

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA E QUALIDADE DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI EM POÇOS TUBULARES PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO NO ESTADO DE SÃO PAULO.

**Claudio L. Dias¹; Maria de Fátima B. da Silva²; Dorothy C. Pinati Casarini³ &
Mara Magalhães G. Lemos⁴**

Resumo - A CETESB, em atendimento ao Decreto nº 32.955/91 que regulamenta a Lei Estadual 6.134/88, desenvolve desde 1990, o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas para abastecimento público no Estado de São Paulo.

Atualmente, com a inserção de novos parâmetros químicos para a caracterização da hidrogeoquímica e qualidade dos sistemas aquíferos, pretende-se fornecer subsídios para elaboração das regulamentações, planejamento, gerenciamento, licenciamento ambiental e proteção das águas subterrâneas.

Este trabalho apresenta os resultados obtidos no monitoramento de 38 poços tubulares que captam água no Sistema Aquífero Guarani, que é considerado a maior reserva estratégica de água doce da América Latina, para o abastecimento público, para o desenvolvimento das atividades econômicas e para o lazer.

Os resultados químicos foram comparados com os padrões de potabilidade, indicando a excelente qualidade dessas águas para consumo humano. As concentrações dos metais alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cromo total, ferro total, manganês e mercúrio, apresentaram-se abaixo do limite de detecção do método analítico para a maioria das amostras.

As águas foram classificadas segundo o Diagrama de Piper, observando-se que no aquífero confinado caracterizam-se duas famílias de águas, uma predominantemente bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e outra bicarbonatadas sódicas. No aquífero livre caracteriza-se a família das águas cloro-sulfatadas cálcicas ou magnesianas.

¹ CETESB - Gerente do Setor de Qualidade de Solos e Águas Subterrâneas EQSS – claudiod@cetesb.sp.gov.br Av. Prof. Frederico Hermann Jr. 345 Pinheiros São Paulo CEP 05489-900

² CETESB - Agência Ambiental de Limeira mfatimas@cetesb.sp.gov.br

³ CETESB Gerente da Divisão de Qualidade de Solos, Águas Subterrâneas e Vegetação EQS – dorothyc@cetesb.sp.gov.br

⁴ CETESB - Setor de Qualidade de Solos e Águas Subterrâneas EQSS maral@cetesb.sp.gov.br

Abstract - CETESB, in service to the Ordinance no. 32.955/ 91 which regulates the State Law 6.134/88, develops since 1990, the groundwater quality monitoring for public supply in the São Paulo State.

Now, with the insert of new chemical parameters for the aquifers hydrogeochemic and quality characterization to subsidize elaboration of the regulations, planning, administration, environmental licensing and protection of the groundwater.

This work presents the results obtained in the monitoring of 38 tubular wells that capture water in the Guarani Aquifer, that it is considered the largest fresh water strategic reservation of Latin America, for the public supply, for the economical development and leisure.

The chemical results were compared with the drinking water standards, showing excellent quality of these waters for human consumption. The concentrations of the metals aluminum, arsenic, barium, cadmium, lead, chrome, total iron, manganese and mercury came below the limit of detection of the analytical method for most of the samples.

The waters were classified according the Diagram of Piper, being observed that in the confined aquifer two families of waters are characterized, as predominantly calcic bicarbonated or magnesians and other sodic bicarbonated. In the free aquifer the family of the waters is characterized chlorine-sulfaphated calcic or magnesians.

Palavras –chave: Aquífero Guarani , Hidrogeoquímica, Qualidade

Introdução

A CETESB, em atendimento ao Decreto nº 32.955/91 que regulamenta a Lei Estadual 6.134/88, desenvolve desde 1990, o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas para abastecimento público no Estado de São Paulo. Esse monitoramento destaca-se como um instrumento eficaz na prevenção da poluição deste importante manancial, oferecendo subsídios para uma política de proteção e controle da poluição.

Atualmente, a rede de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas para abastecimento público está constituída por 132 poços tubulares profundos, localizados nos Sistemas Aquíferos Guarani, Bauru, Serra Geral, Taubaté, Tubarão, Açungui e Embasamento Cristalino.

Os resultados obtidos no monitoramento contínuo da qualidade das águas subterrâneas permitem o conhecimento da qualidade natural e hidrogeoquímica dos principais aquíferos do Estado de São Paulo, bem como, efetuar uma avaliação das alterações que possam ocorrer ao longo do tempo.

Este trabalho apresenta os resultados obtidos no monitoramento de poços tubulares que captam água no Sistema Aquífero Guarani, que é considerado a maior reserva estratégica de água

doce da América Latina, para o abastecimento público, para o desenvolvimento das atividades econômicas e para o lazer [1].

O Sistema Aquífero Guarani engloba, no Estado de São Paulo, as formações geológicas Botucatu e Pirambóia, constituídas por depósitos arenosos eólicos e fluviais, respectivamente. As duas formações constituem-se em uma única unidade aquífera, semelhantes do ponto de vista litológico e divergindo quanto à gênese. A Figura 1 apresenta a área de afloramento do aquífero Guarani no Estado de São Paulo, com a hidrografia principal.

A Formação Pirambóia é constituída pela parte inferior da seqüência sedimentar Mesozóica, de origem fluviolacustre, caracterizada por arenitos esbranquiçados amarelados, avermelhados e róseos, de granulação muito fina a média, muito a pouco argilosos; intercalando finas camadas de lamitos argilosos, exibindo estratificação cruzada planar e acanalada e plano-paralelo.

A Formação Botucatu, sobrejacente aos sedimentos subaquosos da Formação Pirambóia, é constituída por um pacote de arenitos avermelhados, de granulação muito fina a média, friáveis, quartzosos, com bom arredondamento e esfericidade, bem selecionados, de origem eólica.

Sua espessura é bastante variada, tanto pelo fato de seu contato superior não ter uma superfície regular, quanto por apresentar freqüentemente interdigitamentos com os basaltos. De um modo geral, a Formação Botucatu estende-se como um pacote geológico, ora mais, ora menos espesso.

A Formação Serra Geral, sobreposta à Formação Botucatu, destaca-se por sua extensão e funciona como material confinante do Sistema Aquífero Guarani.

Com relação à hidrografia, a região do afloramento é atravessada pelos rios Tietê, Piracicaba, Mogi-Guaçu, Pardo e Paranapanema, entre outros de menor envergadura, destacando-se o Rio do Peixe e o Rio São José dos Dourados.

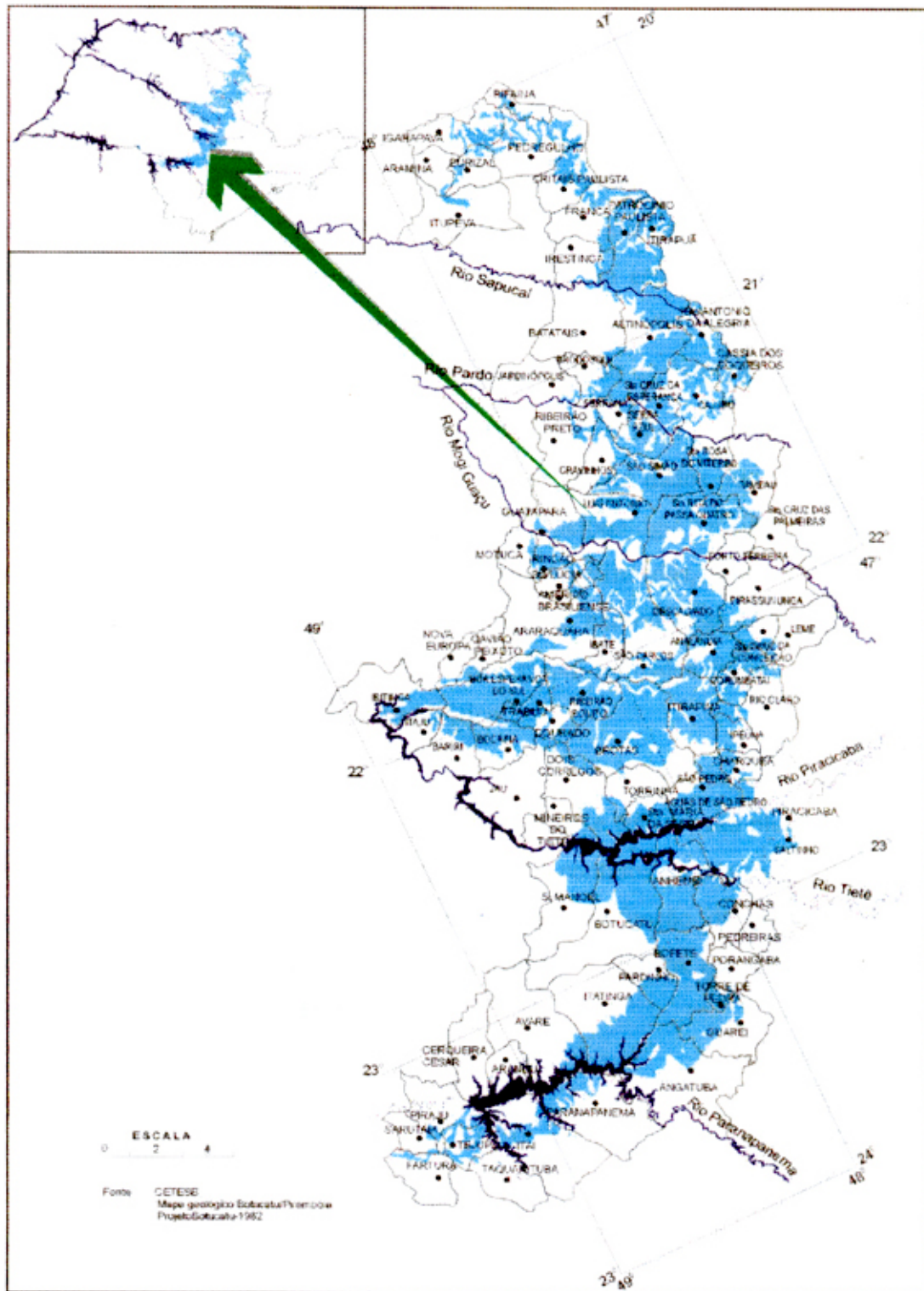


Figura 1 – Área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani, no Estado de São Paulo, com a hidrografia principal.

Metodologia

A rede da CETESB de monitoramento de poços tubulares para abastecimento público conta atualmente 38 poços captando água no Sistema Aquífero Guarani.

Os parâmetros selecionados como indicadores da qualidade e hidrogeoquímica das águas subterrâneas estão relacionados na Tabela 1. Nessa Tabela estão descritos também os padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria nº 1469, de 29.12.2000, do Ministério da Saúde, os métodos analíticos utilizados nos laboratórios da CETESB e seus limites de detecção.

Os resultados analíticos considerados na análise estatística foram compilados em planilhas eletrônicas. Foi realizada uma avaliação de consistência desses dados, retirando-se aqueles resultados considerados anômalos. Destaca-se que mudanças de metodologia analítica, alterando os limites de detecção, contribuíram sensivelmente para as incertezas verificadas, principalmente para metais. Na análise estatística para caracterização da hidrogeoquímica natural, desconsiderou-se também aqueles que indicavam contaminação antrópica. Após esta etapa, os dados foram agrupados por formação aquífera, realizando-se a estatística descritiva básica.

Caracterizaram-se, ainda, as águas dos aquíferos com base no Diagrama de Piper. Nesse gráfico, os cátions (Na^+ , Ca^{2+} , K^+ e Mg^{2+}) e os ânions (Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^-) são plotados em porcentagem de miliequivalentes, em duas bases triangulares. Os dados contidos nesses triângulos são projetados em um losango, possibilitando a classificação das águas em função da concentração de íons. Para elaboração dos Diagramas de Piper, utilizou-se o modelo AquaChem, que foi desenvolvido para análise gráfica e numérica de dados de hidrogeoquímica.

Tabela 1 – Parâmetros Monitorados, Padrões de Potabilidade (1) e Métodos Analíticos utilizados nos Laboratórios da CETESB, 2000.

PARÂMETROS	PADRÃO ⁽¹⁾ E UNIDADE	MÉTODO ANALÍTICO		LIMITE DE DETECÇÃO DO MÉTODO
		LAB. CETESB DE SÃO PAULO	LAB. REG. INTERIOR	
Alcalinidade Bicarbonato	mg/L CaCO ₃	titulação ácido/base – potenciometria	titulação ácido/base – potenciometria	0,0 mg/L
Alcalinidade Carbonato	mg/L CaCO ₃	titulação ácido/base – potenciometria	titulação ácido/base – potenciometria	0,0 mg/L
Alcalinidade Hidróxido	mg/L CaCO ₃	titulação ácido/base – potenciometria	titulação ácido/base – potenciometria	0,0 mg/L
Alumínio Total	0,2 mg/L Al	digestão ácida/espectrom. absorção atômica	digestão ácida/espectrom. absorção atômica	0,01 mg/L
Arsênio Total	0,05 mg/L As	digestão ácida/espectrom. de absorção atômica	digestão ácida/espectrom. de absorção atômica	0,002 mg/L
Bário Total	1,0 mg/L Ba	digestão ácida/espectrom. de absorção atômica	digestão ácida/espectrom. de absorção atômica	0,40 mg/L
Carbono Org. Dissolvido	mg/L C	combustão por infra-vermelho	-	0,5 mg/L
Cálcio Total	mg/L Ca	digestão ácida/espectrom. absorção atômica/titulação com EDTA	digestão ácida/espectrom. de absorção atômica titulação com EDTA	0,08 mg/L
Cádmio Total	0,005 mg/L Cd	digestão ácida/espectrom. de absorção atômica	digestão ácida/espectrom. de absorção atômica	0,0001 mg/L
Cloreto Total	250 mg/L Cl	colorimetria automática com tiocianato de mercúrio	colorimetria automat. com tiocianato de mercúrio	0,1 mg/L
Chumbo Total	0,05 mg/L Pb	digestão ácida/espectrom. de absorção atômica	digestão ácida/espectrom. de absorção atômica	0,002 mg/L
Cromo Total	0,05 mg/L Cr	digestão ácida/espectrom. absorção atômica	digestão ácida/espectrom. de absorção atômica	0,0005 mg/L
Dureza de Cálcio	mg/L CaCO ₃	titulação complexométrica	titulação complexométrica	2,0 mg/L
Dureza de Magnésio	mg/L CaCO ₃	titulação complexométrica	titulação complexométrica	2,0 mg/L
Dureza Total	500 mg/L CaCO ₃	titulação complexométrica	titulação complexométrica	2,0 mg/L
Ferro Total	0,3 mg/L Fe	digestão ácida/espectrom. de absorção atômica	colorimétrico - método ortofenantrolina	0,01 mg/L
Fluoreto Total	0,6 -1,7 mg/L F	potenciometria com eletrodo íon - seletivo	potenciometria com eletrodo íon - seletivo	0,05 mg/L
Magnésio Total	mg/L Mg	digestão ácida/espectrom. de absorção atômica	digestão ácida/espectrom. de absorção atômica	0,007 mg/L
Manganês Total	0,1 mg/L Mn	digestão ácida/espectrom. de absorção atômica	digestão ácida/espectrom. de absorção atômica	0,009 mg/L
Mercúrio Total	0,001 mg/L Hg	espectrom. de absorção atômica – vapor frio	-	0,0003 mg/L
Nitrogênio Amoniacal Total	mg/L N	colorimetria automática com salicilato de sódio	colorimetria automática com salicilato de sódio	<0,01 mg/L
Nitrogênio Kjeldahl Total	mg/L N	colorimetria automática com salicilato de sódio – meio sulfúrico	colorimetria automática com salicilato de sódio – meio sulfúrico	<0,03 mg/L
Nitrogênio Nitrato Total	10 mg/L N	colorimetria automática com N (1-naftil) em coluna de cádmio	colorimetria automática com N (1-naftil) em coluna de cádmio	0,02 mg/L
Nitrogênio Nitrito Total	mg/L de N	colorimetria automática com N (1-naftil) em coluna de cádmio	colorimetria automática com N (1-naftil) em coluna de cádmio	<0,02 mg/L

(1) Estabelecidos na Portaria 36 do Ministério da Saúde, de 19.01.90

Resultados

O Sistema Aquífero Guarani comporta-se por vezes como confinado e por vezes como livre, dependendo da localização e profundidade da captação das águas. Assim, utilizando-se o teste paramétrico Anova (analyses of variance), verificou-se a existência ou não de diferenças estatística entre os dados da porção livre e confinada. Observou-se que existem diferenças significativas entre estas duas porções para os parâmetros cloreto, magnésio, cálcio, nitrogênio nitrato, sódio, ferro total, cromo total, sólidos dissolvidos totais, temperatura, alcalinidade de bicarbonatos, pH,

condutividade elétrica e resíduos secos, sendo então realizada a análise estatística final para cada uma dessas porções, separadamente.

A Tabela 2 apresenta as características físicas e hidrogeológicas dos poços monitorados pela CETESB que captam água no Sistema Aquíferos Guarani..

Os resultados físicos, químicos e bacteriológicos obtidos para um total de 5.730 determinações realizadas em águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani, no período de 1998 a 2000, estão sintetizados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente para a porção livre e confinada. Considera-se o valor do 3º quartil (75%) como valor de referência de qualidade. A definição e utilização desses valores estão descritas em [5] e [6].

Tabela 2 Características físicas e hidrogeológicas dos poços tubulares da rede de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, no Sistema Aquífero Guarani.

AGÊNCIA DA CETESB	MUNICÍPIO	PROPRIETÁRIO DO POÇO	AQUÍFERO	PROF. (m)	VAZÃO ¹ (m ³ /h)	TEMPO BOMB. ¹ (h/d)	CAP.ESP. ² (m ³ /h/m)
Araraquara	Araraquara	Poço Ouro; Pref.Munic.	Livre	256	180	20	5,20
Araraquara	Ibaté	P7-DAEE-Pref. Munic.	Confinado	338	170	20	9,83
Araraquara	Itirapina	Pedágio Km 216/DER	Livre	100	70	10	0,40
Araraquara	Itirapina	P-Santelmo; Pref. Munic.	Livre	110	132	24	4,54
Araraquara	Matão	P22-DAEE/Pref.Munic.	Confinado	456	80	24	3,47
Araraquara	Ribeirão Bonito	Jd. Centenário; Pref.Mun.	Livre	85	-	-	-
Araraquara	Rincão	P3-DAEE/Pref. Munic.	Confinado	205	53	24	2,08
Araraquara	Santa Lúcia	P2-DAEE-Pref. Munic.	Confinado	205	41	24	0,98
Araraquara	Taquaritinga	P2-DAEE	Confinado	658	402	24	5,37
Bauru	Agudos (*)	P21-DAEE/SAEE	Confinado	182	35	20	1,66
Bauru	Bauru	Poço DAEE	Confinado	310	250	17	-
Bauru	Dois Córregos	P3-DAEE/Pref. Munic.	Confinado	558	140	24	2,10
Bauru	Macatuba	Matadouro; Pref. Munic.	Confinado	258	88	20	3,12
Bauru	Pederneiras	P2-Santelmo/SABESP	Confinado	237	12	20	0,13
Bauru	Pederneiras	Vanglória/SABESP	Confinado	170	22	20	-
Bauru	São Manuel	P2-SABESP	Confinado	386	200	20	1,27
Franca	Batatais	Santa Cruz; Pref. Munic.	Confinado	266	100	20	9,05
Franca	Buritizal	Pedra Branca/SABESP	Confinado	122	45	12	1,25
Franca	Guará	P6-DAEE-Pref. Munic.	Confinado	436	90	24	4,00
Franca	Pedregulho	P01-Igaçaba/DAEE	Livre	122	8	6	0,10
Franca	S.J.da Barra	P15-DAEE/Pref. Munic.	Confinado	589	170	18	2,32
Itapetininga	Avaré	P6-SABESP	Confinado	426	85	16	-
Itapetininga	Botucatu	P1-SABESP	Livre	76	11	9	0,19
Itapetininga	Sarutaiá	P1-DAEE/SABESP	Confinado	152	26	31	1,44
Ribeirão Preto	Brodosqui	Dist. Indust; Pref. Munic.	Confinado	565	250	21	3,95
Ribeirão Preto	Cravinhos	Jd. Itamarati; Pref. Munic.	Confinado	240	100	8	3,46
Ribeirão Preto	Dumont	P181-DAEE/Pref. Munic.	Confinado	359	90	24	-
Ribeirão Preto	Guariba	P1-DAEE-Pref. Munic.	Confinado	600	245	15	-
Ribeirão Preto	Jardinópolis	Pç. Fincotti; Pref. Munic.	Confinado	337	175	24	-
Ribeirão Preto	Luis Antônio	P5-DAEE-Pref. Munic.	Livre	174	66	14	6,00
Ribeirão Preto	Orlândia	P1-DAEE-Pref. Munic.	Confinado	450	55	20	9,94
Ribeirão Preto	Ribeirão Preto (*)	P111-São José/DAERP	Confinado	204	146	24	-
Ribeirão Preto	Ribeirão Preto	P125-Quintino/DAERP	Confinado	198	117	24	3,00
Ribeirão Preto	Ribeirão Preto	P137- DAERP	Confinado	234	376	24	-
Ribeirão Preto	Sales de Oliveira	P3-Pref. Munic.	Confinado	115	80	3	8,98
Ribeirão Preto	Sales de Oliveira	Dist. Indust.Pref. Munic.	Confinado	550	150	8	4,22
Ribeirão Preto	Sta. C. Esperança	P2- SABESP	Confinado	202	20	20	-
Ribeirão Preto	São Simão	P2-S. Luis; Pref. Munic.	Livre	230	70	16	1,11
Ribeirão Preto	Serrana	P1-Pref. Munic.	Confinado	170	150	18	-
Ribeirão Preto	Sertãozinho	P24-Pref. Munic.	Confinado	307	170	24	13,52

1 - Dados fornecidos pelo proprietário do poço. 2 - Capacidade específica = Q/s (Vazão/ metro de Rebaixamento).

* - Poços desativados

Tabela 3 - Síntese dos dados de qualidade das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani, porção livre, 1998-2000.

PARÂMETRO	PADRÃO E UNIDADE (PORT. 1469/00-MS)	Nº DE ANÁLISES REALIZADAS	AMPLITUDE DE VARIAÇÃO	MEDIANA	VALOR DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE
Alcal. Bicarbonato	mg/L CaCO ₃	31	0 – 23	8	17
Alcalinidade Carbonato	mg/L CaCO ₃	30	0	0	0
Alcalinidade Hidróxido	mg/L CaCO ₃	29	0	0	0
Alumínio Total	0,2 mg/L Al	27	<0,01 – 0,21	0,02	0,05
Arsênio Total	0,05 mg/L As	29	<0,002	<0,002	<0,002
Bário Total	1,0 mg/L Ba	26	<0,4 – 0,92	<0,4	<0,4
Carbono Org. Dissolv.	mg/L C	25	1,23 – 15,6	5,35	8,13
Cálcio total	mg/L Ca	45	0,4 – 10,5	2	3,2
Cádmio Total	0,005 mg/L Cd	29	<0,0001 – 0,002	<0,0001	<0,0001
Cloreto	250 mg/L Cl	46	0,5 – 10	1,25	2,375
Chumbo Total	0,05 mg/L Pb	24	<0,002	<0,002	<0,002
Cromo Total	0,05 mg/L Cr	45	<0,0005 – 0,003	<0,0005	0,001
Dureza Cálcio	mg/L CaCO ₃	27	1 – 10	3	5,5
Dureza Magnésio	mg/L CaCO ₃	27	1 – 24	7	11,5
Dureza Total	500 mg/L CaCO ₃	46	4 – 33,8	13	18
Ferro Total	0,3 mg/L Fe	44	<0,01	<0,12	<0,12
Fluoreto	0,6-1,7 mg/L F	44	0,01 – 0,71	0,08	0,225
Magnésio Total	mg/L Mg	30	0,2 – 7,05	1,95	3,0125
Manganês Total	0,1 mg/L Mn	28	<0,009	<0,009	<0,009
Mercúrio Total	0,001 mg/L Hg	29	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Nitrogênio Nitrato	10 mg/L N	35	<0,01 – 1,03	0,1	0,595
Nitrogênio Nitrito	Mg/L N	30	<0,001 - <0,05	<0,005	<0,005
Nitrog. Total Kjeldhal	mg/L N	46	<0,03 – 0,3	0,05	0,09
Potássio	mg/L K	45	<0,02 – 8,5	2,2	4,3
Resíduo Seco 180°C	mg/L	30	19 – 157	34	62,25
Sódio Total	mg/L Na	29	<0,01 – 6	0,4	1,5
Sólidos Dissolv. Totais	1000 mg/L	46	12 – 128	38	55,5
Sulfato	400 mg/L SO ₄	30	<10	<10	10
Condutividade Elétrica	µS/cm	46	11 – 158	26,5	45,5
pH	6,5-8,5	46	4,8 – 7,3	5,775	6,145
Temperatura	°C	46	20 – 27	24	25
Contagem Bactérias	UFC/ml	46	0 – 3600	6	24
Coliforme Total	0 NMP/100 ml	46	0 – 400	0	0
Coliforme Fecal	0 NMP/100 ml	46	0 – 28	0	0

Tabela 4 - Síntese dos dados de qualidade das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani, porção confinada, 1998-2000.

PARÂMETRO	PADRÃO E UNIDADE (PORT. 1469/00-MS)	Nº DE ANÁLISES REALIZADAS	AMPLITUDE DE VARIAÇÃO	MEDIANA	VALOR DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE
Alcalinidade Bicarbonato	mg/L CaCO ₃	111	0 – 186	61	92,5
Alcalinidade Carbonato	mg/L CaCO ₃	112	0 – 26	0	0
Alcalinidade Hidróxido	mg/L CaCO ₃	98	0	0	0
Alumínio Total	0,2 mg/L Al	107	<0,01 – 0,14	<0,01	0,03
Arsênio Total	0,05 mg/L As	109	<0,002	<0,002	<0,002
Bário Total	1,0 mg/L Ba	103	<0,4 – 0,4	<0,4	<0,4
Carbono Org. Dissolvido	mg/L C	83	0,98 – 30,3	9,19	11,35
Cálcio total	mg/L Ca	163	0,4 – 42,6	10,1	20,6
Cádmio Total	0,005 mg/L Cd	108	<0,0001 – 0,003	<0,0001	<0,0001
Cloreto	250 mg/L Cl	168	0,15 – 8	1	1,5
Chumbo Total	0,05 mg/L Pb	94	<0,002 – 0,01	<0,002	<0,002
Cromo Total	0,05 mg/L Cr	165	<0,0005 – 0,04	0,002	0,003
Dureza Cálcio	mg/L CaCO ₃	84	1 – 91	17	50
Dureza Magnésio	mg/L CaCO ₃	84	2 – 50	13	19
Dureza Total	500 mg/L CaCO ₃	166	7 – 123	35,5	68
Ferro Total	0,3 mg/L Fe	166	<0,01 – 0,29	<0,12	<0,12
Fluoreto	0,6-1,7 mg/L F	168	<0,01 – 0,77	0,11	0,1825
Magnésio Total	mg/L Mg	110	0,13 – 12,1	3,1	4,4
Manganês Total	0,1 mg/L Mn	109	<0,009	<0,009	<0,009
Mercurio Total	0,001 mg/L Hg	109	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Nitrogênio Nitrato	10 mg/L N	153	<0,01 – 1,38	0,04	<0,12
Nitrogênio Nitrito	Mg/L N	105	<0,001 – 0,009	<0,002	<0,005
Nitrogênio Total Kjeldhal	mg/L N	169	<0,01 – 1,08	<0,05	0,08
Potássio	mg/L K	165	<0,02 – 11	2,8	3,9
Resíduo Seco 180°C	mg/L	110	24 – 222	99,5	125
Sódio Total	mg/L Na	107	0,1 - 103	3,3	8,85
Sólidos Dissolvidos Totais	1000 mg/L	169	20 – 210	98	129
Sulfato	400 mg/L SO ₄	111	<10	<10	<10
Condutividade Elétrica	µS/cm	164	21 – 315	117	166,25
pH	6,5-8,5	167	5,3 – 9,2	6,85	7,79
Temperatura	°C	163	21 – 36	26	29
Contagem Bactérias	UFC/ml	169	0 – 1000	0	17
Coliforme Total	0 NMP/100 ml	166	0 – 76	0	0
Coliforme Fecal	0 NMP/100 ml	167	0 – 20	0	0

O Sistema Aquífero Guarani apresenta águas em geral fracamente salinas, com resíduo seco a 180°C inferior a 222 mg/L, sendo que em 75% das análises realizadas, este parâmetro não ultrapassou o valor de 121 mg/L.

Observa-se, neste Sistema Aquífero, um aumento do pH e temperatura em relação à profundidade do topo do aquífero. O pH destas águas varia de 4,8 a 9,2; portanto, de ácido a alcalino, com predomínio de águas alcalinas para o aquífero confinado, variando de 5,3 a 9,2 e ácida para o aquífero livre, variando de 4,8 a 7,3.

A temperatura da água, medida na boca dos poços tubulares profundos, apresenta valores de 20°C a 36°C. Em sua porção livre, na área de afloramento, que ocorre a leste do Estado, as temperaturas variam de 20°C a 27°C, sendo que em 87% das amostras, os valores são menores que 25°C. Em sua porção confinada esses valores variam de 21°C a 36°C, predominando 29°C.

A medição da temperatura da água pode indicar seu grau de correlação com a profundidade de extração, dado que a mesma é muito dependente do gradiente geotérmico, aproximadamente 1°C para cada 35 metros de profundidade.

Os sólidos dissolvidos totais não ultrapassam 210 mg/L e os valores de condutividade elétrica apresentam-se menores do que 230 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com exceção de apenas um poço, localizado no município de Guará, que apresenta valores de condutividade elétrica de 315 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o 3º quartil (75%) é igual a 153 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estes resultados mostram um conteúdo relativamente baixo de sais dissolvidos, devido ao caráter litológico do sistema aquífero que contribui com poucos sais. Essas águas circulam principalmente nos arenitos onde a dissolução dos sais é bastante reduzida e, também, pelo fato dos poços da rede de monitoramento estarem localizados na zona de recarga. O caráter salino das águas se deve, principalmente, aos cátions bicarbonato, cálcio e sódio.

Observa-se que os parâmetros pH, temperatura e sólidos dissolvidos totais, se correlacionam entre si, a elevação de cada um é associada à elevação dos outros dois.

Entre os vários parâmetros monitorados, selecionou-se o nitrato como indicador de contaminação, em razão de sua alta solubilidade e seu potencial de risco à saúde humana.

No Sistema Aquífero Guarani, em sua porção livre, o nitrato varia de <0,01 a 1,03 mg/L N-NO₃, com 75% dos valores menores do que 0,6 mg/L N-NO₃ e na porção confinada, varia de <0,01 a 1,38 mg/L N-NO₃, com 75% dos valores menores que 0,12 mg/L N-NO₃.

Os poços localizados nos municípios de Botucatu, Ribeirão Bonito e Orlândia, apresentam concentrações de nitrato que indicam indícios de contaminação.

Com relação à dureza, pode-se considerar a água do Sistema Aquífero Guarani de branda a pouco dura. Segundo a classificação das águas, realizada por [2], uma água é considerada branda quando o teor de CaCO₃ for menor do que 50 mg/L, pouco dura de 50 a 100 mg/L e dura de 100 a 200 mg/L. De acordo com esta classificação, verifica-se que 67% das amostras analisadas são de águas brandas, 30% de águas pouco duras e 3% de águas duras. Somente um poço, localizado no município de Matão, apresentou valores de dureza total que variam de 105 a 115 mg/L de CaCO₃, com predomínio da dureza de cálcio.

Os sais de cálcio possuem solubilidade moderada a alta e apresentam, em geral, concentrações baixas, inferiores a 43 mg/L, variando de 0,4 a 42,6 mg/L. Em 75% das análises realizadas, os valores são menores que 3,2 mg/L na porção livre e 20,6 mg/L na porção confinada.

A variação do magnésio apresenta grande similaridade com a do cálcio, porém é mais solúvel e mais difícil de precipitar. Suas concentrações são menos elevadas, variando de 0,2 a 12,1 mg/L. Sua concentração é maior na porção confinada do aquífero.

O cloreto está presente em pequenas quantidades, tanto na porção livre como na porção confinada, varia de 0,15 a 10 mg/L, com 75% dos valores menores que 1,5 mg/L. Pode ser

originário de duas fontes: precipitação meteórica e/ou dissolução das micas (sericita e biotita, presentes em pequenas quantidades nas Formações Botucatu e Pirambóia e as cloritas, que são minerais secundários de alteração dos basaltos). A alta solubilidade do cloreto e o longo tempo de permanência das águas no aquífero promovem a concentração gradativa e constante de seus teores nas águas subterrâneas [3].

O potássio varia de <0,02 a 8,5 mg/L, com 75% dos valores menores que 4,3 mg/L em sua porção livre e de <0,02 a 11 mg/L, com 75% dos valores menores que 3,9 mg/L em sua porção confinada.

Com relação ao sódio que é um dos metais alcalinos mais importantes e abundantes nas águas subterrâneas e está presente em todas as águas devido sua alta solubilidade e ampla distribuição nos minerais fontes, varia de <0,01 a 6 mg/L, com 75% dos valores menores que 1,5 mg/L, na porção livre e de 0,1 a 103 mg/L, com 94% dos valores menores que 36 mg/L na porção confinada.

Há em geral um aumento gradativo das concentrações de sódio das águas subterrâneas a partir da zona de recarga do aquífero em direção às suas porções confinadas [4]. Nessas águas, o íon sódio é muito mais abundante que o potássio. Sendo altamente solúvel, libera-se com facilidade dos minerais silicosos (feldspaltos principalmente) e dos solos. Por esta razão, aumenta suas concentrações desde a zona de afloramento do aquífero até suas porções mais confinadas, sendo responsável pelo aumento constante da salinidade das águas do ponto de vista catiônico [2].

Em todas as amostras analisadas, as concentrações de sulfato são menores do que 10 mg/L.

Com relação às análises bacteriológicas, os parâmetros coliformes totais e/ou fecais atenderam ao padrão de potabilidade em 94% das análises realizadas.

As concentrações dos metais alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cromo total, ferro total, manganês e mercúrio, apresentaram-se abaixo do limite de detecção do método analítico para a maioria das amostras. Estas concentrações são muito inferiores aos padrões de potabilidade, estabelecidos na Portaria 1469/00 do Ministério da Saúde.

Ainda com relação aos metais, somente um poço localizado no município de São Simão, apresentou valor acima do padrão de potabilidade para o parâmetro alumínio (0,21mg/L), três poços tubulares profundos, localizados nos municípios de Santa Lúcia, Dois Córregos e Batatais apresentam concentrações de chumbo acima do padrão de potabilidade. Destaca-se que das quatro análises realizadas em cada poço, o chumbo foi detectado em apenas uma amostra para os municípios de Santa Lúcia e Batatais e em duas no município de Dois Córregos

Em nenhuma das análises realizadas para arsênio, bário, cádmio, cromo total, ferro total, manganês e mercúrio, foram obtidas concentrações acima dos padrões de potabilidade.

As águas do Sistema Aquífero Guarani foram classificadas em três famílias segundo o diagrama de Piper. No aquífero confinado caracterizam-se as águas bicarbonatadas cálcicas ou

magnesianas e as águas bicarbonatadas sódicas; no aquífero livre observa-se a concentração de pontos, caracterizando a família das águas cloro-sulfatadas cálcicas ou magnesianas. A Figura 2 mostra a distribuição dos resultados químicos das análises segundo esse Diagrama.

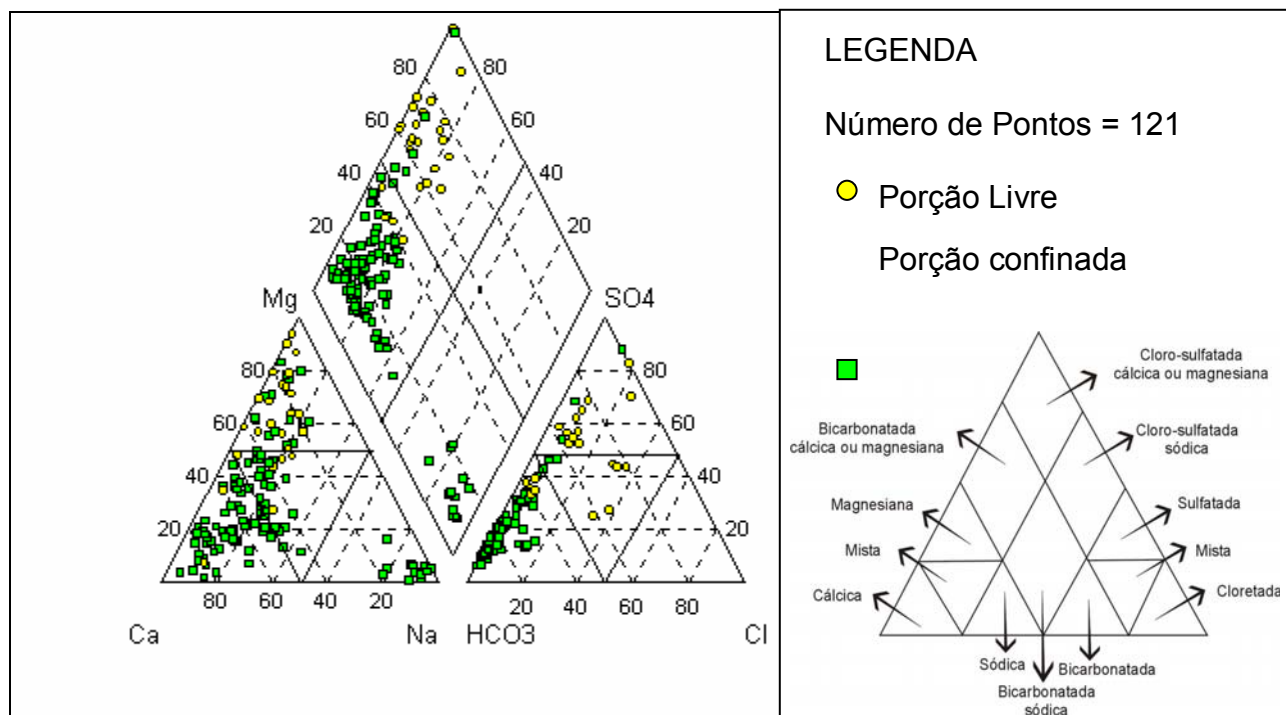


Figura 2 - Classificação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani, segundo o Diagrama de Piper - teores em porcentagem de meq/l.

A família das águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas

As águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas ocorrem na porção confinada do Sistema Aquífero Guarani, onde o pH varia de 5,3 a 8,5 e a temperatura de 21°C a 36°C, com 75% dos valores menores que 28°C. A Tabela 6 apresenta a variação dos íons dessa família.

Tabela 6- Variação dos íons da família das águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, na porção confinada do Sistema Aquífero Guarani.1998-2000.

PARÂMETROS	UNIDADE	NÚMERO DE ANÁLISES REALIZADAS	AMPLITUDE DE VARIAÇÃO	MEDIANA	3º QUARTIL 75%
Alcalinidade de Bicarbonato	mg/L CaCO ₃	112	0 - 155	47	86
Alcalinidade de Carbonato	mg/L CaCO ₃	111	0	0	0
Cálcio	mg/L Ca	163	0,4 - 42,6	10,1	20,6
Cloreto	mg/L Cl	168	0,15 - 8,3	1,0	1,5
Magnésio	mg/L Mg	110	0,2 - 12,1	3,1	4,6
Potássio	mg/L K	165	0,3 - 11	3,1	4,3
Sódio	mg/L Na	105	0,01 - 20	2,6	5,6
Sulfato	mg/L SO ₄	111	<10	<10	<10

A família das águas bicarbonatadas sódicas

As águas bicarbonatadas sódicas também ocorrem na porção confinada do Sistema Aquífero Guarani e apresentam valores de pH predominantemente alcalino, 100% dos valores são maiores que 8,5; o resíduo seco a 180°C varia de 93 a 222 mg/L e a temperatura varia de 23°C a 34°C. A Tabela 7 apresenta a variação dos íons da família das águas bicarbonatadas sódicas, classificadas segundo o Diagrama de Piper.

Tabela 7 - Variação dos íons da família das águas bicarbonatadas sódicas, na porção confinada do Sistema Aquífero Guarani. 1998 - 2000.

PARÂMETROS	UNIDADE	NÚMERO DE ANÁLISES REALIZADAS	AMPLITUDE DE VARIAÇÃO	MEDIANA	3º QUARTIL 75%
Alcalinidade de Bicarbonato	mg/L CaCO ₃	12	55 - 186	125	157
Alcalinidade de Carbonatos	mg/L CaCO ₃	12	0 - 26	1,0	16
Cálcio	mg/L Ca	18	0,4 - 10,8	3,8	4,0
Cloreto	mg/L Cl	18	0,32 - 3,0	1,1	1,9
Magnésio	mg/L Mg	12	0,13 - 3,9	1,8	2,4
Potássio	mg/L K	17	0,02 - 2,0	0,9	1,4
Sódio	mg/L Na	12	28 - 103	58	64
Sulfato	mg/L SO ₄	12	<10	<10	<10

A família das águas cloro-sulfatadas cálcicas ou magnesianas

As águas cloro-sulfatadas cálcicas ou magnesianas ocorrem na porção livre do Sistema Aquífero Guarani e apresentam valores de pH sempre ácido, variando de 4,8 a 7,0, com 75% dos valores menores que 6,2. O resíduo seco a 180°C apresenta concentrações sempre menores que 157 mg/L, com 75% dos valores menores que 54 mg/L, a temperatura varia de 20°C a 27°C, com 75% dos valores menores que 24°C.

A Tabela 8 apresenta a variação dos íons, da família das águas cloro-sulfatadas cálcica ou magnesianas, classificadas segundo o Diagrama de Piper.

Tabela 8 - Variação dos íons da família das águas cloro-sulfatadas cálcica ou magnesianas na porção livre do Sistema Aquífero Guarani. 1998 - 2000

PARÂMETROS	UNIDADE	NÚMERO DE ANÁLISES REALIZADAS	AMPLITUDE DE VARIAÇÃO	MEDIANA	3º QUARTIL 75%
Alcalinidade de Bicarbonatos	mg/L CaCO ₃	37	0 - 59	9	20
Alcalinidade de Carbonatos	mg/L CaCO ₃	36	0	0	0
Cálcio	mg/L Ca	54	0,4 - 10,5	2,2	5,1
Cloreto	mg/L Cl	55	0,5 - 10,0	1,0	1,5
Magnésio	mg/L Mg	36	0,7 - 7,0	2,3	3,1
Potássio	mg/L K	56	0,02 - 5,3	1,95	3,1
Sódio	mg/L Na	34	0,01 - 6,0	0,45	1,3
Sulfato	mg/L SO ₄	36	<10	<10	<10

Conclusões

De acordo com os diagramas e tabelas apresentados com a caracterização química e biológica, assim como a classificação hidrogeoquímica pode concluir-se que as águas do Sistema Aquífero Guarani apresentam-se com excelente qualidade para consumo humano, evidenciada pelos resultados dos parâmetros indicadores que estão abaixo dos padrões de potabilidade, embora existam episódios pontuais de contaminação para alguns poços.

Foi possível também, estabelecer para esse aquífero valores de referência de qualidade, de acordo com a metodologia descrita em [5], considerando os parâmetros que estão publicados em [1] e são apresentados nas Tabelas 3 e 4. Um programa contínuo de monitoramento permitirá consolidar esses valores e detectar possíveis alterações no futuro.

Esse recurso é estratégico para o desenvolvimento do Estado, onde o Sistema Aquífero Guarani destaca-se como o mais importante do ponto de vista de abastecimento público. A CETESB que tem a atribuição legal de garantir a manutenção da qualidade do recurso hídrico subterrâneo no Estado de São Paulo, controla de forma diferenciada as cargas poluidoras potenciais instaladas na região do seu afloramento.

Faz-se necessária, porém, a implementação de uma política específica de proteção, com medidas preventivas e corretivas, bem como do gerenciamento integrado dos recursos hídricos, não esquecendo do princípio fundamental da Política Estadual de Recursos Hídricos onde o ciclo hidrológico é indissociável. As águas superficiais e subterrâneas são o mesmo recurso, fluindo por meios físicos diferentes. Da mesma forma, o binômio qualidade e quantidade não deve ser tratado de forma separada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo: 1998-2000**. São Paulo: CETESB. 2001 106 p.:il.; 30cm.
- [2] CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterrânea**. Barcelona, Omega, t.1, 1976.
- [3] SILVA, R.B.G. **Estudo Hidroquímico e Isotópico das Águas Subterrâneas do Aquífero Botucatu no Estado de São Paulo**. Tese de Doutorado. IGC/USP. 1983. 133 p.
- [4] COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Hidrogeologia Conceitos e Aplicações**. São Paulo, 1997.
- [5] COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo: relatório final**. São Paulo : CETESB, 2001. 248p.
- [6] DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO - DOE. Empresarial. De 26.10.2001. pg 18.