

## ESTUDO HIDROQUÍMICO E ISOTÓPICO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO BOTUCATU - RESULTADOS PARCIAIS PARA A REGIÃO NORTE DA BACIA DO PARANÁ

Rosa Beatriz Gouvêa da Silva\*

Annkarin Aurélia Kimmelman\*\*

Aldo da Cunha Rebouças \*\*

\* DAEE; CEPAS

\*\* IG-USP; CEPAS

Realizado com apoio financeiro da FINEP/PADCT nº 5384075500 e Agência Internacional de Energia Atômica, contrato nº 3648/R1/GS.

### ABSTRACT

This paper shows the first results of an investigation, that is being done (1984 - 1987), in order to study the flow path, the processes controlling the chemical composition, the recharge, as well as, the origin, apparent ages and dynamic of the groundwater of the Botucatu Aquifer in the Brazilian part of the Paraná Basin (818.000 km<sup>2</sup>), using hydrochemical and environmental isotope technics (<sup>2</sup>H, <sup>18</sup>O, <sup>13</sup>C, <sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C).

Until now 20 deep wells, located in the northern part of the Basin (states of São Paulo, Mato Grosso do Sul and Goiás), have been sampled.

The obtained hydrochemical and isotope data permit a preliminary interpretation, that is quite similar to Silva's (1983) observations concerning the aquifer in the state of São Paulo: the recharge is mainly due to the infiltration of precipitations in the outcrop area of the aquifer; the trend of a gradual increase of temperature, pH, salinity, as well as, of average apparent ages is from the outcrop area towards the central part of the Basin, following the progressive confinement conditions of the aquifer; the calcium and/or mixed bicarbonated waters on the borders of the Basin changes to sodium bicarbonated towards its central part.

### INTRODUÇÃO

A Bacia do Paraná, estende-se entre os paralelos de 10º e 32º de latitude sul e os meridianos de 47º e 64º de longitude oeste, tendo uma superfície de 1.000.000 km<sup>2</sup> no território brasileiro, 400.000 km<sup>2</sup> na Argentina, 100.000 km<sup>2</sup> no Paraguai e 100.000 km<sup>2</sup> no Uruguai.

O aquífero mais importante na Bacia do Paraná é o aquífero Botucatu, cuja extensão no território brasileiro é de 818.000 km<sup>2</sup>, encontrando-se nos seguintes estados do norte ao sul: Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Figura 1).

Trata-se de um aquífero livre apenas nas bordas da bacia e confinado pelos basaltos em 90% de sua extensão. Os derrames basálticos podem atingir espessuras de até 2.000m no centro da bacia. O aquífero está sendo explorado através de poços profundos entre 300 e 2.000m, com vazões entre 100 e 1.000m<sup>3</sup>/h (Rebouças, 1979).

Os estudos hidrogeológicos já efetuados (Rebouças, 1976; DAEE, 1979 - 1983) revelam reservas importantes, mas são ainda insuficientes para a melhor caracterização das taxas de recarga e da hidrodinâmica do aquífero.

Neste sentido, têm sido realizados estudos geotérmicos (Teissedre e Barner, 1981), hidroquímicos e isotópicos (Gallo, 1977; Gallo e Sinelli, 1980; Silva et alii, 1982) em algumas regiões do aquífero no estado de São Paulo. Silva (1983) efetuou pela primeira vez um estudo integrado hidroquímico e isotópico em toda extensão do aquífero Botucatu no estado de São Paulo.

Nos outros estados brasileiros, onde o aquífero ocorre, os estudos são raros e pontuais, devido também à densidade reduzida de poços profundos no centro da Bacia do Paraná.

O presente trabalho, em andamento (1984 - 1987), objetiva a aplicação de técnicas de isótopos ambientais ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) conjugada com a hidroquímica para o conhecimento dos mecanismos de circulação e mineralização das águas subterrâneas do aquífero Botucatu para a porção brasileira da Bacia do Paraná. Neste trabalho, são apresentados os primeiros resultados de amostras de água subterrânea coletadas nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás.

### CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS DA ÁREA

Do ponto de vista geológico o aquífero Botucatu é constituído pelas Formações Pirambóia - lamitos e arenitos finos a médios, mal selecionados, silto-argilosos, de origem fluvial, e Botucatu - arenitos finos a médios, bem selecionados de origem eólica. Este pacote sedimentar constitui a base do Grupo São Bento. No Rio Grande do Sul a Formação Pirambóia é equivalente à Formação Rosário do Sul. As Formações Pirambóia - Botucatu são intercaladas entre as camadas permianas do Grupo Passa Dois e os derrames basálticos da Formação Serra Geral, a qual se situa no topo do Grupo São Bento.

O aquífero Botucatu é um aquífero confinado na maior parte da sua extensão, sendo livre apenas nas bordas da bacia. Sua espessura aumenta no sentido do centro da bacia, formando duas subbacias onde estão concentrados os maiores pacotes de sedimentos:

- no norte, entre os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, com espessuras de cerca 500m;
- no sul, entre o estado do Rio Grande do Sul e o Uruguai com valores da ordem de 1.000m.

A superfície potenciométrica da água apresenta características de artesianismo na porção central da bacia, onde os níveis d'água são da ordem de 400m no norte, podendo atingir 1.000m no Sul (Rebouças, 1979). As direções de fluxo das águas subterrâneas convergem das bordas da bacia para o seu eixo central, por onde passa a resultante geral do fluxo de direção sudoeste (Gilboa et alii, 1976).

Para o estado de São Paulo a única região onde a disponibilidade de dados permitiu estudos mais detalhados, Silva (1983) cita os seguintes valores para os parâmetros hidráulicos do Botucatu: a capacidade específica varia entre 1 e  $23\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ , sendo entre 10 e  $15\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$  os valores mais representativos; a transmisividade varia entre  $4,7 \times 10^{-4}$  e  $1,5 \times 10^{-2}\text{m}^2/\text{s}$ , a maioria dos valores sendo  $10^{-3}\text{m}^2/\text{s}$ , enquanto a permeabilidade varia entre  $2,4 \times 10^{-6}$  e  $4,5 \times 10^{-5}\text{m}/\text{s}$ ; o coeficiente de armazenamento tem valores entre  $4 \times 10^{-5}$  e  $2 \times 10^{-4}$ .

Esta configuração hidrogeológica condiciona nesta área aumentos da temperatura de 22º a 61ºC, do pH (de 5,40 a 10,35) e dos sais totais dissolvidos (de 31 a 650mg/l) destas águas no sentido sudoeste, das bordas da bacia para a parte muito confinada do aquífero. Na zona de afloramento as águas são atuais, bicarbonatadas magnesianas ou calco-magnesianas, com uma evolução gradativa para bicarbonatadas sódicas e cloro-sulfatadas sódicas, nas regiões onde o aquífero é confinado, podendo atingir idades superiores a 30.000 anos.

Os resultados isotópicos e hidroquímicos obtidos por Silva (1983) indicam que as águas subterrâneas são originárias principalmente da infiltração das precipitações nas zonas de afloramento do aquífero e que sua evolução química é determinada pelo grau de confinamento, pelas direções do fluxo e pelo tempo de trânsito da água.

As permeabilidades médias aparentes, calculadas a partir dos dados de  $^{14}\text{C}$  e do gradiente hidráulico são de  $2,6 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ .

A variação dos teores dos isótopos estáveis  $\delta^{18}\text{O}$  (-6,5 a  $-10,1^\circ/\text{oo}$ )  $\delta^2\text{H}$  (-45 a  $-70^\circ/\text{oo}$ ) e  $\delta^{13}\text{C}$  (-6,3 a  $-23,1^\circ/\text{oo}$ ) nas águas subterrâneas permitiram supor possíveis mudanças climáticas durante as diferentes épocas de recarga.

#### AMOSTRAGEM E ANÁLISES

Até o momento foram amostrados 20 poços profundos nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás (Tabela 1). "In situ" foram determinadas uma série de medidas físico-químicas (Tabela 2), como temperatura, pH e eH, condutividade elétrica, alcalinidade e teor de  $\text{CO}_2$  livre. As análises físico-químicas completas foram realizadas nos laboratórios da CETESB, utilizando os métodos da 15 ed. do Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (Tabela 3).

Para estes poços foram coletadas ainda amostras para análises isotópicas de  $^{18}\text{O}$  e de  $^2\text{H}$  e, em 18 deles, para determinação de  $^{13}\text{C}$  segundo a mesma metodologia de coleta do  $^{14}\text{C}$ , descrita mais abaixo.

As análises de isótopos estáveis foram realizadas nos laboratórios do CENA-Piracicaba,  $^2\text{H}$  e  $^{13}\text{C}$  com um espectrometro de massa Micromass 602 e  $^{18}\text{O}$  com um Atlas Ga 150. Os dados desses isótopos são expressos, como de costume, em desvios por mil ( $^\circ/\text{oo}$ ), do valor de  $^{18}\text{O}$  e  $^2\text{H}$  em relação ao padrão SMOW (Standard Mean Ocean Water) e do valor de  $^{13}\text{C}$  em relação ao padrão PDB (Belemnitella Americana da Formação Pee Dee).

Foram efetuadas coletas de amostras para  $^{14}\text{C}$  em 15 poços, cujo teor é expresso em porcentagem de carbono-14, tendo por base a comparação com o padrão NBS (fabricado a partir de ácido oxálico em 1950). Com os teores de  $^{14}\text{C}$  e  $^{13}\text{C}$  é possível calcular a idade aparente das águas subterrâneas. Para a análise de  $^{14}\text{C}$  coletou-se um volume entre 100 e 400 litros de água (em função dos teores de bicarbonato), em bombonas plásticas. No campo é efetuada a precipitação de  $\text{BaCO}_3$ , por adição de  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , com anterior elevação do pH até torná-lo superior a 8. Após a precipitação, o precipitado de  $\text{BaCO}_3$  é transferido para frascos menores, evitando-se a contaminação com o  $\text{CO}_2$  atmosférico. As análises de  $^{14}\text{C}$  estão sendo executadas no laboratório isotópico do Departamento de Física da UFCE, sendo que os resultados ainda não foram concluídos.

Foram ainda colhidas 3 amostras na zona de afloramento para determinação da concentração de trítio ( $^3\text{H}$ ), cujas análises serão efetuadas futuramente.

Os resultados isotópicos estão reunidos na Tabela 4.

#### DISCUSSÃO PRELIMINAR DOS RESULTADOS

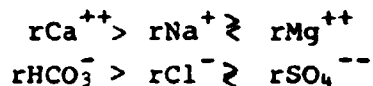
##### Resultados Hidroquímicos

Os resultados das 20 amostras de água de poços profundos mostram que as águas são fracamente mineralizadas, com valores de resíduo seco a  $105^\circ\text{C}$  variando entre 38 e  $362 \text{ mg/l}$ . Os valores de pH destas águas estão no intervalo entre 5,52 e 9,69, predominando águas básicas. A temperatura apresenta-se, nas regiões aflorantes do aquífero e suas proximidades, entre 24,2 e  $28^\circ\text{C}$ , aumentando no sentido do seu confinamento até valores da ordem de  $46-48^\circ\text{C}$ , como ocorre em Araçatuba e Jales. Este acréscimo, como já observado por Teissedre e Barner (1981) e Silva (1983), é devido ao grau geotérmico natural ( $1^\circ\text{C}/35 \text{ m}$ ).

A figura 2 mostra a distribuição dos resultados sobre o diagrama de Piper onde se distinguem duas áreas de concentrações de pontos: uma, onde as águas são classificadas como bicarbonatadas cálcicas e/ou mistas e, outra, onde as águas são bicarbonatadas sódicas.

A família de águas bicarbonatadas cálcicas ou mistas, num total de 14 amostras, é menos salina, com resíduos secos inferiores a  $119 \text{ mg/l}$ ,

pH entre 5,52 e 8,02 e temperaturas entre 24,2 e 38°C. Os teores dos íons maiores, em meq/l, situam-se nos seguintes intervalos:  $\text{Ca}^{++}$  de 0,04 a 1,10;  $\text{Mg}^{++}$  de 0,04 a 0,59;  $\text{Na}^+$  de 0,01 a 0,76;  $\text{K}^+$  de 0,01 a 0,32;  $\text{HCO}_3^-$  de 0,16 a 1,84;  $\text{CO}_3$  de 0 a 0,04;  $\text{SO}_4^{--}$  não detectado e  $\text{Cl}^-$  de 0 a 0,03. Segundo a classificação proposta por Schoeller (1962) estas águas obedecem à seguinte sequência de concentração dos íons maiores:



A família de águas bicarbonatadas sódicas, representada por 5 amostras, apresenta teores de resíduo seco mais elevados (246-362mg/l), pH básicos (8,94 - 9,61) e temperaturas mais elevadas (39 - 48°C). A variação dos teores dos íons maiores, em meq/l, é a seguinte:  $\text{Ca}^{++}$  de 0,03 a 0,10;  $\text{Mg}^{++}$  de 0,01 a 0,03;  $\text{Na}^+$  de 4,00 a 5,65;  $\text{K}^+$  de 0,01 a 0,02;  $\text{HCO}_3^-$  de 0,84 a 2,44;  $\text{SO}_4^{--}$  de 0,19 a 1,10;  $\text{Cl}^-$  de 0,31 a 0,59.

A sequência obedecida pelas ânions é a mesma da família anterior havendo modificação apenas na sequência catiônica;



A água do poço de Bauru (212/156) é uma exceção: na classificação é bicarbonatada sódica e apresenta pH básico (9,03), mas sua temperatura e resíduo seco são baixos (25,5°C e 91mg/l). Este comportamento distinto pode talvez ser devido à presença na área de um alto estrutural. Esta elevação local propiciou a erosão dos basaltos e a deposição dos sedimentos Bauru diretamente sobre a Formação Botucatu.

A distribuição espacial destas famílias indica que as águas bicarbonatadas cálcicas e/ou mistas se encontram na porção aflorante do aquífero ou onde ele é pouco confinado, seja a oeste (Mato Grosso do Sul), seja a leste (São Paulo). Já as águas bicarbonatadas sódicas são encontradas no centro da bacia, onde o aquífero é muito confinado.

### Resultados Isotópicos

Antes da análise dos resultados isotópicos obtidos para as águas subterrâneas cabe uma breve consideração sobre as águas de chuva das regiões de recarga do aquífero.

No estado de São Paulo, Silva (1983) concluiu que a média anual dos teores de  $\delta^{18}\text{O}$  das águas de chuva deve ser da ordem de  $-7,1$  ‰, média das amostras de água subterrânea aí coletadas. Os valores obtidos nas amostras de águas de chuva colhidas em São Carlos e Ribeirão Preto (ano hidrológico 1981 - 1982) não foram considerados como representativos da média plurianual, visto que sendo da ordem de  $-9,5$  ‰ refletiam o excesso de pluviosidade ocorrido no período da coleta.

Para a região de Mato Grosso do Sul, foram consultados os resultados de  $\delta^{18}\text{O}$  médios das chuvas da estação de Cuiabá medidos a partir de amostras de dois anos de observação no início da década de setenta (IAEA, 1981). A média ponderada anual para esta estação é de  $-4,9$  ‰.

Quanto às águas subterrâneas, serão tecidas aqui breves considerações apenas sobre os teores de  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  e  $\delta^{13}\text{C}$ , visto que os resultados dos demais isotópicos não estão ainda disponíveis. Os teores de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^2\text{H}$  obtidos variam entre  $-5,7$  e  $-9,8$  ‰ e  $-32$  e  $-67$  ‰, respectivamente.

A figura 3 mostra a relação entre os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^2\text{H}$  comparados à reta meteórica mundial. Como se observa, os pontos estão próximos à reta, indicando uma origem meteórica para as águas. Observam-se, ainda, dois grupos distintos:

- Um grupo onde os teores de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^2\text{H}$  são mais negativos ( $-8,1$  a  $-9,8$  ‰ e  $-56$  a  $-67$  ‰);
- Um segundo grupo, com teores mais positivos ( $-5,7$  a  $-6,8$  ‰ e  $-32$  a  $-47$  ‰).

Oito pontos reunidos no primeiro grupo, referentes a poços na porção confinada do aquífero em São Paulo, apresentam um intervalo de variação similar à variação observada por Silva (1983) na mesma região. Existe um ponto com  $\delta^{18}\text{O}$   $-7,4\text{‰}$  e  $\delta^2\text{H}$   $-49\text{‰}$ , referente ao poço de Araraquara, situado na área livre do aquífero e, no gráfico, entre os dois grupos referidos. Seus teores são compatíveis com a média das águas de chuva da área de recarga ( $-7,1\text{‰}$ ) neste estado.

Os pontos do segundo grupo são provenientes dos poços de oeste (Mato Grosso do Sul) situados na área de recarga ou próximo a ela. O fato desse grupo apresentar concentrações de  $\delta^{18}\text{O}$  mais positivos que os da área de recarga em São Paulo ( $-7,1\text{‰}$ ) pode ser explicado possivelmente pela ação do efeito da altitude sobre as chuvas (esta região é menos elevada). Outros fatores que podem também influenciar este comportamento são variações climáticas e de latitude. Os dados de chuva de estação de Cuiabá ( $-4,9\text{‰}$ ) indicam essa tendência mais positiva da recarga nesta área.

Dois poços fogem a este comportamento geral, Camapuã (MS) e Itajá (GO), que estão compreendidos no primeiro grupo. À luz dos resultados disponíveis não é possível ainda explicar esta diferença. No entanto, como estes poços apresentam-se mais mineralizados e com pH mais alcalino que os poços próximos pode-se supor a possibilidade de estas águas serem localmente mais confinadas do que aparentam. Os resultados do carbono-14 deverão propiciar a elucidação desta dúvida.

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de 17 amostras variam entre  $-5,9$  e  $-20,6\text{‰}$ . Pode-se observar que em São Paulo eles são mais positivos, entre  $-5,9$  e  $-13,5\text{‰}$ , com predomínio do intervalo  $-5,9$  e  $-8,5\text{‰}$ . Estes últimos valores correspondem às amostras da área francamente confinada do aquífero. Nos estados de Mato Grosso do Sul e Goiás os resultados são mais negativos entre  $-10,9$  e  $-20,6\text{‰}$ , a maioria situando-se entre  $-16,4$  e  $-20,6\text{‰}$ . Estes valores são provenientes de amostras nas áreas livres e pouco confinadas do aquífero.

Foi também observada uma relação entre os teores de  $\delta^{13}\text{C}$  e de  $\text{CO}_2$  livre: quanto maior o  $\text{CO}_2$  livre mais negativo o  $\delta^{13}\text{C}$  (Figura 4).

Os parâmetros que geralmente influenciam os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  nas águas subterrâneas são oriundos da interação entre o  $\text{CO}_2$  de origem de biogênica, o  $\text{CO}_2$  atmosférico, o  $\text{CO}_2$  das rochas, além de processos de troca na zona não saturada. Fatores climáticos e variações sazonais também interferem nos teores de  $\delta^{13}\text{C}$ .

No presente trabalho visto que só estão disponíveis poucos resultados, muito espaçados entre si, e que ainda não foi possível relacioná-los aos dados quantitativos de  $\delta^{13}\text{C}$  dos fatores acima mencionados, julga-se prematura uma interpretação para as variações observadas.

#### CONCLUSÕES PRELIMINARES

Para a porção norte da Bacia do Paraná (estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás), os dados preliminares apresentados neste trabalho, permitem as seguintes considerações sobre as águas subterrâneas:

- a) As sequências evolutivas hidroquímicas, a variação dos teores dos íons maiores e a distribuição espacial observadas permitem as seguintes conclusões preliminares:
  - Para o estado de São Paulo, os novos dados confirmam as considerações de Silva (1983), completando informações onde havia ausência de dados;
  - Para os estados de Mato Grosso do Sul e Goiás, apesar da escassez de dados e sua distribuição não uniforme, pode-se supor comportamento similar ao do estado de São Paulo;
  - A evolução hidroquímica sugerida, a mesma de Silva (1983), caracteriza-se por um aumento da temperatura, pH e mineralização das águas a partir das bordas da bacia (a leste em São Paulo e oeste-noroeste

em Mato Grosso do Sul) no sentido na calha do rio Paraná, acompanham as direções do escoamento subterrâneo e o confinamento progressivo do aquífero. As águas bicarbonatadas cálcicas e/ou mistas, nas áreas de recarga, passam a bicarbonatadas sódicas nas regiões fortemente confinadas.

b) Os resultados isotópicos de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^2\text{H}$  mostram que as águas da área de recarga em Mato Grosso do Sul são ligeiramente mais positivas que as da recarga em São Paulo, provavelmente devido a diferenças climáticas, de altitude e latitude. As amostras dos poços na área fortemente confinada (São Paulo) são ainda mais negativas, semelhantes aos resultados de Silva (1983) para a mesma área, cuja razão, ainda em discussão, pode estar relacionada a variações climáticas pretéritas ocorridas na época de recarga destas águas.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) - 1974 - Estudo de águas subterrâneas, região administrativa 6: Ribeirão Preto, São Paulo, vol. 1 a 4.

---

- 1976 - Estudo de águas subterrâneas, regiões administrativas, 7, 8 e 9: Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba, São Paulo, vol. 1 a 4.

---

- 1979 - Estudo de águas subterrâneas, regiões administrativas 10 e 11: Presidente Prudente e Marília, São Paulo, vol. 1 a 3.

---

- 1981 - Estudo de águas subterrâneas, região administrativa 5: Campinas, São Paulo, vol. 1 e 2.

---

- 1983 - Estudo de águas subterrâneas, região administrativa 4: Sorocaba, São Paulo, vol. 1 e 2.

GALLO, G. - 1977 - Utilization Complementary de l'Hydrochimie et de la Géochimie Isotopique en Hydrogéologie: application aux eaux souterraines de la région de Ribeirão Preto. État de São Paulo, Brésil. Lyon (These Docteur de 3<sup>ème</sup> Cycle - Univ. Claude Bernard).

GALLO, G. & SINELLI, O. - 1980 - Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas de Ribeirão Preto, SP. Rev. Bras. Geoc., 10 (2): 129 - 140.

GILBOA, Y; MERO, F. & MARIANO, I.B. - 1976 - The Botucatu aquifer of South America, model of an untapped continental aquifer. Journal of Hydrology, Amsterdam, 29 (1/12): 165 - 180.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA) - 1981 - Stable isotope hydrology - deuterium and oxygen-18 in the water cycle. Technical Reports series n<sup>o</sup> 210, Viena.

REBOUÇAS, A.C. - 1976 - Recursos hídricos subterrâneos da bacia do Paraná. Análise de "previabilidade". São Paulo (Tese de Livre-Docência-USP).

---

- 1979 - Groundwater in Brazil. III World Congr. on Water Res., México 1979, vol. 7, Proc.

SCHOELLER, H.I. - 1962 - Les eaux souterraines, Masson, Paris.

SILVA, R.B.G. et alii - 1982 - Características hidroquímicas do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo. I Congr. Bras. Ag. Subt., Salvador 1982. Anais.

\_\_\_\_\_ - 1983 - Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterâneas do aquífero Botucatu no estado de São Paulo. São Paulo - (Tese de Doutorado - USP).

TEISSEDRE, J. M. & BARNER, U, - 1981 - Comportamento geotérmico e Geoquímico das águas do aquífero Botucatu no estado de São Paulo. Rev. Ag.Subt., 4: 85 - 95.

nº de ordem	código de origem	coordenadas		município	altitude (m)	prof (m)	posição do aquífero		características hidráulicas			
		N-S	E-O				cota topo (m)	espessura (m) 1 = total p = parcial	cota nível potenciométrico (m)	Q/s m³/h/m	T m²/s	condição do aquífero
1 - SP	119/11	7636,0	788,0	Guariba	590	600	280	290 p	493	15,89	$1,3 \times 10^{-2}$	confinado
2 - SP	98/11	7650,90	761,25	Monte Alto	585	581	121	117 p	521	2,74	$2,4 \times 10^{-3}$	confinado
3 - SP	135/28	7603,00	627,40	Lins	480	1042	-161	382 t	441	19,9	$1,5 \times 10^{-2}$	confinado
4 - SP	212/156	7529,05	702,05	Bauru	525	291	440	201 t	480,4	12		confinado
5 - SP	31/36	7757,85	546,50	Jales	433	1323	-572	318 p	423	9,63	$3,9 \times 10^{-3}$	confinado
6 - SP	90/sn9	(7653)	(560)	Araçatuba	(355)	969	(-589)	(25 p)	(+355)	J		confinado
7 - SP	90/sn9	(7658)	(557)	Araçatuba	(410)	1200	(-557)	233 p	(+410)	J		confinado
8 - SP	74/216	7700,36	662,10	S.J.R.Preto	490	1136	-344	288 p	449	14,9	$8,5 \times 10^{-3}$	confinado
9 - SP	166/48	7586,25	797,30	Araraquara	650	256	650	252 p	618	5,2		livre
1 - MS	ANA-006/ 80-S	7712,50	677,70	Dois Irmãos	310	112	310	110 p	285,3	1,6		livre
2 - MS	CAM-004/ 84-S	7837,40	810,40	Camapuã	511	121	511	121 p	+511,0	0,23		livre
3 - MS	COR-FSESP	7806,00	727,40	Corguinho	280	150	-	-	262,0	5,3		livre
4 - MS	CCR-044/ 81-S	(7739)	(748)	Campo Grande	(560)	144	*	*	(548)	7,5		confinado
5 - MS	SID-006/ 81-S	7685,20	712,40	Sidrolândia	400	95	323	18 p	397,4	2,1		confinado
6 - MS	MAR-004	7607,50	690,90	Maracaju	380	*	*	*	*	*		confinado
7 - MS	AMA-017/ 82-S	7444,00	681,80	Amambai	460	150	420	128 p	447,8	2,71		confinado
8 - MS	DO-019/ 82-S	7542,0	724,0	Dourados	445	798	- 35	318 p	365,0	1,12		confinado
9 - MS	CAS -LAT 82	*	*	Cassilândia	*	200	*	15 p	*	J		confinado
10 - MS	CAS-001	*	*	Cassilândia	*	215	*	5 p	*	J		confinado
1 - GO		*	*	Itaja	*	150	*	40 p	*	J		confinado

( ) dados aproximados; \* dados foram solicitados.

Tabela 1 - Cadastro de Poços Tubulares Perfurados no Aquífero Botucatu.



nº de ordem	código de origem	município	data de coleta	T (°C)	pH	eH (mv)	CE (µS)	CO <sub>2</sub> livre (mg/l)	alcalinidades	
									HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l CaCO <sub>3</sub> )
1 - SP	119/11	Guariba	10/12/84	31	7,95	-	-	4,4	152 *	
2 - SP	98/11	Monte Alto	11/12/84	36	7,97	-	-	12,1	128 *	
3 - SP	135/28	Lins	12/12/84	39	9,61	-	-	0	317 *	
4 - SP	212/156	Bauru	12/12/84	25,5	9,03	-	-	2,2	122 *	
5 - SP	31/36	Jales	15/05/85	48	8,94	-	470	0	105	20
6 - SP	90/sn9	Araçatuba	18/05/85	47	9,23	-	470	0	135	35
7 - SP	90/sn9	Araçatuba	18/05/85	46	9,30	-	490	0	135	32,5
8 - SP	74/216	S. José Rio Preto	19/05/85	43,7	9,24	-	440	0	135	55
9 - SP	166/48	Araraquara	29/05/85	24,5	6,1	+ 560	31	46,2	15 *	
1 - MS	ANA-006/ 80-S	Dois Irmãos	20/03/85	26	5,52	-	21	9,9	5	0
2 - MS	CAM-004/ 84-S	Camapuã	21/03/85	27	7,91	-	200	16,5	90	0
3 - MS	COR-FSESP	Corguinho	22/03/85	28	6,14	-	90	40,7	40	0
4 - MS	CGR-044/ 81-S	Campo Grande	22/03/85	24,2	6,60	-	100	24,2	35	0
5 - MS	SID-006/ 81-S	Sidrolândia	23/03/85	25,5	7,49	-	110	11,0	45	0
6 - MS	MAR-004	Maracaju	23/03/85	26,5	7,70	-	175	7,7	65	0
7 - MS	AMA-017/ 82-S	Amambai	24/03/85	25	6,10	-	20	26,8	10	0
8 - MS	DO-019/ 82-S	Dourados	24/03/85	38	8,00	-	200	8,8	80	0
9 - MS	CAS-LAT 82	Cassilândia	16/05/85	27	6,14	-	99	31,9	20	0
10 - MS	CAS-001	Cassilândia	16/05/85	27,5	5,83	-	43	39,6	10	0
1 - GO		Itaja	16/05/85	28	8,02	-	157	5,5	75	0

\* Nestas amostras foi efetuada apenas a titulação colorimétrica, não tendo sido possível determinar os teores de CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> quando o pH é maior que 8,3.

Tabela 2 - Análises Físico - Químicas das Águas Subterrâneas - Determinações de Campo.

nº de ordem	código de origem	pH	C.E. (µS)	resíduo a 105 °C	dureza total (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Ca <sup>++</sup> (mg/l)	Mg <sup>++</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	CO <sub>3</sub> <sup>==</sup> (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>==</sup> (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)
1 - SP	119/11	8,36	172	113	59,1	14,0	2,6	20,2	2,1	90	2	1,0	nd	18,5
2 - SP	98/11	8,22	171	104	51,4	18,6	2,4	19,0	1,0	92	0	1,0	nd	14,9
3 - SP	135/28	9,67	573	362	2,10	130,0	0,6	0,7	0,1	106	122	12,5	53	34
4 - SP	212/156	8,92	132	91	10,5	28,0	0,9	3,5	0,4	58	13	0,5	nd	14,9
5 - SP	31/36	8,90	372	250	6,5	92,0	1,0	2,1	0,3	96	42	20,5	27	30,0
6 - SP	90/sn9	9,10	422	276	3,5	100,0	0,6	0,9	0,3	119	57	13,5	17	27,0
7 - SP	90/sn9	9,00	450	286	4,1	105,0	0,7	1,3	0,2	122	48	21,0	26	26,0
8 - SP	74/216	9,20	396	246	3,6	92,5	0,5	0,8	0,4	109	65	11,0	9	26,0
9 - SP	166/48	5,80	43	42	12,7	0,4	3,1	3,1	1,2	14	0	nd	nd	19,7
1 - MS	ANA-006/80-S	6,53	21	38	4,5	0,8	2,7	0,8	0,7	8	0	nd	nd	24,0
2 - MS	CAM-004/84-S	8,20	187	105	84,8	1,2	4,2	22,1	7,2	80	0	0,5	nd	13,8
3 - MS	COR-FSESP	7,14	94	65	32,0	0,4	12,5	9,7	1,9	35	0	nd	nd	23,0
4 - MS	CGR-044/81-S	7,38	89	96	38,0	2,5	0,5	11,6	2,2	42	0	0,5	nd	38,0
5 - MS	SID-006/81-S	7,58	95,6	101	41,7	3,8	0,6	12,1	2,8	48	0	0,5	nd	42,0
6 - MS	MAR-004	8,06	160	105	66,9	3,3	1,5	21,2	3,4	75	0	0,5	nd	30,0
7 - MS	AMA-017/82-S	7,14	23	32	10,4	0,5	0,4	2,4	1,1	8	0	0,5	nd	14,4
8 - MS	DO-019/82-S	8,36	196	119	53,6	13,0	1,4	18,8	1,6	83	1	0,5	nd	22,0
9 - MS	CAS-LAT/82	6,00	39	49	14,4	0,4	5,2	4,1	1,0	15	0	nd	nd	21,0
10 - MS	CAS-001	6,00	37	43	10,8	0,6	6,4	3,5	0,5	13	0	nd	nd	20,0
1 - GO		8,00	145	98	44,9	17,5	2,3	16,5	0,9	75	0	0,5	nd	26

Tabela 3 - Análises Físico - Químicas das Águas Subterrâneas - Determinações de Laboratório.

n.º de ordem	código de origem	município	data de coleta	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ x SMOW	$\delta^2\text{H}(\text{‰})$ x SMOW	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ x PDB	$\%^{14}\text{C}_{\text{moderno}}$ x NBS	$^3\text{H}$ (UT)	idade aparente (anos)
1 - SP	119/11	Guariba	10/12/84	-9,6	-67	-13,5	*	-	
2 - SP	98/11	Monte Alto	11/12/84	-9,8	-65	-11,1	*	-	
3 - SP	135/28	Lins	12/12/84	-8,1	-56	- 5,9	*	-	
4 - SP	212/156	Bauru	12/12/84	-8,7	-60	-11,8	*	-	
5 - SP	31/36	Jales	15/05/85	-8,3	-59	- 6,0	*	-	
6 - SP	90/sn9	Araçatuba	18/05/85	-8,9	-63	- 8,3	-	-	
7 - SP	90/sn9	Araçatuba	18/05/85	-8,6	-59	- 8,5	*	-	
8 - SP	74/216	S. José Rio Preto	19/05/85	-8,9	-61	- 8,3	*	-	
9 - SP	166/48	Araraquara	29/05/85	-7,4	-49	*	-	*	
1 - MS	ANA-006/ 80-S	Dois Irmãos	20/03/85	-6,3	-39	-	-	-	-
2 - MS	CAM-004/ 84-S	Camapuã	21/03/85	-8,6	-58	-11,6	*	-	*
3 - MS	COR-FSESP	Corguinho	22/03/85	-6,3	-37	-17,7	*	-	*
4 - MS	CCR-044/ 81-S	Campo Grande	22/03/85	-6,3	-37	-18,6	*	-	*
5 - MS	SID-006/ 81-S	Sidrolândia	23/03/85	-6,2	-40	-13,1	*	-	*
6 - MS	MAR-004	Maracaju	23/03/85	-5,7	-32	-	-	-	-
7 - MS	ANA-017/ 82-S	Amambai	24/03/85	-6,2	-36	-16,4	*	-	*
8 - MS	DO-019/ 82-S	Dourados	24/03/85	-6,8	-42	-12,1	*	-	-
9 - MS	CAS-LAT/ 82	Cassilândia	16/05/85	-6,6	-45	-20,4	-	-	-
10 - MS	CAS-001	Cassilândia	16/05/85	-6,9	-47	-20,6	*	-	**
1 - GO		Itaja	16/05/85	-8,2	-56	-10,9	*	-	

\* Aguardando resultados.

Tabela 4 - Oxigênio-18, Deutério, Carbono-13, Carbono-14 e Trítio nas Águas Subterrâneas.

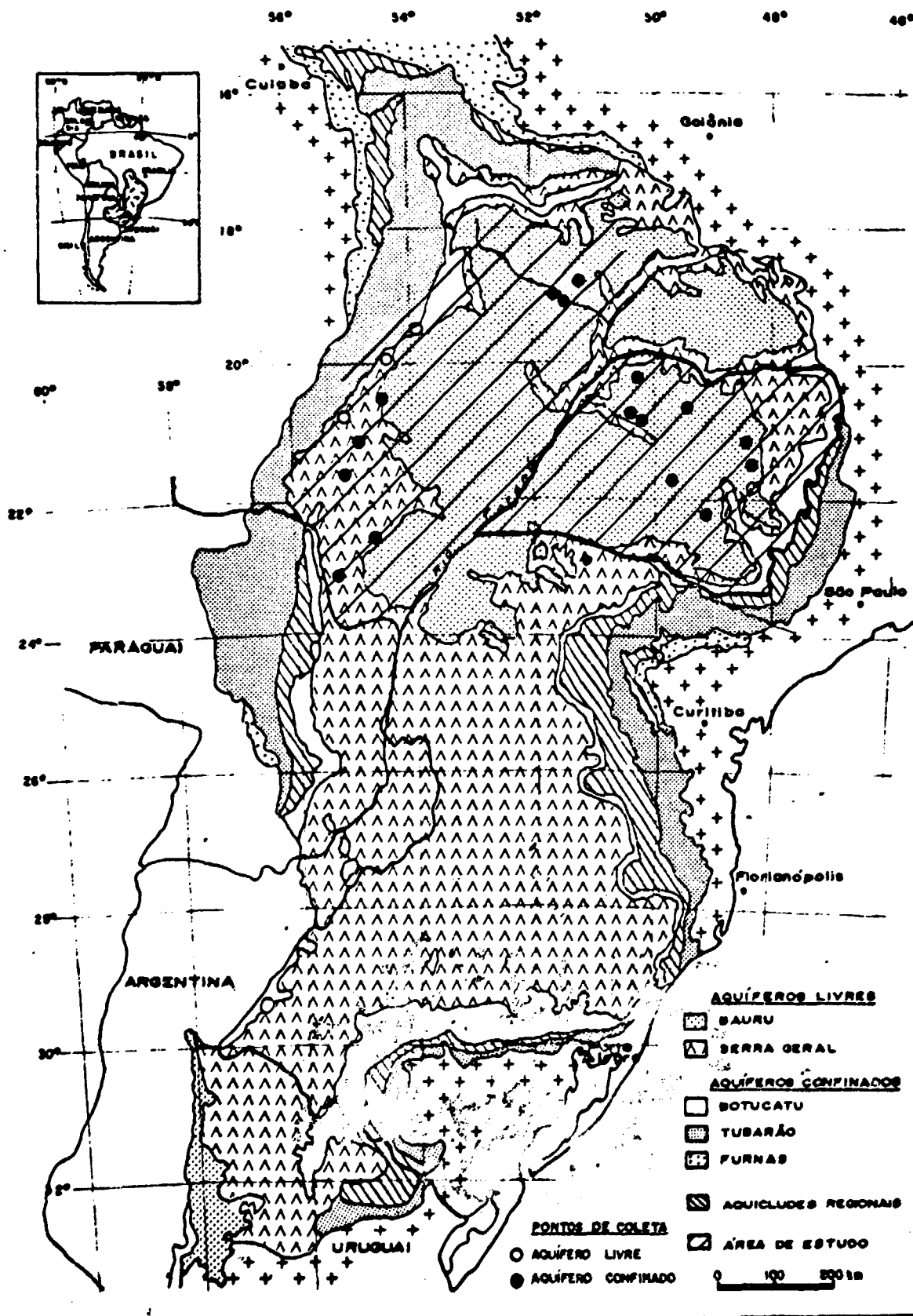


Figura 1 - Localização da área de estudo e dos poços amostrados.

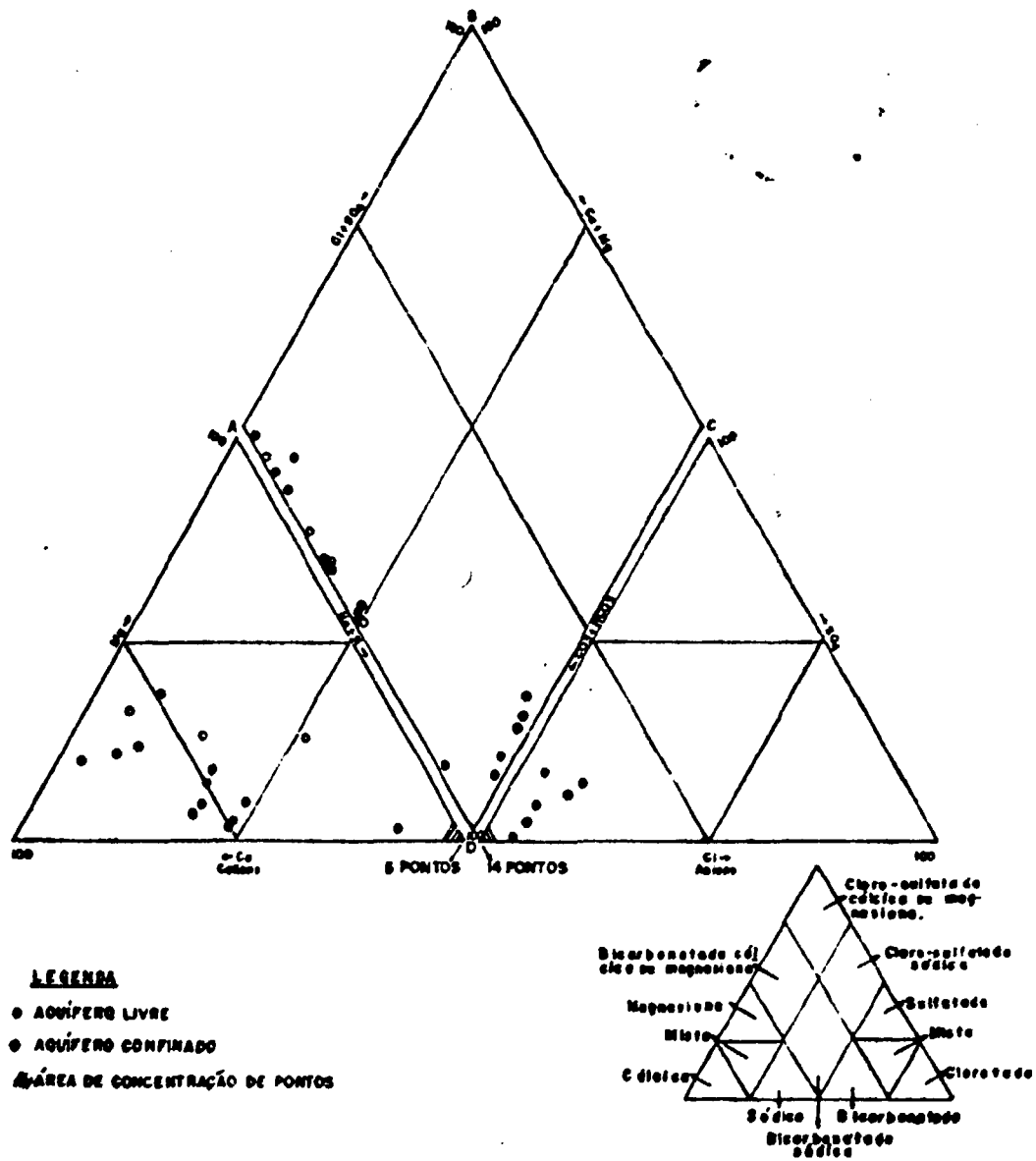


Figura 2 - Distribuição dos dados hidroquímicos no diagrama de Piper, teores em % de meq/l.

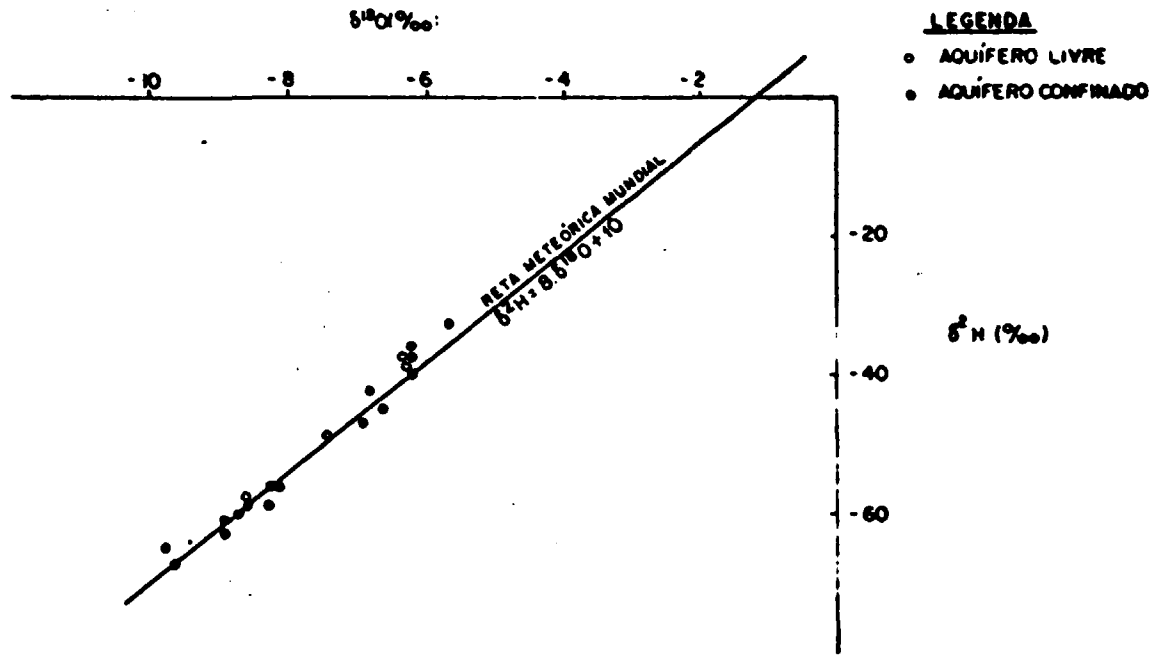


Figura 3 - Variação da composição dos isótopos oxigênio-18 e deutério nas águas subterrâneas.

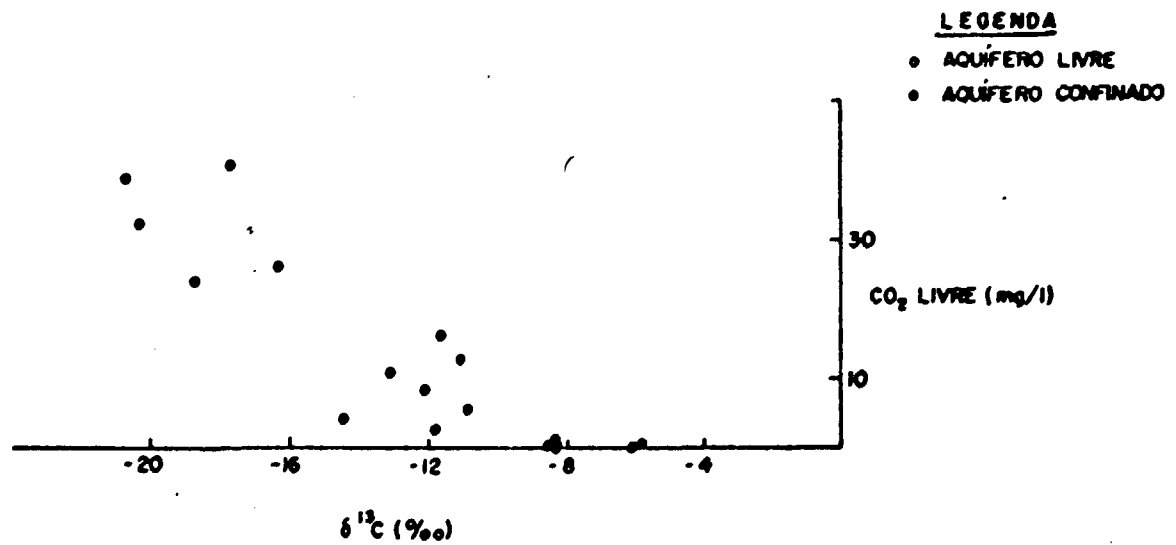


Figura 4 - Comparação entre os teores do isótopo carbono-13 e o  $CO_2$  livre das águas subterrâneas