

HIDROGEOQUÍMICA DO AQÜÍFERO CAIUÁ NO ESTADO DO PARANÁ

HYDROGEOCHEMISTRY OF THE CAIUÁ AQUIFER IN THE PARANÁ STATE

André Celligoi¹

Uriel Duarte²

RESUMO

A água subterrânea, na região noroeste do Paraná, tem sido aproveitada como fonte de abastecimento de municípios, indústrias e propriedades particulares, fazendo-se necessária uma avaliação das condições da qualidade da água do Aquífero Caiuá, neste estado. Poços foram cadastrados com a finalidade da obtenção das características químicas essenciais dessas águas e para ter uma visão sucinta de tais feições em mapas de tendências. Por meio do diagrama de Piper, as águas foram classificadas como bicarbonatadas cálcicas ou mistas, coadunando-se com a tipologia química para águas deste Aquífero na Bacia do Paraná. Os valores dos íons demonstraram que elas são, geralmente, menos mineralizadas que as dos basaltos da Formação Serra Geral, variando os parâmetros químicos muitas vezes em função da variação da litologia e da sua distribuição espacial acima do substrato basáltico.

Palavras-chave: Aquífero Caiuá, hidroquímica, Paraná.

EXTENDED ABSTRACT

The groundwater from the northwestern region of the Paraná state, collected by tubular wells has been used as water supply to many cities (figura 1). So it is necessary to evaluate the groundwater quality from the Caiuá aquifer in this State (figura 2). A survey of 168 tubular wells of the northwestern region of Paraná state was carried out in order to determine the main chemical characteristics of these waters with the objective of relating the trend of the chemical conditions of this aquifer. By means of the Piper diagram with the waters of the Caiuá aquifer, the bicarbonated-calcic and calcic-magnesian characteristics were maintained, with a relatively diffuse distribution (figura 3). This composition, in great part less mineralized than the basalts of Serra Geral formation, agrees with the chemical typology for waters of this aquifer in the Paraná Basin (figura 4). Map of plotted wells with Stiff diagrams (figura 5) shows the chemical composition ranges and suggests a compatible relationship to the geologic features. Figures 6 to 16 show the distribution of the amounts of Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, NO₂⁻, SO₃²⁻, silica, pH and TDS, respectively.

Key-words: Caiuá Aquifer, Hydrochemistry, Paraná.

¹ Professor Adjunto do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina – Caixa Postal 6001, CEP: 86051-900, Londrina-PR. Fone: (043) 371-4246, Fax: (043) 371-4216. celligoi@uel.br

² Professor Titular do Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – Caixa Postal 11348, CEP 05422-970, São Paulo-SP. Fone: (011) 818-4226, Fax: (011) 818-4207.

INTRODUÇÃO

A área em estudo encontra-se localizada nas regiões norte e noroeste do Paraná, onde afloram as rochas sedimentares do Grupo Caiuá, estando deli-

mitada pelos rios Paraná, Paranapanema e Piquiri, respectivamente a oeste, norte e sul e pelo limite de ocorrência do Grupo acima a leste, perfazendo cerca de 24.000 km² (figura 1).

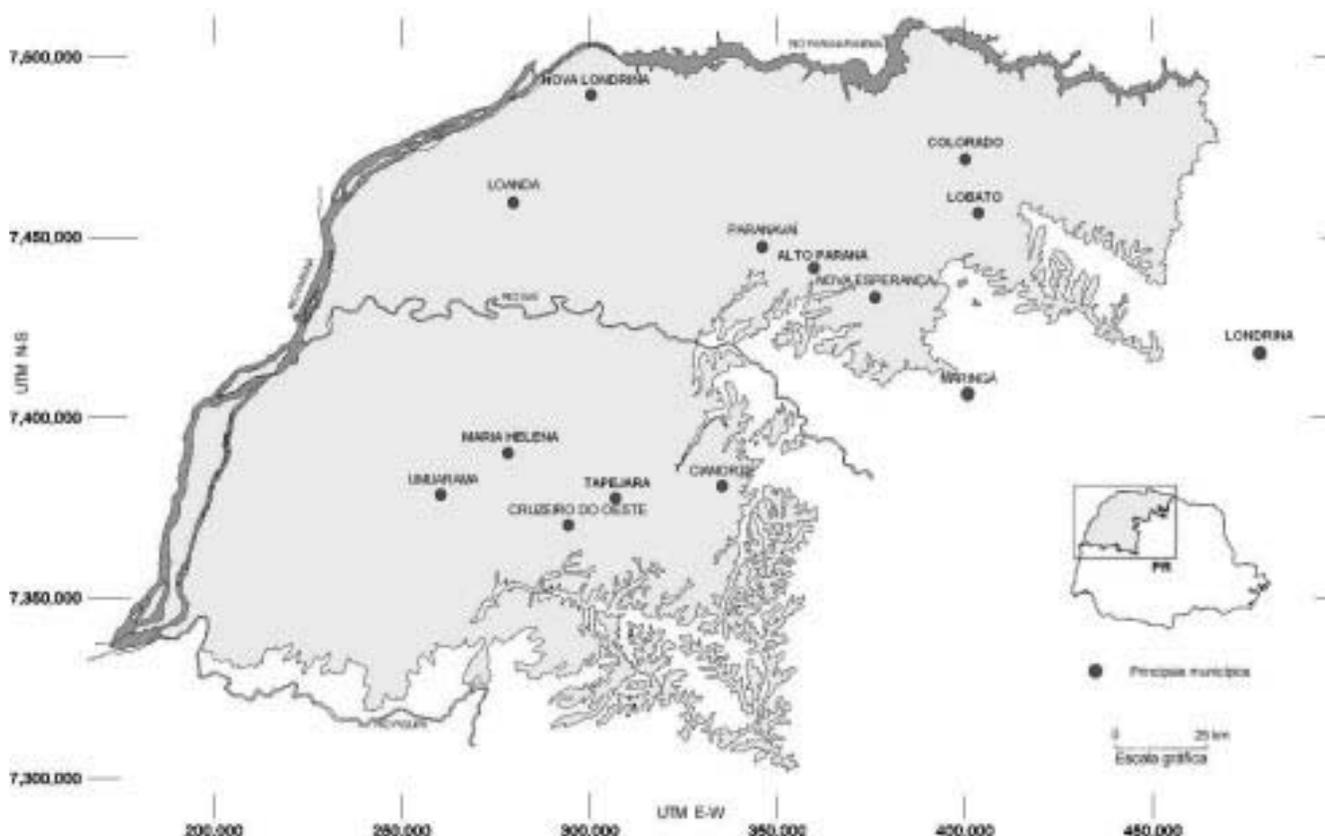


Figura 1: Mapa de situação da área (adaptado de Celligoi, 2000). *Situational map of the area (after Celligoi, 2000)*

O desenvolvimento econômico, populacional e agroindustrial desencadeou uma demanda progressiva de água para o consumo doméstico e industrial e, acima de tudo, para o abastecimento público dos municípios inseridos nesse contexto. Dessa forma, a água subterrânea nessa região, durante os últimos anos, tem sido utilizada como fonte de abastecimento de municípios, indústrias e propriedades particulares. Assim, se faz necessária uma avaliação das condições da qualidade dessa água nas rochas do Aquífero Caiuá no estado do Paraná, tendo em vista o fornecimento de subsídios para o uso e ocupação do solo nessa região.

CONTEXTO GEOLÓGICO

O contexto geológico da área de estudo está inserido, segundo Fernandes & Coimbra (1994), na cobertura suprabasáltica neocretácea da Bacia Sedimentar do Paraná, na qual encontra-se o Grupo Caiuá e a Formação Adamantina, referida ao Grupo Bauru.

O Grupo Caiuá possui características litológicas, relações estratigráficas e distribuição geográfica de associações faciológicas identificadas no noroeste do Paraná e extremo oeste de São Paulo, que permitiram sua divisão em três formações distintas: Formação Goio-Erê, Formação Rio Paraná e Formação Santo Anastácio.

A Formação Goio-Erê é constituída de arenitos quartzosos freqüentemente subarcoseanos, marrom-avermelhados a cinza-arroxeados, de granulação fina a muito fina, ocasionalmente média. Dispõem-se em estratos tabulares de poucos metros de espessura com estratificação cruzada, intercalados com bancos de espessura métrica a decimétrica, de aspecto maciço ou de estratificação subhorizontal mal definida (Fernandes et al. 1994). Esta formação tem contato transicional com a Formação Rio Paraná, contatos erosivos com a Formação Serra Geral na base e com depósitos arenosos cenozóicos no topo.

A Formação Rio Paraná constitui-se basicamente de arenitos marrom-avermelhados e arroxeados, finos a médios, quartzosos, secundariamente arcoseanos. Exibe notável estratificação cruzada de médio a grande porte, tangencial na base.

A Formação Santo Anastácio, embora de ocorrência restrita no Paraná, é constituída de arenitos finos a muito finos, quartzosos, caracteristicamente maciços. São pobremente selecionados, com pequena quantidade de matriz siltico-argilosa. Apresenta contatos transicionais com as Formações Rio Paraná e Adamantina.

Já a Formação Adamantina, de ocorrência muito restrita na área, é formada por arenito fino a muito fino, alternado por bancos de lamitos e siltitos.

HIDROGEOLOGIA

O Aquífero Caiuá consiste em um meio poroso constituído geologicamente pelas rochas sedimentares cretáceas pós-basálticas da Bacia Sedimentar do Paraná. *No estado do Paraná são referidas ao Grupo Caiuá, e, mais especificamente, à Formação Rio Paraná, cujos depósitos sedimentares alcançam espessuras da ordem de 270 metros. Essas unidades sedimentares apresentam características litológicas relativamente homogêneas, sem grandes quantidades de argilas compactas (Celligoi 2000), oferecendo condições para que o Aquífero Caiuá seja um aquífero livre.*

O pacote sedimentar suprabasáltico, principalmente no estado de São Paulo, se constitui, segundo Campos (1987), em um sistema aquífero livre por toda a sua extensão. Fernandes (1992) afirma que o Aquífero Caiuá comporta-se como livre, por sua maior homogeneidade litológica e decorrente permeabilidade.

Rocha et al. (apud Coelho 1996) subdividiram o Aquífero Bauru em duas unidades distintas: a unidade I corresponderia às formações Marília e Adamantina e seria caracterizada por um potencial explorável de médio a

baixo, com águas relativamente mais salinizadas, fortemente bicarbonatadas cálcicas e potencialmente incrustantes ou corrosivas. A unidade II corresponderia ao Grupo Caiuá, sendo caracterizada por um potencial médio a elevado, com águas apresentando teores salinos muito baixos, bicarbonatadas cálcio-magnesianas e potencialmente corrosivas.

A Formação Adamantina ocupa uma porção bastante reduzida dentro do território paranaense, com cerca de 0,2% em área, existindo uma relativa afinidade geológica entre esta e o Grupo Caiuá, tanto litológica, quanto estrutural. O Grupo Caiuá engloba, portanto, o restante dos sedimentos suprabasálticos.

Cerca de 6,3% da área aflorante são identificáveis como sedimentos aluvionares quaternários. Tais sedimentos, embora atinjam uma extensão significativa dentro da área de estudo, principalmente no terraço do Baixo Rio Ivaí, têm sua exploração com poços tubulares incipiente. Isto se deve, principalmente, às condições do relevo plano característico e ao nível freático bastante alto, fato que viabiliza em grande parte a perfuração de poços do tipo cacimba, suficientes muitas vezes para o suprimento de água das pequenas propriedades da região.

Como as formações sedimentares suprabasálticas são todas aflorantes, não existindo um confinamento geológico por formações mais jovens, exceto as de idade quaternária, serão considerados os limites atuais do Grupo Caiuá e correlatos, com a Formação Serra Geral sotoposta, como área de afloramento do Aquífero Caiuá, sendo todo ele mapeável em superfície. Dessa forma, o Aquífero Caiuá aqui considerado, consiste geologicamente nas rochas sedimentares cretáceas pós-basálticas da Bacia Sedimentar do Paraná, que incluem o Grupo Caiuá propriamente dito e mais a Formação Adamantina, pertencente ao Grupo Bauru (figura 2).

HIDROQUÍMICA

COMPOSIÇÃO QUÍMICA

De um total de 513 poços cadastrados, foram obtidos dados analíticos de 168 amostras de água e desses, somente 104 para hidroquímica, realizados pela Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – Suderhsa, alguns logo após as perfurações e outros contendo análises atualizadas a cada dois anos, conforme projeto de cadastramento geral de poços realizado pelo órgão citado.

A análise do diagrama de Piper (figura 3) com as águas do Aquífero Caiuá no Paraná, apesar de uma

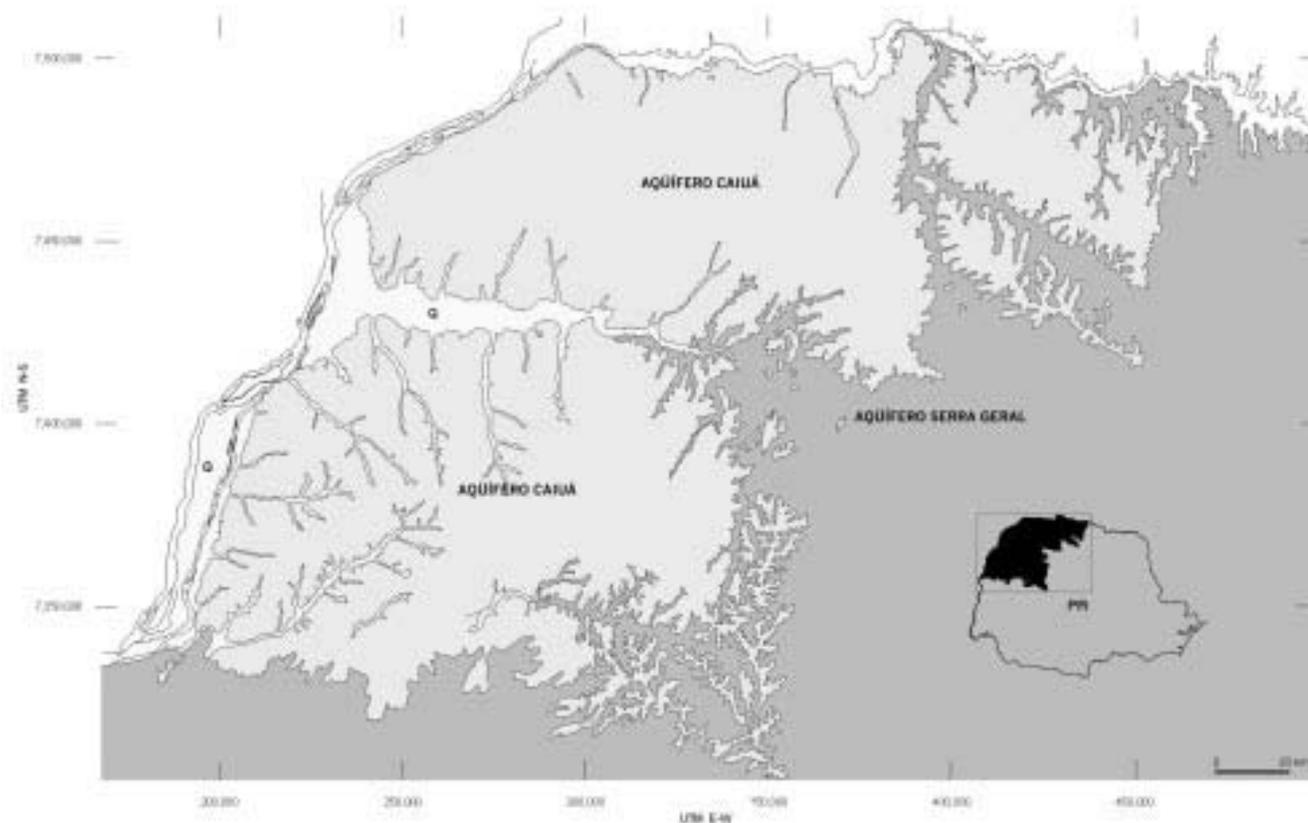


Figura 2: Mapa da ocorrência e localização do Aquífero Caiuá no estado do Paraná (adaptado de Celligoi 2000). Location map and distribution of the Caiuá aquifer in the Paraná state (after Celligoi 2000).

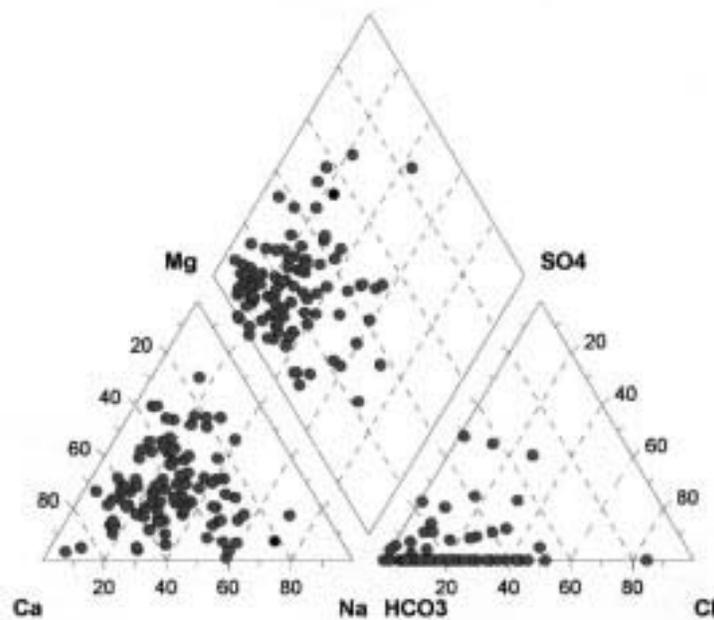


Figura 3: Composição química das águas subterrâneas do Aquífero Caiuá no Paraná. Chemical composition of groundwater of the Caiuá aquifer in the Paraná state.

distribuição relativamente difusa, sustenta o caráter bicarbonatado cálcico a cálcio-magnésiano. Raramente estão presentes os tipos sódicos. Tal composição coaduna-se relativamente com a tipologia química para águas deste Aquífero na Bacia do Paraná, mencionada por DAEE (1979).

Os dados analíticos dos poços, cujas águas têm contribuições dos basaltos, estão também inseridos no

contexto químico geral das águas do Aquífero Caiuá no Paraná e também concordam com a distribuição da composição química das águas dos basaltos da Formação Serra Geral em Londrina-PR, os quais se coadunam com a tipologia química característica para este Aquífero (Celligoi & Duarte 1994) (figura 4).

O caráter bicarbonatado das águas – 13,6 mg/l em média – pode ser explicado pela presença de regiões

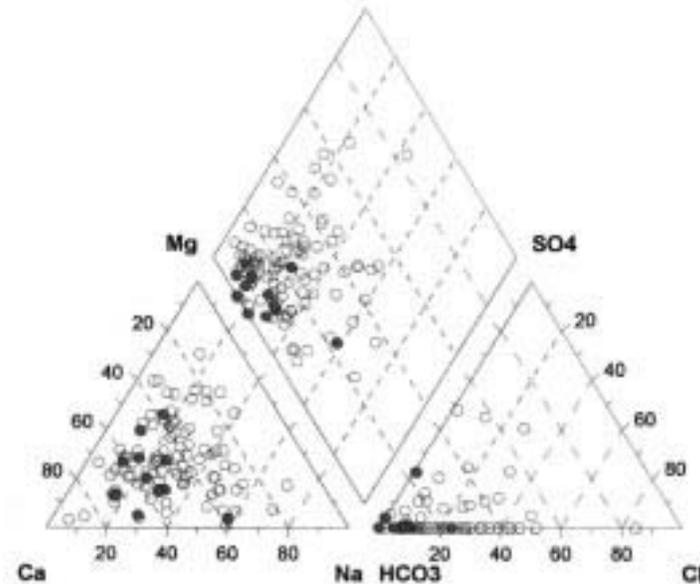


Figura 4: Águas subterrâneas do Aquífero Caiuá (pontos vazios) e águas subterrâneas com contribuição do Aquífero Serra Geral (pontos cheios). *Groundwaters from the Caiuá aquifer (empty dots) and groundwaters with contribution of Serra Geral formation (dashed dots).*

com relativa densidade de vegetação nas áreas de recarga, por meio da dissociação iônica do ácido carbônico, o qual é formado com a produção de CO₂ atmosférico e do solo, bem como pela hidrólise dos minerais cálcio-silicáticos.

O teor relativamente reduzido de sílica dissolvida nessas águas (18,6 mg/l, em média), é um fator que confirma a proveniência típica de águas de arenitos, com pouco tempo de residência, uma vez que neste tipo de rocha a sílica praticamente se encontra de forma livre nos minerais essenciais silicáticos, como o quartzo e

acessórios, sendo muito menos solúvel do que na forma de sílica combinada.

Para se tentar individualizar melhor as características químicas e físico-químicas do Aquífero Caiuá no estado do Paraná, foram comparados os dados químicos de águas obtidas em poços perfurados nestas rochas com dados de poços ocorrentes nas rochas basálticas da Formação Serra Geral na região de Londrina, a cerca de 50 km do contato entre as formações, onde o Aquífero Serra Geral é aflorante, com pouca contribuição de águas vindas das rochas do Grupo Caiuá (tabela 2).

Tabela 2: Dados químicos médios dos Aquíferos Caiuá e Serra Geral. *Average contents of the Caiuá and Serra Geral aquifers.*

	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₃ ²⁻	NO ₂ ⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₂	STD	pH
Serra Geral	76.1	11.3	0.6	5.9	15.2	2.8	4.3	76.1	37.6	212	6.7
Caiuá	13.6	3.2	2.5	1.2	1.8	1.3	1.1	13.6	18.6	75	6.6

Valores em mg/l (exceto pH). *Values in mg/L (except pH).*
 FONTE: Celligoi & Duarte (1994)

Os conteúdos médios dos íons principais demonstram que as águas provenientes do Aquífero Caiuá no Paraná são, normalmente, menos mineralizadas que as dos basaltos da Formação Serra Geral em Londrina e das rochas ígneas da Bacia do Paraná em geral. Este fato concorda com Coelho (1996), que afirma serem as águas subterrâneas do sistema Aquífero Bauru fracamente mineralizadas.

Esses valores, aliados às suas distribuições nos diagramas de Stiff, conotam qualidades diferentes de águas para os dois aquíferos. Tal comparação justifica-se, uma vez que os dois aquíferos são sistemas verticalmente contínuos e com características semelhantes de aquíferos predominantemente livres, não obstante o fato de o Aquífero Serra Geral ser constituído principalmente por uma seqüência de derrames vulcânicos.

DISTRIBUIÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

O tratamento estatístico dos dados de análises químicas das águas dos poços possibilitou realizar um zoneamento hidroquímico na área aflorante do Aquífero Caiuá. A distribuição espacial dos poços é relativamente homogênea, entretanto existem áreas em que as concentrações dos poços são maiores ou menores que a média geral, de cerca de um poço a cada 130 km². A análise dos dados foi estimada por meio de superfícies de tendência, em virtude da grande extensão da área de estudo (cerca de 25.000 km²).

A análise dos diagramas de Stiff a seguir (figura 5) nos pontos plotados sobre o Grupo Caiuá no Paraná sugere um relacionamento compatível com a natureza geológica e sua distribuição espacial.

Nas porções centrais do Grupo Caiuá, onde a espessura saturada é maior, verifica-se que as concentrações salinas, em meq/l, dos cátions e ânions maiores são inferiores às dos poços das porções de borda das rochas sedimentares, mesmo que estas não tenham suas águas "misturadas" com as das zonas aquíferas da Formação Serra Geral. Nestas, que encontram-se em cinza na figura 5, as concentrações dos íons são visivelmente maiores que os do Aquífero Caiuá, embora, com proporções semelhantes entre elas, mantendo-se o caráter bicarbonatado cálcico em quase todas as amostras plotadas.

Verifica-se também, que embora as concentrações iônicas não sejam homogêneas ao longo do Aquífero, a composição bicarbonatada cálcica é uma constante em praticamente a maioria dos poços. Dos poços plotados, somente quatro apresentam um padrão diferente: dois

tipos magnesianos, nas regiões de Colorado e Tapejara, e dois tipos sódicos, nas regiões de Lobato e Alto Paraná.

Sódio - este íon está presente com média de 3,2 mg/l, com valores entre 0,1 e 11,7 mg/l. Sua distribuição mostra um padrão mais ou menos uniforme, com algumas anomalias com valores mais altos, próximos à borda nordeste do contato com a Formação Serra Geral e os mais baixos, na porção sul da área (figura 6).

Cálcio - os teores situam-se até 28,9 mg/l, com média de 5,3 mg/l. Sua distribuição sugere maiores valores na borda leste da área, junto ao rio Paraná e na porção sul, com menores valores na calha central do aquífero, onde as espessuras saturadas são maiores (figura 7).

Magnésio - este íon está presente com média de 1,2 mg/l, com valores até 7,7 mg/l. É notável uma forte tendência de aumento de concentração na região de Cruzeiro do Oeste e arredores, e os teores mais baixos na região norte da área, que inclui áreas próximas a Loanda e Nova Londrina (figura 8).

Potássio - presente com média de 3,3 mg/l e máximo de 8,7 mg/l, sua distribuição é relativamente uniforme, diminuindo os teores próximo à calha do Rio Paraná e na porção norte (figura 9).

Cloreto - sua distribuição é bastante uniforme, com teores baixos, aumentando ligeiramente para NE e NW com uma tendência regional. Sua média é de 1,8 mg/l, com um valor anômalo de 16,0 mg/l na região de Colorado (figura 10).

Bicarbonato - seus valores variam desde 2,0 até 175,0 mg/l, com média de 13,6 mg/l. Suas curvas de distribuição evidenciam menores valores na porção central da área, concordando aproximadamente com as regiões mais espessas do aquífero (figura 11).

Nitrato - os teores apresentam média de 1,1 mg/l, com valores máximos de até 10,3 mg/l na região de Maria Helena. Entretanto, 80% dos poços têm valores entre N.D. e 1,0 mg/l. Sua distribuição aumenta ligeiramente para o centro da área e diminui acentuadamente na porção norte, com valores tendendo a zero (figura 12).

Sulfato - seus teores médios são de 1,3 mg/l e bastante baixos, entretanto em alguns poços os teores chegam a 5,0 mg/l na porção nordeste da área (figura 13).

Sílica - suas curvas de distribuição mostradas na figura demonstram uma relativa uniformidade e uma tendência de aumento das concentrações na porção centro-sul, coincidindo com as regiões da maior deposição de sedimentos e de maior espessura saturada do Aquífero Caiuá no Paraná. Seus teores médios são de 37,6 mg/l (figura 14).

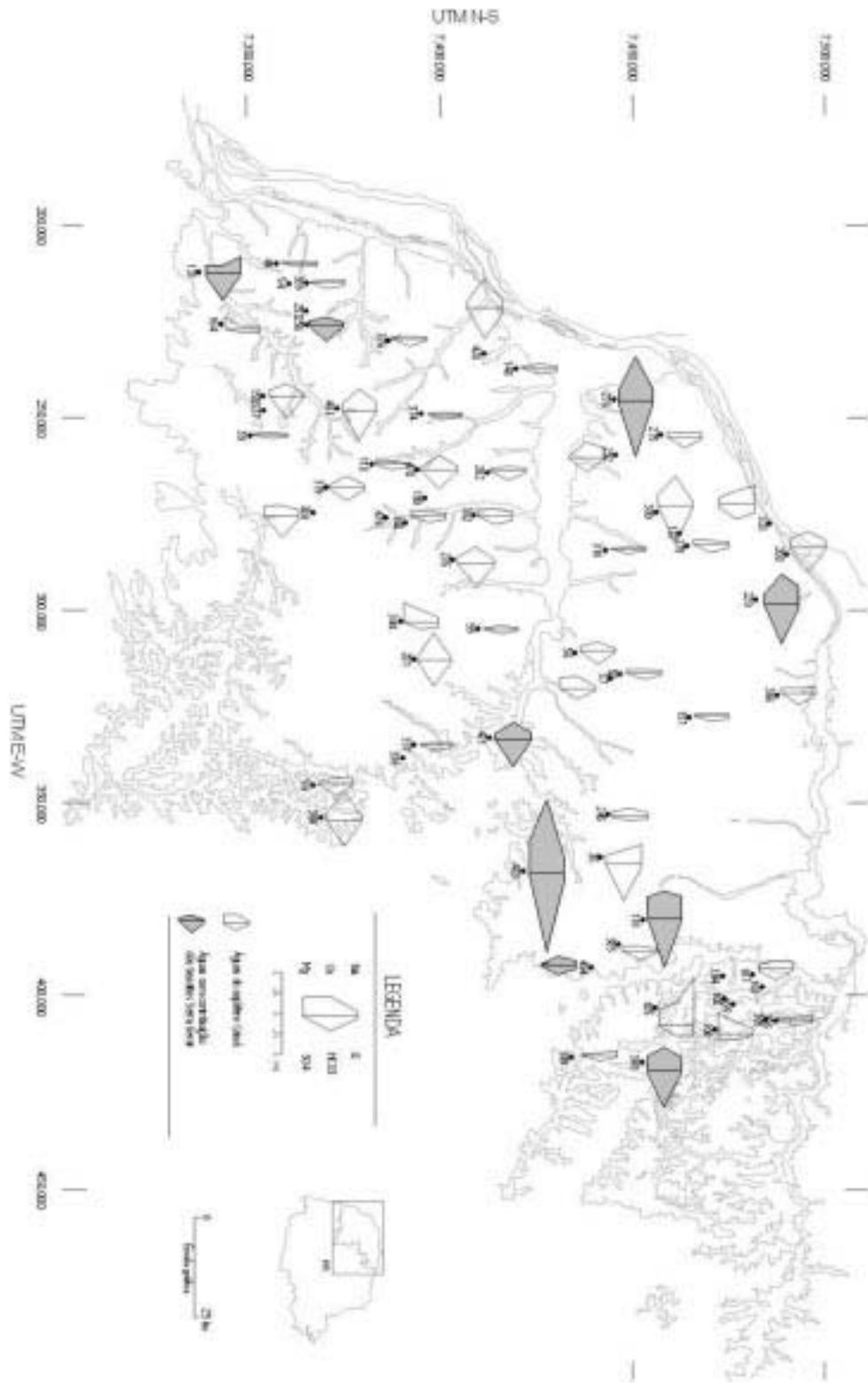


Figura 5: Mapa de poços plotados com diagramas de Stiff evidenciando as variações das composições químicas. Map of plotted wells with Stiff diagrams showing the chemical composition ranges.

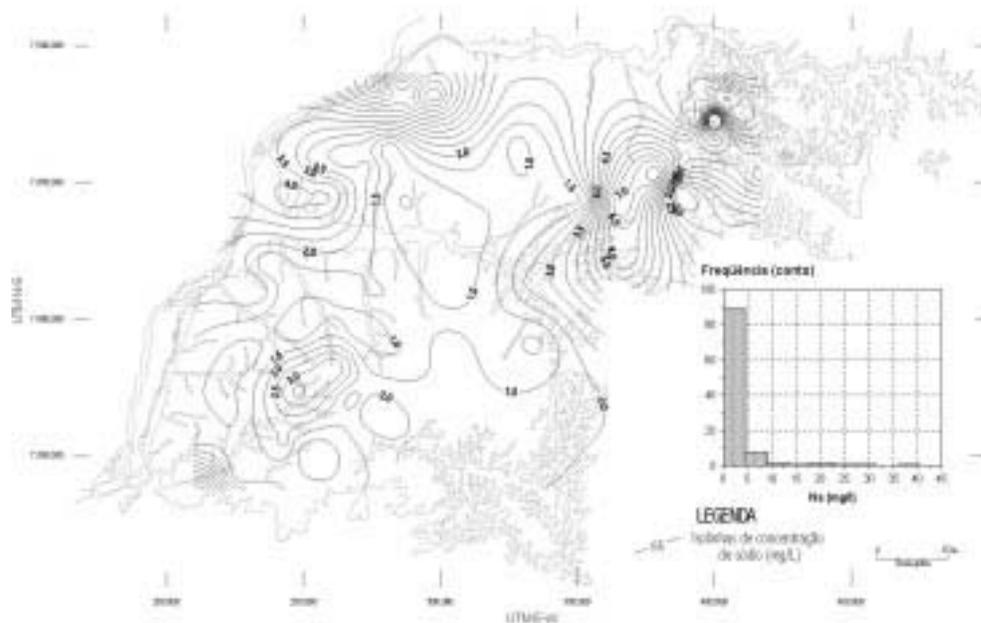


Figura 6: Isolinhas de distribuição dos teores de Na⁺. *Distribution of the amount of Na⁺.*

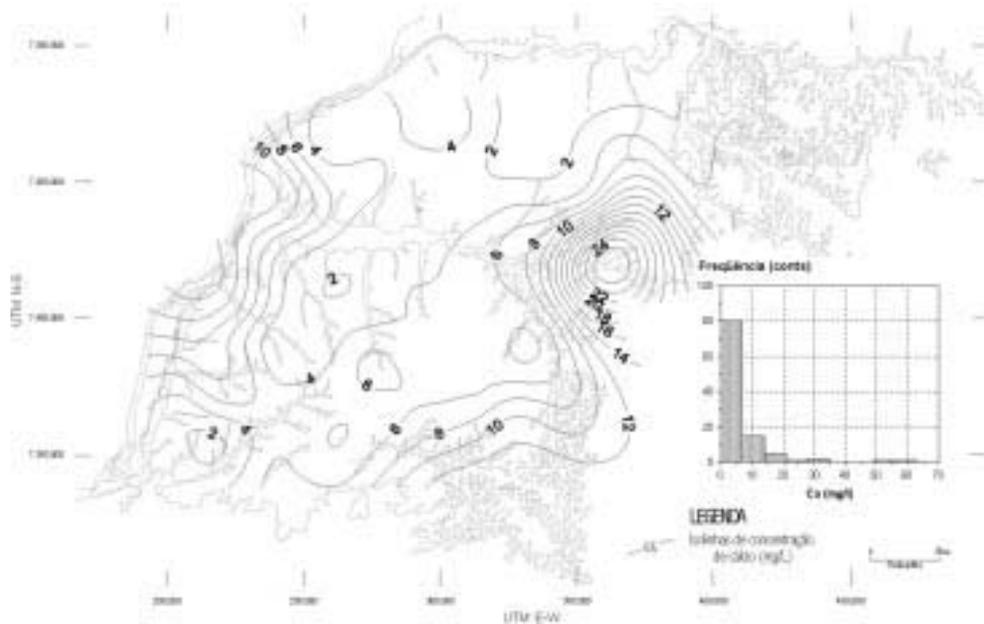


Figura 7: Isolinhas de distribuição dos teores de Ca²⁺. *Distribution of the amount of Ca²⁺.*

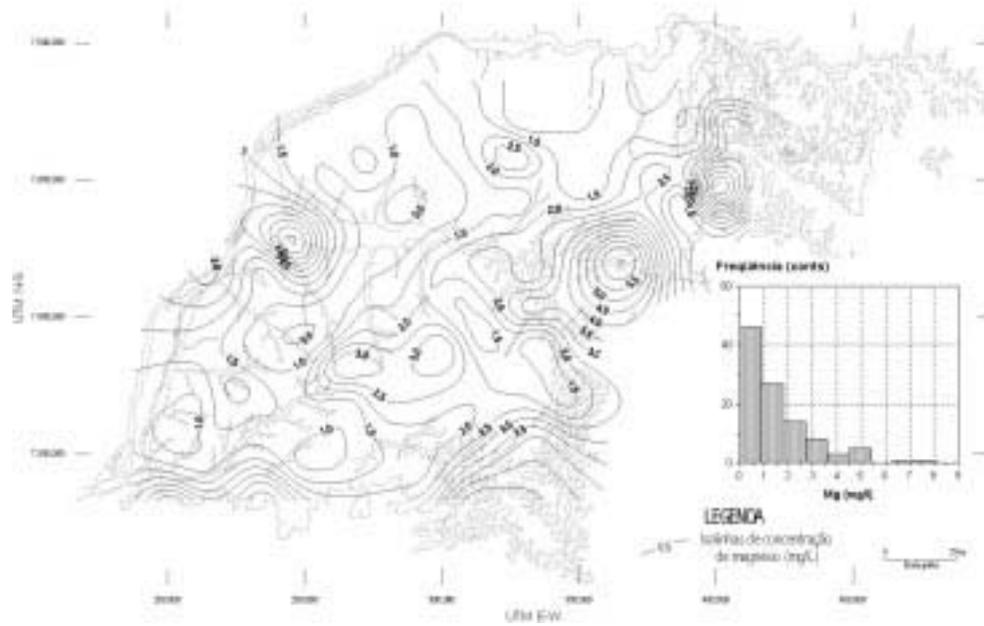


Figura 8: Isolinhas de distribuição dos teores de Mg²⁺. *Distribution of the amount of Mg²⁺.*

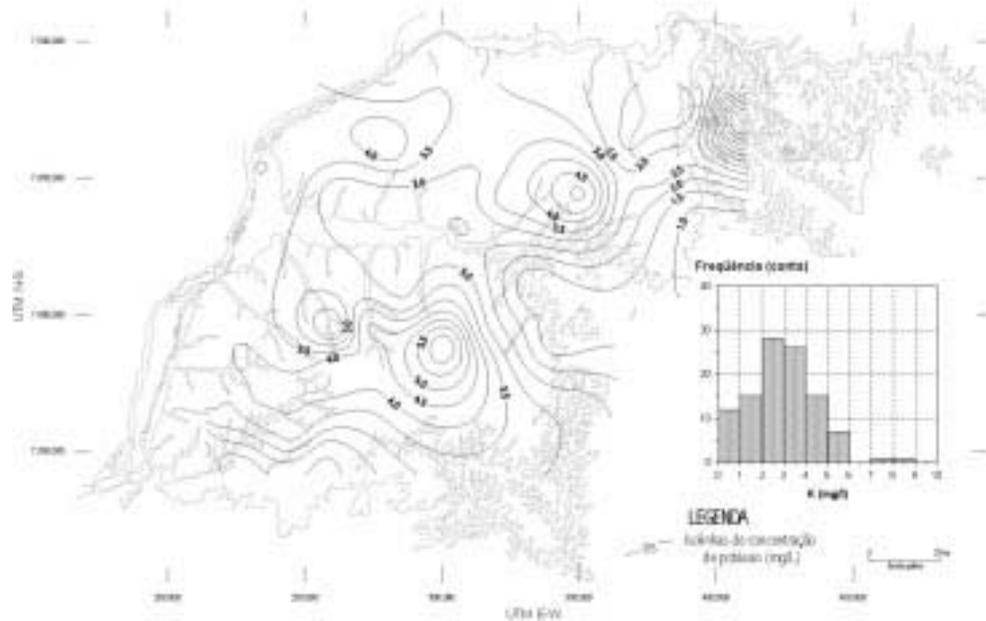


Figura 9: Isolinhas de distribuição dos teores de K⁺. *Distribution of the amount of K⁺.*

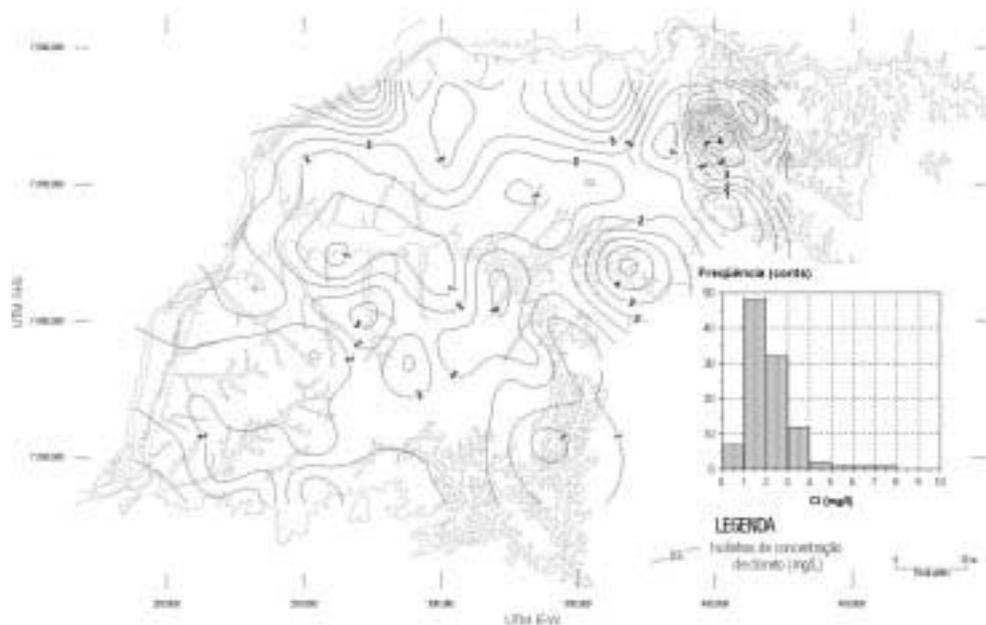


Figura 10: Isolinhas de distribuição dos teores de Cl⁻. *Distribution of the amount of Cl⁻.*

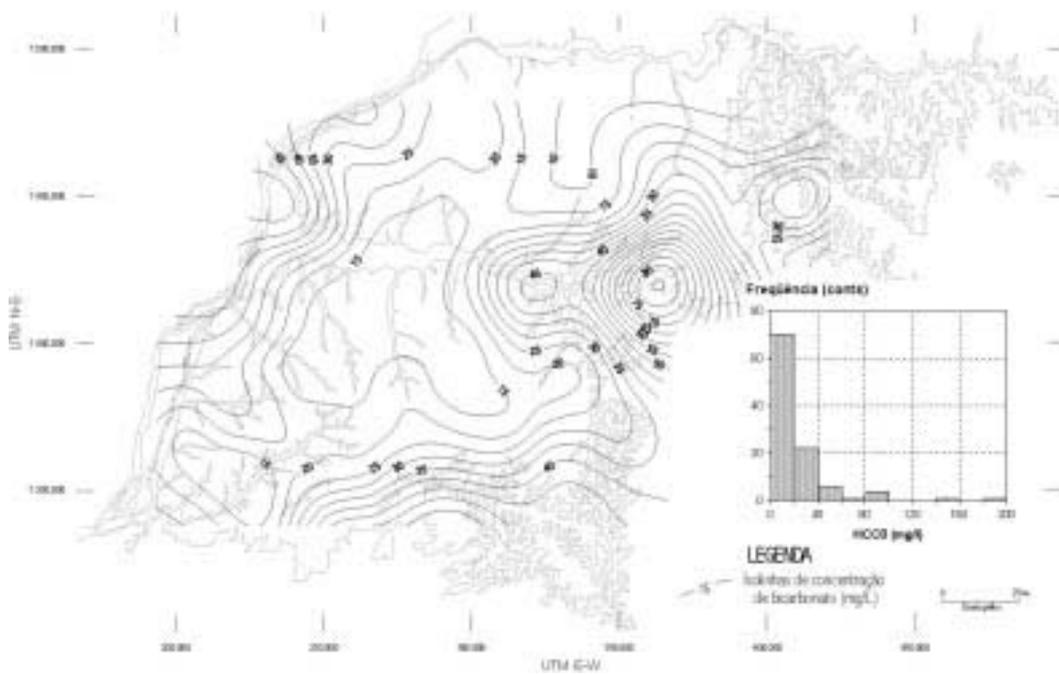


Figura 11: Isolinhas de distribuição dos teores de HCO₃⁻. *Distribution of the amount of HCO₃⁻.*

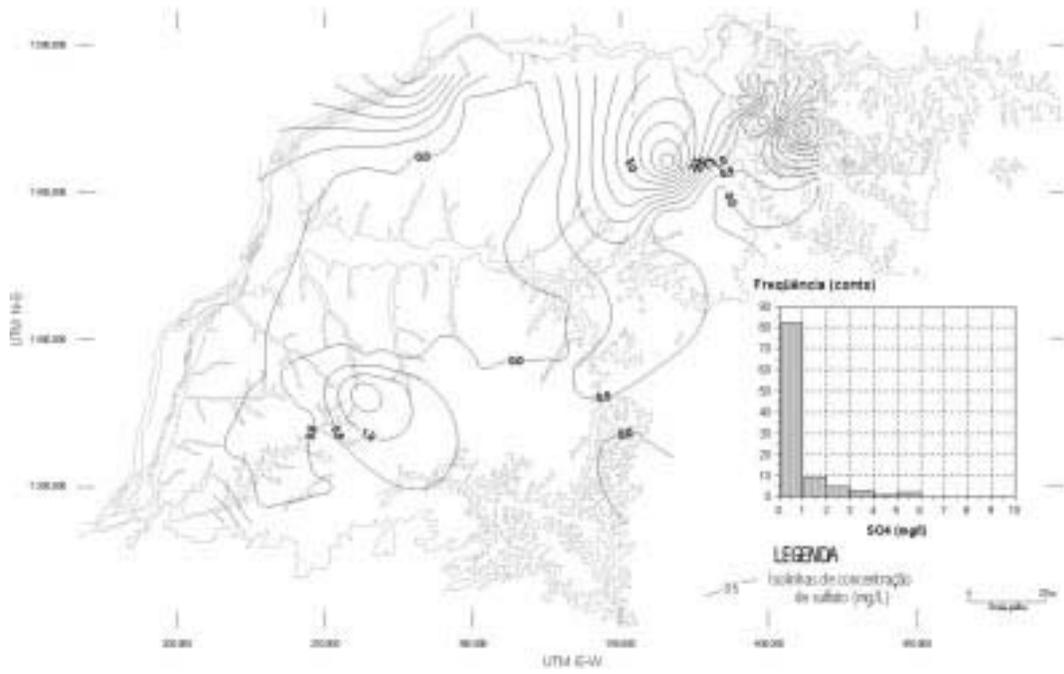


Figura 12: Isolinhas de distribuição dos teores de NO_2^- . *Distribution of the amount of NO_2^- .*

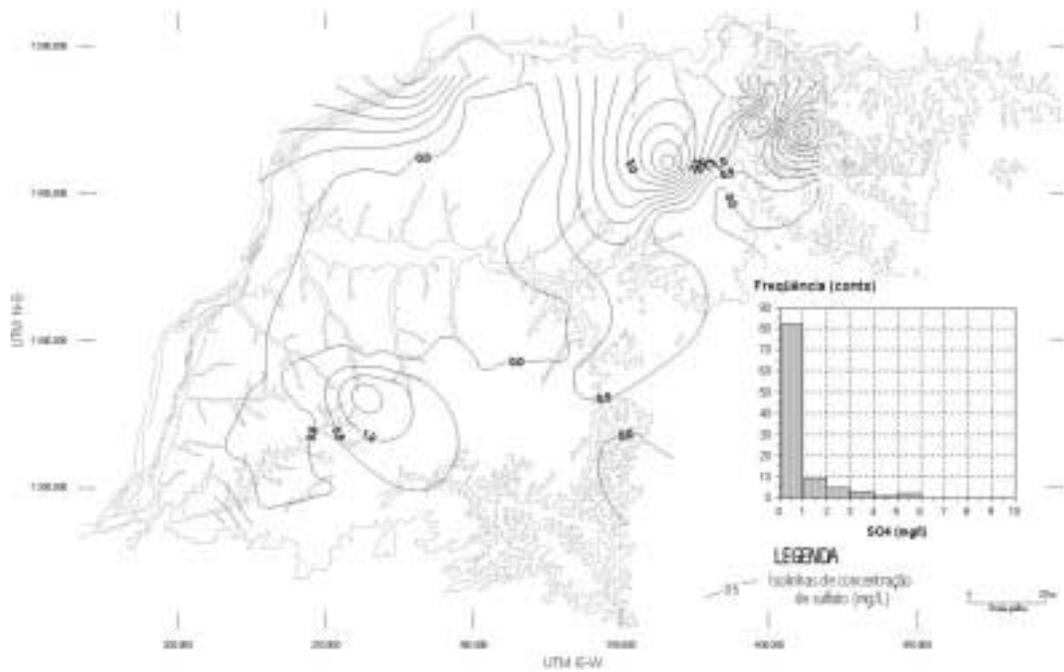


Figura 13: Isolinhas de distribuição dos teores de SO_3^{2-} . *Distribution of the amount of SO_3^{2-} .*

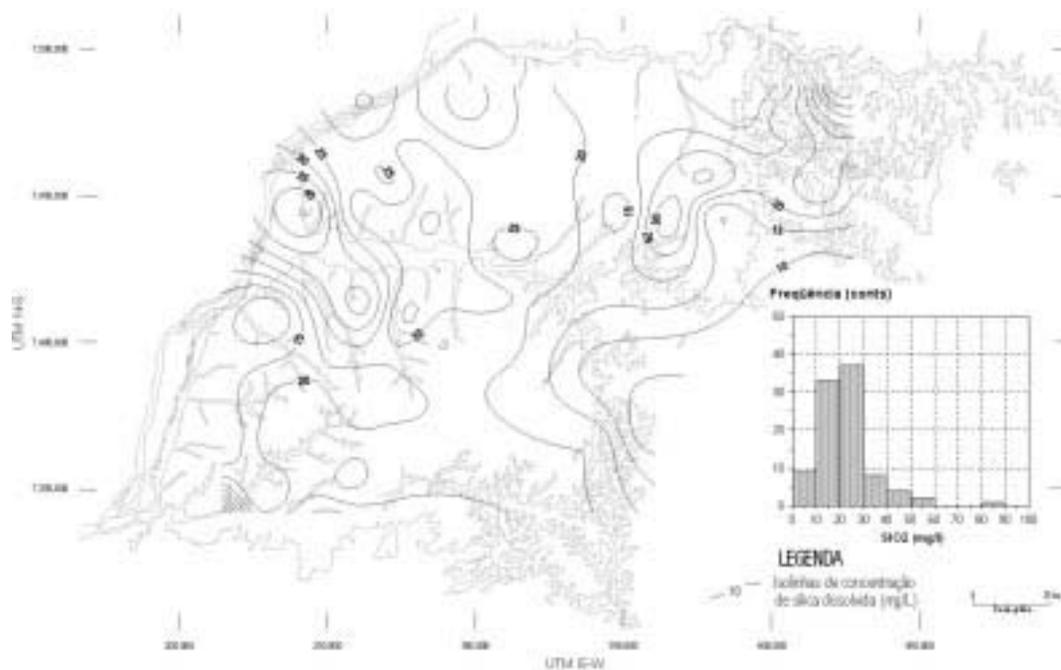


Figura 14: Isolinhas de distribuição dos teores de sílica. *Distribution of the amount of silica.*

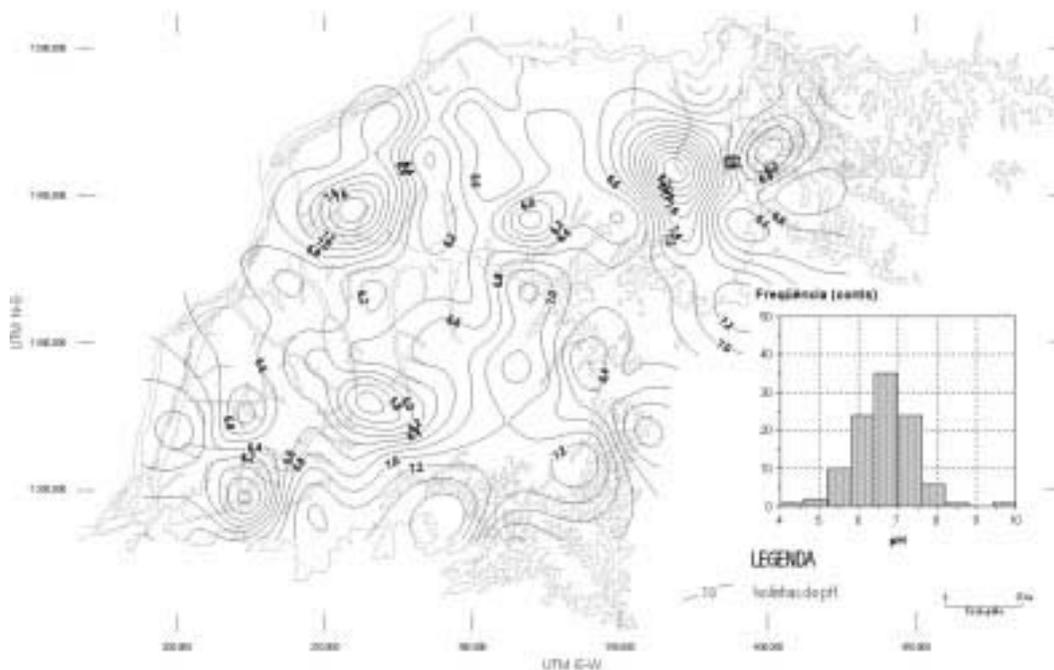


Figura 15: Isolinhas de distribuição do pH. *Distribution of the pH.*

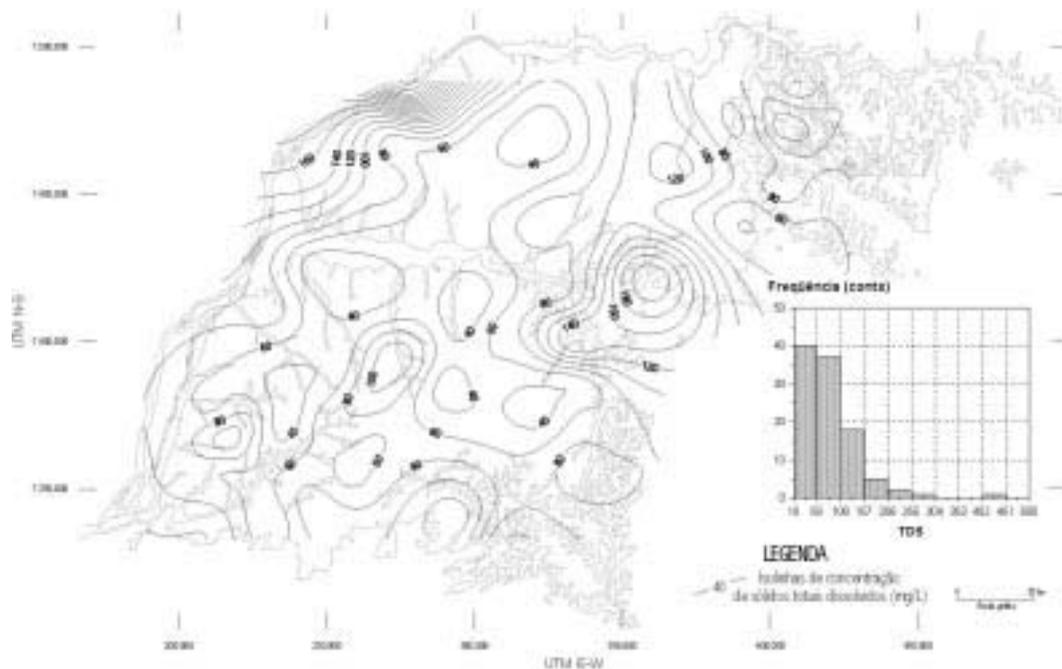


Figura 16: Isolinhas de distribuição dos valores de sólidos totais dissolvidos. *Distribution of the amount of total dissolved solids.*

pH - o pH médio para estas águas é de 6,7. Existem, entretanto, valores extremamente baixos (4,5 na porção extremo sudoeste) e altos (9,4 na região noroeste da área de estudo) (figura 15).

STD - este parâmetro apresenta seus maiores valores na borda nordeste, próximo ao contato com a Formação Serra Geral e na porção noroeste, junto à calha do rio Paraná. Essa distribuição evidencia sobremaneira a diferença entre as águas do Caiuá, com 75,4 mg/l em média, e as dos basaltos adjacentes, os quais têm em média 212,0 mg/l (figura 16).

POTABILIDADE

Através de análises bacteriológicas e de potabilidade obtidas na Suderhsa, bem como dos índices de saturação calculados, as águas subterrâneas do Aquífero Caiuá no Paraná são classificadas como ligeiramente corrosivas, porém de boa qualidade para o consumo humano e industrial.

Segundo os valores do *SAR*, as águas se classificam como boas para a irrigação das áreas cultivadas, havendo poucas restrições quanto ao tipo de cultura a ser desenvolvida. Este parâmetro é de grande importância para a região, considerando-se a vocação intensamente agrícola de todo o Norte e Noroeste do Paraná.

CONCLUSÕES

O Aquífero Caiuá constitui-se em um sistema aquífero poroso livre em toda a sua extensão, em virtude de suas características intrínsecas de rochas sedimentares e da sua boa porosidade.

Os resultados das análises químicas permitem classificar as águas subterrâneas do Aquífero Caiuá no estado do Paraná como bicarbonatadas cálcicas ou cálcio-magnesianas, mais raramente sódicas. Tal composição coaduna-se relativamente com a tipologia química para águas deste aquífero.

Os valores médios dos íons principais demonstram que as águas provenientes do Aquífero Caiuá no Paraná são, geralmente, menos mineralizadas que as dos basaltos da Formação Serra Geral.

As curvas de tendência para os diferentes parâmetros químicos das águas subterrâneas nessa região demonstraram variações algumas vezes significativas de uma área para outra, muitas vezes em função da variação da litologia, como cimentação calcífera e resíduos de halita, como também da sua distribuição espacial acima do substrato basáltico.

REFERÊNCIAS

- Campos H.C.N.S. 1987. *Contribuição ao estudo hidrogeológico do Grupo Bauru no Estado de São Paulo*. São Paulo, 134 p. (Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).
- Celligoi A. 2000. *Hidrogeologia da Formação Caiuá no Estado do Paraná*. São Paulo, 95 p. (Tese de Doutorado Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).
- Celligoi A., Duarte U. 1994. Aspectos hidrogeoquímicos da Formação Serra Geral em Londrina – PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 8, Recife, 1994. *Anais...* Recife, ABAS. p. 425-433.
- Celligoi, A., Duarte, U. 1998. Considerações hidroquímicas da Formação Caiuá no Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – ABAS, 10, São Paulo, 1998. *Anais...* São Paulo, CD-ROM.
- Coelho R. O. 1996. *Estudo hidroquímico e isotópico do Aquífero Bauru, Sudoeste do Estado de São Paulo*. São Paulo. (Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de SÃO PAULO).
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (DAEE). 1979. *Estudo de águas subterrâneas - regiões administrativas 10 e 11 - Presidente Prudente e Marília*. São Paulo. v. 1. Texto. 220 p.
- Fernandes L. A. 1992. *A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema: os Grupos Bauru e Caiuá*. São Paulo, 129 p. (Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo)
- Fernandes L. A., Coimbra A. M. 1994. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. *Revista Brasileira de Geociências*, **24**: 164-176.
- MINERAIS DO PARANÁ S/A (MINEROPAR). 1989. *Mapa geológico do Estado do Paraná*, Escala 1:650.000, Curitiba.
- Stevaux J.C., Fernandez O.V.Q. 1995. Avaliação preliminar do potencial mineral da região Noroeste do Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, **43**: 119-133.

Recebido em 20 jun. 2001.

Aceito em 20 abr. 2002.