

SISTEMA AQUIFERO BOTUCATU NO BRASIL

Por
Aldo da Cunha Rebouças
Instituto de Geociências, USP

1 - INTRODUÇÃO

A vasta bacia sedimentar do Paraná está localizada no sudeste da América do Sul e abrange uma área de 1.600.000 km², distribuídos pelos territórios de quatro países. A parte brasileira, objeto dessa análise, atinge cerca de 1.000.000 km² e está compreendida entre os paralelos 16° e 32° de Latitude Sul e os meridianos de 47° e 56° de Longitude Oeste. A área restante encontra-se assim distribuída: Argentina- 400.000km², Paraguai-100.000 km² e Uruguai-100.000 km² (Figura 1).

A constituição litológica predominantemente arenosa, os caracteres tectono-estruturais de sinéclise basculada e o relevo característico de "plateaus" e colinas suaves, aliados às condições climáticas com pluviosidades variando entre 1.000 e 2.400 mm/ano, fazem com que esta unidade hidrogeológica reserve o maior potencial em recursos hídricos subterrâneos do Brasil, próximo às regiões relativamente mais povoadas e economicamente mais desenvolvidas do País, Tabela 1.

Tabela 1 As reservas de águas subterrâneas do Brasil (Rebouças, 1988)

Domínios Aquíferos	Áreas (km ²)	Sistemas Aquíferos Principais	Volumes Estocados (km ³)
Embasamento Aflorante	600.000	Zonas fraturadas (Pe)	80
Embasamento Alterado	4.000.000	Manto Intemperismo e/ou Fraturas (Pe)	10.000
Bacia Sed. Amazonas	1.300.000	Depósitos Clásticos (TQ)	32.500
Bacia Sed. Maranhão	700.000	Ar. Cordas-Grajaú (Jc) Ar. Motuca (PTRm) Ar. Poti-Piauí (Cpi) Ar. Cabeças (Dc) Ar. S. Grande (SDsg)	17.500
Bacia Sed. Potiguar-Recife	23.000	Ar. Barreiras (TQb) Calcário.Jandaira (Kj) Ar. Açú-Beberibe(K)	230
Bacia Sed. Alagoas-Sergipe	10.000	Ar. Barreiras (TQb) Ar. Marituba (K)	100
Bacia Sed. Jatobá-Recôncavo	56.000	Ar. Marizal (Kmz) Ar. S. Sebastião (Kss) Ar. Tacarutu (SDt)	840
Bacia Sed. Paraná (Brasil)	1.000.000	Ar. Bauru-Caiuá (Kb) Basaltos S. Geral (JKsg) Ar. Botucatu-Piramboia-Rio do Rasto (Pr/TRp/Jb) Ar. Aquidauana (Pca)	50.400
Dep. Diversos	823.000	Aluviões, dunas (Q)	411
Totais	8.512.000		≈112.000

c:aldo/botucatu.doc

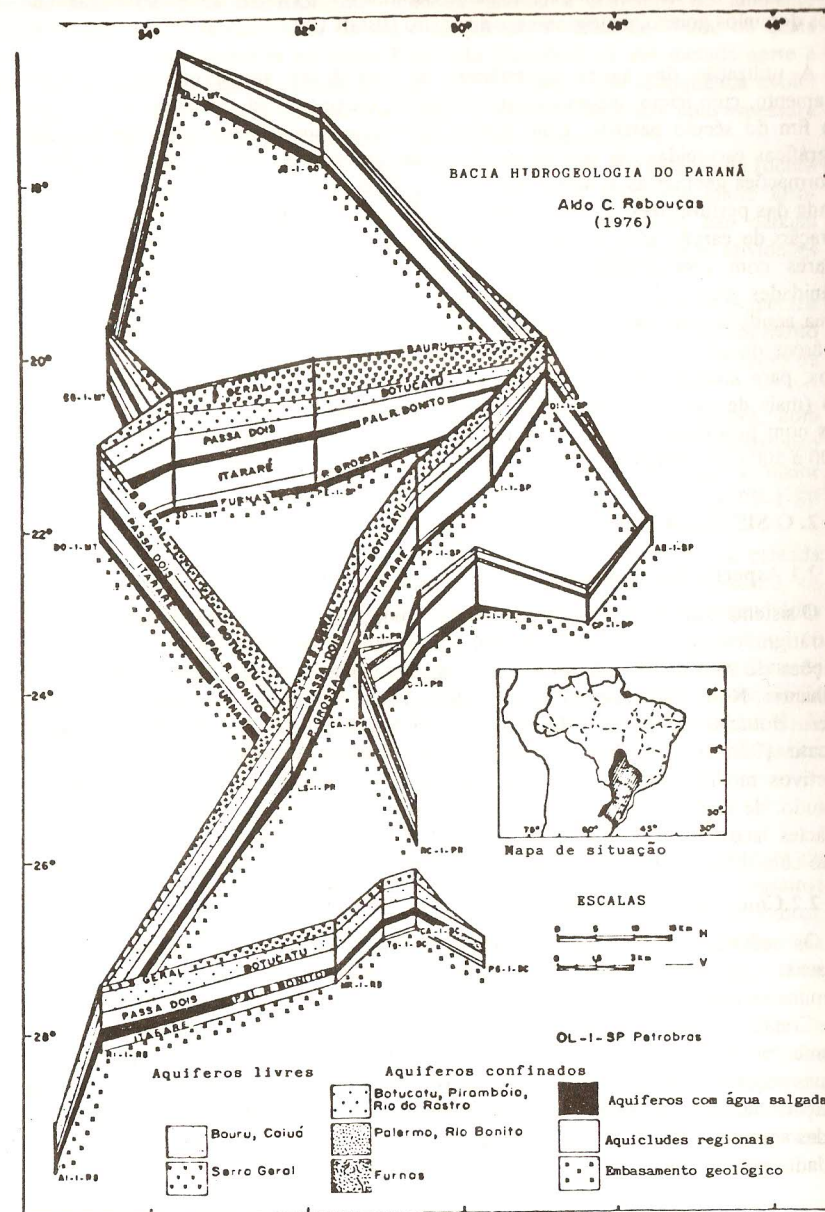


Figura 1 - Mapa de situação e diagrama das condições de ocorrência dos aquíferos.

O contingente populacional da porção brasileira atinge cerca de 50 milhões, com densidades que variam entre 80 e 100 habitantes/Km² no Estado de São Paulo, 50 e 80 habitantes/km² nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e da ordem de 20 nos domínios goiano, matogrossense e mineiro (IBGE, 1992).

A utilização das águas subterrâneas na área é tão antiga quanto o próprio povoamento, cujo início remonta ao século XVIII. Os tipos predominantes de captação, até o fim do século passado, eram drenos, galerias e túneis implantados nas rupturas topográficas esculpidas nas sequências alternadas de camadas arenosas e silte-argilosas das formações geológicas e, sobretudo, no sopé da cornija do planalto basáltico. Com a chegada das perfuratrizes movidas a vapor, na década de 1850, para desenvolvimento da mineração de carvão e/ou prospecção de petróleo, teve início a construção de poços tubulares com profundidades de até centenas de metros, para abastecimento de comunidades e/ou indústrias, algumas delas localizadas nas áreas de afloramento do sistema aquífero Botucatu. Atualmente, assinala-se perto de 2000 poços localizados nas suas áreas de afloramento e/ou vizinhas, com profundidades variando entre 60 e 150 metros, para abastecimento de cidades de pequeno e até grande porte como Ribeirão Preto (mais de 500.000 habitantes e grandes cervejarias) e mais algumas centenas de poços com profundidades entre 200 e 2000 metros, para abastecimento de cidades de 50.000 à 500.000 habitantes.

2. O SISTEMA AQUÍFERO BOTUCATU

2.1 Aspectos Fundamentais

O sistema aquífero é definido como um conjunto formado por uma ou mais unidades litoestratigráficas que apresentam continuidade hidráulica, características hidrodinâmicas, condições de recarga, circulação e descarga, e de qualidade das águas relativamente semelhantes. Neste particular, torna-se necessário salientar que se denominou de sistema aquífero Botucatu ao conjunto litoestratigráfico formado pelas Formações Piramboia e Botucatu (Rebouças, 1976). Contudo, os conhecimentos mais recentes sobre aos respectivos modelos deposicionais, características faciológicas e de permeabilidade e, sobretudo, de qualidade das águas, onde se destacam os teores de fluoretos associados aos fácies lacustres da Formação Piramboia, nos levam a opinar pela necessidade de revisão considerando-as como formando dois sistemas aquíferos distintos.

2.2. Condições de Ocorrência

Os sedimentos acumulados na ampla sinéclise sedimentar do Paraná alcançam espessuras máximas de 7.825m na sua parte central. São depósitos de natureza litológica predominantemente clástica, cujas idades datam desde o Ordo-Siluriano (Formação Iapó) até o Cretáceo Superior (Grupo Baurú), Figura 1. A última fase da sedimentação em ambiente marinho ocorreu no Permiano Superior, de tal forma que a existência de água doce nas sequências paleozóicas fica restrita às porções marginais que foram lavadas pelas infiltrações de águas de origem meteórica. Nos domínios confinados mais profundos das camadas aquíferas, os poços de prospecção petrolífera registram a presença de águas cujas salinidades podem atingir centenas de gramas por litro.

c:\aldo\botucatu.doc

A sedimentação Mesozóica, na porção brasileira da Bacia do Paraná, teve início no Triássico Médio, sendo depositada sobre a paleotopografia esculpida na Formação Rio do Rasto de idade Permiana Superior. São arenitos, siltitos e folhelhos de ambiente continental subaquático lacustre e/ou fluvial, com espessura média de 300m, os quais recebem diferentes denominações regionais: Formação Pirambóia na sua metade norte e Santa Maria/Rosário do Sul, na metade mais ao sul. Esta sequência subaquática evoluiu para arenitos eólicos bem selecionados depositados em ambiente desértico, com espessura variável entre 50 e 300 (Formação Botucatu, de idade Triás-Jurássica).

Associada à sedimentação da Formação Botucatu ocorreram as intrusões de rochas vulcânicas diabásicas e extrusões basálticas da Formação Serra Geral, de idade Juro-Cretácea. As ocorrências subordinadas de arenitos eólicos interderrames não deixam dúvidas de que a deposição do pacote de arenitos eólicos foi contemporânea às atividades vulcânicas, pelo menos nas suas fases iniciais.

Os derrames basálticos deram-se através de um grande número de extravasamentos intermitentes, formando várias capas sobrepostas e/ou interdigitadas, de extensões muito variadas (Leinz et al, 1966). Tais eventos tiveram uma duração da ordem de 20 milhões de anos (Melfi, 1967).

Em alguns locais da zona central da bacia, até trinta e nove derrames, com espessuras variáveis entre 5 e 25 m, foram atravessados pelos poços de prospecção petrolífera da PETROBRAS ou de produção de água da SABESP-São Paulo. A maior espessura já atravessada foi de 1.529 m no poço de Presidente Epitácio PE-1-SP (Rebouças, 1976).

O pacote de derrames basálticos da Formação Serra Geral constitui a camada confinante regional do sistema aquífero Botucatu. Porém, local e ocasionalmente, os basaltos apresentam condições aquíferas, em função das discontinuidades engendradas pelas juntas de solifluxão, intemperismo da superfície dos derrames e/ou presença de pacotes de arenitos interderrames, as quais se comunicam através das juntas verticais de resfriamento. Ademais, esforços tectônicos regionais afetaram toda a sequência sedimentar e derrames basálticos, resultando lineações importantes, ao longo das quais ocorreram movimentos diferenciais verticais, sobretudo intensos a partir do Jurássico Superior (Almeida, 1981).

2.3 Características Dimensionais e Hidrodinâmicas

A extensão territorial do sistema aquífero Botucatu é, atualmente, da ordem de 818.000 km², sendo que cerca de 700.000 km² encontram-se confinados pelos basaltos da Formação Serra Geral. Os restantes 118.000 km² constituem suas porções aflorantes, as quais formam faixas estreitas localizadas ao longo das escarpas de rochas basálticas da Formação Serra Geral. A sequência aquífera atinge espessuras de até 300m, sendo a média da ordem de 200m.

As características granulométricas dominantes da Formação Botucatu são de arenitos bem selecionados e muito finos, o que confere ao sistema aquífero propriedades hidrodinâmicas de porosidade/permeabilidade intergranular, relativamente homogêneas e isotrópicas. Os sedimentos da Formação Pirambóia, ao contrário, foram formados em ambiente lacustre/fluvial, resultando numa grande variedade granulométrica, predominando as misturas, em proporções variadas, de siltitos, areias e argilas.

c:\aldo\botucatu.doc

Os coeficientes de condutividade hidráulica do sistema aquífero Botucatu, determinados pelos testes de formação nos poços de prospecção de petróleo, tem valores que variam entre $K = 10^{-3}$ cm/s (0,864 m/dia) e 10^{-4} cm/s (0,086 m/dia) e porosidade total entre 16 e 24% (Rebouças, 1976).

Uma meia centena de testes de bombeamento de poços para água, interpretados pelos métodos de THEIS/JACOB, indica valores de condutividade hidráulica $K = 10^{-2}$ cm/s (8,64 m/dia) para a Formação Botucatu propriamente dita, e de $K = 10^{-3}$ cm/s (0,864 m/dia) para os sedimentos fluviais da Formação Pirambóia e correlatas. Os coeficientes de porosidade efetiva variam entre $S_y = 10$ e 20% nos seus domínios em condições de aquífero livre, enquanto os coeficientes de armazenamento variam entre $S = 10^{-3}$ e 10^{-6} , na medida em que cresce o nível de confinamento (Teissedre et al, 1982).

2. 4. Reservas Permanentes e Reguladoras

A avaliação das reservas permanentes e reguladoras dos sistemas aquíferos é de fundamental importância ao bom desempenho das tarefas de planejamento e/ou gerenciamento das condições de uso e proteção das águas subterrâneas.

Assim, enquanto as reservas permanentes indicam a magnitude dos estoques de água dos aquíferos, as reservas reguladoras sinalizam as suas condições de recarga.

Os aquíferos livres tem, em geral, reservas permanentes relativamente modestas, mas renováveis na escala de tempo da existência humana e/ou de seus projetos. Por outro lado, os aquíferos confinados se caracterizam por encerrarem grandes estoques, porém com realimentação que não se reflete na escala de tempo da existência humana ou de vida útil de seus projetos. Portanto, os aquíferos poderão proporcionar, ao mesmo tempo, estoques e fluxos, cujo alcance sócio e/ou econômico vai depender da nossa capacidade de geri-los em benefício da coletividade e do ecossistema em geral. Vale ressaltar que, em função do balanço dos potenciais hidráulicos dos diferentes sistemas aquíferos da Bacia Sedimentar do Paraná, não existe, em absoluto, água subterrânea nestes sistemas totalmente isolada ou desconectada do ciclo hidrológico.

As reservas permanentes do sistema aquífero Botucatu são da ordem de 48.000 km³ (Rebouças, 1976).

Os dados potenciométricos, hidroquímicos e isotópicos disponíveis sobre as águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Botucatu, Baurú/Basaltos, indicam que a recarga do sistema aquífero Botucatu é realizada seguindo dois mecanismos principais: • infiltração direta de parcela (15-20%) das chuvas que caem nos domínios aflorantes, • recarga indireta através dos basaltos confinantes nos contextos topográficos da bacia sedimentar do Paraná cujas cotas são superiores a 500m, onde o balanço dos potenciais hidráulicos dos aquíferos vizinhos induzem infiltração no sistema em apreço (Rebouças, 1976).

Por outro lado, nos domínios topográficos com cotas inferiores a 500m, há condições de descarga, na medida em que os seus níveis potenciométricos ficam acima da posição dos níveis de água dos sistemas aquíferos sobrepostos. A ocorrência nestas áreas, de fontes e/ou de poços com águas de composição química/isotópica característica do sistema Botucatu, constitui uma boa prova das discontinuidades hidráulicas, locais e ocasionais, dos basaltos confinantes, resultando em francas interações do sistema aquífero confinado com os aquíferos sobrepostos e, indiretamente, com o ciclo hidrológico da região em apreço. Ademais, deve-se considerar a possibilidade de importantes descargas

através dos setores de borda onde ocorre grande aprofundamento da paleotopografia do substrato geológico (da ordem de 1000m) e aumento de temperatura das águas subterrâneas. Estes setores se configuram, no lado leste, na altura da cidade de Torres e na zona de fronteira Argentina/Paraguai, no lado oeste.

Nas tarefas de planejamento e gerenciamento das condições de uso e proteção das águas subterrâneas da Bacia Hidrogeológica do Paraná, deve-se levar em conta esses comportamentos pois, ao se praticar uma intensa extração das águas do sistema aquífero Botucatu, os mecanismos de troca tenderão a ser incrementados, tanto nos setores de recarga, face a existência de excedentes pluviométricos, como naqueles de descarga, na medida em que se alteram os respectivos gradientes hidráulicos. Lamentavelmente, os seus efeitos nem sempre serão mensuráveis na escala de tempo da viabilidade técnico/econômica dos projetos.

As recargas naturais diretas foram estimadas (Rebouças, 1976) da ordem de 26 km³/ano, enquanto as recargas indiretas atingem cerca de 140 km³/ano, ou seja, um total de

166 km³/ano.

2. 5. Aspectos Físico-Químicos e Isotópicos

A grande importância econômica da exploração das águas subterrâneas do sistema aquífero Botucatu, justificou a realização de estudos hidroquímicos e isotópicos com o objetivo de melhor se conhecer a dinâmica de seus fluxos, a gênese de algumas características de qualidade de suas águas e suas interações com os aquíferos vizinhos. Um estudo que abrangeu todo o domínio brasileiro, teve por base dados de 40 poços cujas características construtivas indicavam a possibilidade de uma boa representatividade das amostras coletadas do sistema aquífero Botucatu (Kimmelman e Silva et al, 1989). A aplicação das técnicas de isótopos ambientais (¹⁸O, ²H e ¹³C/¹⁴C), se aprofunda com análises de gases nobres (He) cujos resultados preliminares encontram-se em fase de interpretação (Kimmelman e Silva et al, 1994).

Em resumo, as conclusões dos estudos hidroquímicos e isotópicos (Silva, 1983, Kimmelman e Silva et al, 1989) são as seguintes:

- As águas subterrâneas dos poços localizados nas zonas de afloramento ou nas suas proximidades tem temperaturas entre 24 e 28°C, os valores de STD são em geral inferiores a 100mg/L, o pH varia entre 5 e 8 e os tipos químicos predominantes (70%) são bicarbonatada cálcica ou mista.

- Na medida em que crescem as condições de confinamento pelos basaltos, verifica-se um progressivo incremento dos valores de STD, os quais já atingem 500mg/L, o pH torna-se francamente alcalino e a composição química evolui para bicarbonatada sódica.

- Nos domínios mais profundos (>700m) a composição química dominante é do tipo sulfatada, cloro-sódica e os valores de STD são, em geral, da ordem de 1000mg/L.

As temperaturas das águas na boca dos poços mais profundos (700-2000m) situam-se entre 46 e 52°C, com gradiente geotermico de 1°C/35m (Teissedre & Barner, 1981).

As análises isotópicas (¹⁸O, ²H) indicam possíveis mudanças climáticas durante os diferentes períodos de recarga, assinalando-se um sensível aumento das temperaturas ambientais por volta dos 10.000 anos, Figura 2.

Quanto as idades, as relações $^{13}\text{C}/^{14}\text{C}$ indicam um crescimento rápido na medida em que se adentra na zona confinada, já sendo superiores a 10.000 anos à uma centena de quilômetros de distância das zonas de afloramento nos Estados de São Paulo e Mato Grosso.

Por outro lado, parece existir uma correlação das idades que excedem os 25.000 anos, com os tipos sulfatada/cloro sódicas com STD da ordem de 1000mg/L, com os maiores teores de fluoreto e com os grandes fraturamentos que afetaram a estrutura da bacia sedimentar. A variabilidade das idades das águas de poços, situados relativamente em posições similares, sugerem a existência de uma acentuada compartimentação do sistema aquífero (Kimmelman e Silva et al, 1989).

As pesquisas sobre a ocorrência dos altos teores de fluoreto (até 12mg/L) encontrados nas águas de alguns poços que captam o sistema aquífero Botucatu/Piramboia, em alguns poços que perfuram apenas os basaltos e, com relativa frequência, nos poços perfurados nos depósitos paleozóicos (Silva, 1983, Kimmelman e Silva et al, 1990, Fraga, 1992), indicam que este composto seria remobilizado das fácies lagunares da Formação Pirambóia e/ou sedimentos paleozóicos. A sua presença nas águas de poços que captam o sistema aquífero Botucatu ou tão somente os basaltos, resulta do balanço de potenciais hidráulicos que comandam o sistema de fluxos subterrâneos no setor em apreço e na medida em que acidentes geotectônicos possibilitam a subida de fluidos ricos em fluoretos até estes níveis (Fraga, 1992).

3. - CONCEITO DE RECURSOS HÍDRICOS RENOVÁVEIS

Muito embora não exista água subterrânea desconectada do ciclo hidrológico, é possível existir estoques de água nos aquíferos cujo tempo de renovação é tão longo que as reservas assim constituídas são consideradas como não renováveis na escala de tempo da existência humana ou do interesse de seus projetos.

Contudo, vale ressaltar que a lenta renovação das reservas de água dos aquíferos confinados, pode decorrer da relativa estanqueidade das camadas confinantes, ou da inexistência de excedentes pluviométricos para recarga. Esta última situação pode afetar tanto aquíferos livres como confinados.

O sistema Botucatu representa um caso praticamente inédito de grande aquífero confinado profundo (2.000m) com água de baixa salinidade. Estas características decorrem de vários fatores ambientais. Primeiro, trata-se de um aquífero formado por sedimentos eólicos essencialmente quartzosos depositados em condições de clima desértico. Segundo, tem-se que as condições de clima úmido perduram durante os últimos 135 milhões de anos, resultando em excedentes para infiltração, as quais engendraram a recarga e descarga de importantes volumes de águas de origem meteórica através das discontinuidades dos derrames basálticos confinantes. Em terceiro lugar, esses depósitos continentais nunca foram submetidos a períodos de afogamento pelas transgressões marinhas que ocorreram na maioria das grandes bacias sedimentares do mundo durante o Cretáceo. Como resultado, as suas águas apresentam, em geral, excelente qualidade para consumo humano, industrial e agrícola.

As taxas de renovação das reservas dos grandes aquíferos (livres ou confinados) podem ser expressas pela relação entre as recargas anuais que recebem e suas respectivas reservas permanentes ou de estoque. Inversamente, esta relação pode ser referida em

termos de tempo de renovação, ou seja, o tempo necessário para que a cumulada dos fluxos de entrada iguale o estoque total. Nestes termos, o sistema aquífero Botucatu tem um tempo de renovação da ordem de 300 anos apenas, contra dezenas de milhares de anos dos aquíferos sujeitos a condições de clima desértico, tais como, na Arábia Saudita, Austrália.

Portanto, a lentidão de renovação ou escassez das recargas é que faz com que as reservas dos grandes aquíferos confinados ou livres pareçam não renováveis na escala de tempo dos projetos de utilização. Em consequência, toda extração engendra um acelerado desequilíbrio entre as entradas e saídas, caracterizando-se, na prática, um processo de progressivo esgotamento.

4. GESTÃO SUSTENTÁVEL

Em que medida e em que condições as reservas dos aquíferos devem ser preservadas tão somente como reguladoras dos fluxos hídricos dos ecossistemas, mas também explotadas como recurso sustentável, são questões a serem respondidas pela gestão.

Regra geral, a distinção entre recursos naturais renováveis e não renováveis é bem nítida: no primeiro caso há regeneração dos estoques na escala de tempo dos projetos; no segundo caso os estoques extraídos não se reconstituem na escala humana. Portanto, no caso da água, onde a natureza nos proporciona ao mesmo tempo estoques e fluxos, a distinção entre recursos hídricos renováveis e não renováveis depende da duração das atividades econômicas na escala humana. Ademais, reservas estáticas e dinâmicas não são independentes e a diferença fundamental entre matérias primas minerais não renováveis e água subterrânea é que, neste caso, não existem estoques desconectados do ciclo hidrológico.

É possível existir estoques de água nos aquíferos cujo tempo de renovação é tão longo que estes passam a ser considerados como não renováveis na escala de tempo da existência humana ou do interesse de seus projetos. Por outro lado, a exploração das reservas dos aquíferos induz dinâmica nos fluxos, propiciando condições de recarga onde anteriormente não existia, reduzindo o transbordamento de seus fluxos e as perdas por evotranspiração.

Outro fato a considerar é que a exploração dos aquíferos com reservas ditas não renováveis, cujo início se deu no século XIX, nunca obedeceu a critérios racionais de planejamento e gestão. Bem ao contrário, imperou a improvisação e a busca de lucro fácil derivado da obtenção de água com baixo custo energético (poços jorrantes), como teve início nos idos de 1780 na Bacia de Paris.

Nos regiões de clima árido (África, Meio Oeste Americano, Califórnia, Austrália) a exploração foi influenciada pela visão otimista do século XIX que apostava na inesgotabilidade dos recursos e na capacidade ilimitada dos ecossistemas de absorver os impactos dos processos produtivos. A conjunção de poderosos meios técnicos e financeiros conduziu ao modelo de "mineração", isto é, segundo uma estratégia deliberada de esgotamento até a profundidade técnica-econômica dos equipamentos de bombeamento.

Segundo esta estratégia minerária a metodologia de avaliação das reservas de águas subterrâneas explotáveis é fundada sobre o caráter estático do recurso, os parâmetros geométricos e de porosidade útil dos materiais aquíferos e hipóteses sobre o abaixamento

máximo dos níveis, sem levar em conta os sistemas de fluxos subterrâneos e suas conexões com o regime hidrológico da região em apreço. Nesta ótica, o volume explotável do aquífero de Nubia (Egito e Líbia) foi avaliado em 600 bilhões m³ (Ezzat, 1977) e em 550 bilhões de m³ dos aquíferos da Arábia Saudita (Neuland, 1988).

As avaliações de cenários de exploração baseados no comportamento hidrodinâmico dos aquíferos da Argélia e Tunísia indicaram que 15 e 20 bilhões de m³ seriam extraídos das reservas, respectivamente em 1970 e no ano 2000 (Pallas, 1972). Esta abordagem tem em conta um plano realizável de implantação de poços para produção de uma determinada capacidade específica e não um rebaixamento uniforme. Qualquer que seja o método de cálculo, a avaliação das reservas explotáveis é inseparável da gestão previsional (Margat, 1990).

5 - CONCLUSÃO

Como uma base real de desenvolvimento, as reservas de águas subterrâneas, embora relativamente pouco renováveis, do sistema aquífero Botucatu devem ser exploradas em benefício máximo da coletividade da região em apreço. Considerando que se encontram relativamente melhor protegidas dos agentes de contaminação e que apresentam, em geral, qualidade adequada para consumo, sem tratamento prévio, constituem recurso estratégico por excelência para abastecimento humano. Tendo em vista as comprovadas interligações hidráulicas com os sistemas aquíferos sobrepostos e a abundância de excedentes pluviométricos para recarga, a exploração racional devidamente conjugada pelo planejamento e gestão integrada (recursos hídricos, formas de uso e ocupação e meio ambiente) da área deverá ampliar a sua viabilidade como um manancial renovável. Os efeitos de sobreexplotação já registrados decorrem, na maioria dos casos, da falta de aplicação de regras básicas de planejamento e gestão e deficiências técnicas/operacionais dos poços.

Considerando que os usuários são geralmente numerosos (agricultores, industriais, comunidades locais), a definição de objetivos e regras de uso e proteção integrada dos recursos hídricos da região em apreço se impõe como tarefa prioritária.

6 - REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M., 1981, Síntese sobre a tectônica da bacia do Paraná. 3o Simp. Regional. de Geologia. Curitiba, At. (1): 1-20.
- EZZAT, M., 1977, The development of the Egyptian Western desert (50 years-1975-2025), Sacramento Conf. Vol 1. p 45-57.
- FRAGA, C. G., 1992, Origem de fluoreto em águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Botucatu e Serra Geral da bacia do Paraná, Tese de Doutorado, Inst. Geoc. USP, 178 p.
- KIMMELMANN, A. A., REBOUÇAS, A. C., SOUZA, J. C. S., REBOUÇAS A. M., BASTOS, F. F. W., HEINE, C. A., 1990, Considerações sobre as anomalias de fluoreto no sistema aquífero Botucatu-Pirambóia na bacia do Paraná. Anais VI Congr. Bras. Águas Subterrâneas. V. 1 p. 107-111. Porto Alegre-RS.
- KIMMELMANN e SILVA, A. A., REBOUÇAS, A. C., SANTIAGO, M. M. F., 1989, ¹⁴C analysis of groundwater from the Botucatu aquífer system in Brazil, Radiocarbon, V. 31, No 3 p926-33.

LEINZ, V., BARTORELLI, A., SADOWSKI, G. R., ISOTA, C. A. L., 1966, Sobre o comportamento espacial do trapp basáltico da bacia do Paraná. Bol. Soc. Bras. Geol. 15 (4) p. 79-91.

MARGAT, J., 1990, Les gisements d'eau souterraine, La Recherche, No 221, p 590-96.

MELFI, A. J., 1967, Potassium-Argon ages for core samples of basaltic rocks from southern Brazil. Geoch. et Cosmoch. Acta. p 1079-89.

NEULAND, H., 1988, Foodstuff production target in arid zones: issues and prospects from the Arabian peninsula, IWRA/AIRE, 6th Cong. Ottawa, Vol III, p 115.

PALLAS, P., 1972, Les ressources en eau du Sahara Septentrional, Nature et Ressources, UNESCO, VIII, No 3, 10p.

REBOUÇAS, A. C., 1976, Recursos hídricos subterrâneos da bacia do Paraná-Análise de Pré-Viabilidade, Tese de L. Doc. Inst. Geoc. USP, 143p.

REBOUÇAS, A. C., 1988, Groundwater in Brazil, Episodes, Vol.11, No 3, p 209-214

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

TEISSEDRE, J-M, BARNER, U., 1981, Comportamento geotérmico e geoquímico das águas do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo. Rev. Águas Subterrâneas (ABAS) No 4, p 85-95.

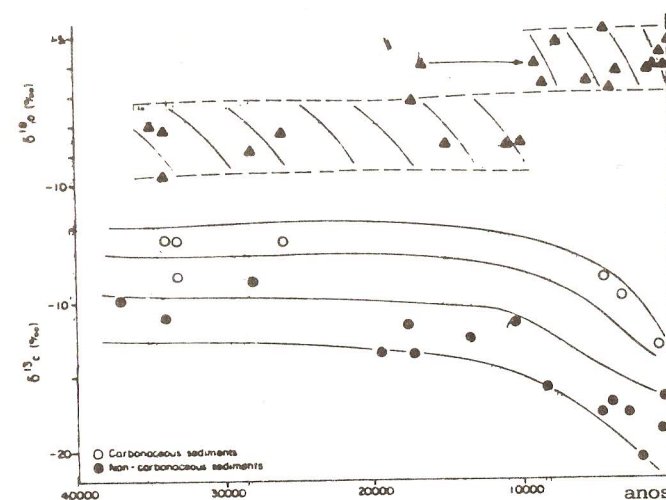


Figura 2 - Relações do ¹⁸O/D, ¹³C/¹⁴C e idades antes do presente.