

PARÂMETROS HIDROGEOQUÍMICOS REGIONAIS DO SISTEMA AQÜÍFERO BAURU NO ESTADO DE SÃO PAULO

Marcelo Ribeiro Barison¹ & Chang Hung Kiang²

Resumo - O Sistema Aqüífero Bauru constitui uma das principais fontes de exploração de água subterrânea do Estado de São Paulo. A área de estudo limita-se ao norte pelo rio Tietê, a oeste pelo rio Paraná, a sul pelo rio Paranapanema e a leste pelos litotipos da Formação Serra Geral. Nessa região afloram arenitos cretáceos do Grupo Bauru e que são representados pelas formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília. A análise hidroquímica identificou a predominância de águas bicarbonatadas cálcicas e calco-magnesianas e secundariamente por águas bicarbonatadas sódicas, sendo que algumas poucas foram classificadas como águas cloretadas. De forma geral, as análises físico químicas das águas subterrâneas revelaram que estas são pouco mineralizadas e, para melhor caracterização regional, foram gerados mapas de isovalores para os principais parâmetros hidrogeoquímicos, tais como pH, principais cátions (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+), ânions (HCO_3^- total, Cl^- , F^- , NO_3^- , SO_4^{-2}) e sólidos totais dissolvidos (STD).

Abstract - The Bauru Aquifer System constitute an of the main groundwater exploration source of São Paulo State. The study area is limited to the north by Tietê river, to the west by Paraná river, to the south by Paranapanema river and to the east by rocks of Serra Geral Formation. In this region emerge cretaceous sandstones of Bauru Group and that are represented by Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina and Marília formations. The hydrochemical analysis identified the predominance of calcium and calcium-magnesium bicarbonate waters and secondary sodium bicarbonate waters, which some few ones were classified like chlorinated waters. Generally, the chemical analysis revealed that these waters are poor in dissolved ions and the distribution maps of the main hydrogeochemical parameters were produced, like to pH, main cations (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+), anions (HCO_3^- total, Cl^- , F^- , NO_3^- , SO_4^{-2}) and dissolved total solids (DTS).

¹ Prof. Doutor do Departamento de Engenharia Hídrica – INATURA – UNIFEI Rua Dr. Pereira Cabral, 446, apto. 302, Centro, CEP 37.500-048 Itajubá fone(35)3629-1451 fax(35)3629-1265 email: barison@unifei.edu.br

² Prof. Doutor do Departamento de Geologia Aplicada – IGCE – UNESP Av. 24-A, 1515 Bela Vista CEP 13.506-900 Rio Claro-SP fone (19)3526-2814 email: chang@rc.unesp.br

Palavras-Chave - Parâmetros Hidrogeoquímicos; Aquífero Bauru; Águas Subterrâneas.

INTRODUÇÃO

No Estado de São Paulo, a área que abrange o Grupo Bauru se estende por aproximadamente 104.000 Km², o que corresponde a 40% do território estadual.

A área de estudo, inserida no Grupo Bauru, localiza-se na região ao sul do Rio Tietê, no Estado de São Paulo, e na porção nordeste da Bacia do Paraná, entre os paralelos 20° e 23° de latitude Sul e os meridianos 48° e 53° de longitude Oeste (Figura 01). Limita-se ao norte pelo rio Tietê, a oeste pelo rio Paraná, a sul pelo rio Paranapanema e a leste pelos litotipos da Formação Serra Geral.

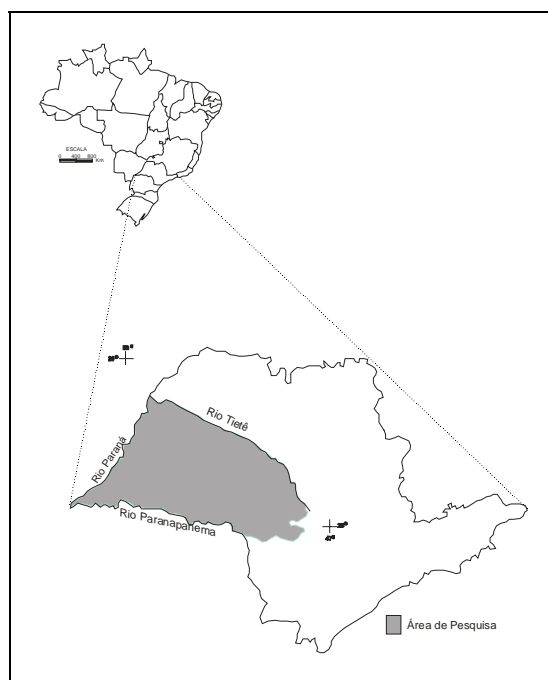


Figura 01 - Localização da área de estudo no Estado de São Paulo, inserida no Grupo Bauru, porção Nordeste da Bacia do Paraná.

O objetivo principal deste trabalho foi caracterizar as águas subterrâneas sob o ponto de vista hidroquímico regional com sua distribuição espacial. Para isso foram elaborados mapas de isovalores para cada elemento químico, assim como para o pH e para os sólidos totais dissolvidos (STD).

Foram realizadas incursões à área de pesquisa para coleta de amostras de águas de poços tubulares, sendo que se totalizaram 166 amostras provenientes de vários municípios inseridos na área de pesquisa.

As amostras de águas subterrâneas foram submetidas às análises químicas. A análise dos cátions foi realizada no Hydrogeochemistry Laboratory, University of Calgary, Canadá, com a utilização do Espectrômetro de Absorção Atômica – AAS (Perkin-Elmer Analyst 100). Dentre os cátions principais analisados estão o Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ e K^+ (FRESENIUS et al., 1987).

Logo após a coleta das amostras de águas, foi executada a análise de alcalinidade, com a utilização do aparelho Orion 960 (Autochemistry System), método de BARNES (1964). Obteve-se a alcalinidade total da amostra onde estão incluídas as concentrações de carbonatos (CO_3^{-2}) e de bicarbonatos (HCO_3^-) pelo Método Potenciométrico, com utilização de eletrodo de vidro indicador de pH.

As análises dos demais ânions ocorreram no Laboratório de Hidroquímica do IGCE/UNESP, tendo sido analisados Cl^- , F^- , NO_3^- e SO_4^{-2} . Para a determinação potenciométrica do Fluoreto (F^-) e Cloreto (Cl^-), utilizou-se um eletrodo seletivo marca ORION, modelo 9417 BN, e um eletrodo de referência de junção dupla marca ORION, modelo 900200. O aparelho usado foi o ORION 960 Autochemistry System. Para a determinação turbidimétrica de Sulfato (SO_4^{-2}) e de Nitrato (NO_3^-), utilizou-se um fotômetro marca Yellow Spring Instrument, modelo YSI-9100.

LITOESTRATIGRAFIA DO GRUPO BAURU

Os sedimentos do Grupo Bauru repousam sobre os basaltos da Formação Serra Geral, através de discordância erosiva (BRANDT NETO et al., 1977; SOARES et al., 1980; ALMEIDA et al., 1981; RICCOMINI et al., 1981).

O Grupo Bauru, no Estado de São Paulo, subdivide-se nas formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília (SOARES et al., 1980), com base na relação de contato e nas características litológicas e genéticas (Figura 02).

Portanto, a bacia de deposição do Grupo Bauru iniciou-se com a sedimentação do Arenito Caiuá, na área do Pontal do Paranapanema, estendendo-se depois no sentido norte e nordeste com a sedimentação Santo Anastácio e Adamantina e, por último, apresentando embaciamentos localizados, quando se depositou a Formação Marília (ALMEIDA et al., 1981).

Formação Caiuá

A Formação Caiuá representa o início da deposição dos sedimentos do Grupo Bauru que se assentam por discordância erosiva sobre as rochas basálticas da Formação Serra Geral (SOARES et al., 1980; ALMEIDA et al., 1981; MELO et al., 1982).

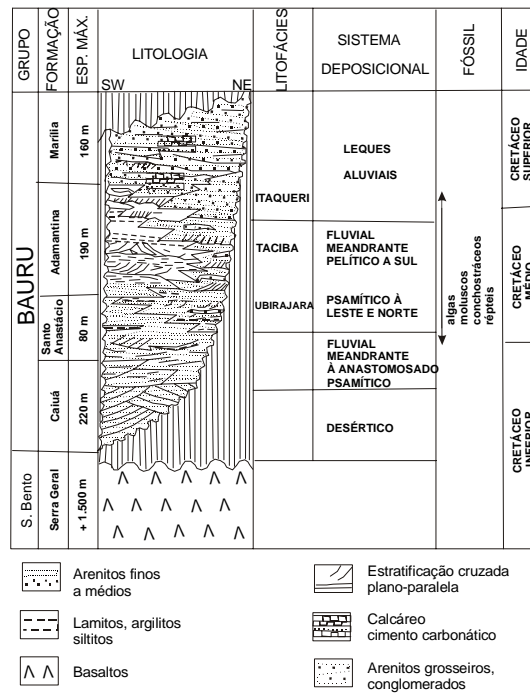


Figura 02 - Quadro estratigráfico do Grupo Bauru (SOARES et al., 1980).

No Estado de São Paulo, a Formação Caiuá caracteriza-se por apresentar grande uniformidade litológica e é constituída predominantemente por arenitos finos a médios, cores vermelho-escuro a arroxeadas, estratificações cruzadas de grande porte, matriz inferior a 5%, grãos subarredondados a arredondados. (SOARES et al., 1980).

Soares et al. (1980) classificaram esses arenitos como quartzo-arenitos, predominantemente. Por outro lado, outros autores os classificaram como subarcóseos (MELO et al., 1982 e RICCOMINI et al., 1981).

Os arenitos Caiuá apresentam cimentação argilosa e ferruginosa e localmente pode ocorrer cimentação carbonática. A silicificação ocorre mais comumente na porção basal e promove uma maior resistência mecânica à rocha (LANDIM; SOARES, 1976; MELO et al., 1982; CAMPOS et al., 1982; RICCOMINI et al., 1981).

LANDIM; SOARES (1976) os descreveram como de fácil desagregação devido à elevada porosidade e pouco cimento nestes arenitos.

A espessura máxima conhecida do Arenito Caiuá no Estado de São Paulo é de cerca de 200 m no Morro do Diabo (LANDIM; SOARES, 1976; ALMEIDA et al., 1981).

SOARES et al. (1980) consideraram que o ambiente de deposição da Formação Caiuá é eólico.

Da mesma forma, FERNANDES; COIMBRA (1996) atribuíram a sedimentação da Formação Caiuá como eólica, sendo que as estratificações cruzadas de grande porte evidenciam uma provável área de paleodeserto. Porém, SALAMUNI et al. (1981) e SAAD et al. (1988), atribuíram um

ambiente aquoso a esta formação. Outros autores consideraram como um ambiente deposicional misto, alternando em aquoso e eólico (SALAMUNI et al., 1981; RICCOMINI et al., 1981).

Com base nas relações de contato com as unidades paleontologicamente datadas, tem-se admitido idade compreendida entre o final do Neocomiano e o início do Senoniano (IPT, 1981).

Formação Santo Anastácio

Os arenitos desta formação afloram em áreas de cotas mais baixas dos vales dos rios afluentes do Paraná e recobrem os arenitos da Formação Caiuá ou diretamente o embasamento basáltico (SOARES et al., 1980, ALMEIDA et al., 1980; ALMEIDA et al., 1981).

A formação Santo Anastácio é constituída predominantemente de arenitos de granulação muito fina a média, com matriz inferior a 15%, grãos arredondados a subangulares, cor marrom-avermelhada, cimentação ferruginosa e localmente carbonática. São pobres em estruturas sedimentares, predominando estratos maciços com espessuras métricas a decimétricas, com incipiente estratificação plano-paralela ou cruzada de baixo ângulo (SOARES et al., 1980, ALMEIDA et al., 1980; FERNANDES; COIMBRA, 1994).

Em superfície, ocorre em estreita faixa no flanco norte do rio Paranapanema, contornando a região do Pontal do Paranapanema. Possui maior expressão no vale do Rio Santo Anastácio e no vale do Rio do Peixe e afluentes da margem sul. Apresenta espessura máxima que varia em torno de 80 metros na região dos vales dos rios Santo Anastácio e Pirapozinho, no Oeste do Estado, próximo ao Pontal do Paranapanema (SOARES et al., 1980; FERNANDES; COIMBRA, 1994).

SOARES et al. (1980) sugeriram um modelo fluvial meandrante de transicional para anastomosado.

SUGUIO; BARCELOS (1983) descreveram uma feição sedimentar singenética, denominada de estrutura “boudinóide”, que associada a outras feições presentes na Formação Santo Anastácio, permitiu sugerir um paleoclima quente e seco, provavelmente semi-árido.

As relações estratigráficas indicam que a Formação Santo Anastácio possui idade inserida no Senoniano e que se estende até o final do Campaniano (IPT, 1981).

O contato da Formação Santo Anastácio dá-se transicionalmente com os arenitos da Formação Caiuá sendo que localmente foram observadas interdigitações (ALMEIDA et al., 1981).

O contato discordante e erosivo pode ocorrer diretamente com os basaltos da Formação Serra Geral (SOARES et al., 1980 e ALMEIDA et al., 1980).

Formação Adamantina

A Formação Adamantina se estende por vasta área do oeste do Estado de São Paulo, constituindo os terrenos de maior parte do Planalto Ocidental (ALMEIDA et al., 1981; MELO et al., 1982).

SOARES et al. (1980), denominaram a Formação Adamantina como um conjunto de fácies, cuja principal característica é a presença de bancos de arenitos de granulação fina a muito fina, cor de róseo a castanho, portando estratificação cruzada alternados com bancos de lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, de cor castanho-avermelhado a cinza-castanho, maciços ou com acamamento plano-paralelo grosseiro, freqüentemente com marcas de onda e microestratificações cruzadas. Consideraram comuns as ocorrências de seixos de argilito, cimento e nódulos carbonáticos.

MELO et al. (1982) discutiram as diversas propostas de subdivisão da Formação Adamantina e concluíram que a grande área de ocorrência e a heterogeneidade das litologias presentes não propiciam a definição de correspondência estreita entre as unidades (fácies).

As maiores espessuras da Formação Adamantina ocorrem geralmente nas porções ocidentais dos espigões entre os grandes rios. Atinge 160 metros entre os rios São José dos Dourados e Peixe, 190 metros entre os rios Santo Anastácio e Paranapanema, e 100 a 150 metros entre os rios Peixe e Turvo, adelgaçando-se dessas regiões em direção a leste e nordeste (SOARES et al., 1980).

SOARES et al. (1980) atribuiu que o ambiente deposicional é compreendido por um sistema fluvial meandrante pelítico a sul, gradando para psamítico a leste e norte, e parcialmente nessas regiões com transição para entrelaçado.

Segundo FERNANDES; COIMBRA (1996), a deposição da Formação Adamantina ocorreu em sistema fluvial entrelaçado (*braided*), em extensa planície aluvial com lagoas de vida efêmera.

O conteúdoossilífero nos arenitos e estudos de correlações estratigráficas permitiram confirmar a idade desta formação como Senoniana (LANDIM; SOARES, 1976; SOARES et al., 1980).

O contato da Formação Adamantina é transicional e interdigitado com a Formação Santo Anastácio e pode ocorrer por discordância erosiva diretamente sobre o substrato basáltico (ALMEIDA et al., 1980; ALMEIDA et al., 1981).

Formação Marília

A Formação Marília ocorre na porção centro sul do Estado de São Paulo, entre os médios vales dos rios Tietê e Paranapanema e possui ocorrência restrita relativamente às demais formações do Grupo Bauru. Depositou-se em um embaciamento no término da deposição Bauru, em situação parcialmente marginal, repousando sobre a Formação Adamantina e, mais para leste, diretamente sobre os basaltos Serra Geral (MELO et al., 1982).

SOARES et al. (1980) descreveram inicialmente esta formação como composta por arenitos grosseiros a conglomeráticos, com grãos angulosos, teor de matriz variável, seleção pobre, ricos em feldspatos, minerais pesados e minerais instáveis. Ocorre em camadas com espessura média de 1 a 2 metros, maciços ou com acamamento incipiente, subparalelo e descontínuo, raramente apresentando

estratificação cruzada de médio porte, com seixos concentrados nos estratos cruzados. Raras são as camadas descontínuas de lamitos vermelhos e de calcários.

Característicos e muito freqüentes são o cimento e os nódulos carbonáticos, disseminado nos sedimentos ou concentrados em níveis ou zonas. A matriz argilo-siltosa aparece em pequena quantidade (ALMEIDA et al., 1981 e SUGUIO; BARCELOS, 1983).

A espessura do pacote de sedimentos da Formação Marília apresenta uma redução no sentido de norte para sul (IPT, 1981). Em Marília atinge a espessura máxima de 160 m, recoberta por sedimentos cenozóicos (SOARES et al., 1980).

SOARES et al. (1980) atribuíram, em função de estudos paleontológicos, que a sedimentação da Formação Marília ocorreu entre o Santoniano e o Maestrichtiano.

Esta sedimentação desenvolveu-se em embaciamento restrito, em regimes torrenciais característicos de leques aluviais e com deposição de detritos em clima semi-árido, com a cimentação de detritos carbonáticos (SOARES et al., 1980 e FERNANDES; COIMBRA, 1996).

A Formação Marília assenta-se sobre a Formação Adamantina através de interdigitações assim como por contatos bruscos (ALMEIDA et al., 1980; ALMEIDA et al., 1981).

HIDROGEOLOGIA DO SISTEMA AQUÍFERO BAURU

O pacote de sedimentos cretáceos que constituem o Sistema Aquífero Bauru comporta-se como um sistema aquífero livre por toda a sua extensão e está assentado sobre um substrato impermeável formado pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral, que é bastante irregular, resultante tanto de falhamentos como de um ciclo erosivo pré-deposição Bauru (DAEE, 1974; DAEE, 1976; DAEE, 1979).

A espessura saturada dos arenitos do Grupo Bauru varia de 100 a 150 metros, sendo dependente da morfologia de superfície e da forma do substrato basáltico. Transversalmente aos rios principais, na direção NE-SW, as espessuras variam com valores de 50 metros nos vales e atingem, nos espigões ou nos divisores d'água, valores da ordem de 200 metros. Nas zonas onde o substrato sofreu embaciamento, os valores da espessura são da ordem de 200 metros. Inversamente, nas porções onde o substrato se apresenta sob a forma de alto estrutural, ocorre uma diminuição na espessura da camada aquífera (DAEE, 1974; DAEE, 1976; DAEE, 1979; ROCHA et al., 1979).

ROCHA et al. (1979) individualizaram, para a região das bacias dos rios Aguapeí, Peixe e Paranapanema e em função de sua expressão morfológica e de seus parâmetros hidráulicos, duas unidades aquíferas: a unidade Aquífera Bauru Inferior, representada por arenitos e arenitos sílticos pertencentes às formações Caiuá e Santo Anastácio, e a unidade Aquífera Bauru Médio/Superior,

constituída por arenitos, arenitos sílticos, lamitos e arenitos conglomeráticos, pertencentes às formações Adamantina e Marília.

CAMPOS (1993), em trabalho mais recente, caracterizou o Sistema Aquífero Bauru como uma unidade hidrogeológica de extensão regional, contínua, livre a semi-confinada, com espessura média de 100 metros, podendo alcançar até 250 metros.

A geometria do Sistema Aquífero Bauru na área estudada, configura uma superfície potenciométrica, cujas linhas de fluxo convergem, predominantemente, para as calhas dos rios interiores, onde estes apresentam caráter efluente.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O estudo das análises químicas pode-se valer do uso de representações gráficas e de diagramas que possibilitam realizar comparações entre as várias amostras de águas. Esses gráficos e diagramas ressaltam as relações entre os íons principais de uma amostra. No presente estudo, foi utilizado o diagrama de Piper, conforme proposto por PIPER (1944), para as análises químicas das amostras de águas subterrâneas.

Os resultados das análises químicas encontram-se nas tabelas 01 e 02, que apresentam um resumo estatístico dos resultados para os cátions e ânions. Informações complementares podem ser encontradas em trabalhos de BARISON & CHANG (2002) e BARISON (2003).

Tabela 01 - Dados estatísticos dos cátions analisados para amostras de água do Aquífero Bauru (valores expressos em mg/l e meq/l).

	pH	Ca ⁺²		Mg ⁺²		Na ⁺		K ⁺	
		(mg/l)	(meq/l)	(mg/l)	(meq/l)	(mg/l)	(meq/l)	(mg/l)	(meq/l)
Média	7,06	13,78	0,69	4,35	0,36	13,95	0,61	1,99	0,05
Mín.	4,08	0	0	0	0	0,05	0	0	0,00005
Máx.	10,97	93,69	4,67	24,03	1,98	123,8	5,38	13,29	0,34
D.P.	1,52	16,09	0,80	3,83	0,31	20,61	0,94	2,26	0,06

Mín. – Valor Mínimo

Máx. – Valor Máximo

D.P. – Desvio Padrão

Tabela 02 - Dados estatísticos de pH de campo, dos ânions principais e dos sólidos totais dissolvidos (STD) para as amostras de água do Aquífero Bauru (valores expressos em mg/l e meq/l).

	HCO_3^-		Cl^-		F^-		NO_3^-		SO_4^{-2}		STD	
	(mg/l)	(meq/l)	(mg/l)	(meq/l)	(mg/l)	(meq/l)	(mg/l)	(meq/l)	(mg/l)	(meq/l)	(mg/l)	(meq/l)
Média	79,91	1,31	6,26	0,18	0,13	0,01	19,85	0,32	1,81	0,04	143,06	3,59
Mín.	1,42	0,02	0,61	0,02	0,01	0	0,001	0	0	0	3,08	0,10
Máx.	371,7	6,09	53,5	1,51	1,11	0,06	136,0	2,19	78,9	1,64	532,6	13,39
D.P.	70,46	1,15	8,17	0,23	0,17	0,01	27,16	0,44	9,02	0,19	98,84	2,50

Mín. – Valor Mínimo Máx. – Valor Máximo D.P. – Desvio Padrão

As águas do Aquífero Bauru na área de pesquisa são predominantemente bicarbonatadas cálcicas e calco-magnesianas, perfazendo 66,87% de todas as amostras de águas coletadas, valor próximo de 70% o mesmo por CAMPOS (1987). Outro grupo é constituído por águas bicarbonatadas sódicas (15,66%); em menor quantidade, tem-se águas cloretadas sódicas e sódico-potássicas (9,64%); outras poucas são clorosulfatadas cálcicas (7,83%), conforme mostrado na Figura 03.

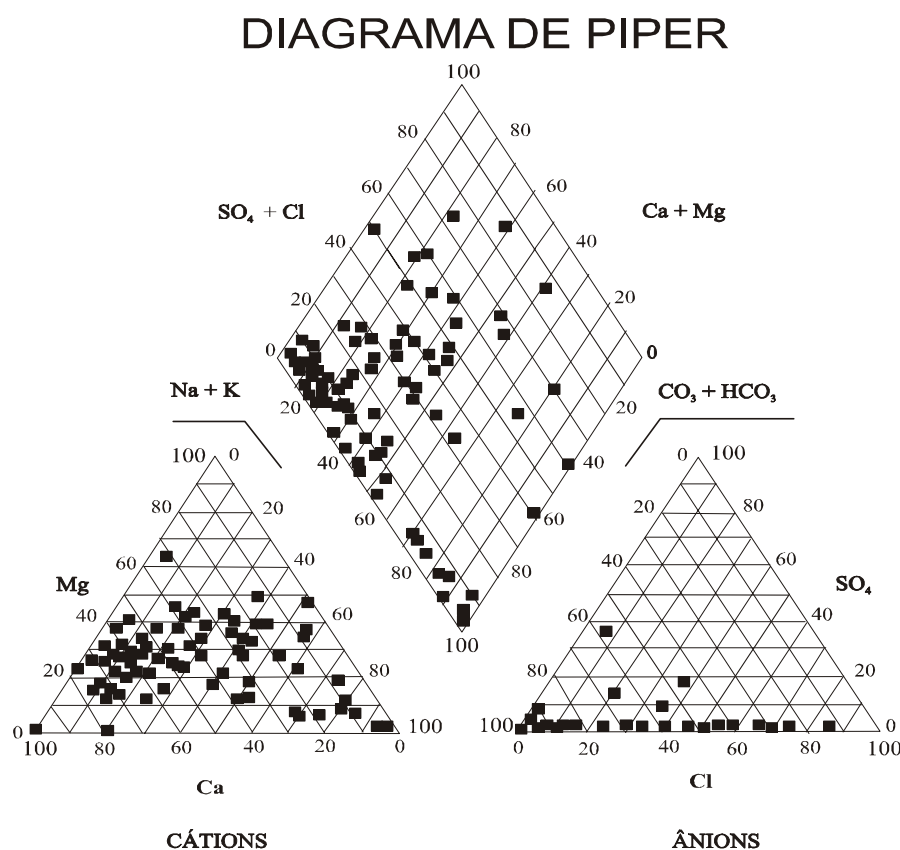


Figura 03 - Classificação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru em sua porção meridional.

As águas bicarbonatadas sódicas apresentam pH alcalino, cujo valor médio encontrado é de 9,4. Assim como observado por CAMPOS (1987), ocorrem em algumas localidades, dentre as quais destacam-se os municípios de Presidente Prudente e de Araçatuba. Também ocorrem em outras localidades, como Adamantina, Penápolis, Iacanga, Piratininga, Echaporã e Rosana.

Elevados teores de nitrato foram encontrados em algumas amostras de águas e podem estar associados a fontes de contaminação, principalmente por esgotos, em locais onde o nível d'água está mais próximo da superfície do terreno e com elevada densidade demográfica. Dentre alguns municípios com elevadas concentrações de nitrato destacam-se Bauru, Lins, Garça, Iacri e Regente Feijó.

As águas cloretadas sódicas e sódico-potássicas ocorrem na região de Assis, Sagres, Bastos, Coroados, Iacri, Presidente Epitácio, Mirante do Paranapanema, Alfredo Marcondes, Flora Rica e Pacaembu. Já nos municípios de Tupã, Garça, Agudos, Campos Novos Paulista, Santópolis do Aguapeí, Quatá, Junqueirópolis e Regente Feijó, tem-se a ocorrência de águas cloretadas cálcicas e calco-magnesianas.

Nos demais municípios, que abrangem a maior parte da área de estudo, tem-se as águas bicarbonatadas cálcicas e calco-magnesianas.

DISTRIBUIÇÃO DOS PARÂMETROS HIDROGEOQUÍMICOS REGIONAIS

As análises físico-químicas das amostras de águas do Sistema Aquífero Bauru revelaram que estas são, em sua grande maioria, pouco mineralizadas. Para melhor compreensão da distribuição espacial dos resultados na área de pesquisa, foram gerados mapas de isovalores para os principais cátions e ânions, para o pH e condutividade elétrica e também para as razões químicas. O método de interpolação utilizado foi o do *inverso do quadrado da distância*, sendo que as concentrações para os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) são expressas em mg/l e para cada tipo iônico, em meq/l.

Em geral, as águas apresentam pH em torno de 7,0, sendo que somente em algumas localidades, em área de ocorrência da Formação Adamantina, o pH medido encontrou-se acima de 8,0. No município de Adamantina obteve-se o maior valor de pH encontrado no Grupo Bauru (pH=10,97) (Figura 04). COELHO (1996) encontrou pH de 9,96 em amostra de água do Grupo Bauru no município de Presidente Prudente. O presente estudo, os valores encontrados nesta região variam de 8,7 a 10,5, muito alcalino.

O teor médio de cálcio encontrado em todas as formações é de 0,69 meq/l (13,78mg/l). Valores elevados foram encontrados preferencialmente na Formação Marília, principalmente na região que abrange Pompéia e Oriente, sendo que na primeira, o valor encontrado foi de 4,46 meq/l ou 89,34mg/l (Figura 05). Para a Formação Adamantina, elevadas concentrações de cálcio foram encontradas na região de Presidente Prudente, sendo que valores da ordem de 4,67meq/l

(93,69mg/l) foram registrados em Pirapozinho. Nas formações Santo Anastácio e Caiuá e no restante da Formação Adamantina obteve-se valores inferiores.

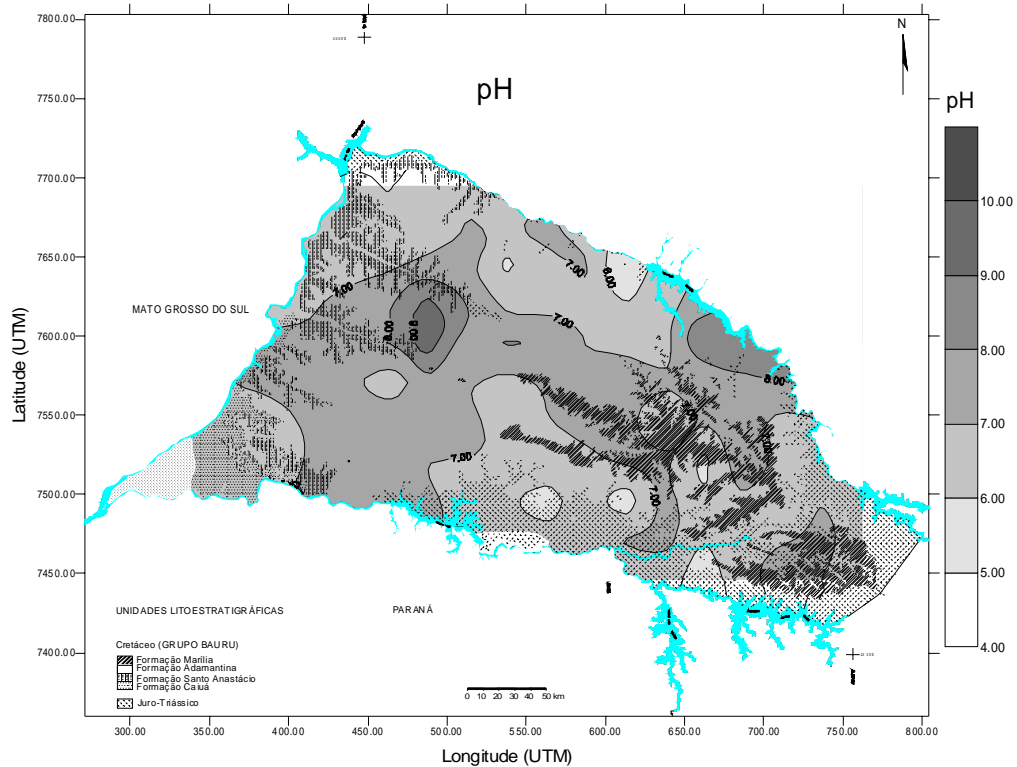


Figura 04 - Mapa de isovalores para o pH do Sistema Aquífero Bauru em sua porção meridional no Estado de São Paulo.

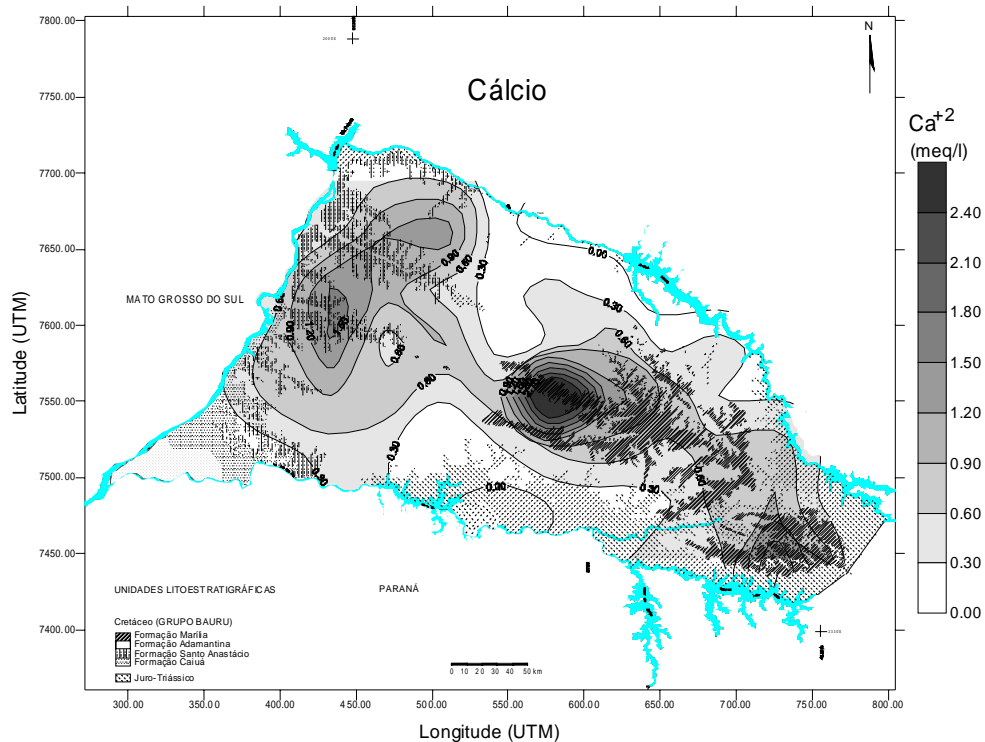


Figura 05 - Mapa de isovalores para o cálcio (meq/l) do Sistema Aquífero Bauru em sua porção meridional no Estado de São Paulo.

Para o Grupo Bauru, o teor médio de magnésio é 0,36meq/l ou 4,35mg/l (Figura 06). A concentração média de magnésio nas formações Adamantina e Marília é de 0,38meq/l (4,63mg/l). Valores elevados, da ordem de 1,76meq/l (21,35mg/l), foram encontrados em Santópolis do Aguapeí, na Formação Adamantina, porém situada muito próximo de afloramentos de rochas basálticas. Na Formação Marília, a concentração mais elevada de magnésio foi encontrada em Pompéia, que atingiu o valor de 1,25meq/l (15,15mg/l). Nas formações Caiuá e Santo Anastácio o teor médio encontrado é de 0,29meq/l (3,50mg/l), valor este inferior ao encontrado nas demais formações do Grupo Bauru.

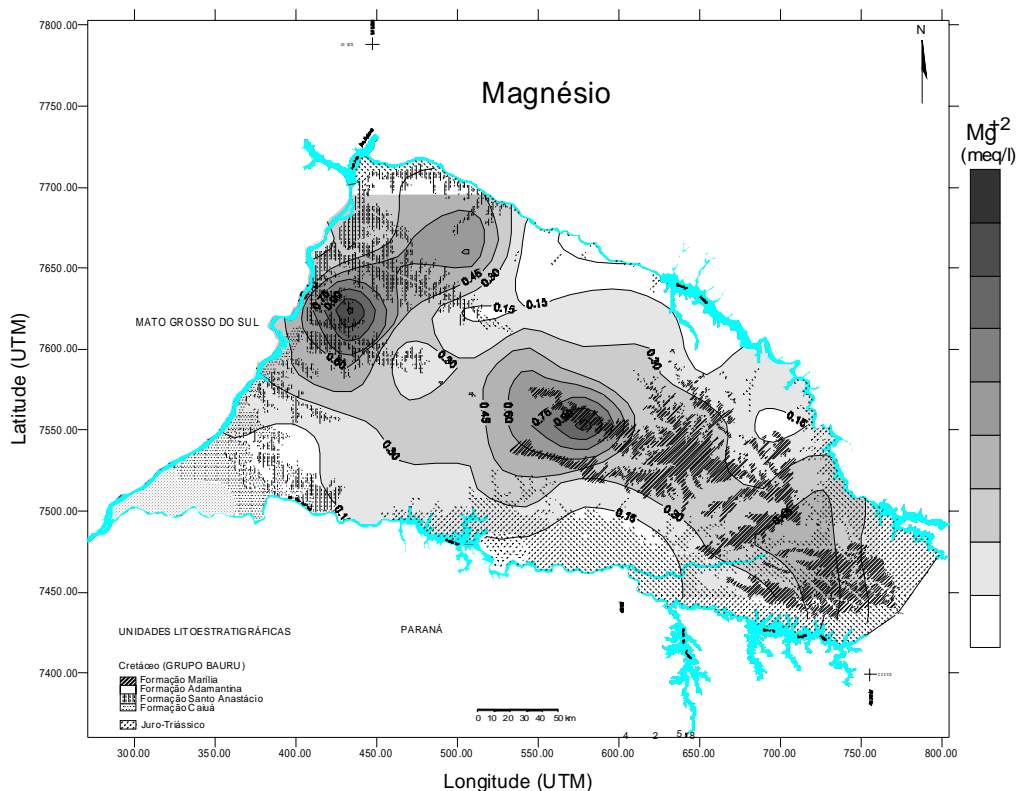


Figura 06 - Mapa de isovalores para o magnésio (meq/l) do Sistema Aquífero Bauru em sua porção meridional no Estado de São Paulo.

De acordo com o mapa de isovalores de sódio (Figura 07), observa-se que na Formação Adamantina existem regiões com elevada concentração desse elemento, dentre os quais estão os municípios de Flórida Paulista, Rinópolis, Santópolis do Aguapeí, Presidente Prudente e região de Araçatuba-Glicério e de Uru-Reginópolis. Na Formação Adamantina, o valor médio para o sódio é de 0,75meq/l (17,54mg/l), cuja concentração mais elevada foi de 5,38meq/l (123,6mg/l) no município de Adamantina. Em geral, na Formação Marília, os teores são mais baixos e perfazem uma média de 0,30meq/l; e o valor máximo obtido foi de 1,40meq/l em Echaporã. Nas formações Santo Anastácio e Caiuá, a concentração média de sódio nas águas também é de 0,30meq/l

(6,96mg/l); o valor mais elevado encontra-se na Formação Caiuá, no município de Rosana (0,95meq/l, 21,78mg/l).

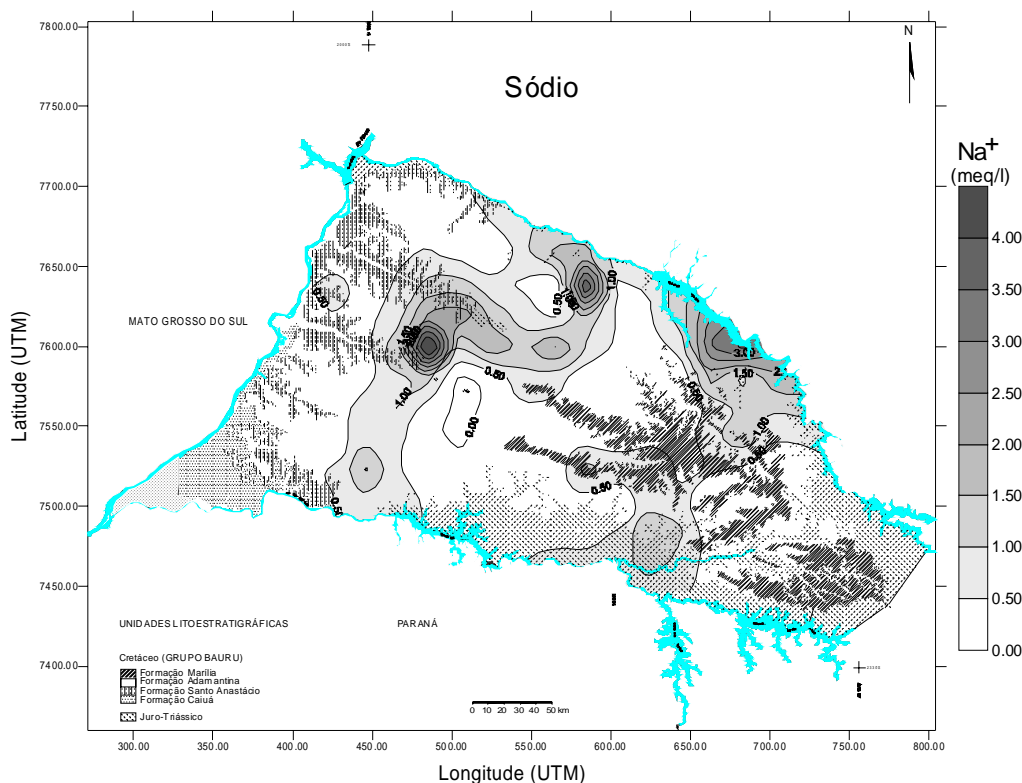


Figura 07 - Mapa de isovalores para o Sódio (meq/l) do Sistema Aquífero Bauru em sua porção meridional no Estado de São Paulo.

O teor médio de potássio no Aquífero Bauru é de 0,05meq/l ou 1,99mg/l (Figura 08). Na Formação Adamantina, a ocorrência de potássio é mais elevada na região de Guaraçai e Mirandópolis e também nos arredores de Santópolis do Aguapeí e de Avanhandava. O teor médio nesta formação é de 0,06meq/l (2,40mg/l) e o valor máximo encontrado é de 0,34meq/l (13,29mg/l), em Santópolis do Aguapeí. De forma geral, nas formações Marília, Santo Anastácio e Caiuá, a concentração de potássio é mais baixa quando comparada com os resultados na Formação Adamantina. Na Formação Marília obteve-se um valor médio de 0,04meq/l (1,54mg/l) e a maior concentração de potássio foi registrada em Agudos, com 0,14meq/l (5,48mg/l). Nas formações Santo Anastácio e Caiuá, o teor médio de potássio é de 0,03meq/l (1,30mg/l), e o valor mais elevado, de 0,08meq/l (3,10mg/l), ocorre em Nova Independência, Formação Santo Anastácio.

A alcalinidade no Grupo Bauru apresenta valor médio de 1,31meq/l ou 79,91mg/l (Figura 09). Para a Formação Adamantina, obteve-se concentração média de bicarbonato e carbonato um pouco mais elevada, de 1,36meq/l (87,61mg/l); a maior concentração, 6,09meq/l (371,7mg/l), foi encontrada em Pirapozinho. Na Formação Marília, a concentração média encontrada foi a maior, de

1,60meq/l (93,17mg/l). As águas com teores de alcalinidade mais elevados encontram-se nos municípios de Pompéia e de Álvaro de Carvalho, com 4,25 e 4,10meq/l (259,6 e 250,0mg/l), respectivamente. Nas formações Santo Anastácio e Caiuá, a concentração média da alcalinidade é de apenas 1,01meq/l (61,69mg/l), a menor encontrada na região.

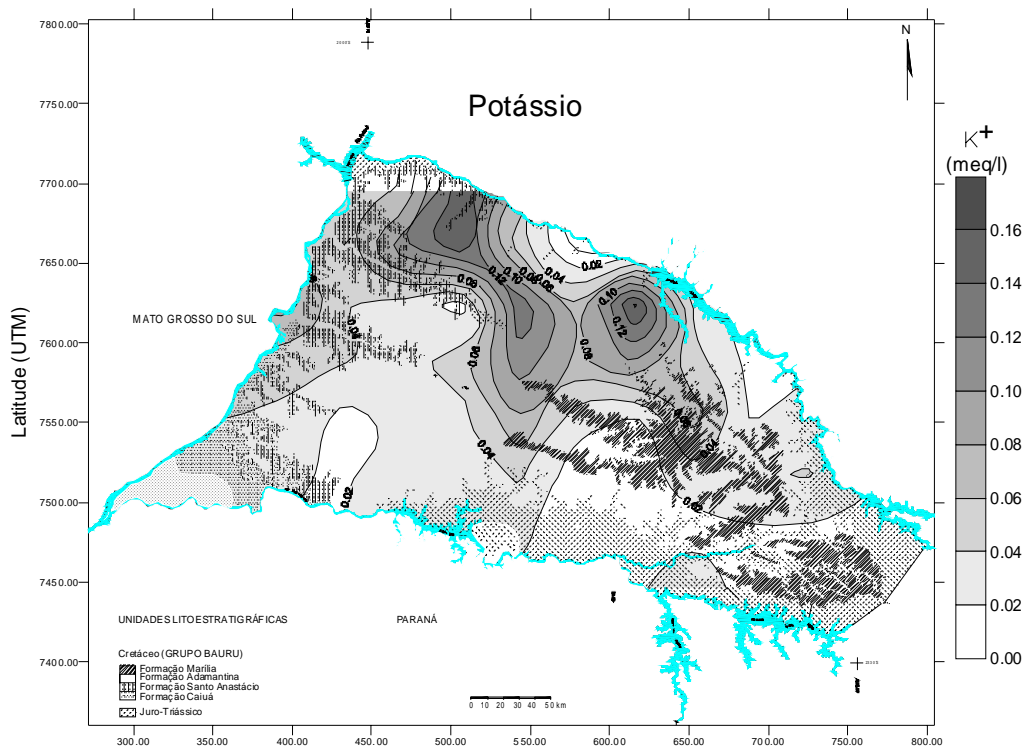


Figura 08 - Mapa de isovalores para o potássio (meq/l) do Sistema Aquífero Bauru em sua porção meridional no Estado de São Paulo.

Os teores mais elevados encontrados de alcalinidade foram de 1,99meq/l (121,3mg/l) em Andradina, 1,89meq/l (113,0mg/l) em Mirante do Paranapanema, 1,68meq/l(102,6mg/l) em Monte Castelo e 1,89meq/l (115,1mg/l) em Piquerobi.

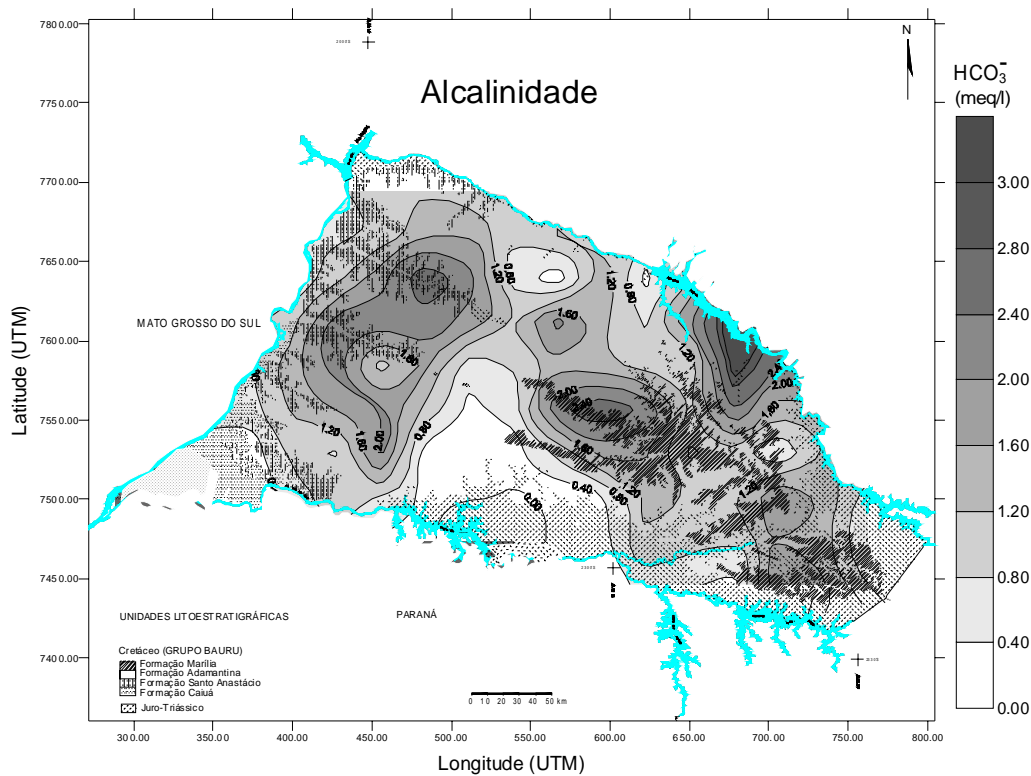


Figura 09 - Mapa de isovalores para a alcalinidade total (meq/l) do Sistema Aquífero Bauru em sua porção meridional no Estado de São Paulo.

O teor médio de cloreto nas águas do Grupo Bauru é de 0,18meq/l ou 6,26mg/l. A distribuição do íon cloreto na Formação Adamantina é bem heterogênea, com concentração média de 0,21meq/l ou 7,58mg/l. O mapa de isovalores de cloreto (Figura 10), mostra concentrações mais elevadas nas proximidades dos municípios de Santópolis do Aguapeí, Quatá, Lucélia e Presidente Prudente. O teor de cloreto mais elevado encontra-se em Lucélia, 1,51meq/l (53,5mg/l); no restante da Formação Adamantina, a concentração de cloreto é mais baixa, sendo que a menor concentração ocorre em Rancharia, de 0,017meq/l ou 0,61mg/l. A Formação Marília apresenta, em geral, concentrações mais baixas de cloreto. A concentração média é de 0,15meq/l ou 5,04mg/l; concentrações mais elevadas ocorrem em Agudos (0,52meq/l ou 18,5mg/l), na região de Duartina. Nas formações Santo Anastácio e Caiuá, os teores de cloreto são os mais baixos e situam-se na média de 0,10meq/l (3,76mg/l); a maior concentração encontrada foi 0,31meq/l (10,9mg/l) em Rosana.

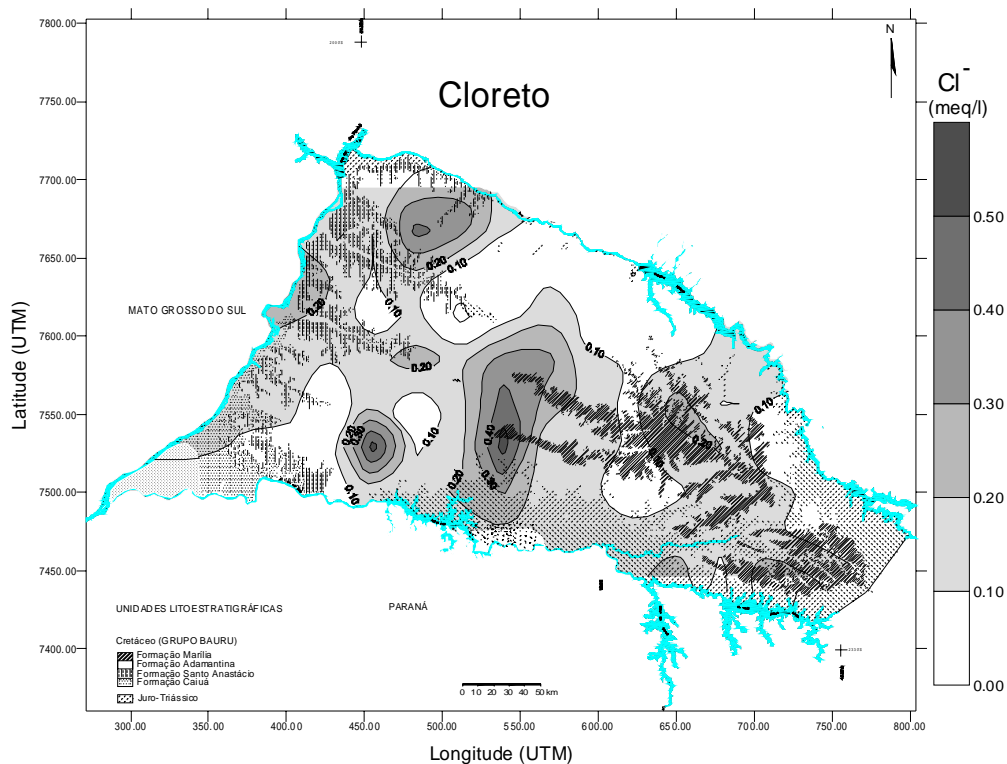


Figura 10 - Mapa de isovalores para o cloreto (meq/l) do Sistema Aquífero Bauru em sua porção meridional no Estado de São Paulo.

A concentração média de fluoreto nas águas do Grupo Bauru é de 0,007meq/l ou 0,14mg/l (Figura 11). Na Formação Adamantina, o teor médio de fluoreto também é de 0,007meq/l (0,14mg/l), sendo que o valores mais elevados encontram-se entre Uru e Pongaí, Luiziânia, Castilho e Adamantina, cujo valor máximo obtido é de 0,04meq/l (0,78mg/l) em Luiziânia. Na Formação Marília, a concentração de fluoreto é a menor existente e em muitos casos, ausente: o teor médio é de 0,002meq/l (0,04mg/l) e o valor mais elevado é 0,005meq/l (0,1mg/l), em Oscar Bressane. Nas formações Santo Anastácio e Caiuá, o teor médio de fluoretos é da ordem de 0,008meq/l (0,14mg/l), com valor máximo encontrado em Rosana (0,02meq/l, 0,46mg/l).

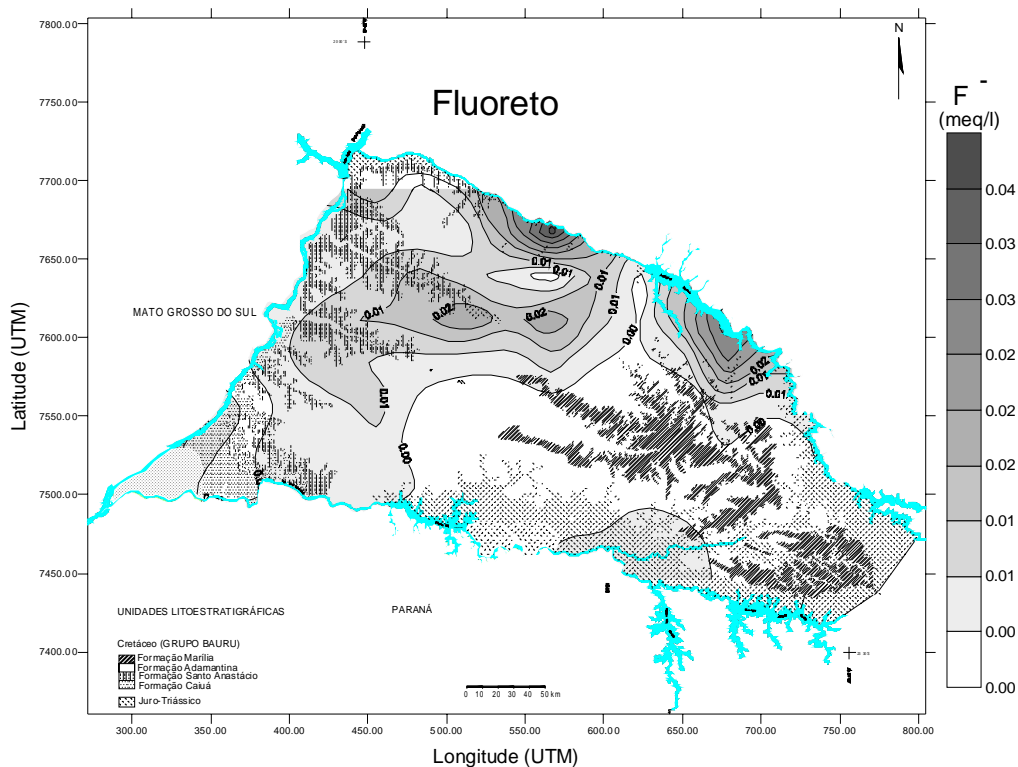


Figura 11 - Mapa de isovalores para o fluoreto (meq/l) do Sistema Aquífero Bauru em sua porção meridional no Estado de São Paulo.

Em toda a área de estudo, a concentração média de nitrato no Aquífero Bauru é de 0,32meq/l ou 19,85mg/l (Figura 12). Na Formação Adamantina, a concentração média de nitrato é de 0,37meq/l (22,94mg/l), sendo que a maior concentração de nitrato é de 2,19meq/l (135,79mg/l), em Anhumas (região de Presidente Prudente). Teores elevados também foram encontrados na região de Quatá e João Ramalho, Alfredo Marcondes, Santópolis do Aguapeí e Mirandópolis. Nas águas da Formação Marília, a concentração média de nitrato é de 0,38meq/l ou 22,59mg/l. Os teores mais elevados de nitrato foram encontrados na região que abrange os municípios de Duartina e Cabrália Paulista e nos arredores de Echaporã, com concentração de 1,37meq/l (84,8mg/l). Em comparação com as demais unidades, as formações Santo Anastácio e Caiuá apresentam os mais baixos teores de nitrato, com valor médio de 0,13meq/l (8,06mg/l). Na Formação Caiuá, a concentração de nitrato registrada em Rosana é de 0,61meq/l (37,6mg/l).

A distribuição das curvas de isovalores de sulfato concentra-se na porção centro-oeste da área de estudo. A concentração média no Grupo Bauru é de 0,04meq/l ou 1,81mg/l. A maior concentração de sulfato ocorre na Formação Adamantina, na região que abrange os municípios de Adamantina e Flórida Paulista, com teor máximo de 1,64meq/l (78,9mg/l). No restante da área e nas demais formações, a concentração de sulfato é muito baixa a ausente (Figura 13).

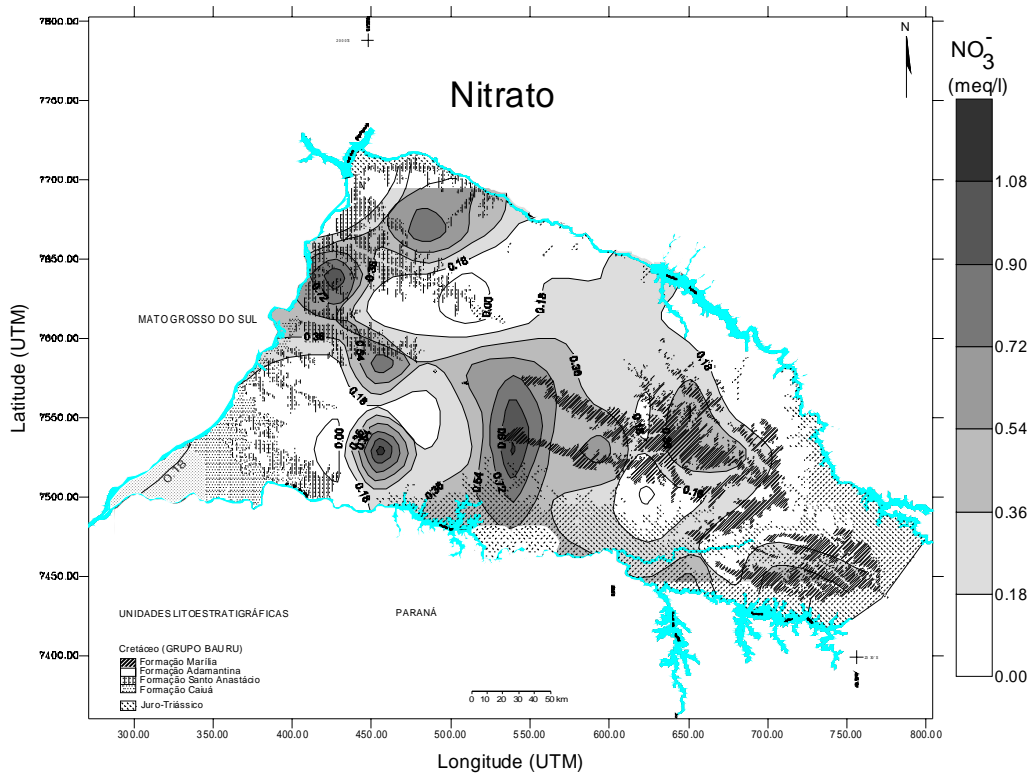


Figura 12 - Mapa de isovalores para o nitrato (meq/l) do Sistema Aquífero Bauru em sua porção meridional no Estado de São Paulo.

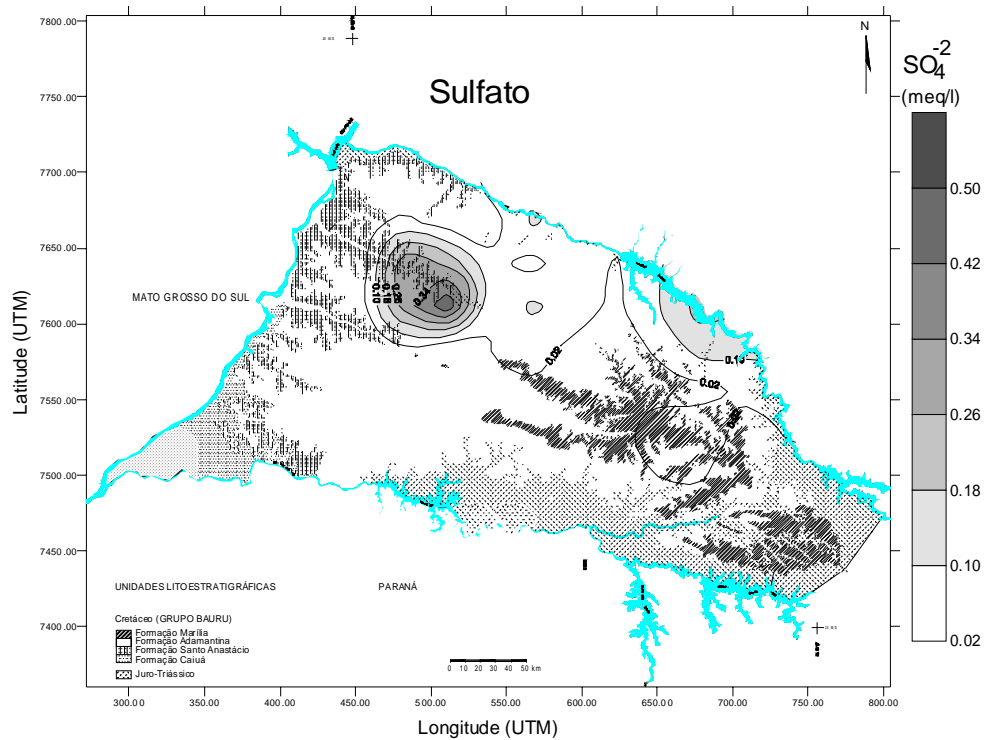


Figura 13 - Mapa de isovalores para o sulfato (meq/l) do Sistema Aquífero Bauru em sua porção meridional no Estado de São Paulo.

O valor médio de STD (sólidos totais dissolvidos) para o Grupo Bauru é de 143,06mg/l (3,59meq/l). O valores mais elevados encontram-se na Formação Adamantina, na região de Presidente Prudente, totalizando 532,62mg/l (13,39meq/l) no município de Pirapozinho (Figura 14).

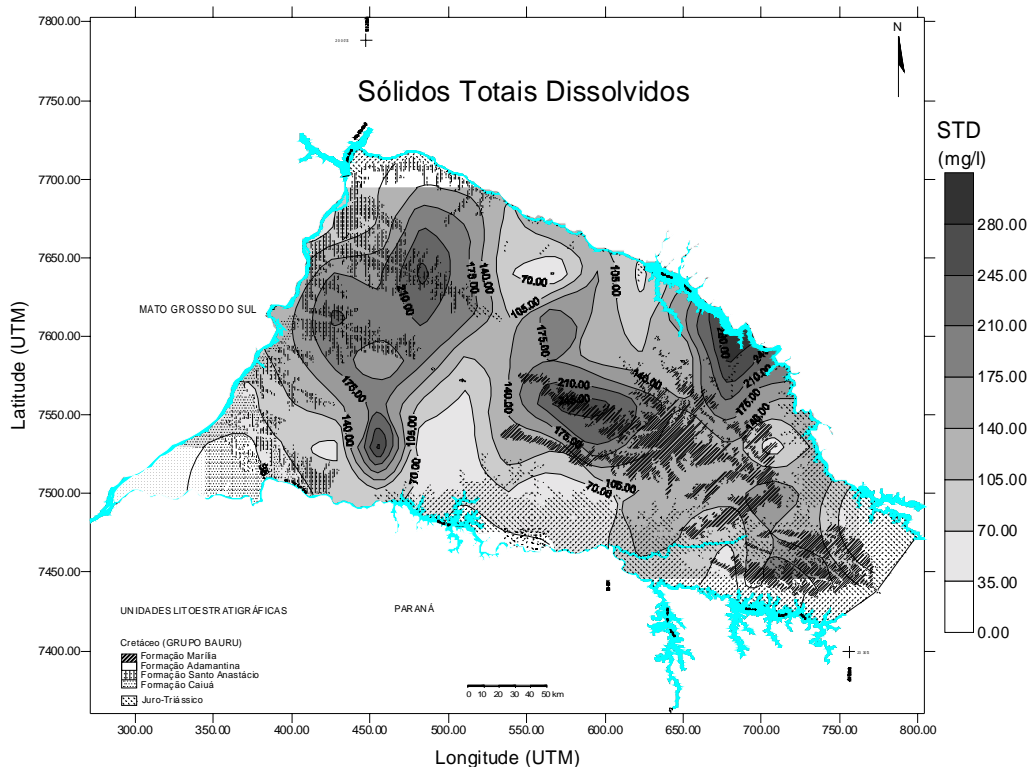


Figura 14 - Mapa de isovalores para os sólidos totais dissolvidos (STD), expressos em mg/l, do Sistema Aquífero Bauru em sua porção meridional no Estado de São Paulo.

As elevadas concentrações de NO_3^- , que ocorrem tanto em zonas rurais quanto urbanas e são decorrentes provavelmente de contaminações pontuais pela atividade antrópica. Na zona rural podem ser causadas pela proximidade de fossas, de criadouros animais e também pelo uso inadequado de fertilizantes agrícolas. Nas zonas urbanas, a contaminação por nitrato pode ter origem em locais onde não existe saneamento básico, através do vazamento de redes de esgotos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os tipos hidroquímicos do Sistema Aquífero Bauru são, na região de estudo, de águas bicarbonatadas cálcicas e calco-magnesianas. Estes resultados hidroquímicos possibilitaram uma compreensão abrangente sobre as tendências regionais de distribuição dos principais parâmetros hidrogeoquímicos.

As elevadas concentrações de nitrato são provavelmente decorrentes de contaminações pontuais pela atividade antrópica. As águas do Aquífero Bauru por se apresentarem, em grande

parte, próximas da superfície são, portanto, muito vulneráveis aos agentes contaminantes, fator esse que se agrava em locais com maior densidade demográfica.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP, pelo auxílio concedido para a realização do projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALMEIDA, M. A.; FERNANDES, L. A.; DANTAS, A. S. L.; SAKATE, M. T.; GIMENEZ, A. F.; TEIXEIRA, A. L.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, F. F. M. de. Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Bauru na região do Pontal do Paranapanema do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3. (1981, Curitiba). **Atas...** Curitiba: SBG/Núcleo SP, v.2, p. 77-89, 1981.
- [2] ALMEIDA, M. A., STEIN, D. P., MELO, M. S. de, BISTRICHI, C. A., PONÇANO, W. L., HASUI, Y. & ALMEIDA, F. F. M. de. Geologia do oeste paulista e áreas fronteiriças do Estado de Mato Grosso do Sul e Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., (1980, Camboriú). **Anais...** Camboriú: SBG, v.5, p. 2799-2812, 1980.
- [3] BARISON, M.R. & CHANG, H.K. Caracterização Hidroquímica da Porção Meridional do Aquífero Bauru no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., (2002, Florianópolis). **Anais...** Florianópolis: ABAS, cd, 2002.
- [4] BARISON, M.R. **Estudo Hidrogeoquímico da Porção Meridional do Sistema Aquífero Bauru no Estado de São Paulo**. Rio Claro, 2003. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP.
- [5] BARNES, I. Field measurement of alkalinity and pH. **Geological Survey Water-Supply Bulletin**, Washington, p.17, 1964 (Paper 1535-H).
- [6] BRANDT NETO, M.; YAMAMOTO, J. K.; TACHIBANA, J.; MATO, L. F. Sedimentos quaternários associados ao baixo vale do Rio Tietê. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 1.,(1977, São Paulo). **Atas...** São Paulo: SBG/Núcleo São Paulo, v.1, p. 248-266, 1977.
- [7] CAMPOS, J. O.; BLAKE, E. H. T.; ROMANO, O. Arenitos Caiuá: notas sobre as ocorrências. **Geociências**. São Paulo, v.1, p. 29-47, 1982.
- [8] CAMPOS, H. C. S. **Caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1993. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências – USP.

- [9] CAMPOS, H. C. S. **Contribuição ao estudo hidrogeológico do Grupo Bauru no Estado de São Paulo**. São Paulo, 1987. Dissertação (Mestrado em Geologia Geral e de Aplicação). Instituto de Geociências - USP.
- [10] CELLIGOI, A.; DUARTE, U. Considerações hidroquímicas da Formação Caiuá no Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10. (1998, São Paulo). **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, v.1, 7p., 1998.
- [11] COELHO, R.O. **Estudo hidroquímico e isotópico do Aquífero Bauru, Sudoeste do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1996. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia). Instituto de Geociências - USP.
- [12] DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. **Estudo de águas subterrâneas: região administrativa 6, Ribeirão Preto – SP**. São Paulo: Geopesquisadora – Tahal, 2 v., 1974.
- [13] DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. **Estudo de águas subterrâneas: regiões administrativas 7, 8 e 9 Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba – SP**. São Paulo: ENCO, 4v., 1976.
- [14] DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. **Estudo de águas subterrâneas: regiões administrativas 10 e 11, Presidente Prudente e Marília – SP**. São Paulo: ENCO, 3v., 1979.
- [15] FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo, v. 24, n.3, p. 164-176, 1994.
- [16] FERNANDES L. A.; COIMBRA A. M. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). In: ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS, (1996, São Paulo). **Anais...** São Paulo:ABC, v. 68, n.2, p. 13-27, 1996.
- [17] FRESENIUS, W.; QUENTIN, K. E.; SCHNEIDER, W. **Water analysis** – a practical guide to physico-chemical, chemical and microbiological water examination and quality assurance. New York: Springer-Verlag, 1987.
- [18] INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 2v., 1981.
- [19] LANDIM, P. M. B.; SOARES, P. C. Estratigrafia da Formação Caiuá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., (1976, Ouro Preto). **Anais...** Ouro Preto: SBG, v.2, p. 195-206, 1976.
- [20] MELO, M. S.; STEIN, D. P.; ALMEIDA, M. A. Aspectos litoestratigráficos do Grupo Bauru. In: ENCONTRO DE GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA, (1982, São Paulo). **Atas...** São Paulo: SBG/ABAS, v.9, p. 01-19, 1982.

- [21] PIPER, A. M. A Graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. Reprinted: **American Geophysical Union Transactions**, v.25, p. 914-923, 1944.
- [22] RICCOMINI, C.; GIMENEZ FILHO, A.; STEIN, D. P.; ALMEIDA, F. F. M.; PIRES NETO, A. G.; DEHIRA, L. K.; MELO, M. S. de; BRAGA, T. de; PONÇANO, W. L. Características da porção basal da Formação Caiuá no Noroeste do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., (1981, Curitiba). **Atas...** Curitiba: SBG/Núcleo São Paulo, v.2, p. 34-48, 1981.
- [23] ROCHA, G. A.; GIANCURSI, F. D.; PERRONI, J. C. A.; SOBREIRO NETO, A. F.; BERTACHINI, A. C.; CORREA, W. A. G.; CAMPOS, H. C. N. S.; DIOGO, A.; ROSA, R. B. G. S.; CASTRO, C. G. J. Hidrogeologia das bacias dos rios Aguapeí, Peixe e Paranapanema no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., (1979, Rio Claro). **Atas...** Rio Claro: SBG, v.2, p. 85-100, 1979..
- [24] SAAD, A.,R.; CAMPANHA, V. A.; CABRAL JR., M.; ETCHEBEHERE, M. L. C.; PULEGHINI FILHO, P. Cenários do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., (1988, Belém). **Anais...** Belém: SBG, v.2, p. 894-904, 1988.
- [25] SALAMUNI, K.; LANDIM, P. M. B.; SLONGO, T. T.; SOBREIRO NETO, A. F.; PAIVA FILHO, A. Observações sobre o ambiente de deposição da Formação Caiuá no Nordeste do Estado do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., (1981, Curitiba). **Atas...** Curitiba: SBG, v.2, p. 25-33, 1981.
- [26] SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B.; FÚLFARO, V. J.; SOBREIRO NETO, A. F. Ensaio de caracterização estratigráfica do cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo, v. 10, p. 177-185, 1980.
- [27] SUGUIO, K.; BARCELOS, J. H. Significado paleoambiental de estrutura “boudinóide” e outras feições presentes na Seção Tipo da Formação Santo Anastácio do Grupo Bauru, Estado de São Paulo. **Boletim IG**, São Paulo, v. 14, p. 49-54, 1983.