

## **XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

### **CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DO SISTEMA AQUIFERO BAURU NO ESPIGÃO DE MARÍLIA (SP)**

Ana Paula Rios<sup>(1,2)</sup>, Tatiana Tavares<sup>(1)</sup>, Nádia Correa<sup>(1)</sup>, André Luiz Ferreira<sup>(1)</sup>, Ana Cândida Melo Cavani<sup>(1)</sup>, Veridiana Martins<sup>(2)</sup>, Alessandra Crespi<sup>(2)</sup>, Reginaldo Bertolo<sup>(2)</sup>, Ana Maciel de Carvalho<sup>(1)</sup>, Jose Luiz Albuquerque Filho<sup>(1)</sup>, Sérgio Cândido<sup>(3)</sup>

#### **RESUMO**

A presença do bário nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru (SAB) tem preocupado os gestores, pois a não conformidade legal dessas ocorrências pode gerar prejuízo econômico resultante da proibição de utilização de poços, bem como necessidade de estudos de alternativas de abastecimento para a substituição do recurso.

Visando diagnosticar problemas de qualidade de água e fornecer subsídios para gestão da qualidade de água subterrânea para os órgãos reguladores e donos de poços de abastecimento, um estudo foi feito na região do Espigão de Marília, através de revisão bibliográfica, levantamento de bases cartográficas, cadastramento de poços outorgados, coleta de amostras de água subterrânea para análises físico-químicas e químicas, consolidação e interpretação dos dados.

Os resultados mostram que as anomalias de bário detectadas se encontram nas porções mais superficiais do Sistema Aquífero Bauru (SAB). As maiores concentrações foram detectadas em poços que atravessam ambos os aquíferos Marília e Adamantina. Os poços que apresentam as maiores concentrações de Ba encontram-se nos municípios de Gália, Garça, Oriente, Pompéia e Marília.

#### **ABSTRACT**

The presence of barium in groundwater in the Bauru Aquifer System (BAS) has concerned the public managers because the not legal compliance of these occurrences can result in economic loss, as well as the need of supply alternatives for the replacement of this resource.

---

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT /LABGEO/CTGeo. Av. Prof. Almeida Prado, 532 - Butantã, São Paulo - SP, 05508-901, tel: (11) 3767-4936, e-mail: ttavares@ipt.br; <sup>2</sup> Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – IGc/USP. R. do Lago, 562 - Cidade Universitária, São Paulo - SP, 05508-080, tel: (11) 3091-4239, e-mail: veridian@usp.br. <sup>3</sup> Autônomo, tel: (11) 94927-4091, e-mail: sergiounesp@gmail.com.

With the objective to diagnose water quality problems and provide subsidies for groundwater quality management to regulators and supply wells owners, a study was done in the Marília Plateau, through these activities: literature review, searching of cartographic databases, registration of granted wells, collecting groundwater samples for physico-chemical analyses and consolidation and interpretation of data.

The results show that barium anomalies are occurring at the most superficial portions of Bauru Aquifer System (BAS). The highest concentrations were detected in wells that cross both Marília and Adamantina aquifers. The wells that have the highest Ba concentrations are in the cities of Gália, Garça, Oriente, Pompéia e Marília.

**Palavras-Chave** - Sistema Aquífero Bauru, Hidroquímica, Bário.

## 1. INTRODUÇÃO

O recurso hídrico subterrâneo responde pelo abastecimento total ou parcial de cerca de 80% dos núcleos urbanos e por cerca de 34% da população do Estado de São Paulo (CETESB, 2010), sendo que a região noroeste é uma das que mais necessitam desse recurso, onde o Sistema Aquífero Bauru (SAB) abastece integralmente 32,5% dos municípios do Estado (PAULA E SILVA et al. 2005b).

A demanda pelo recurso hídrico subterrâneo tem crescido nos últimos tempos. Entre 2007 e 2011 observou-se um aumento de 94,26% no volume de água subterrânea captada na UGRHI 20 e de 45,51% na UGRHI 21, ambas localizadas em zonas de afloramento do SAB. E para ambas as UGRHI's, os poços representam 2/3 das captações de água na bacia (CBH-AP, 2013).

A CETESB em seu monitoramento semestral de poços de abastecimento tem detectado concentrações de bário superiores (até 1,2 mg/L) aos valores de potabilidade no SAB (CETESB, 2010). Concentrações de bário de até 2,0 mg/L foram encontradas no SAB por Savazzi (2008). Ambos recomendaram a realização de estudos específicos para avaliar a origem dessas ocorrências anômalas. Prandi (2010) também cita anomalias de bário em águas superficiais e subterrâneas no SAB, nas bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe, como condicionante na gestão dos recursos hídricos da porção oeste do Estado.

Tavares (2013) e Tavares et al. (2015) concluíram que as ocorrências avaliadas nos poços de abastecimento do Sistema Aquífero Bauru (SAB) monitorados pela CETESB que captam água dos aquíferos Marília e Adamantina, estão associadas com águas bicarbonatadas cálcicas de pH mais alcalino e baixas concentrações de NO<sub>3</sub>, sugerindo origem natural para o bário. Crespi (2013),

através da aplicação de isótopos de O e H, identificou um zoneamento isotópico do SAB que corrobora as conclusões de Tavares (2013).

Tavares (2013) comprovou também a origem natural do Ba no município de Gália, onde a maior anomalia (2,2 mg/L) observada ocorre em poço de monitoramento cuja seção filtrante está instalada no nível de maior cimentação carbonática das rochas da Formação Marília, sendo estas camadas mais propícias para geração do bário em solução. Tavares (2013) concluiu também que além da cimentação carbonática, outra fonte natural de bário no sedimento são os argilo-minerais, que podem liberar o Ba por troca iônica com o Ca.

Considerando o cenário exposto acima, um estudo financiado pelo Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) está sendo desenvolvido para melhor caracterizar a contaminação de bário no SAB no Espigão de Marília e o presente artigo objetivou identificar as áreas com maior propensão à ocorrência de anomalias de bário no Espigão de Marília, definir qual sua origem, bem como caracterizar sua hidroquímica nesses contextos. Para tanto, executou-se: revisão bibliográfica de estudos no local, levantamento de bases cartográficas, cadastramento de poços outorgados, coleta de amostras de água subterrânea para análises físico-químicas e químicas, consolidação e interpretação dos dados.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo do trabalho é identificar as áreas com maior propensão à ocorrência de anomalias de bário no Espigão de Marília, bem como caracterizar a hidroquímica associada, buscando definir sua origem.

## **3. ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo compreende os territórios dos municípios Álvaro de Carvalho, Alvinlândia, Gália, Garça, Lupércio, Marília, Ocaçu, Oriente, Pompeia, Quintana e Vera Cruz, pertencentes à porção geográfica denominada Espigão / Planalto ou Platô de Marília (ROSS & MOROZ, 1997), superfície topograficamente mais alta da região caracterizada por relevo tabular limitado por escarpa abrupta.

Localizada na região centro-oeste do Estado de São Paulo, a 401 km da capital, o principal acesso é efetuado pela principal ligação entre a Região Metropolitana de São Paulo e o Oeste Paulista é a Rodovia Presidente Castello Branco (SP-280 e BR-374), até a Rodovia Comandante João Ribeiro de Barros (SP-294) (Figura 1).

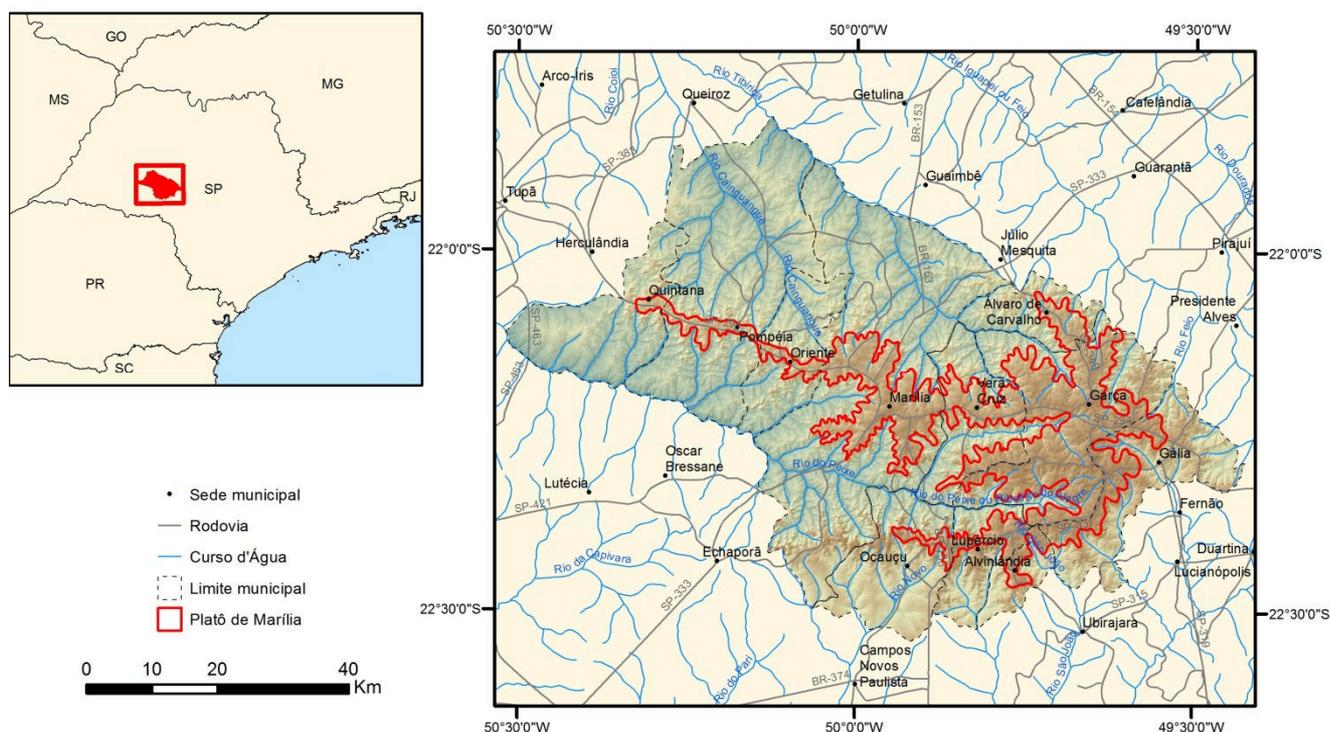


Figura 1 – Localização da área de estudo.

### 3.1. Geologia

O substrato geológico da região é formado pelas rochas sedimentares depositadas na Bacia Bauru, que cobre 42% do estado, em uma área de 104.000 km<sup>2</sup>, na unidade geomorfológica denominada Planalto Ocidental Paulista (ROSS & MOROZ, 1997).

O embasamento da bacia, segundo o mesmo autor, é composto pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e, localmente, pelos sedimentos das formações Botucatu e Pirambóia, como ocorre na região de Bauru e Agudos (PAULA E SILVA; CAVAGUTI, 1994).

As rochas sedimentares são constituídas predominantemente por sedimentos siliciclástico continentais, caracterizados por arenitos, arenitos argilosos, carbonáticos ou não, siltitos, lamitos e argilitos, apresentando localmente conglomerados e camadas calcárias (DAEE, 1979).

O Espigão de Marília é esculpido nos arenitos carbonáticos da Formação Marília e, segundo Paula e Silva (2003), encontram-se sobrepostos às formações Adamantina, Araçatuba e Birigui na região de estudo.

A Formação Marília é composta por três membros: Echaporã, Serra Galga e Ponte Alta (BARCELOS; SUGUIO, 1987). Sobrepõe-se à Formação Adamantina, por meio de contatos interdigitados (PAULA E SILVA, 2003).

A Formação Marília no Estado de São Paulo é representada pelo Membro Echaporã, composto por arenitos finos a médios, imaturos, com presença subordinada de frações de areia

grossa a grânulos, com cimentação e nódulos carbonáticos, de cores bege a rosa (pálidas) características (FERNANDES, 2004). Formam estratos tabulares de aspecto maciço, com espessura média em torno de 1 m (até 2,5 m), limitados por superfícies subhorizontais planas. Na base dos estratos pode ocorrer discreta concentração de clastos. No topo, são comuns zonas de maior desenvolvimento de nódulos e crostas carbonáticas, assim como, intercalações de delgadas lentes de lamitos arenosos. As litofácies conglomeráticas, em geral de poucos centímetros de espessura, são constituídas predominantemente por intraclastos centimétricos (carbonáticos e lamíticos) e por extraclastos silicosos (quartzo, quartzito e arenito silicificado). Feições tubulares de origem indeterminada, vestígios de raízes ou de escavações de pequenos organismos, foram descritas no Membro Echaporã (FERNANDES, 2010). Corresponde a partes distais de leques aluviais e contém intercalações de depósitos de pavimentos detríticos de deflação e calcretes pedogenéticos (FERNANDES, 2004). O Membro Echaporã tem contatos graduais e interdigitados com a Formação Adamantina (acepção de Soares et al., 1980), e localmente faz contatos diretos com a Formação Serra Geral (FERNANDES, 2004).

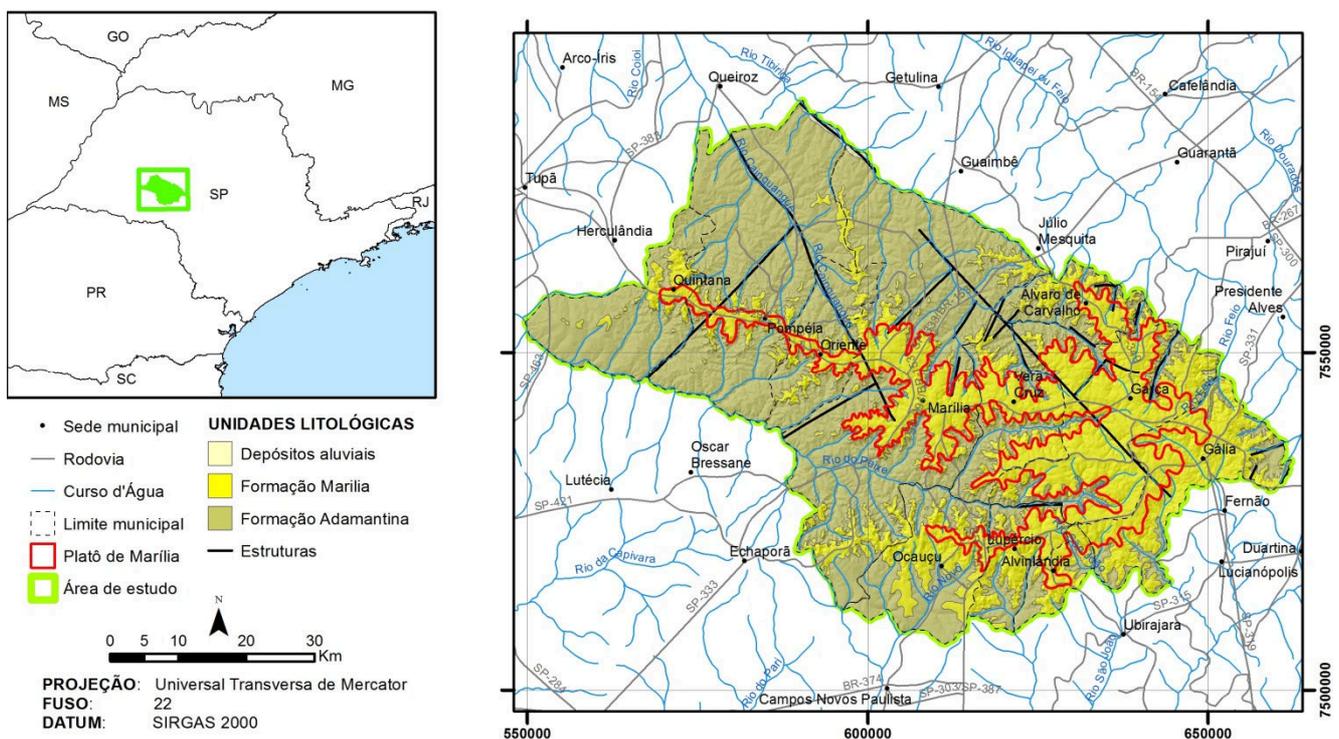


Figura 2 – Geologia da área de estudo (Fonte: Convênio DAEE/UNESP, 1984).

A Formação Adamantina ocorre por toda a extensão do Grupo Bauru, aflorando na maior parte do oeste do Estado de São Paulo. Uma das poucas exceções é na região do Espigão de Marília, onde seu contato superior é definido por interdigitações com as rochas da Formação Marília e o inferior pela transição dos depósitos pelíticos da Formação Araçatuba para depósitos progressivamente mais arenosos à medida que se aproxima da Formação Adamantina (PAULA E

SILVA, 2003). De acordo com Soares et al. (1980), essa Formação tem como principal característica a presença de bancos de arenitos de granulação fina a muito fina, com coloração de róseo a castanho, com estratificações cruzadas, alternados com bancos de lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, de cor castanho-avermelhado a cinza-castanho, maciços ou com leve acamamento plano-paralelo, frequentemente com marcas de onda e microestratificações cruzadas, com ocorrências comuns de seixos de argilito, cimento e nódulos carbonáticos.

A Formação Araçatuba apresenta expressiva ocorrência por todo o Estado de São Paulo. Na região do Espigão de Marília possui contato inferior na forma de discordância erosiva com os basaltos da Formação Serra Geral e superior interdigitado e localmente abrupto com a Formação Adamantina (PAULA E SILVA, 2003).

A Formação Birigui é caracterizada por Paula e Silva (2003) como corpos arenosos que variam entre cinza-esverdeados a esbranquiçados, bege amarelados e marrom acastanhados, granulometria dominante fina a média, mas localmente apresentando arenitos grossos a conglomeráticos. Ocorrem, em menor frequência, intercalações de pelitos. Há também algumas ocorrências de níveis e concreções carbonáticas com nódulos de calcita que alcançam 0,05 m. Os perfis geofísicos descritos pelo autor sugerem deposição por correntes de alta energia em sistemas predominantemente fluviais.

### **3.2. Hidrogeologia**

As formações do Grupo Bauru compõem o Sistema Aquífero Bauru (SAB), definido pelo DAEE (1976, 1979) como uma unidade hidrogeológica de extensão regional, contínua, livre a semiconfinada, com espessura média de 100 m, podendo alcançar até 300 m ao longo dos espigões e altos topográficos, onde o substrato formado pelos derrames basálticos sofreu embaciamento (DAEE/IG/IPT/CPRM, 2005). Apresenta produtividade média a alta e boa qualidade de água, o que o torna frequentemente utilizado para o abastecimento público (IRITANI; EZAKI, 2012). A espessura saturada do SAB é variável segundo o controle morfológico da superfície do aquífero e do substrato basáltico, variando entre 160 m (DAEE, 1979) e 200 m (CAMPOS, 1987) na região de Marília.

O SAB foi dividido em unidades hidroestratigráficas por Paula e Silva (2003) e Paula e Silva et al. (2003, 2005 a,b), denominadas respectivamente de aquíferos Marília, Adamantina, Birigui, Santo Anastácio e Caiuá, e os aquíferos Araçatuba e Pirapozinho.

A frequente utilização do SAB para o abastecimento público é explicada pela facilidade de captação e água de boa qualidade para consumo humano. No entanto, por ser um aquífero livre e a recarga ocorrer em toda a sua extensão, o risco de poluição é alto (IRITANI; EZAKI, 2012).

O SAB foi dividido em unidades hidroestratigráficas por Paula e Silva (2003) e Paula e Silva et al. (2003, 2005 a,b), denominadas respectivamente de aquíferos Marília, Adamantina, Birigui, Santo Anastácio e Caiuá, e os aquíferos Araçatuba e Pirapozinho. O Aquífero Marília mostra extensão reduzida, com área preservada estimada de cerca de 15000 km<sup>2</sup>, situado aproximadamente na porção centro-sul da área de ocorrência do Grupo Bauru no Estado de São Paulo, entre os rios Tietê e Paranapanema.

De acordo com dados de sondagem de poço de abastecimento da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), atinge cerca 86 m de espessura em Gália. Intensa cimentação carbonática é verificada, principalmente nas porções superiores da formação (PAULA E SILVA, 2003). A variação dessa intensidade conduz a variações de permeabilidade que o tornam heterogêneo e anisotrópico, podendo originar situações de confinamento hidráulico e formação de aquíferos suspensos nas zonas de alteração superficial da unidade (DAEE, 1979). Por essa razão, também são classificados predominantemente como de moderada permeabilidade aparente (PAULA E SILVA et al., 2005b), com pequena produtividade de poços profundos, da ordem de 5 m<sup>3</sup>/h a 10 m<sup>3</sup>/h (DAEE, 1979).

Das reservas permanentes de água do SAB estimadas em 1600 km<sup>3</sup>, o aquífero Marília armazena 80 km<sup>3</sup> (PAULA E SILVA et al., 2005b). Dados de perfilagens ópticas realizadas por Prandi (2010), mostram que os filtros instalados no Aquífero Marília apresentam-se secos. Segundo o autor, a presença de água no Aquífero Marília restringe-se às suas porções alteradas (até 40 m de profundidade), e às camadas isoladas de arenitos que se comportariam como aquíferos suspensos, com recargas muito lentas ou condicionadas à presença e interconexão de eventuais descontinuidades das rochas.

A frequente utilização do SAB para o abastecimento público é explicada pela facilidade de captação e água de boa qualidade para consumo humano. No entanto, por ser um aquífero livre e a recarga ocorrer em toda a sua extensão, o risco de poluição é alto (IRITANI; EZAKI, 2012).

#### **4. METODOLOGIA**

Para alcançar o objetivo proposto na pesquisa foram desenvolvidas atividades conforme a descrição a seguir.

##### **4.1. Compilação e Tratamento de Dados**

A base de dados utilizada nesta pesquisa foi compilada dos Autos de Outorga dos poços cadastrados no DAEE. Para isso, foi feito um levantamento no site do DAEE para identificar os

números de todos os autos dos poços existentes nos municípios do Espigão de Marília (Álvaro de Carvalho, Alvinlândia, Gália, Garça, Lupércio, Marília, Ocaçu, Oriente, Pompeia, Quintana e Vera Cruz) e arredores (Duartina, Echaporã, Oscar Bressane e Presidente Alves). Os seguintes dados foram cadastrados: Informações gerais – coordenadas e cota do terreno; Aspectos Construtivos dos poços; Localização dos filtros; Descrição da geologia do poço; Análises Físico-Químicas.

O cadastro final tem um total de 350 poços de abastecimento público e privados, distribuídos entre os municípios como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Número de poços cadastrados por município.

MUNICÍPIO	NÚMERO DE POÇOS
Álvaro de Carvalho	09
Alvinlândia	05
Duartina	17
Echaporã	02
Gália	13
Garça	46
Lupércio	06
Marília	126
Ocaçu	12
Oriente	15
Oscar Bressane	10
Pompéia	48
Presidente Alves	04
Quintana	13
Vera Cruz	23

#### 4.2. Base Cartográfica

Após o cadastramento dos poços, uma base cartográfica foi elaborada no programa ArcGis com os dados existentes, citados na Tabela 2.

Tabela 2 – Base de dados utilizados na preparação da base cartográfica.

Dado	Fonte	Escala/Resolução
Limite municipal	IPT	1:250.000
Planimetria: Hidrografia, Altimetria e Sistema Viário	Cartas topográficas IBGE/Projeto Gisat (DAEE, 2008)	1:50.000
Planimetria: Hidrografia, Altimetria e Sistema Viário (utilizado no mapa de localização)	IBGE (2010)	1:1.000.000
Mapa Geomorfológico do Estado de	Ross & Moroz (1997)	1:500.000

São Paulo		
Uso do Solo	SMA / CPLEA (2009)	1:50.000
Modelo Digital de Elevação	GDEM/NASA	30 m
Mapa Geológico do Estado de São Paulo	CPRM (2006)	1:750.000
Mapa Geológico do Estado de São Paulo	DAEE/Unesp (1984)	1:250.000

#### 4.3. Seleção dos Poços para Amostragem

Para a seleção dos poços que seriam amostrados foram considerados os seguintes critérios:

- Distribuição em área;
- Dados geológicos e construtivos dos poços consistentes;
- Áreas de descarga e recarga, com base na topografia;
- Filtros em diferentes formações (Marília, Adamantina e em ambas, denominados de mistos),

com níveis estáticos e dinâmicos também em diferentes formações;

- Presença ou ausência de bário nas análises químicas;
- Diferenças hidrogeoquímicas das águas dos poços.

Com base nesses critérios, dentro o universo amostral do cadastro, selecionaram-se 20 poços.

#### 4.4. Coleta de Amostras de Água dos Poços Selecionados

Os poços selecionados para amostragem ao longo de um ano hidrológico estão distribuídos nos municípios localizados nos altos topográficos do Espigão de Marília, conforme Tabela 3.

Os parâmetros físico-químicos, tais como temperatura, pH, Eh e condutividade elétrica foram medidos em campo durante a coleta, bem como a alcalinidade, expressa em mg/L de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) meio de titulação com ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) padronizado e indicador misto. As amostras foram coletadas para análises químicas (cátions, ânions, Ba, Al, Fe, Mn, Sr e Si).

As amostras para análises de cátions foram filtradas com filtros de acetato celulose de 0,45  $\mu\text{m}$ , e preservadas quimicamente com  $\text{HNO}_3$  ( $\text{pH} < 2$ ).

Assim que coletadas, todas as amostras foram acondicionadas e refrigeradas em temperaturas de 4°C até o momento de suas entradas no laboratório. Em todas as amostras coletadas, os frascos utilizados foram previamente lavados por três vezes com a água de amostragem.

Para as análises de cátions ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , Mn e  $\text{Sr}^{2+}$ ), com exceção do  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ , analisados por Espectrometria de Chama, Cromatografia Iônica para análise dos ânions ( $\text{Cl}^-$ ,

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, F<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Os elementos químicos Ba, Mn, Sr e Si foram analisados por Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma (ICP-OES).

Tabela 3 – Poços amostrados por município (ID – Identificação dos poços).

MUNICÍPIO	NÚMERO DE POÇOS	ID DOS POÇOS
Álvaro de Carvalho	01	IPT 3
Alvinlândia	02	IPT 13; IPT 14
Gália	02	IPT 41; IPT 44
Garça	03	IPT 49; IPT 63; IPT 72
Lupércio	02	IPT 94; IPT 96
Marília	03	IPT 130; IPT 132; IPT 173
Oriente	02	IPT 243; IPT 245
Pompéia	02	IPT 273; IPT 347
Quintana	02	IPT 316; IPT 350
Vera Cruz	02	IPT 328; IPT 331

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Análises Químicas e Físico-Químicas dos Poços Amostrados

Os procedimentos de garantia e controle de qualidade das análises químicas incluíram análises em amostras de brancos, *spikes* e duplicatas em laboratório, cujos resultados indicaram que as análises apresentam precisão e exatidão satisfatórias, com exceção dos íons Na e SO<sub>4</sub> na segunda campanha. O erro analítico global das análises de cátions e ânions foi avaliado através da checagem do balanço iônico (Eletroneutralidade – EM), cujos resultados situam dentro do limite de erro considerável bom ( $\pm 10\%$ ) para águas com as condutividades observadas.

A maior parte das águas dos poços são bicarbonatadas calco-magnesianas com baixa concentração de sulfato (Figuras 3 e 4). Algumas amostras apresentam relativos teores de cloreto e elevados de nitrato (Figura 3).

Alguns poços possuem nitrato fora do padrão de qualidade ( $>45$  mg/L de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) nos poços IPT-41 (Gália), IPT-49 (Garça), IPT-63 (Garça) e IPT-331 (Vera Cruz), com profundidade entre 80 m e 200 m, que captam água somente do Aquífero Marília ou do Marília e Adamantina (Figura 3; Tabela 4). Nota-se que os diagramas de Stiff desses poços (Figura 4) são bem diferentes dos poços que não apresentam essa anomalia, apresentando menores teores de íons, com exceção do nitrato.

Teores de alerta ( $> 5$  mg/L) são observados em alguns poços de 260 m de profundidade que captam água do Marília e Adamantina – IPT-173 (Marília), somente do Adamantina – IPT-316 (Quintana) e do Adamantina e Araçatuba – (Quintana). Cada poço possui dois pontos, um para cada

campanha: inverno (set/2014) e verão (mar/2015). Em geral, não se observa variação significativa de composição entre as duas campanhas.

Tabela 4 – Aquíferos captados nos poços amostrados.

MUNICÍPIO	ID DOS POÇOS	SEÇÃO FILTRANTE
Álvaro de Carvalho	IPT 3	Adamantina
Alvinlândia	IPT 13	Marília e Adamantina e Araçatuba
	IPT 14	Adamantina e Araçatuba e Serra Geral
Gália	IPT 41	Marília
	IPT 44	Marília e Adamantina
Garça	IPT 49	Marília e Adamantina
	IPT 63	Marília
	IPT 72	Marília e Adamantina
Lupércio	IPT 94	Marília e Adamantina e Araçatuba
	IPT 96	Marília e Adamantina
Marília	IPT 130	Marília e Adamantina e Araçatuba
	IPT 132	Marília e Adamantina
	IPT 173	Marília e Adamantina
Oriente	IPT 243	Adamantina e Araçatuba
	IPT 245	Marília e Adamantina
Pompéia	IPT 273	Adamantina e Araçatuba
	IPT 347	Marília e Adamantina
Quintana	IPT 316	Adamantina
	IPT 350	Adamantina e Araçatuba
Vera Cruz	IPT 328	Marília e Adamantina
	IPT 331	Marília e Adamantina

Águas enriquecidas em sódio são observadas especialmente em poços que captam água do Araçatuba, e que localizam-se entre os municípios de Alvinlândia e Lupércio (IPT-13, IPT-14 e IPT-94). As águas do IPT-14, que também capta água do Serra Geral, sugerem que essa variação hidroquímica pode estar associada à contribuição do Serra Geral. Nota-se que os diagramas de Stiff desses poços (Figura 4) são diferentes do restante devido ao alto teor de sódio.

As águas dos poços que possuem filtro somente no Marília e que possuem filtro somente no Adamantina não se diferenciam quimicamente em relação aos cátions e ânions maiores. Somente através das concentrações de  $\text{NO}_3^-$ , que são nitidamente maiores no Marília (Figura 3). Dentre os poços que têm filtros no Marília e Adamantina, os poços IPT-49, IPT-173 e IPT-331 também apresentam valores significativos de  $\text{NO}_3^-$  (~48 mg/L, ~29 mg/L e 66 mg/L, respectivamente) em relação aos outros.

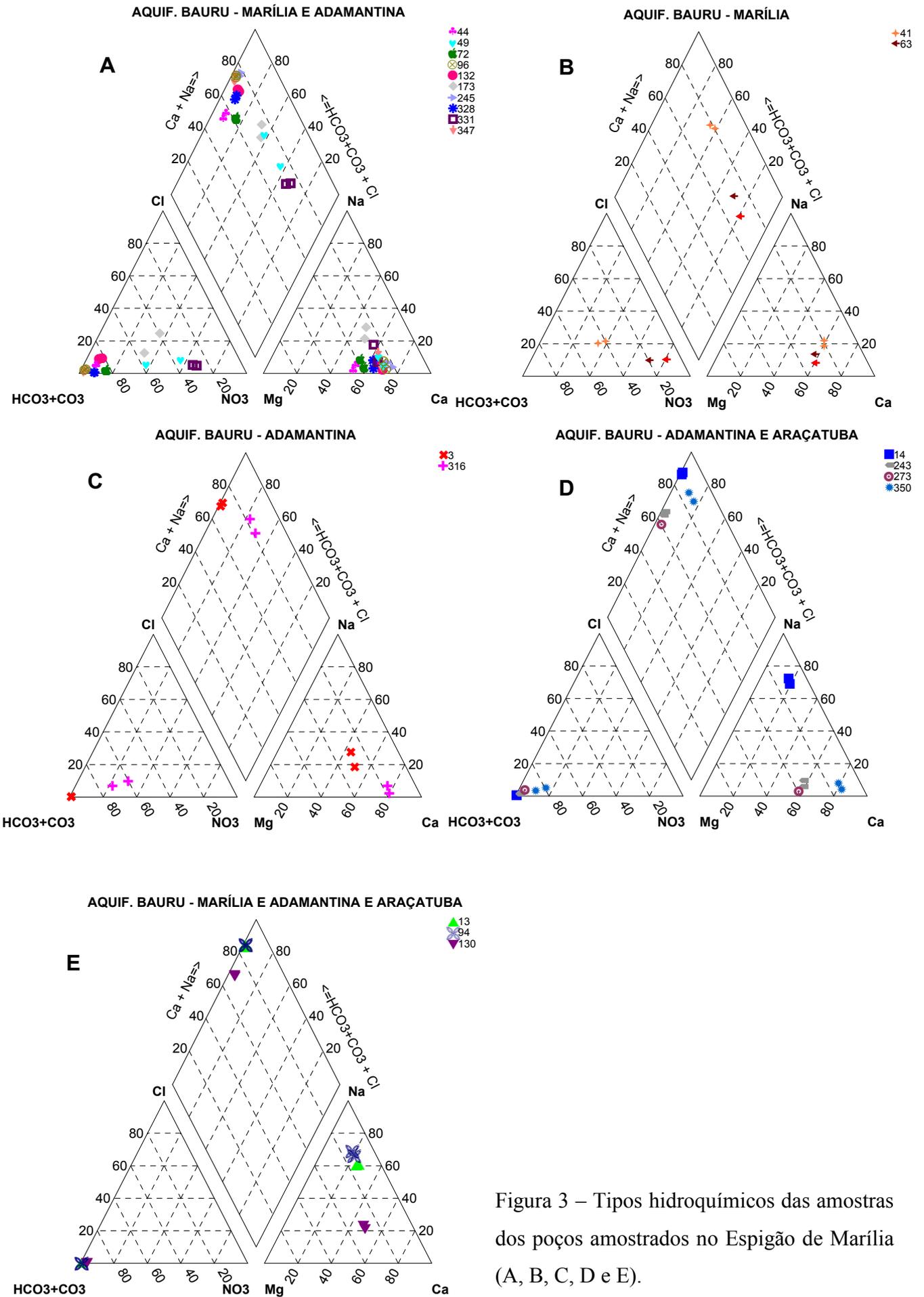


Figura 3 – Tipos hidroquímicos das amostras dos poços amostrados no Espigão de Marília (A, B, C, D e E).

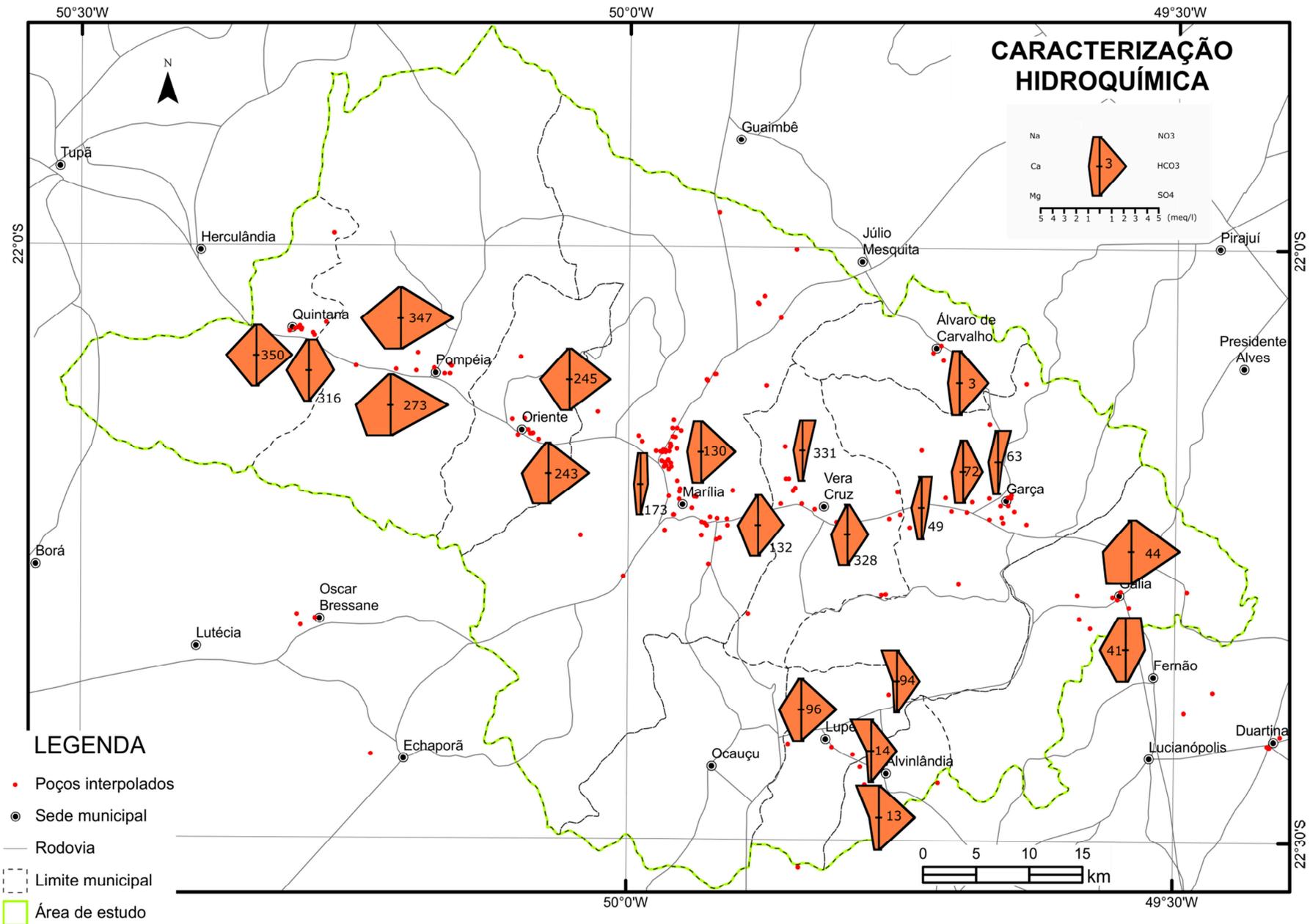


Figura 4 – Distribuição dos tipos hidroquímicos das amostras dos poços amostrados no Espigão de Marília.

## 5.2 Concentrações de bário na água

Dentre os poços amostrados, as concentrações anômalas de bário, ou seja, acima do limite de potabilidade (0,7 mg/L), são observadas nos poços IPT-44 (2,38 mg/L - 2,52 mg/L), IPT-72 (0,94 mg/L - 0,97 mg/L), IPT-243 (0,71 mg/L - 0,76 mg/L), IPT-245 (0,56 mg/L - 0,74 mg/L), e IPT-347 (0,96 mg/L - 1,19 mg/L), nos municípios de Gália, Garça, Oriente e Pompéia, respectivamente. As maiores concentrações foram detectadas em poços que atravessam ambos os aquíferos Marília e Adamantina (IPT-44, IPT-72 e IPT-347).

A maior concentração no poço IPT-44 (2,4 mg/L - 2,5 mg/L) pode estar associada ao nível dinâmico próximo ao nível estático dentro do Marília, fato não observado nos outros poços. Variações faciológicas, ou seja, fácies geológicas mais enriquecidas em bário, podem ser a causa dessa variação das concentrações observadas em área (Figura 5). Comparando-se as concentrações, o IPT-245 em Oriente, apesar de também ter filtros no Marília e Adamantina, possui menor concentração relativa aos outros poços (0,56 mg/L - 0,74 mg/L). Se considerada sua descrição geológica, a porção com cimentação carbonática entre 9 m e 35 m de profundidade encontra-se acima de onde inicia sua seção filtrante (40 m), e não foi descrita novamente ao longo do perfil.

Com concentrações relativamente inferiores aos três poços citados, o poço IPT-243 possui seção filtrante ao longo do Adamantina e uma seção de 2,2 m no Araçatuba, indicando a possibilidade de anomalia de bário não apenas no Marília, mas também no Adamantina. Essa ocorrência pode estar associada a estratos cimentados do Adamantina.

Em relação à hidroquímica dos poços onde o bário ocorre, nota-se que as concentrações de nitrato nesses poços não estão acima do padrão de prevenção (3,46 mg/L - 20,60 mg/L), corroborando para o fato das anomalias de bário serem de origem natural. As concentrações de sulfato também são relativamente baixas (0,15 mg/L - 1,66 mg/L), o que permite a permanência do bário em solução. Percebe-se também que os poços com anomalia de bário possuem maiores concentrações de magnésio.

Como observado nos resultados analíticos dos poços do Banco de Dados e dos poços amostrados, a alcalinidade, bicarbonato, cálcio, magnésio e estrôncio apresentam correlação positiva com o bário (Figura 6). Esses parâmetros fazem parte da geoquímica da cimentação carbonática dos arenitos, associando o bário a ela.

Quanto aos aspectos construtivos dos poços amostrados, as correlações negativas, com a profundidade do poço e vazão, relacionam o bário a níveis aquíferos mais rasos, onde os poços apresentam menor vazão. E a correlação negativa com a cota do topo do Adamantina indica que as maiores concentrações de bário ocorrem onde a espessura do Marília é maior, associando-o indiretamente à ele.

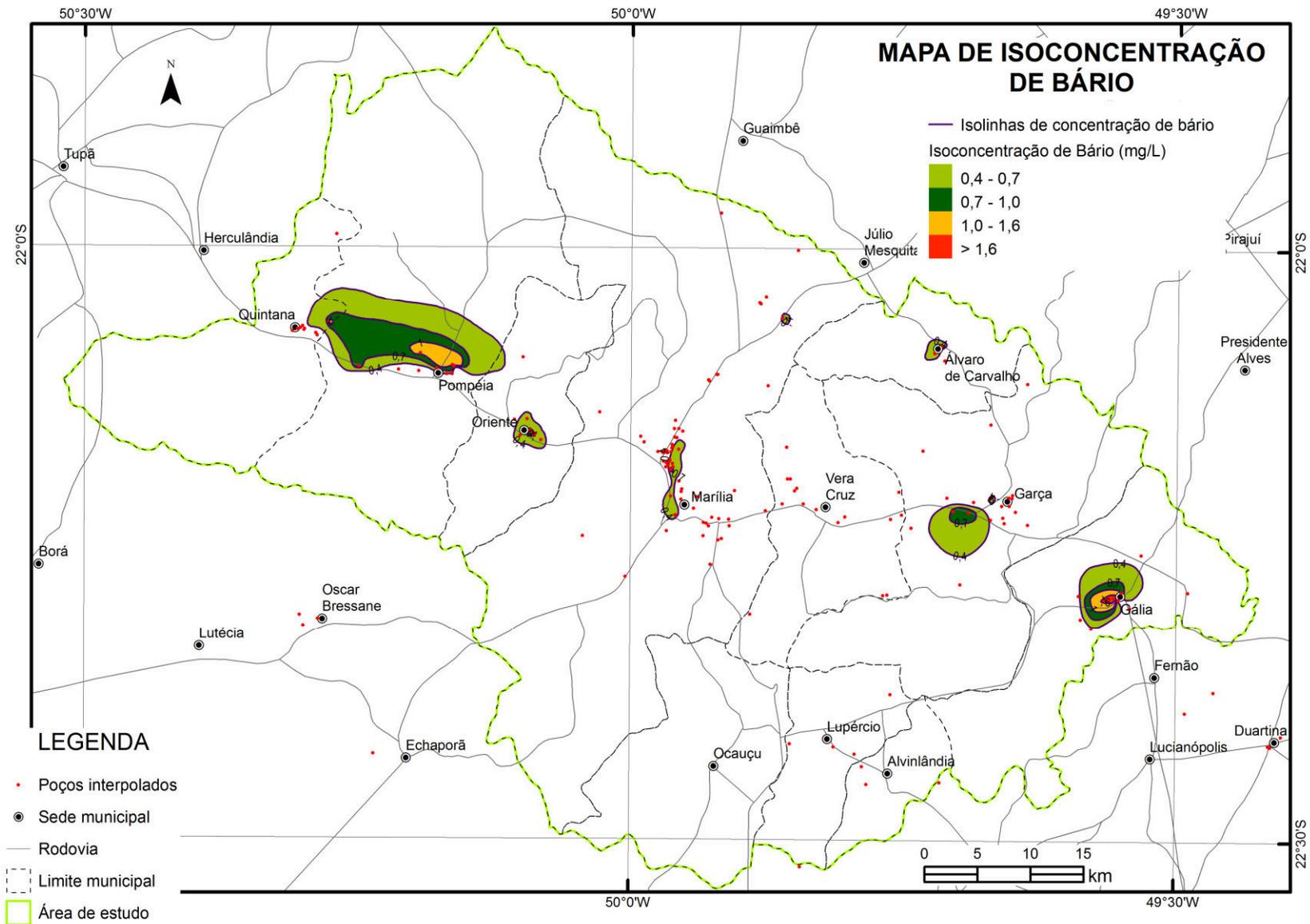


Figura 5 - Distribuição das anomalias de bário no SAB no Espigão de Marília.

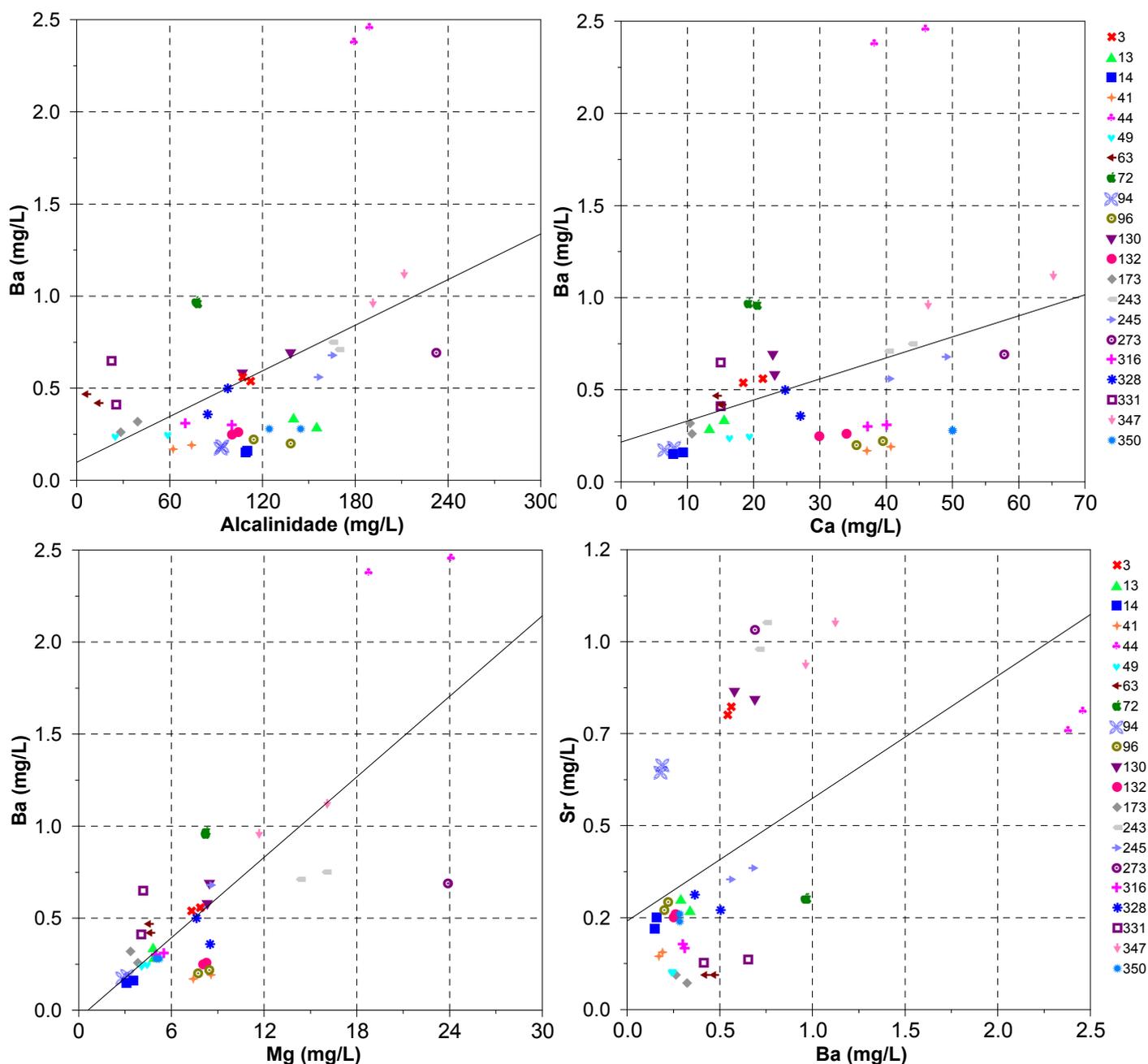


Figura 6 – Correlações de parâmetros hidroquímicos com o bário dos poços amostrados.

## 6. CONCLUSÕES

Apresentam-se a seguir as principais conclusões obtidas a partir dos estudos executados.

### 6.1. Ocorrência de bário nos poços amostrados

A maior parte das águas dos poços são bicarbonatadas calco-magnesianas com baixa concentração de sulfato. Algumas amostras apresentam relativos tores de cloreto e elevados no nitrato, estando o nitrato fora do padrão de qualidade ( $>45 \text{ mg/L}$  de  $\text{NO}_3^-$ ) em alguns poços com

profundidades entre 80 m e 200 m, que captam água somente do Aquífero Marília ou do Marília e Adamantina.

As águas dos poços que possuem filtro somente no Marília e que possuem filtro somente no Adamantina não se diferenciam quimicamente em relação aos cátions e aos ânions maiores. A diferença ocorre somente nas concentrações de  $\text{NO}_3^-$ , que são nitidamente maiores no Marília.

Águas enriquecidas em sódio são observadas especialmente em poços que captam água do Araçatuba, e que se localizam entre os municípios de Alvinlândia e Lupércio. Sabe-se que as águas do Serra Geral têm uma assinatura hidroquímica com sódio, sugerindo que essa variação hidroquímica pode estar associada à contribuição do Serra Geral.

As maiores anomalias de bário ocorrem nos municípios de Gália, Garça e Pompéia e foram detectadas em poços que atravessam ambos os aquíferos Marília e Adamantina (IPT-44, IPT-72 e IPT-347). Um dos poços que captam água somente do Adamantina e Araçatuba (IPT-243), apresentou concentrações de bário acima da potabilidade (0,71 mg/L e 0,76 mg/L), tal anomalia pode ser devida a fácies carbonática existente também no Adamantina, que ocorre com menor frequência do que no Marília.

Em relação à hidroquímica dos poços onde o bário ocorre, nota-se que as concentrações de nitrato não estão acima do padrão de prevenção (3,46 mg/L - 20,60 mg/L), corroborando para o fato das anomalias de bário serem de origem natural. As concentrações de sulfato também são relativamente baixas (0,15 mg/L – 1,66 mg/L), o que permite a presença do bário em solução, uma vez que exista a fonte.

As correlações positivas com alcalinidade e bicarbonato, cálcio, magnésio e estrôncio, como observado também nos resultados analíticos dos poços do Banco de Dados, associam o bário à cimentação carbonática dos arenitos.

Com relação aos aspectos construtivos, as correlações negativas com a profundidade do poço e vazão, associam o bário a níveis aquíferos mais rasos, onde os poços apresentam menor vazão. E a correlação negativa com o topo do Adamantina confirma que onde o topo desse aquífero é mais profundo, o bário ocorre com maiores concentrações, estando, portanto, mais associado ao Aquífero Marília.

### **6.3 Bário regional e Recomendações de uso dos poços**

Com base em todos os resultados obtidos, conclui-se que o bário está associado à camadas de arenito altamente cimentadas e essa cimentação não está distribuída homogeneamente em área.

Dessa forma, captações de águas subterrâneas na área estudada devem ser feitas evitando-se a colocação de filtros no Aquífero Marília, tendo em vista que é nessa camada em que se encontram

as maiores concentrações de bário na rocha (TAVARES, 2013). Os municípios que devem adotar ações de restrição e controle ao perfurar novos poços são: Gália, Garça, Oriente, Pompéia e Marília.

Para os poços já existentes que apresentam anomalias de bário e que captam água dos aquíferos Marília e Adamantina, recomenda-se a execução de teste de bombeamento para avaliar a melhor forma de funcionamento, a fim de diluir o bário em solução. Devido à heterogeneidade dos aquíferos na região e à diferenciação entre os poços, esse teste deve ser realizado para cada poço individualmente.

## **7. AGRADECIMENTOS**

Os autores expressam seus agradecimentos ao FEHIDRO (Processo 042/2014) pelo financiamento do projeto; ao DAEE e DAEM pelo fornecimento de dados e apoio logístico; ao CEPAS pela parceria e execução das análises químicas; aos técnicos de apoio de campo, bem como aos estagiários Victor Martiliano de Oliveira e Débora Leite, do IPT.

## **8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BARCELOS J.H. & SUGUIO K. 1987. Correlação e extensão das unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru definida em território paulista, nos estados de Minas Gerais, Goiás. Mato Grosso do Sul e Paraná. In: SBG/Núcleo SP, Simpósio Regional de Geologia, 6, Rio Claro, Atas, v. 1, pp. 313-321.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. 2010. Relatório de qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo: 2007 - 2009. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/agua\\_sub/rede\\_resultados.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/agua_sub/rede_resultados.asp).

CBH-AP – COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS AGUAPEÍ E PEIXE - UGRHI's 20 e 21 (2013). Relatório de Situações dos Recursos Hídricos 2012 – ano base 2011. Marília, 2013.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL 2006. Geologia e Recursos Minerais do Estado de São Paulo. São Paulo: CPRM, 2006, Mapa Geológico Estadual. Escala 1:750.000.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA 1976. Estudo de Águas Subterrâneas da Região Administrativas 7, 8 e 9 – Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba. Vol.I, II e III.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA 1979. Estudo de águas subterrâneas, Regiões Administrativas 10 e 11: Presidente Prudente e Marília. São Paulo: v.1 e v.2.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA / UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. 1984. Mapa Geológico do Estado de São Paulo- Folhas de Dracena e Araçatuba, escala 1:250.000.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA / IG - INSTITUTO GEOLÓGICO / IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO/ CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2005. Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA 2008. Base cartográfica digital, escala 1:50.000 - Projeto GISAT. São Paulo: DAEE.

FERNANDES, L.A. 2004. Mapa litoestratigráfico da parte oriental da Bacia Bauru (PR, SP, MG), escala 1:1.000.000. Boletim Paranaense de Geociências. Mapa anexo. n. 53, pp. 53-66.

FERNANDES, L. A. 2010. Calcretes e registros de paleossolos em depósitos continentais neocretáceos (Bacia Bauru, Formação Marília). Revista Brasileira de Geociências, v. 1, n. 40, pp. 19-35.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Base cartográfica contínua ao milionésimo. Escala: 1:1.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. 2012. As águas subterrâneas do Estado de São Paulo. São Paulo : Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SMA, 2012.

MS - MINISTÉRIO DA SAÚDE (2011). Portaria Nº 2.914 - Padrão de Potabilidade.

PAULA E SILVA, F. & CAVAGUTI, N. 1994. Nova caracterização estratigráfica e tectônica do Mesozóico na Cidade de Bauru - SP. Revista Geociências, v. 13, n.1, pp. 83-99.

PAULA e SILVA, F. 2003. Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 166 p.

PAULA e SILVA, F.; CHANG, H.K.; CAETANO CHANG, M.R. 2005 a. Estratigrafia de subsuperfície do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Geociências, v. 35, n.1, pp. 77-88.

PAULA e SILVA, F.; CHANG, H.K.; CAETANO CHANG, M.R. 2005 b. Hidroestratigrafia do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. Águas Subterrâneas, v.19, n.2, pp.19-36.

PRANDI, E. (2010). Gestão integrada das águas do Sistema Aquífero Bauru nas Bacias Hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe-SP. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Tese de Doutorado, 142 p. e anexos.

- ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C 1997. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia Depto de Geografia FFLCH-USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica - Geologia Aplicada - IPT/FAPESP, 1997. 63p.
- SAVAZZI, E. A. 2008. Determinação da Presença de Bário, Chumbo e Cromo em amostras de água subterrânea coletadas no Aquífero Bauru. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto – Universidade de São Paulo. 74 p.
- SMA - SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. CPLEA - Coordenadoria de Planejamento Ambiental Estratégico e Educação Ambiental. 2009. Mapa de uso e ocupação do solo do Estado de São Paulo. Escala 1:50.000. São Paulo: SMA/CPLEA, 2009.
- SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B.; FÚLFARO, V. J.; & SOBREIRO NETO, A. F. 1980. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. Revista Brasileira de Geociências, v. 3, n. 10, pp. 177-185.
- TAVARES, T. 2013. Investigação de anomalias hidrogeoquímicas de bário em aquíferos do estado de São Paulo. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc/USP). São Paulo, 2013. 192 p. : il + anexos.
- TAVARES, T.; BERTOLO, R.; FIÚME, B.; CRESPI, A.; MARTINS, V.; HIRATA, R. 2015. Hydrochemical investigation of barium in the public water supply wells of Sao Paulo state, southern Brazil. Environmental Earth Sciences, v.74, n.9, p.6599-6612.