

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL MINERAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DOS
AQUÍFEROS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Lia Nogueira Garpelli

Prof. Dr. Didier Gastmans

Rio Claro (SP)

2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS
CAMPUS DE RIO CLARO

LIA NOGUEIRA GARPELLI

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL MINERAL DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DOS AQUÍFEROS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no curso de Geologia, Instituto Geociências e Ciências Exatas, do Campus Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como requisito para obtenção de título de bacharel em Geologia.

Orientador: Dr. Didier Gastmans

Rio Claro
2018

LIA NOGUEIRA GARPELLI

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL MINERAL DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DOS AQUÍFEROS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no curso de Geologia, Instituto Geociências e Ciências Exatas, do Campus Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como requisito para obtenção de título de bacharel em Geologia.


Comissão Examinadora

Prof. Dr. Didier Gastmans (orientador)

Msc. Bruno Zanon Engelbrecht

Geól. Giancarlo Pinto Saraiva

Rio Claro, 14 de novembro de 2018



Aluna Lia Nogueira Garpelli



Prof. Dr. Didier Gastmans

| | |
|-------|---|
| G237a | <p>Garpelli, Lia Nogueira</p> <p>Avaliação do potencial mineral das águas subterrâneas dos aquíferos do estado de São Paulo / Lia Nogueira Garpelli. -- Rio Claro, 2018</p> <p>62 p. : il., tabs., mapas + 1 CD-ROM</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geologia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro</p> <p>Orientador: Didier Gastmans</p> <p>1. Águas Minerais. 2. Código de águas minerais. 3. Aquífero. 4. Hidroquímica. 5. Classificação. I. Título.</p> |
|-------|---|

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

*Dedico este trabalho à minha
família, Paty, Wardi e Lucas.*

AGRADECIMENTOS

Enfim esse ciclo se encerra. Como resultado de muito esforço e dedicação, esse trabalho é fruto dos sete anos de UNESP, no qual pude viver intensamente cada momento. Foi nessa fase que compartilhei os melhores momentos da minha vida, com grandes amigos, viagens, festas, muito conhecimento, intercâmbio, entre tantas outras coisas. Entretanto, tudo tende a um fim, assim como minha graduação. Sou grata pela vida, por Deus e por todas as pessoas que contribuíram para que eu chegasse ao fim dessa fase.

Agradeço ao melhor orientador possível! Didier, obrigada por me acolher no momento mais delicado da minha vida. Sou grata pela paciência, pelo carinho e atenção que teve comigo durante esse ano. Sou grata pelos conselhos e pela confiança depositada em mim, e espero ter correspondido à altura de suas expectativas.

Agradeço aos meus pais, Patrícia e Waldir, e o meu irmão, Lucas. Se sou o que sou hoje, é graças a vocês e todo o amor e carinho mútuo que temos. Quem dera o mundo estar cheio de pessoas íntegras, sinceras, e incríveis como vocês. Seria impossível encerrar esse ciclo sem todo incentivo e suporte que me deram. Obrigada por estarem ao meu lado em todas as situações, e decisões da minha vida, e claro, por serem meu porto seguro. Viva ao WALILUPA!

Infelizmente serei breve, mesmo querendo discorrer agradecimentos especiais a cada um dos meus amigos. Aos meus queridos, Xena, Buda, Ralo, Cica, Débora, Murilo, Choro, Baia e Thais, agradeço a amizade de vocês e todos os momentos que pudemos compartilhar juntos. Minha caminhada foi, com certeza, mais leve e feliz ao lado de vocês. Obrigada por todo amor envolvido, e todos os perrengues e palhaçadas também. Espero poder compartilhar muitos mais momentos juntos. Obrigada por tudo que vocês representam para mim, de coração.

Não poderia deixar de agradecer ao Leandro (espetinho) por ter me mostrado a geologia, e por acreditar e me incentivar nos estudos. Agradeço também a Giovana, Tais, Vande, e todos meus amigos do “Vai minha sala Vai”, vocês são incríveis!

Enfim, obrigada a todos que fizeram parte da minha vida nesses sete anos!

Das Pedras

Ajuntei todas as pedras
que vieram sobre mim.
Levantei uma escada muito alta
e no alto subi.
Teci um tapete floreado
e no sonho me perdi.
Uma estrada,
um leito,
uma casa,
um companheiro.
Tudo de pedra.
Entre pedras
cresceu a minha poesia.
Minha vida...
Quebrando pedras
e plantando flores.
Entre pedras que me esmagavam
Levantei a pedra rude
dos meus versos.

Cora Coralina

RESUMO

A água mineral ocorre naturalmente no subsolo, com composição química e propriedades físico-químicas distintas das águas comuns. Tais características resultam em propriedades terapêuticas ou efeitos favoráveis à saúde, devido o teor de substâncias minerais. Seu uso no Brasil iniciou-se com fins terapêuticos, porém nos tempos atuais, a produção é voltada a águas minerais engarrafadas, sendo o país o 5º maior produtor do mundo. O complexo arcabouço geológico do estado de São Paulo, com o qual as águas subterrâneas estão em contato, promovem águas com diferentes elementos e concentrações variáveis, com potencialidade para uso como água mineral natural. Através de um zoneamento hidrogeológico e espacial é possível demarcar áreas de interesse econômico. Desse modo, o trabalho teve como objetivo classificar as águas subterrâneas do estado, com base no Código de Águas Minerais de 1945 (CAM), traçando seu potencial mineral em função do aquífero alocado, com a geração de uma base cartográfica. Para isso, foram avaliados 276 dados hidroquímicos disponibilizados pela CETESB dentro do programa de monitoramento de qualidade de águas subterrâneas do estado de São Paulo, e realizada a sua caracterização hidroquímica, através de análise estatística, geração de Diagramas de Piper, análises de potabilidade e a classificação das águas minerais segundo o CAM, com avaliação dos teores químicos e a temperatura. Obteve-se então, dados que puderam caracterizá-los como água minerais fluoretadas, litinadas, vanádicas, seleniadas, assim como alcalina bicarbonatadas e sulfatadas. A classificação com a temperatura determinou águas frias a hipotermiais, e uma pequena fração em hipertermiais. Os resultados obtidos, demonstraram que as águas subterrâneas dos aquíferos do estado possuem boa potencialidade econômica. Todas as amostras foram classificadas como água mineral fluoretada, seguido das águas litinadas com ocorrência principal no SAC. O vanádio encontra-se em predominância no SASG e SAB. E uma menor quantidade das sulfatadas nos poços do SAT, com pontos também com concentrações de alcalina bicarbonatadas. Por fim, o selênio de baixíssima expressão no SAG e SASG.

Palavras-chave: Águas minerais, código das águas minerais, classificação, hidroquímica, aquífero.

ABSTRACT

The mineral water occurs naturally underground, with chemical composition and physicochemical properties distinct from ordinary waters. Such characteristics result in therapeutic properties or health benefits, due to the content of mineral substances. Its use in Brazil began with therapeutic purposes, however nowadays, production is focused on bottled mineral waters, being Brazil the 5th largest producer in the world. The state's complex geological framework, where groundwater is in contact, leads water with different elements and chemical concentrations, with potential for use as natural mineral water. Through hydrogeological and spatial zoning, it is possible to demarcate areas of economic interest. The objective of this work was to classify the groundwater of the state, according to the Mineral Water Code of 1945 (CAM), tracing its mineral potential as a function of the aquifer allocated, with the generation of a cartographic base. For this, it was studied 276 hydrochemical data provided by CETESB, with hydrochemical characterization through statistical analysis, generation of Piper Diagrams, potability analysis and the classification of mineral waters according to the CAM, with an evaluation of the chemical contents and temperature. Then, it was obtained data that could characterize them as fluoridated, lithium, vanadium, selenium, as well as bicarbonated alkaline and sulphated minerals waters. The classification of the temperature determined cold to hypothermic waters, and a small fraction in hyperthermals. The results obtained, showed that the groundwater of the aquifers of the state have good economic potential. All waters were classified as fluoridated mineral water, followed by lithic water with main occurrence in SAC. Vanadium is predominant in SASG and SAB. And a smaller amount of sulphates in the SAT wells, also with points with bicarbonated alkaline water. Finally, a very low expression of selenium in SAG and SASG.

Keywords: Mineral waters, mineral water code, classification, hydrochemical, aquifer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Mapa Geomorfológico do estado de São Paulo _____ | 4 |
| Figura 2 - Principais unidades estratigráficas e suas correspondentes hidrogeológicas no estado de São Paulo _____ | 7 |
| Figura 3 - Fluxograma das etapas de trabalho _____ | 24 |
| Figura 4 - Mapa Hidrogeológico do estado de São Paulo, com distribuição dos pontos da CESTESB _____ | 26 |
| Figura 5 - Campos de classificação das águas através do diagrama de Piper ____ | 27 |
| Figura 6 - <i>Box plot</i> ilustrando a variação de temperatura e o pH dos sistemas de aquíferos _____ | 31 |
| Figura 7 - Box-Plot da condutividade elétrica (CE) e dos sólidos dissolvidos totais (STD) _____ | 32 |
| Figura 8 - Classificação dos aquíferos de São Paulo, segundo Diagrama de Piper _____ | 40 |
| Figura 9 - Mapa dos poços com teores acima do recomendado pelas resoluções RDC 274 e 275 de 2005 _____ | 43 |
| Figura 10 - Classificação dos aquíferos pela temperatura _____ | 44 |
| Figura 11 - Análise gráfica da relação entre temperatura e profundidade dos poços _____ | 45 |
| Figura 12 - Mapa de Classificação dos poços pela temperatura _____ | 46 |
| Figura 13 - Gráficos dos teores dos elementos. Gráfico superior com total de amostras classificadas como minerais. Gráfico inferior com a classificação dos aquíferos _____ | 47 |
| Figura 14 - Mapa de classificação química das águas subterrâneas pelo CAM ____ | 49 |
| Figura 15 - Mapa da densidade demográfica do estado com a distribuição das águas minerais _____ | 50 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Características Hidrogeológicas e Geológicas _____ | 11 |
| Quadro 2 - Características Geométricas e Hidráulicas _____ | 13 |
| Quadro 3 - Tipos e critérios de classificação química das águas minerais no Brasil pelo CAM _____ | 21 |
| Quadro 4 - Classificação das fontes de águas minerais pelo teor de gases e temperatura _____ | 22 |
| Quadro 5 - Parâmetros de qualidade utilizados pela CETESB para os poços cadastrados _____ | 28 |
| Quadro 6 - Limites permitidos de substâncias contaminantes em águas minerais naturais pelas resoluções RDC nº 274-275/2005 _____ | 29 |
| Quadro 7 - Fixação dos teores dos elementos pelo CAM utilizados no trabalho. Quando necessário, alguns elementos foram recalculados para teores separados de íons _____ | 30 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Síntese de Resultados de Qualidade das águas subterrâneas do SASP | 33 |
| Tabela 2 - Síntese de Resultados de Qualidade das águas subterrâneas do SATA | 34 |
| Tabela 3 - Síntese de Resultados de Qualidade das águas subterrâneas do SAB | 35 |
| Tabela 4 - Síntese de Resultados de Qualidade das águas subterrâneas do SAG | 36 |
| Tabela 5 - Síntese de Resultados de Qualidade das águas subterrâneas do SAT | 37 |
| Tabela 6 - Síntese de Resultados de Qualidade das águas subterrâneas do SASG | 38 |
| Tabela 7 - Síntese de Resultados de Qualidade das águas subterrâneas do SAC | 39 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| RESUMO _____ | VI |
| ABSTRACT _____ | VII |
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES _____ | VIII |
| LISTA DE QUADROS _____ | IX |
| LISTA DE TABELAS _____ | X |
| | |
| 1 INTRODUÇÃO _____ | 1 |
| 2 HIPÓTESES E OBJETIVOS _____ | 2 |
| 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO _____ | 3 |
| 3.1 <i>Localização e Demografia</i> _____ | 3 |
| 3.2 <i>Aspectos Fisiográficos</i> _____ | 3 |
| 3.3 <i>Geologia</i> _____ | 5 |
| 3.4 <i>Hidrogeologia do Estado de São Paulo</i> _____ | 8 |
| 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA _____ | 15 |
| 4.1 <i>Águas Minerais</i> _____ | 15 |
| 4.1.1 <i>Origem, e Composição Química das Águas minerais</i> _____ | 15 |
| 4.1.2 <i>Importância Econômica</i> _____ | 16 |
| 4.1.3 <i>Água mineral para abastecimento</i> _____ | 17 |
| 4.2 <i>Órgãos Responsáveis e Regulamentações</i> _____ | 18 |
| 4.2.1 <i>Responsabilidades, gerência e fiscalização das águas minerais</i> _____ | 18 |
| 4.2.2 <i>O Código de Águas Minerais</i> _____ | 20 |
| 5 MATERIAL E MÉTODOS _____ | 24 |
| 5.1 <i>Construção da Base de Dados</i> _____ | 25 |
| 5.2 <i>Classificação das Águas Minerais</i> _____ | 25 |
| 5.2.1 <i>Dados Hidroquímicos</i> _____ | 25 |
| 5.2.2 <i>Diagrama de Piper</i> _____ | 27 |
| 5.2.3 <i>Parâmetros de qualidade e Valores de Referência</i> _____ | 28 |
| 5.2.4 <i>Classificação das águas minerais à Luz do Código de Águas Minerais</i> _____ | 29 |
| 5.3 <i>Elaboração de Mapas</i> _____ | 30 |
| 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES _____ | 31 |
| 6.1 <i>Caracterização Hidroquímica das águas</i> _____ | 31 |
| 6.2 <i>Classificação pelo Diagrama de Piper</i> _____ | 39 |
| 6.3 <i>Qualidade da Água Mineral Natural</i> _____ | 41 |
| 6.4 <i>Classificação das águas minerais à luz do Código de Águas Minerais</i> _____ | 44 |
| 6.4.1 <i>Classificação das águas por gases e temperatura</i> _____ | 44 |
| 6.4.2 <i>Classificação Química</i> _____ | 47 |
| 6.4.3 <i>Discussão acerca do Código de Águas Minerais</i> _____ | 51 |
| 7 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS _____ | 52 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____ | 54 |
| ANEXO _____ | 58 |
| ANEXO A – <i>RELAÇÃO DOS POÇOS CADASTRADOS.</i> _____ | 59 |

1 INTRODUÇÃO

A definição de água mineral por vezes se confunde com a água subterrânea. As águas tanto subterrâneas como minerais ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo. Dentre suas diferenças, as águas minerais possuem composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, de acordo com o Código de Águas Minerais (CAM) de 1945 (BRASIL, 1945). Em termos conceituais, a água mineral não é um mineral (na mineralogia), mas é caracterizada como minério pelo CAM (GESICKI & SINDICO, 2013). Elas possuem características que resultam em propriedades terapêuticas ou efeitos favoráveis à saúde, devido ao teor de substâncias minerais, oligoelementos ou outros constituintes presentes (BRASIL, 1945).

O uso das águas minerais no Brasil iniciou-se com fins terapêuticos. Há relatos do uso de águas termais já no período imperial, com a descoberta das “águas santas” de Cambuquira em 1834 (REIS, 2011). Até a década de 1950, alguns componentes da água subterrânea eram essenciais para fins terapêuticos, como termalidade, moderada mineralização e conteúdo organoléptico (por exemplo sulfato, ferro e bicarbonato) (GESICKI & SINDICO, 2013). Porém nos tempos atuais, a produção das águas engarrafadas alterou o foco do segmento.

O Brasil ocupa a 5ª posição mundial na compra de água minerais engarrafadas. Dentre os Estados, São Paulo é o que lidera a produção de água envasada, com 21% da produção do país, e quando somado com a água para fins industriais, dá-se mais de 160 milhões de litros gastos (DNPM, 2016 e RODWAN JR., 2015). Ademais, 80% das cidades do estado utilizam a água subterrânea para abastecimento (CETESB, 2010). É notável a importância das águas subterrâneas no Estado, ora como recurso hídrico ora como recurso mineral.

O estado de São Paulo possui uma abundância de aquíferos. Estes podem ser divididos por suas unidades hidroestratigráficas, natureza litológica e suas propriedades hidráulicas. São reconhecidos aquíferos fraturados, permeáveis por fissuramento de rochas, e aquíferos sedimentares, cuja permeabilidade está associada à porosidade intergranular, além de um aquíclode que não possui permeabilidade.

Esse complexo quadro hidrogeológico do estado, em função dos tipos litológicos, apresenta diferentes composições de água. Essas variações composicionais podem ser interessantes do ponto de vista de mercado de águas minerais. Entender o dinamismo das águas subterrâneas em associação com o ambiente hidrogeológico, é importante para traçar seu potencial mineral, através da análise e classificação hidrogeoquímica das suas composições.

Embora o estudo das águas subterrâneas no estado não seja novidade, visto os diversos trabalhos de metodologias para qualidade das águas ou trabalhos por caracterizações hidrogeoquímica de aquíferos específicos, o presente trabalho pode ser denominado como pioneiro na sistematização da classificação de águas subterrâneas para a utilização como águas minerais.

2 HIPÓTESES E OBJETIVOS

O presente trabalho parte da hipótese que o estado de São Paulo possui um complexo arcabouço geológico, em que as águas subterrâneas estão permanente contato. Essa relação permitiria águas com diferentes elementos, capazes de terem potencial para uso como água mineral natural? Existiria um zoneamento hidrogeológico e espacial que possibilitaria a prospecção de águas com composições distintas?

Desse modo, o objetivo principal do trabalho é classificar as águas subterrâneas do estado de São Paulo, de acordo com o CAM de 1945, e avaliar seu potencial mineral, em função do aquífero em que se encontram armazenadas, por meio dos principais elementos químicos dissolvidos e/ou propriedades químicas que as caracterizam. O objetivo secundário é gerar uma base cartográfica do potencial mineral das águas do estado.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização e Demografia

Localizada na região Sudeste do Brasil, a área de estudo - o estado de São Paulo - faz divisas com os estados do Rio de Janeiro, Paraná, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. O território paulista se estende por uma área de 248.219,627 km², localizada entre os paralelos 20° e 25° S e os meridianos 44° 30' e 53° W.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), o território paulista é o estado mais populoso do Brasil, com 45.094.866 de pessoas. Que representa cerca de 22% da população brasileira, distribuídas em 645 municípios, com uma densidade demográfica de 181,67 habitantes/km².

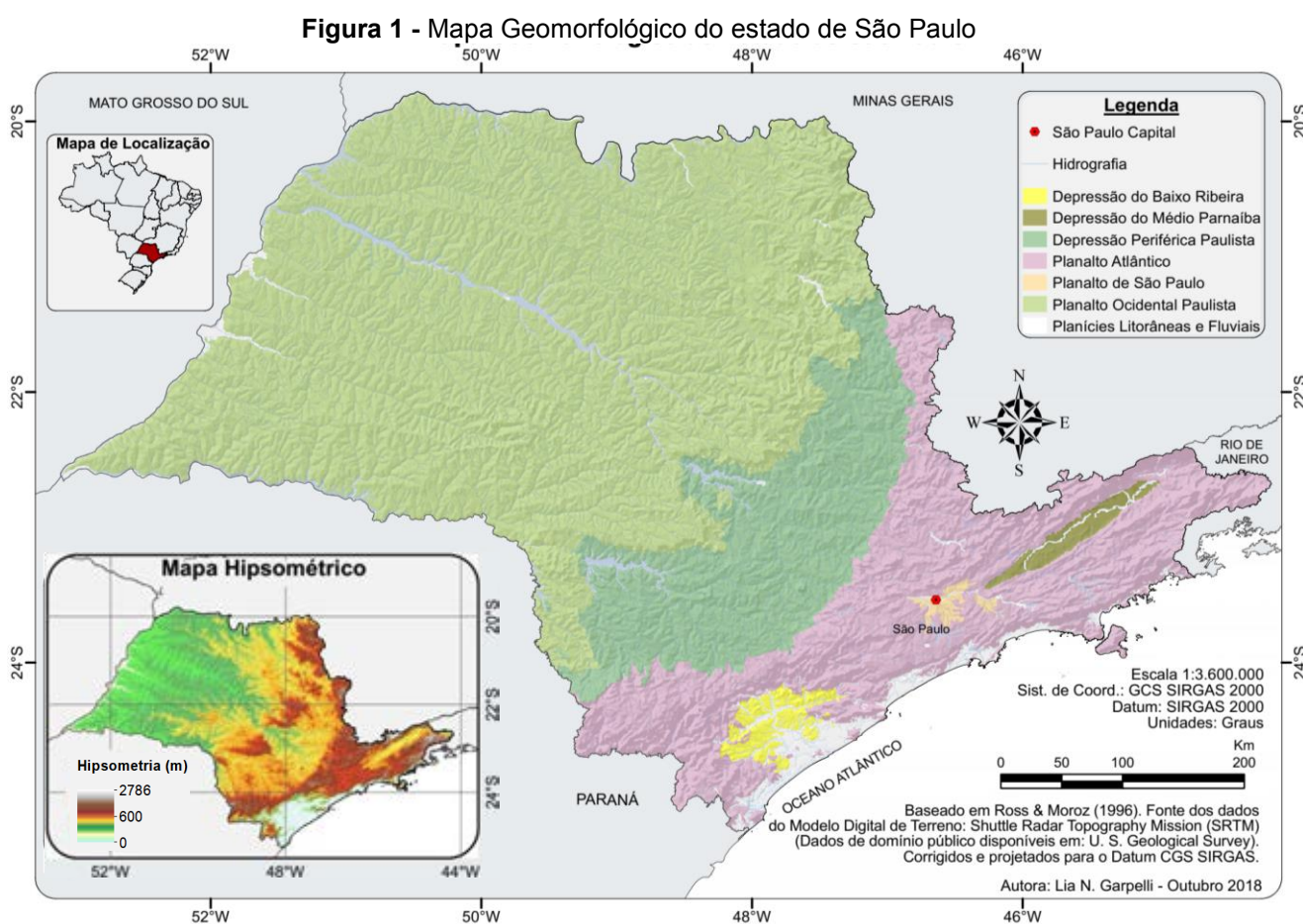
Ademais, São Paulo é o principal componente da federação por abrigar os principais centros financeiros, industriais e difusão de informações e pesquisas. Com uma economia diversificada, o estado é responsável pelo maior Produto Interno Bruto (PIB) do país, com cerca de 32,1%, com mais R\$ 1,93 bilhão (IBGE, 2018 e SEADE, 2015). Tais critérios, aliados à longevidade e educação, mantém-no como segundo maior Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) da União, com 0,783.

3.2 Aspectos Fisiográficos

O estado de São Paulo possui uma diversidade de relevos, que foram fortemente influenciados pela geologia e clima. Ross & Moroz (1996) compartimentaram o estado em planícies, planaltos e depressões (Figura 1). Segundo os autores, na porção Noroeste do estado, a geomorfologia é caracterizada por planaltos na Bacia Sedimentar do Paraná, denominada como Planalto Ocidental Paulista, com relevo levemente ondulado com predomínio de colinas amplas e baixas, com topos aplanados.

No centro-leste, circundado por depressões marginais, ocorre a Depressão Periférica Paulista, esculpida nos sedimentos de idades paleozoicas a mesozoicas da Bacia do Paraná. Ross & Moroz (1996) destacam que devido às influências tectônicas, sua modelagem é variada, assim como a litologia, e os graus de atuação dos processos morfodinâmicos.

Mais a sudeste ocorre o Planalto Atlântico, associado a uma faixa de orogenia antiga, e corresponde a relevos sustentados por litologias metamorfizadas e rochas intrusivas diversas, com domínio de formas de topos convexos, elevada densidade de canais de drenagem e vales profundos. Na região há a ocorrência de áreas descontínuas preenchidas por sedimentos continentais e costeiros cenozoicos, como o Planalto de São Paulo, a Depressão do Médio Paraíba, a Depressão do Baixo Ribeira e as planícies litorâneas (ROSS & MOROZ, 1996).



O clima abrange predominantemente o clima tropical úmido. De acordo com Miranda et al., (s.l.), as variações se dão por conta do relevo e altitude da área, com predomínio de inverno seco em grande parte do território, com exceção das regiões litorâneas, e em locais de maior altitude. Nas áreas elevadas, como a Serra do Mar e da Mantiqueira, os verões são amenos, com temperatura média no período mais quente de 22°C, enquanto na costa paulista, o verão é mais quente, sendo 22°C a média dos períodos frios, também registrados nas demais regiões do estado.

A vegetação do território era, originalmente, coberta pelos biomas Mata Atlântica e Cerrado, e perfazia 80% em área. Com a evolução das cidades, o desmatamento e outras atividades, a área remanescente atual é de cerca de 16,6% (SÃO PAULO, 2013). A Mata Atlântica está sob regime de proteção integral e concentram-se ao longo da zona costeira, adentrando a Serra do Mar, da Bocaina, de Paranapiacaba e da Mantiqueira. Enquanto o Cerrado está pouco representado no conjunto de Unidades de Conservação de proteção integral.

3.3 Geologia

O território paulista possui grandes contrastes quanto aos aspectos geológicos. Destacam-se dois importantes domínios: a ocorrência na porção oriental de rochas cristalinas pré-cambrianas; e no setor ocidental, rochas sedimentares e vulcânicas, sobrepostas as rochas cristalinas. A Figura 2 apresenta o empilhamento litoestratigráfico das principais unidades geológicas.

As rochas cristalinas compreendidas na região geomorfológica do Planalto Atlântico, estão inseridas no contexto central da Província Mantiqueira. Delineada em uma faixa de direção NE-SW, o segmento no território paulista inclui os orógenos Ribeira e Apiaí, e representa a colagem de terrenos supracrustais neoproterozoicos, com remanescentes arqueanos, paleo e mesoproterozoicos. A Faixa Ribeira e Apiaí são resultantes de orogêneses do Ciclo Brasileiro superpostas, associadas à intensa granitogênese (HEILBRON et al., 2004).

Sobre essas rochas, acumulou-se espesso pacote sedimentar, desde o Devoniano até o Jurássico, na depressão que veio a constituir a Bacia Sedimentar do Paraná. Em São Paulo ela abrange mais de 60% da porção centro-oeste do estado. Entretanto, apenas no território brasileiro, a Bacia do Paraná tem uma área de cerca de 1.100.000 km² e se estende por oito estados. Seu formato elíptico com eixo maior N-S, é de uma bacia do tipo sinéclise com seus limites atuais definidos por processos erosivos, relacionados em grande parte à evolução mesozoica da plataforma sul-americana (MILANI et al., 2007).

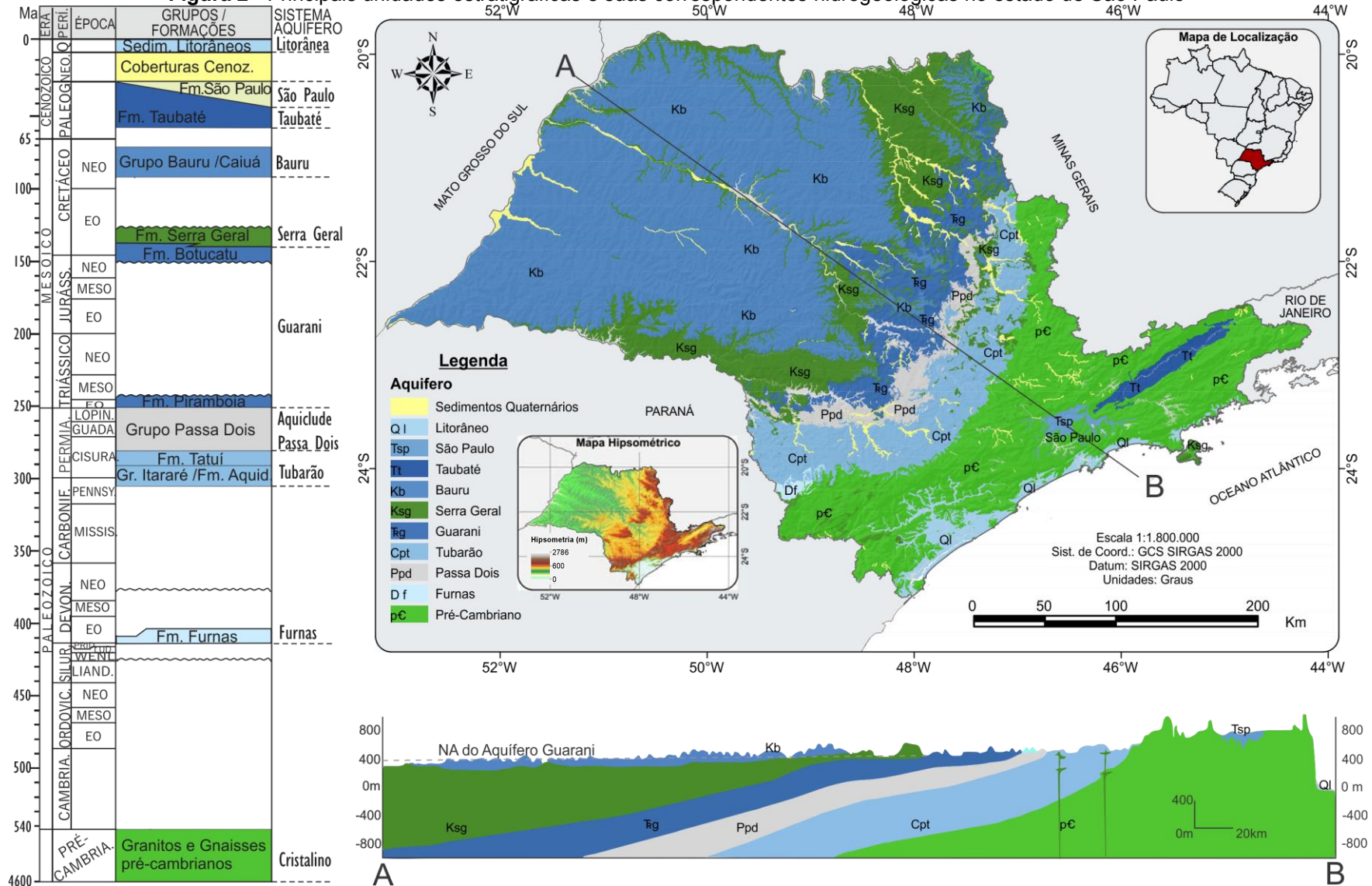
Os sedimentos da bacia são consequência de ciclos transgressivo-regressivos ligados a oscilações do nível relativo do mar no Paleozoico, e de pacotes de

sedimentos continentais com rochas ígneas associadas. Uma divisão desses pacotes foi baseada em ciclos de deposição marcados por superfícies de discordância de caráter regional (marcas onduladas na tabela da Figura 2): Rio Ivaí (Ordoviciano ao Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero ao Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico ao Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo) (MILANI et al., 2007).

Posteriormente, outros dois tipos de bacias ocorrem no território paulista, a bacia gerada por movimento de isostasia pós-magmatismo e as bacias tafrogênicas. A primeira, destacada por Fernandes & Coimbra (2000), é a Bacia Bauru, pertencente ao último ciclo deposicional da Bacia do Paraná. De acordo com os autores supracitados, a bacia é formada por subsidência termo-mecânica, após a grande geração de magmatismo da Formação Serra Geral. Seus sedimentos, de caráter essencialmente arenosos, ocupam grande parte do estado, e são divididos entre os grupos Bauru e Caiuá.

Já as bacias tafrogênicas, correspondentes à Bacia de Taubaté e Bacia São Paulo, são descritas como sedimentares fanerozoicas por Melo et al. (1985). Seus sedimentos foram depositados em Sistema de riftes supostamente formados pela reativação de falhas transcorrentes, através de processos neotectônicos. Tais processos estariam ligados aos processos de ruptura do Gondwana e à Formação do Oceano Atlântico (SILVA et al., 2003).

Figura 2 - Principais unidades estratigráficas e suas correspondentes hidrogeológicas no estado de São Paulo



Segundo convenção internacional, os aquíferos granulares têm cor azul e os aquíferos fraturados têm cor verde. As diferentes tonalidades correspondem à variação de produtividade no âmbito dos aquíferos: quanto mais escuras, maior produtividade.

Fonte: elaborada pela autora, tabela modificada de Milani et al. (2007), mapa hidrogeológico adaptado (DAEE/UNESP, 1980 e DAEE et al., 2005)

3.4 Hidrogeologia do Estado de São Paulo

Os sistemas aquíferos podem ser divididos pelas suas unidades hidroestratigráficas, segundo a natureza litológica dos terrenos e suas propriedades hidráulicas. Dessa forma, são classificados em duas categorias: aquíferos fraturados permeáveis por fissuramento das rochas e, aquíferos sedimentares permeáveis por porosidade granular. O mapa geológico e de águas subterrâneas do estado apresenta as principais unidades aquíferas sedimentares (tons de azul) e cristalinas (tons de verde) (Figura 2).

Os aquíferos fraturados se estendem em cerca de 1/3 do terreno paulista e armazenam a água principalmente em discontinuidades, como fraturas e falhas das rochas magmáticas, metamórficas e vulcânicas basálticas. Fazem parte do aquífero fraturado, as rochas do embasamento cristalino e as rochas vulcânicas Serra Geral.

O Sistema Aquífero Pré-Cambriano (ou Cristalino - SAC), aflora na porção leste do estado (Figura 2), onde estão instalados grandes centros urbanos como as regiões metropolitanas de São Paulo, Campinas e Sorocaba (CETESB, 2016). O SAC ocorre no Planalto Atlântico e é constituído por rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas (granitos, gnaisses, mármore, filitos, xistos, etc). Seu potencial hídrico é limitado à ocorrência de camadas de rochas alteradas e de zonas de fissura, que propiciam a percolação e acúmulo da água subterrânea, que gera grande variação das condições de produção (DAEE;IG;IPT;CPRM, 2005).

O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) ocorre em superfície na região das Cuestas Basálticas, na porção intermediária do estado (Figura 2) e em regiões mais rebaixadas junto às margens dos rios Grande, ao norte, e Paranapanema, a sul. É recoberto em grande parte pelo Aquífero Bauru (SAB), e se situa acima do Aquífero Guarani (SAG) (DAEE et al., 2005). Possui condições aquíferas distintas, determinadas pelas discontinuidades, pelo grau de alteração dos horizontes vesiculares e pela alimentação com outros aquíferos. Sua recarga se dá por meio da infiltração de águas pluviais sobre solos basálticos, que atinge as zonas de alteração e fissuras da rocha matriz (DAEE et al., 2005).

Os aquíferos sedimentares perfazem mais de 70% da área do estado, e são compostas por rochas sedimentares depositadas desde a Era Paleozoica até a Cenozoica. São eles os Sistemas Aquíferos: Furnas, Tubarão, Guarani, Bauru, Taubaté, São Paulo e Litorâneo. As bacias sedimentares de idade terciária, a de São Paulo e a de Taubaté estão encravadas no Aquífero Cristalino (DAEE et al., 2005).

O aquífero Furnas, (Figura 2), restrito na porção sudoeste do estado, apresenta a menor área de afloramento. De exposição restrita, caráter livre e homogêneo, o aquífero é composto predominantemente por arenitos (CAMPOS, 1993 e DAEE et al., 2005).

O Sistema Aquífero Tubarão (SAT), na Depressão Periférica (Figura 2), é um importante manancial na região e de grande importância socioeconômica (CETESB, 2016). Por ser um padrão extremamente heterogêneo, devido à diversidade litológica, a definição dos parâmetros hidrogeológicos são mais difíceis (DAEE et al., 2005). Margeando à leste do SAT, ocorrem as rochas sedimentares finas do Grupo Passa Dois, que constituem um aquíclode, com caráter passivo quanto à circulação de águas subterrâneas.

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é o maior manancial de água doce subterrânea do Mundo. Possui uma faixa estreita faixa de afloramento na Depressão Periférica, e seu maior trecho, representado pela parte confinada do aquífero, está no Planalto Ocidental Paulista (Figura 2). Com 76% de área do território paulista, sua espessura varia de cerca de 100 m na parte aflorante, até mais de 400 m na região central da Bacia, onde está confinada pelos derrames basálticos da Fm. Serra Geral. A recarga do sistema ocorre em áreas de afloramento e em zonas de fissuras dos basaltos da Fm. Serra Geral (DAEE et al., 2005).

O Aquífero Bauru (SAB), recobre grande parte do SASG, e é uma importante fonte de abastecimento para toda a porção oeste do estado, no Planalto Ocidental Paulista (Figura 2). Considerado um aquífero freático, sua recarga é feita diretamente pela precipitação pluvial e o fluxo regional da água se dá em direção Oeste. A zona de potencial mais elevado está localizada ao longo do Rio Paraná e no Ponta do Paranapanema (DAEE et al., 2005).

Os aquíferos Taubaté (SATA) e São Paulo (SASP), (Figura 2), são semelhantes quanto suas características e importância econômica. O SATA composto por sedimentos terciários de composição litológica variada, ocorre de forma livre a pouco confinada (DAEE et al., 2005). O aquífero aflora em um eixo econômico importante entre São Paulo e Rio de Janeiro (CETESB, 2016). Outrossim, o SASP, que ocorre na Bacia de São Paulo, é constituído por um pacote de rochas sedimentares com litologia variada, de caráter livre a semiconfinado. É o aquífero mais intensamente explorado na região, situado na Região Metropolitana de São Paulo (CETESB, 2016).

Por fim, o único aquífero do Quaternário da Figura 2 é o litorâneo, representado pelos sedimentos das planícies costeiras, existentes principalmente no litoral Sul do estado (DAEE et al., 2005). Ocorre sobre o embasamento cristalino e é composto por sedimentos finos e areias inconsolidadas e de baixa espessura (até 20 m) (CAMPOS, 1993).

As principais características de cada aquífero foram compiladas em forma de quadro e estão descritas abaixo. O Quadro 1 , consta uma descrição das qualidades hidrogeológicas e geológicas de cada unidade. Enquanto no Quadro 2 apresenta uma revisão bibliográfica da geometria dos aquíferos e suas propriedades hidráulicas.

Quadro 1 - Características Hidrogeológicas e Geológicas

| S.A. | UNIDADE AQUIFERA | CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS | LITOLOGIA |
|-------------|------------------|--|--|
| CENOZÓICO | Quaternário | Granular, descontínuo, livre, heterogêneo, anisotrópico | Arenitos de granulação variável, argilas e cascalhos das seguintes unidades litoestratigráficas: Fm. Itaqueri, Fm. Rio Claro e Correlatos, Sedimentos Cenozóicos Indiferenciados, Sedimentos Aluvionares. |
| | Litorâneo | Granular, livre, descontínuo, heterogêneo, anisotrópico. | Sedimentos continentais arenosos interdigitados com camadas argilosas e siltosas das formações Pariquera-Açu, Cananéia e Sedimentos Marinhos e Mistos. |
| | São Paulo | Extensão limitada, granular livre, descontínuo, heterogêneo, anisotrópico | Arenitos de granulação variável, argilas e cascalhos das seguintes unidades litoestratigráficas: Fm. São Paulo, Fm. Resende e Sedimentos Aluvionares. |
| | Taubaté | Extensão limitada, granular, livre a semi-confinado, descontínuo, heterogêneo, anisotrópico. | Fm. Caçapava - Depósitos fluviais incluindo arenitos com lentes subordinadas de folhelhos e termos arcossianos e conglomeráticos restritos. Fm. Tremembé - Depósitos lacustrinos incluindo folhelhos e argilitos localmente pirobetuminosos com intercalações subordinadas de arenitos, brechas sedimentares e termos conglomeráticos. |
| BAURU | Marília | Extensão regional, granular, livre a semi-confinado, descontínuo, heterogêneo, anisotrópico. Aquífero freático com recarga | Fm. Marília - Arenitos de granulação fina a grossa, compreendendo bancos maciços com tênues estratificações cruzadas de médio porte, incluindo lentes e intercalações subordinadas de siltitos, argilitos e arenitos muito finos com estratificação plano-paralela e frequentes níveis rudáceos. Presença comum de nódulos carbonáticos. |
| | Adamantina | | Fm. Adamantina - Depósitos fluviais com predominância de arenitos finos e muito finos, podendo apresentar cimentação e nódulos carbonáticos, com lentes de siltitos arenosos e argilitos, ocorrendo em bancos maciços. Estratificação plano-paralela e cruzada de pequeno a médio porte. |
| | Santo Anastácio | | Fm. Santo Anastácio - Arenitos muito finos a médio, mal selecionados subordinadamente de caráter arcossiano, geralmente maciços, apresentando localmente cimento e nódulos carbonáticos. |
| | Caiuá | | Extensão limitada, granular, livre a semi-confinado, homogêneo, contínuo, isotrópico |
| SERRA GERAL | Basalto/diabásio | Extensão limitada, fissurado, caráter eventual, livre a semi-confinado, descontínuo, heterogêneo, anisotrópico | Fm. Serra Geral - Rochas vulcânicas toleíticas em derrames basálticos de coloração cinza a negra; textura afanítica com intercalações de arenitos intertrapeanos, finos a médios, de estratificação cruzada tangencial e esparsos níveis vitrofíricos não individualizados. Na fase intrusiva as rochas vulcânicas são denominadas de diabásio, e quando estão expostas em superfície comportam-se como os basaltos, formando o aquífero diabásio. |
| GUARANI | Botucatu P.Livre | Extensão regional, granular, livre a confinado, homogêneo, contínuo, isotrópico | Fm. Botucatu - Arenitos eólicos avermelhados de granulação fina a média com estratificações cruzadas de médio a grande porte; depósitos fluviais restritos de natureza areno-conglomerática e camadas localizadas de siltitos e argilitos lacustres. |
| | Botucatu P.Conf. | | Fm. Pirambóia - Depósitos fluviais e de planícies de inundação incluindo arenitos finos a médios, avermelhados, siltico-argiloso, de estratificação cruzada ou plano-paralela; níveis de folhelhos a arenitos argilosos de cores variadas a raras intercalações de natureza areno-conglomeráticas |

Continuação Quadro 1

| S.A | UNIDADE AQUÍFERA | CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS | LITOLOGIA |
|------------|----------------------|--|--|
| | Aquicluda Passa Dois | | <p>Fm. Corumbataí - Depósitos possivelmente marinhos de planícies de maré, incluindo argilitos, folhelhos e siltitos cinza, arroxeados ou avermelhados, com intercalações de bancos carbonáticos, silexíticos e camadas de arenitos finos.</p> <p>Fm. Teresina - Depósitos possivelmente marinhos a prodeltáicos, compreendendo folhelho e argilitos cinza escuros a esverdeados ou avermelhados; finamente laminados em alternância com siltitos cinza-claros e arenitos muito finos, presença de restritas lentes de calcários eolíticos e sílex.</p> <p>Fm. Serra Alta - Depósitos essencialmente marinhos incluindo siltitos, folhelhos e argilitos cinza-escuros a pretos com laminação plano-paralela.</p> <p>Fm. Irati - Siltitos, argilitos e folhelhos sílticos de cor cinza clara a escura, folhelhos pirobetuminosos, localmente em alternância rítmica com calcários creme, silicificados e restritos níveis conglomeráticos; membro pelítico muito persistente na base.</p> |
| TUBARÃO | Aquidauana | | Fm. Aquidauana - Depósitos continentais predominando arenitos vermelho-arroxeados, médios a grossos feldspáticos, e subordinadamente arenitos finos, conglomerados, siltitos, folhelhos rítmicos e diamictitos. |
| | Itararé | Extensão regional, granular (localmente fissurado), livre a semi-confinado, heterogêneo, descontínuo, anisotrópico (localmente descontínuo e isotrópico) | <p>Fm. Tatuí - Depósitos marinhos com estratificação plano-paralela, predominando siltitos, arenitos finos em parte concrecionados, calcários, sílex, cor vermelha-arroxeadada na parte inferior e esverdeado na parte superior.</p> <p>Fm. Palermo - Depósitos marinhos com predominância de siltitos cinza esverdeados e subordinadamente arenitos finos a médios e conglomerados, frequentes concreções, nódulos e leitões silexíticos.</p> <p>Fm. Itararé - Depósitos glaciais continentais, glácio-marinhos, fluviais deltáicos lacustres e marinhos compreendendo principalmente arenitos de granulação variada, imaturos, passando a arcósios, conglomerados, diamictitos, tilitos, siltitos, folhelhos, ritmitos, raras camadas de carvão.</p> |
| PARANÁ | Furnas | Extensão limitada, granular, livre a confinado, homogêneo, contínuo. | Fm. Furnas - Depósitos marinhos, predominando arenitos de granulação grossa, feldspáticos, de estratificação cruzada de pequeno a médio porte e plano-paralela, incluindo subordinadamente arenitos finos, arenitos conglomeráticos e conglomerados oligomíticos basais. |
| CRISTALINO | Cristalino | Extensão regional, fissurado, caráter eventual, livre a semi-confinado, heterogêneo, descontínuo, anisotrópico | <p>Granitos, gnaisses, migmatitos, filitos, xistos, quartzitos e metassedimentos das seguintes unidades litoestratigráficas:-</p> <p>Fm. Eleutério; suítes graníticas pós-tectônicas, indiferenciadas, sin-tectônicas, Gr. São Roque, Cpx. Pilar, Cpx. Embu, Gr. Canastra, Fm. Setuva, Cpx. Turvo-Cajati, Complexo Paraíba do Sul, Cpx. Amparo, Cpx. Costeiro, Cpx. Juiz de Fora, Cpx. Varginha.</p> |

Abreviações: S.A.= Sistema Aquífero; Fm.= Formação; P.Livre= Porção Livre; P.Conf.= Porção Confinada; Gr.= Grupo; Cpx.= Complexo. Fonte: Compilado de CAMPOS (1993) e CETESB (1998)

Quadro 2 - Características Geométricas e Hidráulicas

| S.A. | Aq. | Geometria do Aquífero | | | Hidráulica do Aquífero | | | | Parâmetros Físico-químicos | | | | R.B. | |
|-----------|-----------------------|------------------------|----------|------------|------------------------------|---------------------------|------------------------|------------|----------------------------|------------|-------------|---|---------------|-------------------------------|
| | | Área m ² | Em m | Prof. m | Q média m ³ /h | CE m ³ /h/m | T m ² /d | K m/d | Temp ° C | pH | STD mg/L | Classificação Hidroquímica | | |
| Cenozoico | Litorâneo | - | 30 | - | 3-20 | - | - | - | - | - | - | - | CAMPOS (1993) | |
| | | - | 100 | 50-150 | 3-20 | 0,1-3 | 1-200 | - | - | - | - | - | CERH (1999) | |
| | | - | 20 | 50-200 | 13 | 0,8-1 | - | - | 23,5-27,0 | 6,9-8,14 | 150-200 | - | - | DAEE et al. (2005) |
| | São Paulo | - | 100 | - | 10-20 | - | - | 0,82-1,0 | - | - | - | - | - | CAMPOS (1993) |
| | | 3600 | 300 | 50-200 | 9-15 | 0,5-1,0 | 15-70 | 0,01-1,0 | - | - | - | - | - | CERH (1999) |
| | | 1000 | 100 | - | 9.5-15.2 | - | - | - | - | 5,5-6,5 | < 250 | - | - | DAEE et al. (2005) |
| | | - | 100 | - | 10-40 | - | - | - | 23-28,1 | 6,4-7,8 | 82-154 | - | - | CETESB (2016) |
| | Taubaté | 2200 | 500 | 100-300 | 15-200 | 0,01-2,0 | 0,5-100 | 0,01-1 | - | 4,5-8,5 | 20-680 | Bicarbonatadas Sódicas | - | CETESB (1998); CERH (1999) |
| | | 2340 | 200-400 | - | 40-80 e 80-120 | 0,2-14,0 | - | 0,01-4,66 | - | 4,5-8,5 | 170 | Bicarbonatada cálcica (20%), Bic. Sódica (42%) | - | DAEE et al. (2005) |
| | | - | - | - | 40-80 e 80-120 | - | - | - | 20-28 | 6,0-7,7 | 50-160 | - | - | CETESB (2016) |
| Bauru | Bauru Médio/ Superior | 10400 | 80-190 | 100-200 | 8-30 | 0,5-2 | 30-100 | 0,1-1 | - | 4,0-9,8 | 100-200 | Bic. Cálcicas, Bic. Cálcio-magnesianas e Bic. Sódicas | - | CETESB (1998); CERH (1999) |
| | | - | 75* | - | 10-40 | 0,57* | Oct-50 | 0,1-0,4 | - | 4,59-9,64* | < 300* | Bicarbonatada cálcica (58%) | - | DAEE et al. (2005) |
| | | - | - | - | 3-50 | 0,5 | 0,14-328 | 0,002-3,66 | - | - | - | - | - | CPRM (2012a) |
| | Bauru Inferior/ Caiuá | 13000 | 200 | 100-200 | 50-150 | 2,0-5,0 | 100-200 | < 3,0 | - | 4,0-9,8 | < 100 | Bic. Cálcicas ou Magnesianas e Bic. Sódicas | - | CETESB (1998); CERH (1999) |
| | | - | 75* | 100-200 | 40-80 | 0,57* | 100-300 | 1,0-3,0 | - | 4,59-9,64* | < 300* | Bicarbonatada calcico-magnesianas (11%) | - | DAEE et al. (2005) |
| | | - | 80 | - | 20-200 | 1,6 | > 200 | - | - | - | - | - | - | CPRM (2012a) |
| NE | - | 75 | - | 10-120 | - | - | - | - | - | - | - | - | CETESB (2016) | |
| S.G. | * | 32000 | 150 | 50-150 | 5-70 | 0,01-10,0 | 1-700 | - | - | 6,0-7,0 | < 200 | Bic. Cálcicas, secundariamente magnesianas | - | CETESB (1998); CERH (1999) |
| | | - | 300-2000 | - | 7-23 | 0,01-0,62 | - | - | - | - | - | - | - | DAEE et al. (2005) |

Continuação Quadro 2

| S.A. | Aq. | Geometria do Aquífero | | | Hidráulica do Aquífero | | | | Parâmetros Físico-químicos | | | | R.B. |
|------------|------------|-----------------------|---------|--------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------|----------|----------------------------|------------------|---|---|----------------------------|
| | | Área m ² | Em m | Prof. m | Q média m ³ /h | CE m ³ /h/m | T m ² /d | K m/d | Temp ° C | pH | STD mg/L | Classificação Hidroquímica | |
| Guarani | Livre | 16000* | 250 | 50-250 | 10-100 | 0,03-17,0 | - | 0,2-4,0 | - | Ácido | < 100 | Bic. Magnesianas e cálcio-magnesianas | CETESB (1998); CERH (1999) |
| | | 16000 | - | - | 20-40 e 40-80 | - | 260 | 3 | 22-27 | 5,4-9,2 | < 50 | Bicarbonatada cálcica | DAEE et al. (2005) |
| | | - | 100 | - | 20-40 e 40-80 | - | - | - | 22,3-32,1* | 5,2-9,9* | 25-448* | - | CETESB (2016) |
| | Confinada | 16000* | 500 | 300-1700 e 60-5300 | 50-600 | 0,01-26,0 | 70-1300 | 0,5-4,6 | - | Ácido a alcalino | 200-650 | Bic. Magnesianas e cálcio-magnesianas; sódica a cloro-sulfatadas | CETESB (1998); CERH (1999) |
| | | - | 100-400 | - | - | >5 | 40,6-1,296 | - | - | - | - | - | CPRM (2012b) |
| | | - | 400 | - | 80-120; 120-250; 250-360 | - | - | - | 22,3-32,1* | 5,2-9,9* | 25-448* | - | CETESB (2016) |
| NE | 174000 | - | - | 80-120; 120-250; 250-360 | - | 1200 | 2,6 | 22-59,7 | 63-9,8 | 50-500 | Bicarb.cálcica e sódica, subordinad. Sulfatada-cloretada sódica | DAEE et al. (2005) | |
| Passa Dois | 6900 | 120 | 100-150 | 3-10 | 0,005-1,0 | - | - | - | 7,6-8,7 | - | - | CETESB (1998); CERH (1999) | |
| | - | - | - | 3-20 | - | - | - | - | - | - | - | CAMPOS (1993) | |
| Tubarão | * | 20700 | 1000 | 100-300 | 3-30 | 0,005-8,5 | 0,3-200 | 0,02-0,7 | - | 4,8-9,0 | 21-42 | Bicarbonatada sódica e secund. Bic. Cálcica ou mistas | CETESB (1998); CERH (1999) |
| | | 20700 | 30-50 | 150 | 0-10 | 0,002-4,67 | 0,3-40 | - | - | 4,8-8,9 | 21-42 | Bicarbonatada sódica e secund. Bic. Cálcica ou mistas | DAEE et al. (2005) |
| | | - | - | - | 0-10 | - | - | - | 21,2-35 | 4,5-10,0 | 50-629 | - | CETESB (2016) |
| Paraná | Furnas | 500 | - | - | 10-50 | - | - | - | - | - | - | - | CAMPOS (1993) |
| | | 500 | 200 | 100-250 | 10-50 | 0,2-1,0 | - | - | - | - | - | - | CETESB (1998); CERH (1999) |
| | | 530 | 100 | 220 | 10 | 0,035 | - | - | 20 | 6 | 30 | Bicarbonatada sódica | DAEE et al. (2005) |
| | | - | 100 | - | 10 | - | - | - | - | - | - | - | IRITANI & EZAKI (2009) |
| | | - | 200 | 124-195 | 17.4-46.4 | 1,51-1,56 | - | - | - | - | - | - | - |
| Cristalino | Cristalino | 53400 | 200 | 5-150 | 5-30 | 0,001-7,0 | 0,1-200 | - | - | Ácido a Neutro | < 200 | Bic. Cálcicas, sec. Sódicas; Litoral-cloretada sód. Sec. Cálcicas | CETESB (1998); CERH (1999) |
| | | - | - | - | 2-7 | 0,04-0,18 | - | - | - | - | - | - | DAEE et al. (2005) |
| | | - | - | - | 7 | - | - | - | 16,7-28,5 | 5,0-9,4 | 50-334 | - | CETESB (2016) |

* Valor para todo o Sistema Aquífero Abreviações: S.A.= Sistema Aquífero; Aq.= Unidade Aquífera; Área= Área de Afloramento; EM= Espessura Média; Q= Vazão média predominante por poço; Prof= Profundidade dos poços; CE= Capacidade Específica; T= Transmissividade; K= Permeabilidade Aparente; Temp= Temperatura; STD= Sólidos Totais Dissolvidos; R.B.= Referência Bibliográfica; S.G.= Serra Geral; NE= Não Especificada entre a porção livre e a confinada.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Águas Minerais

4.1.1 Origem, e Composição Química das Águas minerais

Para entender da origem das águas minerais é preciso entender a função da água subterrânea no complexo ciclo hidrológico. Naturalmente, por estímulos diversos, a água pode ser evaporada do oceano e retornar através da precipitação das chuvas. Pode, também, cair sobre os continentes e infiltrar-se no solo, ser absorvida por plantas e animais ou, retornar indiretamente aos mares pelos rios e ribeirões, entre outros caminhos. Dentre os diversos percursos, a água pode infiltrar no subsolo e constituir os aquíferos ou reservatórios de águas subterrâneas.

Campos (2013) explica que as águas de recarga dos aquíferos procedem das precipitações, corpos d'água superficiais ou de outros reservatórios subterrâneos com os quais mantenham conexão hidráulica. Desse modo, o caminho por onde a água passa, produz modificações, como por exemplo, dissolução dos minerais das rochas e seu arrasto para locais distantes.

Embora o processo aparente ser veloz, a água subterrânea é a parte menos móvel do ciclo hidrológico. Lazzerini (2013) demonstra que, para efeito comparativo, enquanto o volume total da água atmosférica é substituído a cada 9 dias, nos mares e oceanos essa substituição ocorre em média a cada 2.000 anos e nas águas subterrâneas a cada 8.000 anos. Sua taxa de movimentação em níveis rasos é de 1 a 1.000 m/ano e em níveis profundos (de 1.000 a 2.000 m) essa movimentação cai para 0,1 a 0,0001 m/ano. Apenas para se comparar, a mobilidade em rios (águas superficiais) ocorre em uma velocidade média de 5 km/hora.

Os diferentes tipos de águas subterrâneas são originados em sistemas abertos ou fechados de rocha-água. Desse modo, o aporte de sais aos aquíferos depende, inicialmente da composição química das águas de recarga e, em seguida, da interação química entre essas águas e o meio aquífero (CAMPOS, 2013).

É possível definir as águas minerais a partir da interação água subterrânea-rocha, e a composição química dessas. No âmbito do CAM, Gesicki e Sindico (2013), apresentam que o termo "águas minerais", é utilizado de maneira ampla para qualificar

um grupo de águas subterrâneas mineralizadas com características especiais, diferenciadas das “águas comuns”. Reis (2011) acrescenta que elas são consideradas bacteriologicamente própria, e com suas características físico-químicas estáveis na origem, dentro da gama de flutuações naturais.

Estas características resultam em propriedades terapêuticas ou efeitos favoráveis à saúde e distinguem-se da água de beber comum por sua pureza original e por sua natureza, caracterizada pelo teor de substâncias minerais, oligoelementos ou outros constituintes (REIS, 2011).

Schoeller (1962) *apud* Reis (2011), complementa que a água só poderá ser designada mineral (do ponto de vista estritamente geológico), quando algum dos seus componentes (ou parâmetros), exceda os valores normais estabelecidos para as águas subterrâneas, por exemplo: mineralização total >1000 mg/L; total de CO₂ livre >1000 mg/L (em alguns países bastam 500 mg/L, ou mesmo 250 mg/L); sulfuração total >1 mg/L; flúor >2 mg/L; lítio >1 mg/L; estrôncio >10 mg/L; bromo >5 mg/L; iodo >1 mg/L; ferro II >10 mg/L; manganês >10 mg/L; bário >5 mg/L; sílica >50 mg/L, etc.

Embora a evolução química das águas passe a ser influenciadas diretamente pelas rochas atravessadas, é importante atentar que, devido à extensão dos aquíferos, suas propriedades hidrogeológicas não ocorrem de modo homogêneo (IRITANI & EZAKI, 2009). Suas características podem apresentar variações no tamanho dos grãos, na quantidade e tipos de poros da rocha e em outras propriedades em geral.

4.1.2 Importância Econômica

A busca pela qualidade de vida e saúde pelo brasileiro, fizeram com que o consumo da água mineral aumentasse. Dados do sumário Mineral, DNPM (2015), indicam um aumento de 7,4% no consumo brasileiro, de 2009 a 2014, o que faz o Brasil ocupar a 5ª posição mundial na compra de águas minerais engarrafadas, segundo Rodwan Jr., (2015). Ademais, no final de 2014 existiam 2008 concessões de lavra de água mineral e potável de mesa, ativas no país, cujo os usos englobavam envase, fabricação de bebidas e balneário (DNPM, 2015).

Ainda de acordo com o sumário, São Paulo foi o estado que teve a maior produção de água envasada declarada, com 21% da produção do país. Em números

absolutos, a quantidade de água envasadas chegou a 1.753.039.000 litros, arrecadando mais de 816 milhões de reais, dados do anuário mineral estadual 2015 (DNPM, 2016).

O anuário contabiliza a água mineral engarrafada e a água como parte da produção de produtos industrializados. As principais cidades produtoras de águas envasadas são: Lindóia, Mogi das Cruzes, Águas de Santa Bárbara, Campos do Jordão, São Paulo, e juntas correspondem a uma produção de mais de 53% das águas do estado no ano de 2014, com mais de 845 milhões de litros de água. Já as águas que compõem produtos industrializados, somam mais de 160 milhões de litros, com 95,23% da produção nas cidades de Itu e Lindóia (DNPM, 2016).

A utilização da água para fins econômicos no estado é maior do Brasil. Assim, sua caracterização mineral através de trabalhos como este pode permitir a expansão econômica para outras localidades.

4.1.3 Água mineral para abastecimento

A utilização das águas minerais não se limita apenas no consumo de águas envasadas. O abastecimento de água para consumo rural, doméstico e industrial do estado provém substancialmente de águas subterrâneas. O seu uso para abastecimento é uma alternativa pois são mananciais naturalmente melhor protegidos dos agentes poluidores, em muitos casos, dispensa-se o tratamento para o consumo (AZEVEDO et al., 2007).

Azevedo et al. (2007) acrescentam que houve um aumento no uso das águas subterrâneas para abastecimento público em município de pequeno e médio porte, devido ao menor custo e ao prazo de execução mais curto, quando comparado com a captação superficial. Cerca de 80% dos municípios do estado são total ou parcialmente abastecidos pelas águas subterrâneas, atendendo uma população de mais de 5,5 milhões de habitantes (CETESB, 2010).

Embora a demanda seja menor que o consumo no estado, há locais com *déficit* hídrico. De acordo com o Atlas do Mapa das Águas Subterrâneas (DAEE et al., 2005), a vazão total das águas subterrâneas é da ordem de 330 m³/s, com a demanda atual de 60 m³/s. O atlas demonstra ainda que, quando a relação demanda/disponibilidade é realizada por UGRHs, há locais que já apresentam *déficit* hídrico, necessitando

importar águas da bacia vizinha. Assim, a gestão das águas minerais é importante para garantir o controle de fluxo dos recursos hídricos e para assegurar o abastecimento nos centros urbanos.

Ademais, outros fatores geram limitações do seu uso. As principais são as relacionadas às atividades antrópicas, que indicam pontos de contaminação, resultados de má conservação e proteção sanitária dos poços (AZEVEDO et al., 2007 e CERH, 1999). O Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, CERH (1999), conclui que a grande expansão das atividades antrópicas nas áreas urbanas e rurais tende a engendrar processos de contaminação que podem variar conforme as características do meio físico.

Por ser considerada como fonte estratégica, é fundamental uma política integrada da água subterrânea pelos órgãos estaduais. Pois sua exaustão e degradação podem acarretar em consequências desastrosas. Conseqüentemente, além de uma política de gestão, vê-se necessário uma caracterização dos diferentes sistemas aquíferos, bem como sua classificação, para monitoramento e controle do uso.

4.2 Órgãos Responsáveis e Regulamentações

4.2.1 Responsabilidades, gerência e fiscalização das águas minerais

As responsabilidades e gerência das águas, em virtude de suas características intrínsecas, recebe um tratamento diferenciado segundo sua fonte e utilização. A água, quando considerada como recurso hídrico, torna-se um bem público da União ou dos Estados. De acordo com o art. 26 da Constituição Federal de 1988, (BRASIL, 1988), as águas subterrâneas e superficiais são de domínio dos Estados, enquanto as águas minerais são pertencentes ao código de mineração.

Portugal Jr. (2016) relata que o uso das águas subterrâneas e fiscalização são baseados no Plano Nacional de Recursos Hídricos (conduzido pela Lei 9.433/1997), da Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano do Ministério do Meio Ambiente, cujo gerenciamento é feito pelo Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos.

No que se refere à gestão pelos órgãos estaduais paulistas, a Agência Nacional das Águas, ANA, indica que há quatro órgãos gestores no Estado, a Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos (SSRH), a Secretaria do Meio Ambiente (SMA), o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), e a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), cada qual com sua responsabilidade.

Azevedo et al. (2007) descrevem que o Estado de São Paulo foi o pioneiro no gerenciamento dos recursos hídricos. Em 1991, foi instituída a lei 7.663, uma Política de Recursos Hídricos, e em 1994 a lei estadual 9.034 que aprovou com o modelo de gestão descentralizada, com a Política Estadual de Recursos Hídricos. Sua proposta foi divisão do Estado em Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, UGRHI. Atualmente, estão instalados 22 Comitês de Bacias Hidrográficas que abrange todo o território paulista.

Como mencionado anteriormente, as águas recebem tratamento diferenciado quando consideradas como minerais. As águas minerais, termais e potáveis de mesa são consideradas institucionalmente como um recurso mineral, sendo alocadas no contexto de jazidas e regidas por leis específicas. São essas o CAM (Decreto Lei 7.841, 08/08/1945) conjugado com o Código de Mineração (Decreto Lei 227, 27/02/1967), a Portaria do ANM do Ministério de Minas e Energia (MME) nº 374 de 01/10/2009 e legislações correlatas.

A fiscalização, regulação e aplicação das leis nesse caso são de responsabilidade da Agência Nacional de Mineração (ANM), antigo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) (PORTUGAL Jr., 2016). Em seu processo de concessão, tais recursos seguem os mesmos procedimentos como quaisquer outros minérios até a determinação da Portaria de Lavra. Somente após a obtenção da lavra a exploração desse recurso passa a seguir as suas determinações mais específicas (BRASIL, 1945).

Como o tema do trabalho são as composições químicas das águas minerais do estado, será dado maior enfoque no CAM.

4.2.2 O Código de Águas Minerais

O CAM surgiu com a necessidades de padronizar o aproveitamento das águas minerais brasileiras, utilizadas para comercialização através do engarrafamento ou em balneários. No dia 08 de agosto de 1945, o Presidente da República Getúlio Vargas, assinou o Decreto-Lei nº 7.841 (BRASIL, 1945).

O código define no seu 1º artigo que as águas minerais são aquelas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que possuam composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhes confirmam uma ação medicamentosa. Assim o artigo 3º define águas potáveis de mesa como aquelas de composição normal provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que preencham tão somente as condições de potabilidade para a região.

Desse modo, a legislação brasileira adota como principais critérios as características conservativas (constituintes químicos) da água e aquelas não conservativas ou inerentes às fontes, como presença de gases e temperatura. A classificação dos constituintes químicos é definida no Art. 35 - § 1º que estabelece:

As águas minerais deverão ser classificadas pelo ANM de acordo com o elemento predominante, podendo ter classificação mista as que acusarem na sua composição mais de um elemento digno de nota, bem como as que contiverem iones ou substâncias raras dignas de nota (águas iodadas, arseniadas, litinadas, etc.) (BRASIL, 1945).

O Quadro 3 resume a classificação química e a concentração mínima necessária dos elementos para empregabilidade dos termos segundo a legislação vigente.

Quadro 3 - Tipos e critérios de classificação química das águas minerais no Brasil pelo CAM

| Classificação | Crítérios |
|--------------------------------|---|
| Oligominerais | Quando não atingirem os limites estabelecidos, forem classificadas por ação medicamentosa comprovada. |
| Alcalina-bicarbonatadas | As que contiverem, por litro, uma quantidade de compostos alcalinos equivalentes, no mínimo, a 0,2 g de bicarbonato de sódio. |
| Alcalino-terrosas | As que contiverem, por litro, uma quantidade de compostos alcalinos terrosos equivalentes, no mínimo, a 0,12 g de carbonato de cálcio, distinguindo-se: a) Alcalino-terrosas cálcicas as que contiverem, por litro, no mínimo, 0,048 g de Ca sob forma de bicarbonato de cálcio; b) Alcalino-terrosas magnesianas, as que contiverem, por litro, no mínimo 0,03 g de Mg sob forma de bicarbonato de magnésio. |
| Sulfatadas | As que contiverem, por litro, no mínimo 0,1 g do ânion SO, combinado aos cátions Na, K, Mg. |
| Sulfurosas | As que contiverem, por litro, no mínimo 0,001 g do ânion S. |
| Nitratadas | As que contiverem, por litro, no mínimo 0,1 g de NO de origem mineral. |
| Cloretadas | As que contiverem, por litro, no mínimo 0,5 g de NaCl. |
| Ferruginosas | As que contiverem, por litro, no mínimo 0,5 g de Fe. |
| Radioativas | As que contiverem radônio em dissolução, obedecendo os limites (a 20° C e 760 mm de Hg de pressão): a) Fracamente radioativas, as que possuírem, entre 5 e 10 unidades Mache/L, no mínimo; b) Radioativas, as que possuírem, entre 10 e 50 unidades Mache/L, no mínimo; c) Fortemente radioativas, as que possuírem, maior que 50 unidades Mache/L, no mínimo. |
| Torioativas | As que possuírem um teor de torônio em dissolução, equivalente em unidades eletrostáticas a 2 u Mache/L, no mínimo. |
| Carbogasosas | As que contiverem 200 ml/l de gás carbônico livre dissolvido, a 20° C e 760 mm de Hg de pressão. |

Fonte: Código de Águas Minerais de 1945, Art.35.

Ainda há a classificação das águas minerais quanto as características conservativas ou inerentes a fontes, apresentados no Quadro 4 quanto aos gases e temperatura da fonte.

Quadro 4 - Classificação das fontes de águas minerais pelo teor de gases e temperatura

| CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS GASES | |
|---|---|
| Fontes Radioativas | As que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 l.p.m. a 20° C e 760 mm de Hg, com um teor de radônio em Mache (Me) por litro de gás espontâneo |
| a) Fracamente Radioativa | 5-10 Me/L |
| b) Radioativa | 10-50 Me/L |
| c) Fortemente Radioativa | >60 Me/L |
| Fontes Toriativas | Apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 l.p.m., com um teor em torônio na emergência, equivalente em unidades eletrostáticas a 2 Me/L |
| Fontes Sulforosas | Possuirem na emergência desprendimento definido de gás sulfídrico |
| CLASSIFICAÇÃO QUANTO À TEMPERATURA | |
| Fontes Frias | <25 °C |
| Fontes Hipotermais | 25 - 33 °C |
| Fontes Mesotermais | 33 - 36 °C |
| Fontes Isothermais | 36 - 38 °C |
| Fontes Hipertermais | >38 °C |

Fonte: Código de Águas Minerais de 1945, Art.35.

As águas minerais no Brasil são oficialmente aquelas consideradas benéficas à saúde, devido suas composições químicas ou características físico-químicas. Entretanto, a legislação proíbe qualquer menção sobre quais seriam estes benefícios (REIS, 2011). Segundo o autor, a partir da década de 90, o DNPM (atual ANM), passou a admitir novas modalidades de classificação das águas minerais, a partir da interpretação do Art. 35 anteriormente mencionado.

Desde então, as águas antes classificadas como potáveis de mesa, ganharam o *status* de mineral. A falta de teores mínimos para classificação de elementos não mencionados, geram classificações diversas, e acabam por ser determinadas como águas minerais por possuírem concentrações mínimas de 0,01 mg/L de elementos como lítio, brometo, vanádio entre outras.

Devido à falta de clareza quantos aos limites dos elementos dignos de nota, que o ANM publicou a Portaria nº 540, de 18 de dezembro de 2014, e estabeleceu que:

Art. 1º São classificadas como águas minerais aquelas águas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que contiverem elementos ou substâncias dignas de nota, de acordo com os limites:

a) Fluoretada - quando contiver no mínimo 0,02 mg/L de fluoreto;

- b) Vanádica - quando contiver no mínimo 0,03 mg/L de vanádio;
 - c) Litinada - quando contiver no mínimo 0,01 mg/L de lítio;
 - d) Seleniada - quando contiver no mínimo 0,006 mg/L de selênio.
- Art. 2º O limite máximo destas substâncias para classificação como água mineral seguirá o estabelecido na legislação vigente.

Outras incoerências do CAM são apresentados por alguns autores, como base para atualizações da Lei (GESICKI & SINDICO, 2013; PORTUGAL Jr., 2016; REIS, 2011). Ainda que tal discussão não seja o tema principal do trabalho, é relevante uma breve apresentação dos principais pontos de vista de cada autor.

Reis (2011) acredita que alguns critérios necessitavam ser alterados, principalmente no que tange à classificação química e seu uso final. O autor acredita que o crescimento do setor e o aumento das exportações carecem de atender às exigências do mercado externo e as exigências em busca de qualidade, tanto por parte do consumidor, como por órgãos fiscalizadores. Assim, Reis (2011) baseia-se na atualização da CAM através da minuta do projeto de lei da ANM de 29 de julho de 2002.

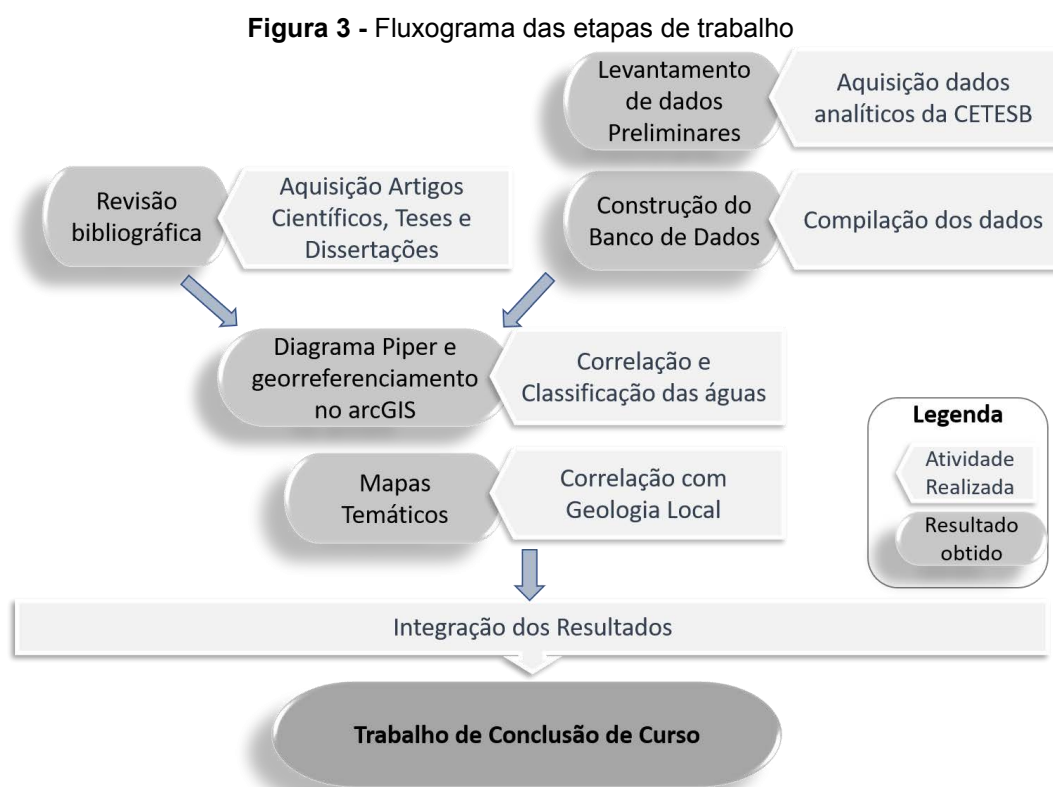
Gesicki & Sindico (2013) indicam que um dos problemas quanto ao código, são as suas formas de interpretações. Ele destaca que a ANM com o passar do tempo alterou sua forma de interpretar o código, visando à classificação de uma água subterrânea como mineral. Para isso, adotou critérios com base exclusivamente na presença de elementos dignos de nota ou devido à temperatura da água da fonte. Os autores acrescentam que a ANM não leva em consideração se os elementos dignos de nota têm concentrações que dignifiquem algum efeito terapêutico imediato ou uma eventual ação benéfica à saúde.

Por fim, Gesicki & Sindico (2013) e Portugal Jr. (2016) acreditam que como estratégia institucional, a ANM poderia exercer a gestão das águas minerais de forma colaborativa e compartilhada aos órgãos estaduais de recursos hídricos, reconhecendo a dimensão ambiental da água subterrânea introduzida pela Constituição, assim como os princípios do desenvolvimento sustentável difundidos pela legislação ambiental e de recursos hídricos vigentes no país.

5 MATERIAL E MÉTODOS

A elaboração do presente trabalho seguiu uma série de etapas sequenciais, apresentada no fluxograma da Figura 3, e organizada em:

- a) Levantamento e extensa revisão bibliográfica – identificação, coletânea, seleção e fichamento dos trabalhos científicos pertinentes ao tema de estudo;
- b) Construção de uma base de dados através do levantamento dos poços cadastrados na CETESB no estado de São Paulo;
- c) Classificação das águas minerais em:
 - Caracterização hidroquímica das águas com utilização de diagramas de Piper para classificação das águas;
 - Classificação segundo o CAM de 1945;
 - Avaliação da qualidade da água mineral natural pelas Resoluções RDC nº 274 e 275/2005 da ANVISA;
- d) Correlação da classificação das águas com a geologia do local, com construção de mapas temáticos.



5.1 Construção da Base de Dados

A base de dados utilizada nesse trabalho consiste nos resultados analíticos de amostras de águas subterrâneas coletadas no período 2013 a 2015 pela CETESB em sua Rede de Monitoramento de Qualidade, (disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2017/09/Apendice-A-Resultados-Anal%C3%ADticos-2013-2015.zip>).

Em função da coleta semestral de amostras nos poços, foram selecionados os dados referentes ao segundo semestre de 2015, totalizando 276 análises hidroquímicas amostradas em poços perfurados em 250 cidades no estado (Figura 4). Do total. Foram catalogadas 88 análises do SAB; 54 do SAG, 60 do SAC, 42 do SASG, 2 em SASP, 6 do SATA, e 25 do SAT. Os dados de localização dos poços estão disponíveis no ANEXO A.

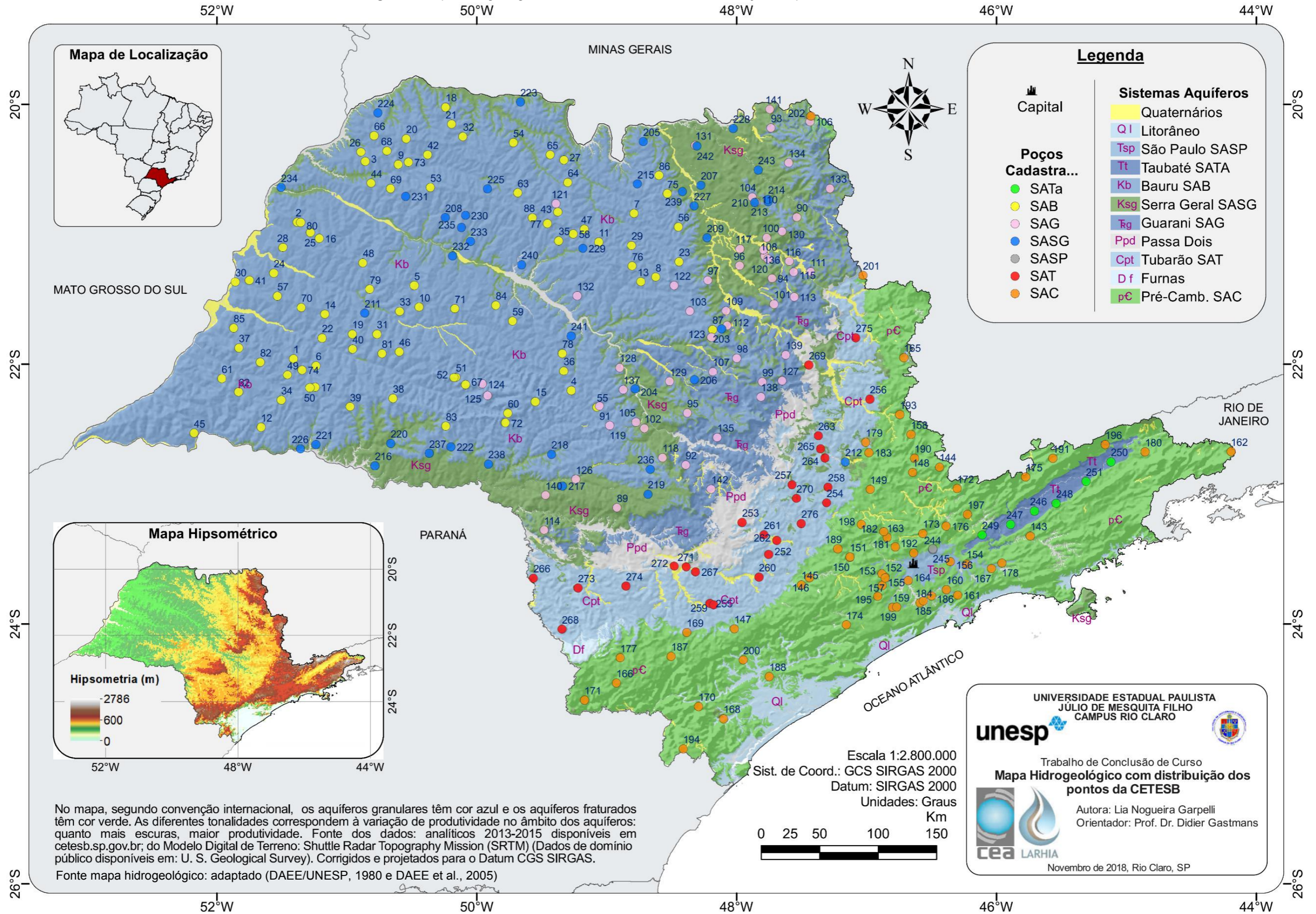
5.2 Classificação das Águas Minerais

A classificação das águas minerais foi segmentada através da classificação hidroquímica, conforme as classes do diagrama de Piper, determinação dos padrões de qualidades, com os valores de referências, e segundo o CAM (BRASIL, 1945).

5.2.1 Dados Hidroquímicos

O método de caracterização hidroquímica dos aquíferos foi realizada por meio da síntese dos resultados dos poços de monitoramento. Dentre os métodos, foi realizada uma análise estatística das concentrações para determinar o valor de máximo, mínimo, média e mediana, e quantificar o desvio padrão e o 3º quartil dos parâmetros de classificação adotados pelo CAM. O cálculo do erro do balanço iônico nas classificações hidroquímicas é parte padrão da análise. Contudo, ele não será realizado, por não ser necessário para categorização pelo código.

Figura 4 - Mapa Hidrogeológico do estado de São Paulo, com distribuição dos pontos da CESTESB



No mapa, segundo convenção internacional, os aquíferos granulares têm cor azul e os aquíferos fraturados têm cor verde. As diferentes tonalidades correspondem à variação de produtividade no âmbito dos aquíferos: quanto mais escuras, maior produtividade. Fonte dos dados: analíticos 2013-2015 disponíveis em cetesb.sp.gov.br; do Modelo Digital de Terreno: Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (Dados de domínio público disponíveis em: U. S. Geological Survey). Corrigidos e projetados para o Datum CGS SIRGAS.

Fonte mapa hidrogeológico: adaptado (DAEE/UNESP, 1980 e DAEE et al., 2005)

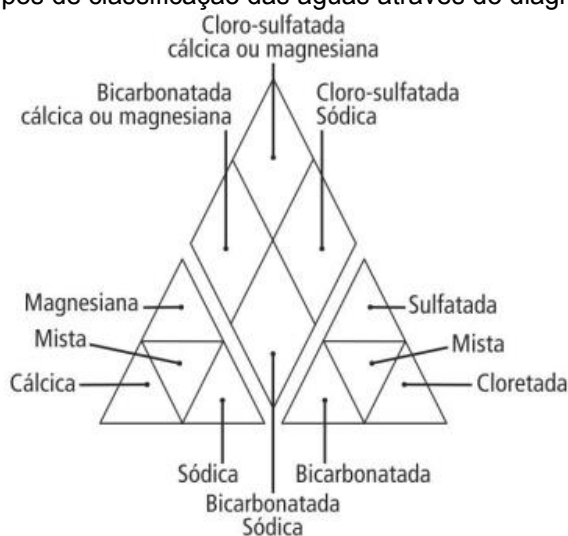
5.2.2 Diagrama de Piper

A segunda fase do método foi a classificação das águas quanto aos íons dominantes, realizada a partir de diagramas de Piper. O diagrama de Piper é um método gráfico para a classificação das águas baseado nos principais constituintes iônicos (em meq/L ou mg/L), constituindo uma ferramenta bastante consistente na análise de conjuntos de dados hidroquímicos, a qual possibilita a distinção de grupos hidroquímicos e a avaliação da evolução hidroquímica ocorrida em determinado aquífero, função de processos hidroquímicos ocorridos ou da ocorrência de misturas de águas.

O diagrama de Piper é constituído por três campos de plotagem (Figura 5): um triângulo de cátions [Ca^{2+} , Mg^{2+} , $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$], um triângulo de ânions [$(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$, SO_4^{2-} , Cl^-], os valores encontrados nos triângulos são então projetados em um losango. O cruzamento do prolongamento desses dois pontos, na área do losango, determina o tipo químico da amostra de água.

O diagrama de Piper foi executado através da plataforma gratuita do *software* Diagrammes, desenvolvido por Roland Simler, do laboratório de Hidrogeologia da Universidade de d'Avignon, versão 6.55, disponível em http://www.lha.univ-avignon.fr/Fichiers/Setup_Diagrammes.exe.

Figura 5 - Campos de classificação das águas através do diagrama de Piper



Fonte: CETESB (2016)

5.2.3 Parâmetros de qualidade e Valores de Referência

Os parâmetros físico-químicos utilizados na classificação das águas subterrâneas foram selecionados a partir de componentes que geralmente se fazem presentes nas águas subterrâneas e em parâmetros e padrões exigidos em legislações. As análises realizadas pela CETESB, são descritas no Quadro 5, com destaque para os critérios que são utilizados pelo CAM e pelas Resoluções da Anvisa, para classificação e controle de qualidade.

Quadro 5 - Parâmetros de qualidade utilizados pela CETESB para os poços cadastrados

| Parâmetros | Tipos de análises |
|------------|---|
| Físicos | Temperatura ¹ , Sólidos Dissolvidos Totais, Sólidos Totais |
| Biológicos | Carbono Orgânico Dissolvido, Bactérias heterotróficas, Coliformes totais ² , <i>Escherichia coli</i> ² |
| Químicos | pH, Alcalinidade (Bicarbonato, carbonato e Hidróxido), Alumínio, Berílio, Cobalto, Condutividade Elétrica, Dureza Total, Estanho, Estrôncio, Molibdênio, Nitrogênio (Amoniacal, Kjeldahl), Potássio, Prata, Titânio, Urânio, Zinco |
| | Bicarbonato ¹ , Carbonato ¹ , Cálcio ¹ , Cloreto ¹ , Ferro ¹ , Fluoreto ¹ , Lítio ¹ , Magnésio ¹ , Selênio ¹ , Sódio ¹ , Sulfato ¹ , Vanádio ¹ |
| | Antimônio ² , Arsênio ² , Bário ² , Boro ² , Cádmi ² , Chumbo ² , Cobre ² , Crômio Total ² , Manganês ² , Mercúrio ² , Níquel ² , Nitrato ² , Nitrito ² , Selênio ² |

Fonte: Elaborado pela autora a partir de BRASIL (1945, 2005a, 2005b) e CETESB (2016)
 Notas: (1) Parâmetros utilizados pelo Código de Águas Minerais para classificação das águas;
 (2) Parâmetros com valor máximo permitido para assegurar a qualidade da água, pelo RDC 274 e 275/2005.

Para fornecer subsídio a respeito da potabilidade e da qualidade das águas, foram considerados os parâmetros definidos nas resoluções RDC nº 274 e nº 275, de 22 de setembro de 2005, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), (BRASIL, 2005a e 2005b). A Resolução RDC nº 274/2005 indica 56 parâmetros de classificação de contaminantes (orgânicos e inorgânicos, agrotóxicos, cianotoxinas e desinfetantes), enquanto a Resolução RDC nº 275/2005 apresenta cinco parâmetros microbiológicos.

Embora os dados analíticos disponíveis não contemplem o escopo completo das resoluções, seguiu-se os padrões apresentados pela CETESB. Do total de 49 parâmetros analíticos da CETESB, 13 foram utilizados para classificação segundo CAM e 16 para determinação da qualidade pelas resoluções da ANVISA. Os valores

máximos permitidos (VMP) par substâncias consideradas contaminantes pelas resoluções e empregados no presente trabalho seguem o exposto no Quadro 6.

Quadro 6 - Limites permitidos de substâncias contaminantes em águas minerais naturais pelas resoluções RDC nº 274-275/2005

| Substância | VMP ⁽¹⁾ | Substância | VMP ⁽¹⁾ |
|---|--------------------|--|---|
| Antimônio | 0,005 mg/L | Chumbo (Pb) | 0,01 mg/L |
| Arsênio (calculado como As total) | 0,01 mg/L | Manganês (Mn) | 0,5 mg/L (Mn) |
| Bário (Ba) | 0,7 mg/L | Mercúrio (Hg) | 0,001 mg/L |
| Boro (B) | 5 mg/L | Níquel (Ni) | 0,02 mg/L |
| Cádmio (Cd) | 0,003 mg/L | Nitrato (calculado como HNO ₃) | 50 mg/L |
| Cromo (calculado como Cr total) | 0,05 mg/L | Nitrito (calculado como HNO ₂) | 0,02 mg/L |
| Cobre (Cu) | 1 mg/L | Selênio (Se) | 0,01 mg/L |
| Microorganismo presente em 100 ml | | Min. ⁽²⁾ | Max. ⁽³⁾ |
| E. Coli e Coliformes fecais termotolerantes | | -- | ausente |
| Coliformes totais | | <1 UFC ⁽⁴⁾ ; <1,1 NMP ⁽⁵⁾ ou ausente | 2 UFC ⁽⁴⁾ ; 2,2 NMP ⁽⁵⁾ |

Fonte: retirado de <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=23/09/2005&jornal=1&pagina=376&totalArquivos=408>. Notas (1) Limite máximo permitido; (2) limite inferior (mínimo) aceitável; (3) limite superior (máximo) aceitável; (4) Unidades de Formação de Colônias; (5) Número Mais Provável

5.2.4 Classificação das águas minerais à Luz do Código de Águas Minerais

A classificação das águas minerais dos aquíferos pelo CAM foi gerada a partir da combinação da classificação hidroquímica e dos valores de referência para qualidade das águas, segundo resoluções RDC 274 e 275/2005, da ANVISA. A classificação das águas pelo código seguiu o subcapítulo 4.2.2 “O Código de Águas Minerais”, com recálculo para dos elementos quando necessário, como apresentado no Quadro 7. Algumas das classificações não foram avaliadas pela falta de dados das amostras da CETESB, são eles os oligominerais, sulfurosas (teor de Enxofre), carbogasosas (CO₂), radioativas (teor de Radônio) e torioativas (teor de Tório)

Quadro 7 – Fixação dos teores dos elementos pelo CAM utilizados no trabalho. Quando necessário, alguns elementos foram recalculados para teores separados de íons

| Classificação das águas minerais ** | Teor mínimo do elemento predominante (mg/L) | Principal composto | |
|-------------------------------------|---|--|--|
| Dignos de nota | Fluoreto | 0,02 mg/L (de F) | F |
| | Lítio | 0,01 mg/L (de Li) | Li |
| | Vanádio | 0,03 mg/L (de V) | V |
| | Selênio | 0,006 mg/L (de Se) | Se |
| Alcalina bicarbonatada | 145 mg/L (de HCO ₃) e 55 mg/L (de Na) | 0,2 g/L de NaHCO ₃ | |
| Alcalina terrrosa | Cálcicas | 119 mg/L (de Ca) e 361 mg/L (de HCO ₃) | 0,48 g/L de Ca em Ca(HCO ₃) ₂ |
| | Magnesianas | 8,6 mg/L (de Mg) 21,4 mg/L (de CO ₃) | 0,03 g/L de MgCO ₃ |
| Sulfatada | 50 mg/L (de SO ₄) e | 0,1 g/L de SO c/ Na, Mg ou K | |
| Cloretadas | 196,5 mg/L (de Na) e 303,5 mg/L (de Cl) | 0,5 g/L NaCl | |
| Ferruginosa | 500 mg/L (de Fe) | Fe | |

5.3 Elaboração de Mapas

A produção dos mapas temáticos foi baseada a partir dos dados obtidos dos poços analisados, e através de plataformas *online* como aquisição de arquivos sobre hidrologia e hidrogeologia, contorno de municípios e estados, limites das unidades de gerenciamento de recursos hídricos, e ainda a geologia, geomorfologia e o modelo digital de terreno do estado de São Paulo. Com todos os arquivos adquiridos, uma base de dados foi criada pelo *software* ArcGis versão 10.5. Os mapas foram então gerados em coordenada geográfica CGS Sirgas 2000.

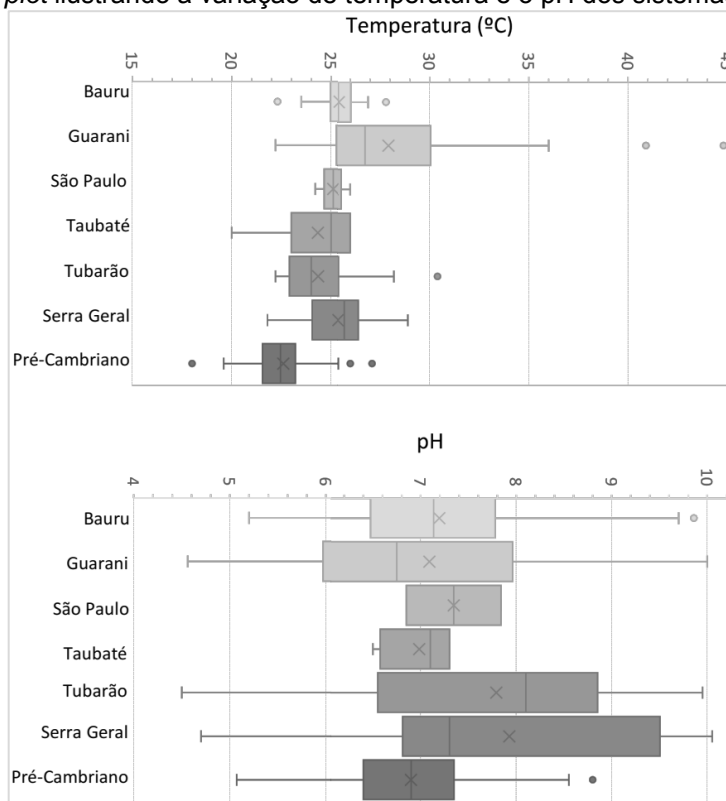
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como produto foi realizado a descrição estatística e a caracterização hidroquímica. O segundo componente dos resultados foi a classificação das águas quanto aos íons dominantes, pelo diagrama de Piper. Por fim, a classificação através dos parâmetros determinados pelo CAM e pelas Resoluções RDC nº274 e 275/2005 da ANVISA.

6.1 Caracterização Hidroquímica das águas

A caracterização hidroquímica foi feita a partir da síntese dos resultados das análises amostradas em poços de monitoramento (Tabela 1 a Tabela 7). Os dados estatísticos da temperatura e pH foram os primeiros itens a serem analisados. Dispostos em gráfico do tipo *box plot* (Figura 6), a temperatura média varia de 22,62 a 27,93 °C. As temperaturas mais baixas foram encontradas no SAC atingindo 18 °C, enquanto as máximas registradas estavam no SAG com 44,8 °C. As demais análises quanto a classificação das temperaturas pelo CAM estão descritos no subitem 6.4.1 Classificação das águas por gases e temperatura.

Figura 6 - *Box plot* ilustrando a variação de temperatura e o pH dos sistemas de aquíferos



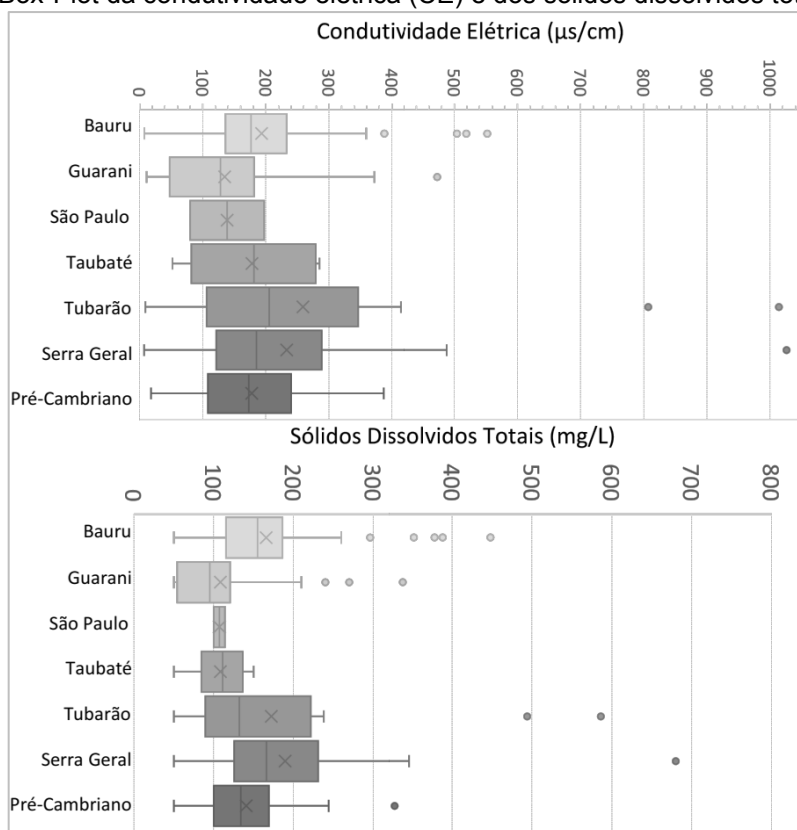
Fonte: Elaborado pela autora

A média dos valores de pH, conforme observado na Figura 6, variar entre 6,98 a 7,93, de caráter neutro a levemente alcalino. O pH mais ácido foi do SAG com 4,59 e o pH mais básico na SASG com 10,05.

A determinação do grau de mineralização da água pode ser determinada pela condutividade elétrica (CE), que está diretamente relacionada com o teor de sólidos totais dissolvidos (STD) nas águas (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000). Contudo, não há um limite máximo definido pela legislação, para determinação dos padrões de qualidade e de mineralização.

Os teores de sais nas águas estão demonstrados na Figura 7, com o *box plot* das análises da CE e SDT. A mediana da CE dos sete aquíferos está entre 176 a 205 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$. Os valores máximos de CE ocorrem no SAT (807 e 1014 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$) e SASG (com 1026 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$). Ademais, os altos níveis de CE e SDT podem auxiliar na classificação pelo CAM, sendo o poço 253 é um bom exemplo dessa relação. O ponto possui um dos maiores níveis de CE e alta concentração de íons, (Li, Na, HCO_3 , SO_4 e F). Todavia, o CE não é facilmente correlacionável com elementos presentes nas águas, em baixas concentrações ($\mu\text{g}/\text{L}$), como o vanádio, selênio e lítio.

Figura 7 - Box-Plot da condutividade elétrica (CE) e dos sólidos dissolvidos totais (STD)



Fonte: Elaborado pela autora

As análises do SASP envolveram somente dois poços de monitoramento. Os dados apresentados na Tabela 1 indicam um aquífero pouco mineralizado com pH entorno da neutralidade. Não constaram presença de bactérias e outros componentes que pudessem afetar a qualidade das águas.

Tabela 1 - Síntese de Resultados de Qualidade das águas subterrâneas do SASP

| | Unidade | Código CETESB | | | | | Código CETESB | | | |
|-------------------------|--------------------|-------------------------|---------|---------|--------------|------|-----------------------|-------------------|---------|---------|
| | | VP ⁽¹⁾ | SP0351P | SP0187P | | | Unidade | VP ⁽¹⁾ | SP0351P | SP0187P |
| Temperatura | °C | | 26 | 24,2 | Boro | µg/L | 5000 ^(C) | 12,1 | 2,58 | |
| pH | | 6,0-9,5 ^(A) | 7,84 | 6,85 | Cádmio | µg/L | 3 ^(C) | 0,005 | 0,005 | |
| Condutividade Elétrica | µS/cm ² | -- | 197 | 80 | Cálcio | mg/L | -- | 8,91 | 5,14 | |
| Bact. heterotróficas | UFC/mL | 500 ^(B) | 0 | 0 | Chumbo | µg/L | 10 ^(C) | 0,06 | 0,05 | |
| Coliformes totais | NMP/100mL | 2,2 ^(C) | 0 | 0 | Cobre | µg/L | 1000 ^(C) | 0,2 | 0,41 | |
| <i>Escherichia coli</i> | Presença/100 mL | Ausência ^(C) | 0 | 0 | Crômio Total | µg/L | 50 ^(C) | 0,2 | 0,25 | |
| Sólidos Dissolv.Totais | mg/L | -- | 114 | <100 | Ferro | µg/L | 50.000 ^(D) | 96 | 13,1 | |
| Alcalinidade Bicarbon. | mg/L | 145 ^(D) | 98,4 | 34,3 | Lítio | µg/L | 10 ^(D) | 5,69 | 5,78 | |
| Alcalinid. Carbonato | mg/L | -- | <2 | <2 | Magnésio | mg/L | 8,6 ^(D) | 1,97 | 2,05 | |
| Nitrogênio Nitrato | mg/L | 50 ^(C) | <0,2 | <0,2 | Manganês | µg/L | 500 ^(C) | 125 | 39,3 | |
| Nitrogênio Nitrito | mg/L | 0,02 ^(C) | <0,1 | <0,1 | Mercurio | µg/L | 1 ^(C) | 0,11 | 0,1 | |
| Fluoreto | mg/L | 0,02 ^(D) | 0,73 | 0,11 | Níquel | µg/L | 20 ^(C) | 0,2 | 0,4 | |
| Cloreto | mg/L | 303,5 ^(D) | <1 | <1 | Potássio | mg/L | -- | 3,2 | 5,61 | |
| Sulfato | mg/L | 50 ^(D) | 1,82 | 4,14 | Selênio | µg/L | 6 ^(D) | 0,1 | 1,24 | |
| Antimônio | µg/L | 5 ^(C) | 0,01 | 0,01 | Sódio | mg/L | 55 ^(D) | 34 | 6,12 | |
| Arsênio | µg/L | 10 ^(C) | 0,38 | 0,31 | Vanádio | µg/L | 30 ^(D) | <0,2 | <0,2 | |
| Bário | µg/L | 700 ^(C) | 59 | 54 | | | | | | |

Notas: (1) Valor Permitido; (2) Número de amostras analisadas do aquífero no 2º semestre de 2015; (3) Percentual de amostras com resultados inferiores aos limites de quantificação praticados; (A) Recomendação de pH a ser mantido no sistema de distribuição de água para consumo humano (CETESB 2015); (B) Limite determinado pela Portaria MS 2.914/2011; (C) Valor máximo permitido para água mineral natural (Resoluções RDC 274-275/2005); (D) Valor mínimo necessário para classificação pelo Código de Águas Minerais 1945.

O SATA apresenta valores equilibrados entre seus poços. Suas águas encontram-se pouco mineralizadas, com baixa condutividade elétrica e poucos sólidos dissolvidos totais. Na Tabela 2 é possível notar que o pH está próximo de neutro tanto o mínimo quanto o máximo. Ademais, o SATA não possui elementos químicos expressivos, com baixas divergências entre os valores mínimo e máximo.

Tabela 2 - Síntese de Resultados de Qualidade das águas subterrâneas do SATA

| | Unidade | VP ⁽¹⁾ | Amostras (nº) ⁽²⁾ | LO ⁽³⁾ (%) | Mínimo | Máximo | Média | Mediana | Desvio padrão | 3º Quartil |
|----------------------------|--------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------|--------|---------|---------------|------------|
| Temp. | °C | -- | 6 | 0 | 20 | 26 | 24,33 | 25 | 2,25 | 26 |
| pH | | 6,0-9,5 ^(A) | 6 | 0 | 6,5 | 7,3 | 6,98 | 7,1 | 0,35 | 7,3 |
| Condutividade Elétrica | µS/cm ² | -- | 6 | 0 | 52 | 285 | 178 | 181 | 94,69 | 279 |
| Bactérias heterotróficas | UFC/mL | 500 ^(B) | 6 | 16,67 | 0 | >5700 | 1012 | 36,5 | 2299,38 | 1650 |
| Coliformes totais | NMP/100mL | 2,2 ^(C) | 6 | 0 | Teor máximo de 1 em 2 amostras | | | | -- | -- |
| <i>Escherichia coli</i> | Presença/100 mL | Ausência ^(C) | 6 | 0 | Ausente | | | | -- | -- |
| Sólidos Dissolvidos Totais | mg/L | -- | 6 | 16,67 | <50 | 150 | 108,33 | 111 | 35,54 | 136,5 |
| Alcalinidade Bicarbonato | mg/L | 145 ^(D) | 6 | 0 | 20 | 120 | 72,33 | 71,5 | 40,09 | 115,5 |
| Alcalinidade Carbonato | mg/L | -- | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nitrogênio Nitrato | mg/L | 50 ^(C) | 6 | 66,67 | <0,1 | 0,31 | 0,14 | 0,1 | 0,09 | 0,16 |
| Nitrogênio Nitrito | mg/L | 0,02 ^(C) | 6 | 100 | <0,01 | <0,01 | 0,01 | 0,01 | 0 | 0,01 |
| Fluoreto | mg/L | 0,02 ^(D) | 6 | 33,33 | <0,1 | 0,29 | 0,15 | 0,125 | 0,07 | 0,1775 |
| Cloreto | mg/L | 303,5 ^(D) | 6 | 0 | 1,17 | 2,03 | 1,56 | 1,54 | 0,32 | 18,725 |
| Sulfato | mg/L | 50 ^(D) | 6 | 16,67 | <1 | 3,88 | 2,08 | 1,86 | 1,04 | 29,125 |
| Antimônio | µg/L | 5 ^(C) | 6 | 16,67 | <0,01 | 0,04 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,04 |
| Arsênio | µg/L | 10 ^(C) | 6 | 0 | 0,38 | 11,1 | 3,01 | 1,185 | 4,15 | 55,725 |
| Bário | µg/L | 700 ^(C) | 6 | 0 | 40 | 470 | 130,67 | 62 | 168,54 | 200 |
| Boro | µg/L | 5000 ^(C) | 6 | 0 | 4 | 54,8 | 20,59 | 16 | 18,34 | 31,775 |
| Cádmio | µg/L | 3 ^(C) | 6 | 16,67 | <0,005 | 0,008 | 0,006 | 0,005 | 0 | 0,008 |
| Cálcio | mg/L | -- | 6 | 0 | 6 | 28,5 | 12,75 | 8,025 | 9,02 | 21,225 |
| Chumbo | µg/L | 10 ^(C) | 6 | 0 | 0,05 | 3,54 | 0,73 | 0,08 | 139,202 | 1,32 |
| Cobre | µg/L | 1000 ^(C) | 6 | 0 | 0,01 | 2,43 | 0,42 | 0,025 | 0,98 | 0,6375 |
| Crômio Total | µg/L | 50 ^(C) | 6 | 16,67 | <0,2 | 0,57 | 0,26 | 0,2 | 0,15 | 0,2925 |
| Ferro | µg/L | 50.000 ^(D) | 5 | 0 | 18,7 | 205 | 61,84 | 21,6 | 80,65 | 124,1 |
| Lítio | µg/L | 10 ^(D) | 6 | 0 | 1,29 | 15,2 | 7,1 | 6,465 | 5,08 | 11,375 |
| Magnésio | mg/L | 8,6 ^(D) | 6 | 0 | 0,43 | 6,75 | 1,92 | 0,835 | 2,42 | 3,105 |
| Manganês | µg/L | 500 ^(C) | 6 | 0 | 3,02 | 237 | 61,37 | 22,7 | 89,4 | 112,2 |
| Mercúrio | µg/L | 1 ^(C) | 6 | 33,33 | <0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0 | 0,1 |
| Níquel | µg/L | 20 ^(C) | 6 | 0 | 0,23 | 1,33 | 0,69 | 0,635 | 0,45 | 1,12 |
| Potássio | mg/L | -- | 6 | 0 | 1,27 | 4,63 | 3,16 | 3,495 | 1,15 | 38,425 |
| Selênio | µg/L | 6 ^(D) | 6 | 50 | 0,1 | 0,17 | 0,12 | 0,105 | 0,03 | 0,1325 |
| Sódio | mg/L | 55 ^(D) | 6 | 0 | 7,83 | 52,3 | 19,7 | 15,45 | 16,49 | 26,725 |
| Vanádio | µg/L | 30 ^(D) | 6 | 66,67 | <0,2 | 6,7 | 1,37 | 0,2 | 2,62 | 22,225 |

Notas: (1) Valor Permitido; (2) Número de amostras analisadas do aquífero no 2º semestre de 2015; (3) Percentual de amostras com resultados inferiores aos limites de quantificação praticados; (A) Recomendação de pH a ser mantido no sistema de distribuição de água para consumo humano (CETESB 2015); (B) Padrão de potabilidade acima do qual há risco potencial à saúde humana (Portaria MS 2.914/2011); (C) Valor máximo permitido para água mineral natural (Resoluções RDC 274-275/2005); (D) Valor mínimo necessário para classificação pelo Código de Águas Minerais 1945.

A Tabela 3 apresenta a síntese dos resultados dos parâmetros do SAB. Suas amostras apresentaram pH predominantemente levemente ácido a neutro, com algumas amostras atingindo teores mais básicos. A condutividade elétrica é baixa, com baixo teor de sólidos totais dissolvidos, com médias de 193 µS/cm²² e 166 mg/L, indicativos de baixa mineralização. Contudo, quando comparado aos demais sistemas, o SAB maiores teores de nitrato, bário, cálcio, chumbo, cobre, crômio, magnésio e níquel.

Tabela 3 - Síntese de Resultados de Qualidade das águas subterrâneas do SAB

| | Unidade | VP ⁽¹⁾ | Amostras (n°) ⁽²⁾ | LQ ⁽³⁾ (%) | Mínimo | Máximo | Média | Mediana | Desvio padrão | 3° Quartil |
|--------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------|--------|---------|------------------|------------|
| Temp. | °C | -- | 88 | 0 | 22,3 | 27,8 | 25,43 | 25,4 | 0,85 | 26,075 |
| pH | | 6,0-9,5 ^(A) | 88 | 0 | 5,2 | 9,86 | 7,2 | 7,135 | 1,01 | 7,78 |
| Condutividade Elétrica | µS/cm ² | -- | 88 | 0 | 7,3 | 554 | 193,15 | 176,5 | 107,86 | 232,5 |
| Bactérias heterotróficas | UFC/mL | 500 ^(B) | 88 | 37,5 | 0 | 5700 | 76,36 | 1 | 607,87 | 5 |
| Coliformes totais | NMP/100mL | 2,2 ^(C) | 88 | -- | Teor máximo de 1 em 16 amostras | | | | | -- |
| <i>Escherichia coli</i> | Presença/100 mL | Ausência ^(C) | 88 | -- | Presentes em 3 amostras | | | | | -- |
| Sólidos Dissol. Totais | mg/L | -- | 88 | 13,64 | <50 | 448 | 165,84 | 155 | 73,81 | 186 |
| Alcalinidade Bicarbonato | mg/L | 145 ^(D) | 85 | 1,18 | <5 | 251 | 80,64 | 80 | 47,1 | 99,5 |
| Alcalinidade Carbonato | mg/L | -- | 85 | 54,12 | 0 | 78 | 7,02 | 5 | 13,93 | 5 |
| Nitrogênio Nitrato | mg/L | 50 ^(C) | 88 | 26,14 | <0,2 | 22,1 | 3,47 | 1,98 | 4,06 | 4,39 |
| Nitrogênio Nitrito | mg/L | 0,02 ^(C) | 88 | 76,14 | <0,1 | 0,2 | 0,16 | 0,2 | 0,05 | 0,2 |
| Fluoreto | mg/L | 0,02 ^(D) | 88 | 82,95 | 0,1 | 0,6 | 0,45 | 0,5 | 0,12 | 0,5 |
| Cloreto | mg/L | 303,5 ^(D) | 88 | 54,55 | 1,01 | 40 | 6,23 | 5 | 5,64 | 6,025 |
| Sulfato | mg/L | 50 ^(D) | 88 | 65,91 | <0,5 | 10 | 2,46 | 2 | 2,99 | 2 |
| Antimônio | µg/L | 5 ^(C) | 88 | 78,41 | <0,01 | 0,13 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Arsênio | µg/L | 10 ^(C) | 88 | 40,91 | <0,2 | 2,02 | 0,34 | 0,2 | 0,29 | 0,345 |
| Bário | µg/L | 700 ^(C) | 88 | 12,5 | <1 | 910 | 217,19 | 175 | 183,09 | 280 |
| Boro | µg/L | 5000 ^(C) | 88 | 45,45 | <2 | 74,3 | 6,24 | 2,04 | 10,39 | 53,975 |
| Cádmio | µg/L | 3 ^(C) | 88 | 60,23 | <0,005 | 0,1 | 0,01 | 0,005 | 0,01 | 0,005 |
| Cálcio | mg/L | -- | 88 | 1,14 | <0,5 | 82,5 | 19,23 | 17,3 | 15,86 | 25,6 |
| Chumbo | µg/L | 10 ^(C) | 88 | 44,32 | <0,05 | 5,26 | 0,2 | 0,05 | 0,57 | 0,16 |
| Cobre | µg/L | 1000 ^(C) | 88 | 19,32 | <0,2 | 70,2 | 1,83 | 0,44 | 7,52 | 11,675 |
| Crômio Total | µg/L | 50 ^(C) | 88 | 0 | 0,45 | 98,4 | 26,96 | 19,45 | 23,44 | 36,425 |
| Ferro | µg/L | 50.000 ^(D) | 88 | 54,55 | <2 | 1043 | 23,23 | 2 | 128,24 | 32,475 |
| Lítio | µg/L | 10 ^(D) | 88 | 0 | 0,22 | 12,8 | 3,99 | 3,19 | 2,82 | 56,825 |
| Magnésio | mg/L | 8,6 ^(D) | 88 | 2,27 | <0,1 | 19,5 | 5,73 | 5,1 | 4,63 | 7,505 |
| Manganês | µg/L | 500 ^(C) | 88 | 38,64 | <0,1 | 25 | 1,53 | 0,1 | 4,03 | 0,555 |
| Mercurio | µg/L | 1 ^(C) | 88 | 82,95 | <0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0 | 0,1 |
| Níquel | µg/L | 20 ^(C) | 88 | 3,41 | <0,1 | 9,81 | 1,42 | 0,735 | 1,9 | 15,375 |
| Potássio | mg/L | -- | 88 | 2,27 | <0,1 | 8,3 | 3,53 | 3,325 | 1,89 | 4,72 |
| Selênio | µg/L | 6 ^(D) | 88 | 76,14 | <0,1 | 1,04 | 0,13 | 0,1 | 0,12 | 0,1 |
| Sódio | mg/L | 55 ^(D) | 88 | 0 | 0,23 | 66,4 | 12,35 | 6,63 | 13,79 | 13,85 |
| Vanádio | µg/L | 30 ^(D) | 88 | 4,55 | <0,2 | 120 | 13,61 | 5,52 | 20,55 | 15,9 |

Notas: (1) Valor Permitido; (2) Número de amostras analisadas do aquífero no 2º semestre de 2015; (3) Percentual de amostras com resultados inferiores aos limites de quantificação praticados; (A) Recomendação de pH a ser mantido no sistema de distribuição de água para consumo humano (CETESB 2015); (B) Padrão de potabilidade acima do qual há risco potencial à saúde humana (Portaria MS 2.914/2011); (C) Valor máximo permitido para água mineral natural (Resoluções RDC 274-275/2005); (D) Valor mínimo necessário para classificação pelo Código de Águas Minerais 1945.

Os resultados de qualidade do SAG foram dispostos na Tabela 4. O Aquífero Guarani apresentou grande variação de pH, de 4,56 a 10, com a maioria dos poços atingindo uma leve basicidade. As temperaturas médias são em torno de 28 °C, embora tenha sido constatado um poço que alcançou 44,8 °C. As águas são de modo geral, pouco mineralizadas, com condutividade elétrica média de 135 µS/cm²²e SDT de 108 mg/L. Também foram detectadas localidades com alto teor de bário (ponto 107, com 710 µg/l) e ferro (ponto 111, com 652 µg/l), enquanto a média e mediana dos elementos apresentavam-se mais baixos.

Tabela 4 - Síntese de Resultados de Qualidade das águas subterrâneas do SAG

| | Unidade | VP ⁽¹⁾ | Amostras (n ^o) ⁽²⁾ | LO ⁽³⁾ (%) | Mínimo | Máximo | Média | Mediana | Desvio padrão | 3º Quartil |
|----------------------------|--------------------|-------------------------|--|--------------------------|---------------------------------|--------|--------|---------|------------------|------------|
| Temp. | °C | -- | 54 | 0 | 22,2 | 44,8 | 27,93 | 26,75 | 4,22 | 30,05 |
| pH | | 6,0-9,5 ^(A) | 54 | 0 | 4,56 | 10 | 7,09 | 6,75 | 1,32 | 7,96 |
| Condutividade Elétrica | µS/cm ² | -- | 54 | 0 | 11,1 | 473 | 134,53 | 128 | 99,83 | 181,05 |
| Bactérias heterotróficas | UFC/mL | 500 ^(B) | 54 | 25,9 | 0 | >5700 | 111,33 | 1 | 774,94 | 11 |
| Coliformes totais | NMP/100mL | 2,2 ^(C) | 54 | -- | Teor máximo de 1 em 10 amostras | | | | | -- |
| <i>Escherichia coli</i> | Presença/100 mL | Ausência ^(C) | 54 | -- | Presentes em 1 amostra | | | | | -- |
| Sólidos Dissolvidos Totais | mg/L | -- | 54 | 24,1 | <50 | 338 | 108,24 | 95 | 63,53 | 120,5 |
| Alcalinidade Bicarbonato | mg/L | 145 ^(D) | 41 | 0 | 11 | 154 | 65,85 | 65 | 31,76 | 88,5 |
| Alcalinidade Carbonato | mg/L | -- | 41 | 24,4 | 0 | 198 | 14,27 | 0 | 35,18 | 5 |
| Nitrogênio Nitrato | mg/L | 50 ^(C) | 54 | 83,3 | 0,08 | 6,66 | 0,91 | 0,37 | 1,33 | 1 |
| Nitrogênio Nitrito | mg/L | 0,02 ^(C) | 54 | 75,9 | <0,02 | 0,2 | 0,12 | 0,1 | 0,05 | 0,125 |
| Fluoreto | mg/L | 0,02 ^(D) | 54 | 87 | 0,04 | 0,9 | 0,22 | 0,1 | 0,19 | 0,4025 |
| Cloreto | mg/L | 303,5 ^(D) | 54 | 77,8 | <0,2 | 20,9 | 2,85 | 1 | 3,4 | 5 |
| Sulfato | mg/L | 50 ^(D) | 54 | 88,9 | <0,6 | 12 | 3,42 | 1 | 3,96 | 7,915 |
| Antimônio | µg/L | 5 ^(C) | 54 | 81,5 | <0,01 | 0,06 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Arsênio | µg/L | 10 ^(C) | 54 | 35,2 | <0,2 | 4,29 | 0,64 | 0,37 | 0,73 | 0,835 |
| Bário | µg/L | 700 ^(C) | 54 | 7,4 | <1 | 710 | 50,87 | 29,5 | 99,69 | 63,5 |
| Boro | µg/L | 5000 ^(C) | 54 | 59,3 | <2 | 130 | 6,88 | 2 | 18,62 | 31,525 |
| Cádmio | µg/L | 3 ^(C) | 54 | 61,1 | <0,005 | 0,04 | 0,01 | 0,005 | 0 | 0,00525 |
| Cálcio | mg/L | -- | 54 | 5,6 | <0,5 | 50,9 | 11,06 | 7,22 | 10,96 | 18,95 |
| Chumbo | µg/L | 10 ^(C) | 54 | 40,7 | <0,05 | 2,16 | 0,18 | 0,06 | 0,35 | 0,15 |
| Cobre | µg/L | 1000 ^(C) | 54 | 9,3 | <0,2 | 8,53 | 1,46 | 0,95 | 1,61 | 20,175 |
| Crômio Total | µg/L | 50 ^(C) | 54 | 9,3 | <0,2 | 34,6 | 3,06 | 1,68 | 5,01 | 3,6 |
| Ferro | µg/L | 50.000 ^(D) | 54 | 68,5 | <2 | 652 | 16,27 | 2 | 88,71 | 2 |
| Lítio | µg/L | 10 ^(D) | 54 | 0 | 0,28 | 16 | 2,66 | 1,42 | 3,57 | 29,475 |
| Magnésio | mg/L | 8,6 ^(D) | 54 | 5,6 | <0,1 | 6,9 | 2,12 | 1,46 | 1,77 | 32,475 |
| Manganês | µg/L | 500 ^(C) | 54 | 44,4 | <0,1 | 76,7 | 3,41 | 0,1 | 11,44 | 0,8825 |
| Mercurio | µg/L | 1 ^(C) | 54 | 87 | <0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0 | 0,1 |
| Níquel | µg/L | 20 ^(C) | 54 | 7,4 | <0,1 | 2,12 | 0,49 | 0,46 | 0,38 | 0,5925 |
| Potássio | mg/L | -- | 54 | 0 | 0,2 | 8,79 | 3,08 | 2,855 | 2,09 | 4,32 |
| Selênio | µg/L | 6 ^(D) | 54 | 46,3 | <0,1 | 19,2 | 0,76 | 0,125 | 2,68 | 0,2975 |
| Sódio | mg/L | 55 ^(D) | 54 | 0 | 0,16 | 104 | 13,68 | 3,485 | 24,38 | 10,15 |
| Vanádio | µg/L | 30 ^(D) | 54 | 7,4 | <0,2 | 65,3 | 7,19 | 3,245 | 12,62 | 6,63 |

Notas: (1) Valor Permitido; (2) Número de amostras analisadas do aquífero no 2º semestre de 2015; (3) Percentual de amostras com resultados inferiores aos limites de quantificação praticados; (A) Recomendação de pH a ser mantido no sistema de distribuição de água para consumo humano (CETESB 2015); (B) Padrão de potabilidade acima do qual há risco potencial à saúde humana (Portaria MS 2.914/2011); (C) Valor máximo permitido para água mineral natural (Resoluções RDC 274-275/2005); (D) Valor mínimo necessário para classificação pelo Código de Águas Minerais 1945.

Na Tabela 5 consta o resultado das análises de qualidade do SAT. As águas do aquífero Tubarão apresentam uma variação do pH de caráter ácido a alcalino, com tendências a serem mais básicas. Apesar da maioria das amostras serem de baixa mineralização, foi constatado uma localidade com a segunda maior condutividade elétrica dos sistemas (Figura 7). O ponto 269 apresentou o maior teor de boro, com 846 µg/l. Suas rochas heterogêneas, com grande variação litológica, geram uma disparidade quanto ao teor de mineralização e tipos de elementos presentes.

Tabela 5 - Síntese de Resultados de Qualidade das águas subterrâneas do SAT

| | Unidade | VP(1) | Amostras (nº) (2) | LQ(3) (%) | Mínimo | Máximo | Média | Mediana | Desvio padrão | 3º Quartil |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|-----------|-------------------------|--------|--------|---------|---------------|------------|
| Temp. | °C | -- | 25 | 0 | 22,2 | 30,4 | 24,35 | 24 | 1,93 | 25,4 |
| pH | | 6,0-9,5 ^(A) | 25 | 0 | 4,5 | 9,95 | 7,79 | 8,1 | 1,39 | 8,85 |
| Condutividade Elétrica | ² | -- | 25 | 0 | 9,2 | 1014 | 258,67 | 205,4 | 231,41 | 346,05 |
| Bactérias heterotróficas | UFC/mL | 500 ^(B) | 25 | 16 | 0 | 14000 | 565,64 | 1 | 2798,84 | 7,5 |
| Coliformes totais | NMP/100mL | 2,2 ^(C) | 25 | 0 | Ausentes | | | 0 | 0 | 0 |
| <i>Escherichia coli</i> | Presença/100 ml | Ausência ^(C) | 25 | 0 | Presentes em 2 amostras | | | 0 | 0,28 | 0 |
| Sólidos Dissolvidos Totais | mg/L | -- | 25 | 12 | <50 | 586 | 172,36 | 132 | 126,89 | 221,5 |
| Alcalinidade Bicarbonato | mg/L | 145 ^(D) | 24 | 4,2 | 0,3 | 296 | 96,85 | 81 | 65,2 | 150,5 |
| Alcalinidade Carbonato | mg/L | -- | 24 | 16,7 | 0 | 86 | 14,29 | 2 | 23 | 27,5 |
| Nitrogênio Nitrato | mg/L | 50 ^(C) | 25 | 88 | <0,05 | 0,26 | 0,16 | 0,2 | 0,06 | 0,2 |
| Nitrogênio Nitrito | mg/L | 0,02 ^(C) | 25 | 100 | <0,01 | 0,1 | 0,07 | 0,1 | 0,04 | 0,1 |
| Fluoreto | mg/L | 0,02 ^(D) | 25 | 52 | <0,04 | 1,66 | 0,35 | 0,1 | 0,48 | 0,515 |
| Cloreto | mg/L | 303,5 ^(D) | 25 | 44 | <0,2 | 24,5 | 3,36 | 1 | 5,86 | 2,47 |
| Sulfato | mg/L | 50 ^(D) | 25 | 24 | <0,6 | 286 | 23,51 | 3,32 | 61,23 | 14,35 |
| Antimônio | µg/L | 5 ^(C) | 25 | 48 | <0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0 | 0,01 |
| Arsênio | µg/L | 10 ^(C) | 25 | 8 | <0,2 | 6,55 | 1,06 | 0,63 | 1,32 | 1,315 |
| Bário | µg/L | 700 ^(C) | 25 | 0 | 5 | 250 | 44,64 | 30 | 53,16 | 58,5 |
| Boro | µg/L | 5000 ^(C) | 25 | 16 | <2 | 846 | 51,46 | 5,5 | 170,06 | 14,1 |
| Cádmio | µg/L | 3 ^(C) | 25 | 40 | <0,005 | 0,12 | 0,01 | 0,005 | 0,02 | 0,0065 |
| Cálcio | mg/L | -- | 25 | 0 | 0,5 | 26,7 | 7,81 | 4,57 | 7,84 | 14,2 |
| Chumbo | µg/L | 10 ^(C) | 25 | 24 | <0,05 | 1,63 | 0,25 | 0,05 | 0,39 | 0,265 |
| Cobre | µg/L | 1000 ^(C) | 25 | 28 | <0,2 | 15,7 | 2,1 | 0,29 | 3,67 | 3,365 |
| Crômio Total | µg/L | 50 ^(C) | 25 | 36 | <0,2 | 0,99 | 0,27 | 0,2 | 0,19 | 0,2 |
| Ferro | µg/L | 50.000 ^(D) | 25 | 12 | <2 | 262 | 28,58 | 9,95 | 55 | 33,35 |
| Lítio | µg/L | 10 ^(D) | 25 | 0 | 0,42 | 37,8 | 10,93 | 6,89 | 10,85 | 12,65 |
| Magnésio | mg/L | 8,6 ^(D) | 25 | 4 | <0,1 | 7,47 | 1,5 | 0,39 | 2,03 | 2,23 |
| Manganês | µg/L | 500 ^(C) | 25 | 8 | <0,1 | 142 | 17,23 | 3,04 | 33,47 | 14 |
| Mercurio | µg/L | 1 ^(C) | 25 | 52 | <0,1 | 4,31 | 0,44 | 0,1 | 1,07 | 0,1 |
| Níquel | µg/L | 20 ^(C) | 25 | 12 | <0,1 | 1,17 | 0,3 | 0,25 | 0,25 | 0,355 |
| Potássio | mg/L | -- | 25 | 0 | 0,13 | 3,54 | 1,31 | 0,76 | 1,04 | 2,31 |
| Selênio | µg/L | 6 ^(D) | 25 | 76 | <0,1 | 0,62 | 0,13 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Sódio | mg/L | 55 ^(D) | 25 | 0 | 0,6 | 211 | 46,96 | 28,5 | 48,82 | 71,65 |
| Vanádio | µg/L | 30 ^(D) | 25 | 64 | <0,2 | 8,27 | 0,62 | 0,2 | 1,61 | 0,31 |

Notas: (1) Valor Permitido; (2) Número de amostras analisadas do aquífero no 2º semestre de 2015; (3) Percentual de amostras com resultados inferiores aos limites de quantificação praticados; (A) Recomendação de pH a ser mantido no sistema de distribuição de água para consumo humano (CETESB 2015); (B) Padrão de potabilidade acima do qual há risco potencial à saúde humana (Portaria MS 2.914/2011); (C) Valor máximo permitido para água mineral natural (Resoluções RDC 274-275/2005); (D) Valor mínimo necessário para classificação pelo Código de Águas Minerais 1945.

Na Tabela 6, os resultados das análises do SASG apresentam temperaturas que variam próximo da média e pH que varia de ácido a básico, sendo o mais alcalino dos aquíferos. O Serra Geral é o aquífero com maior teor de sólidos totais e de condutividade elétrica, porém isso não se reflete em todos os poços. O SASG apresenta os maiores valores para vanádio, sulfato, cloreto e a menor quantidade de bactérias heterotróficas dentre todos os sistemas aquíferos.

Tabela 6 - Síntese de Resultados de Qualidade das águas subterrâneas do SASG

| | Unidade | VP ⁽¹⁾ | Amostras (n°) ⁽²⁾ | LQ ⁽³⁾ (%) | Mínimo | Máximo | Média | Mediana | Desvio padrão | 3° Quartil |
|--------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------|--------|---------|------------------|---------------|
| Temp. | °C | -- | 41 | 0 | 21,8 | 28,9 | 25,37 | 25,7 | 1,73 | 26,4 |
| pH | | 6,0-9,5 ^(A) | 41 | 0 | 4,7 | 10,05 | 7,93 | 7,3 | 1,49 | 9,505 |
| Condutividade Elétrica | µS/cm ² | -- | 41 | 0 | 7 | 1026 | 233,18 | 185 | 176,78 | 288,5 |
| Bactérias heterotróficas | UFC/mL | 500 ^(B) | 41 | 41,46 | 0 | 130 | 9,76 | 1 | 25,25 | 4,5 |
| Coliformes totais | NMP/100mL | 2,2 ^(C) | 41 | 0 | Teor máximo de 1 em 2 amostras | | | | | -- |
| <i>Escherichia coli</i> | Presença/100 mL | Ausência ^(C) | 41 | 0 | Ausente | | | -- | -- | -- |
| Sólidos Dissolv. Totais | mg/L | -- | 41 | 0 | 50 | 680 | 189,63 | 166 | 104,33 | 231 |
| Alcalinidade Bicarbonato | mg/L | 145 ^(D) | 40 | 0 | 2 | 133 | 67,05 | 65 | 28,48 | 83,5 |
| Alcalinidade Carbonato | mg/L | -- | 40 | 27,5 | 0 | 182 | 33,3 | 5 | 49,67 | 50,25 |
| Nitrogênio Nitrato | mg/L | 50 ^(C) | 41 | 43,9 | <0,1 | 6,92 | 1,35 | 1 | 1,23 | 1,8 |
| Nitrogênio Nitrito | mg/L | 0,02 ^(C) | 41 | 100 | <0,01 | 0,2 | 0,14 | 0,1 | 0,05 | 0,2 |
| Fluoreto | mg/L | 0,02 ^(D) | 41 | 78,05 | <0,1 | 2,2 | 0,37 | 0,42 | 0,35 | 0,5 |
| Cloreto | mg/L | 303,5 ^(D) | 41 | 58,54 | <0,1 | 48 | 4,75 | 5 | 7,21 | 5 |
| Sulfato | mg/L | 50 ^(D) | 41 | 75,61 | <0,5 | 287 | 15,91 | 10 | 45,23 | 10 |
| Antimônio | µg/L | 5 ^(C) | 41 | 75,61 | <0,01 | 0,05 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Arsênio | µg/L | 10 ^(C) | 41 | 36,59 | <0,2 | 4,17 | 0,63 | 0,27 | 0,86 | 0,61 |
| Bário | µg/L | 700 ^(C) | 41 | 17,07 | <1 | 320 | 24,93 | 3 | 54,82 | 25,5 |
| Boro | µg/L | 5000 ^(C) | 41 | 36,59 | <2 | 401 | 27,22 | 6,11 | 65,07 | 27,45 |
| Cádmio | µg/L | 3 ^(C) | 41 | 70,73 | <0,005 | 0,02 | 0,006 | 0,005 | 0 | 0,005 |
| Cálcio | mg/L | -- | 41 | 2,44 | <0,5 | 27,8 | 9,85 | 10,8 | 8,58 | 17,45 |
| Chumbo | µg/L | 10 ^(C) | 41 | 48,78 | <0,05 | 0,8 | 0,13 | 0,05 | 0,16 | 0,15 |
| Cobre | µg/L | 1000 ^(C) | 41 | 19,51 | <0,2 | 17,8 | 1,54 | 0,42 | 3,25 | 0,945 |
| Crômio Total | µg/L | 50 ^(C) | 41 | 17,07 | <0,2 | 43 | 5,28 | 1,65 | 8,95 | 6,08 |
| Ferro | µg/L | 50.000 ^(D) | 41 | 43,9 | <2 | 15 | 3,33 | 2 | 2,8 | 3,145 |
| Lítio | mg/L | 10 ^(D) | 41 | 0 | 0,22 | 10,6 | 1,38 | 0,77 | 1,98 | 1,41 |
| Magnésio | mg/L | 8,6 ^(D) | 41 | 14,63 | 0,03 | 10,2 | 2,77 | 1,79 | 2,77 | 4,75 |
| Manganês | µg/L | 500 ^(C) | 41 | 43,9 | <0,1 | 0,95 | 0,19 | 0,1 | 0,19 | 0,17 |
| Mercúrio | µg/L | 1 ^(C) | 41 | 75,61 | <0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0 | 0,1 |
| Níquel | µg/L | 20 ^(C) | 41 | 19,51 | <0,1 | 1,1 | 0,33 | 0,29 | 0,25 | 0,445 |
| Potássio | mg/L | -- | 41 | 0 | 0,11 | 5,5 | 1,09 | 0,74 | 1,14 | 1,61 |
| Selênio | µg/L | 6 ^(D) | 41 | 24,39 | <0,1 | 6,37 | 0,83 | 0,27 | 1,38 | 0,89 |
| Sódio | mg/L | 55 ^(D) | 41 | 0 | 0,44 | 199 | 36,48 | 14 | 43,59 | 69,65 |
| Vanádio | µg/L | 30 ^(D) | 41 | 2,44 | <0,2 | 131 | 30,94 | 17,2 | 32,79 | 42,05 |

Notas: (1) Valor Permitido; (2) Número de amostras analisadas do aquífero no 2º semestre de 2015; (3) Percentual de amostras com resultados inferiores aos limites de quantificação praticados; (A) Recomendação de pH a ser mantido no sistema de distribuição de água para consumo humano (CETESB 2015); (B) Padrão de potabilidade acima do qual há risco potencial à saúde humana (Portaria MS 2.914/2011); (C) Valor máximo permitido para água mineral natural (Resoluções RDC 274-275/2005); (D) Valor mínimo necessário para classificação pelo Código de Águas Minerais 1945.

Na Tabela 7 apresentam os resultados de qualidade do SAC. Dentre todos os aquíferos, o Pré-Cambriano é que apresenta o maior teor de arsênio, fluoreto, ferro, lítio e manganês. O arsênio foi registrado em Piedade (PC0099P), fluoreto em Valinhos (PC0148P), ferro em São Lourenço da Serra (PC0341P), lítio em Bananal (PC0200P) e manganês em Sete Barras (PC0352P).

Tabela 7 - Síntese de Resultados de Qualidade das águas subterrâneas do SAC

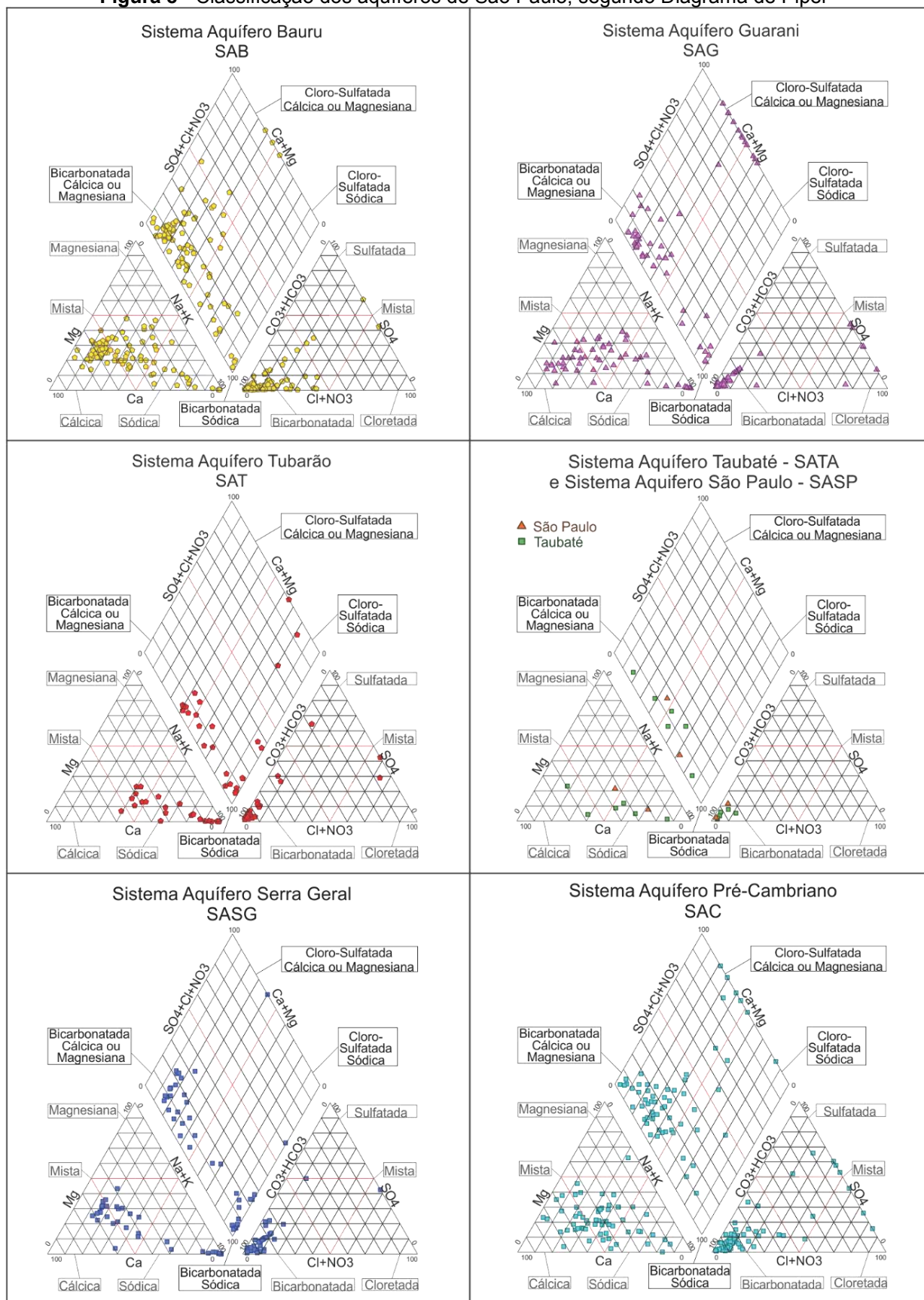
| | Unidade | VP ⁽¹⁾ | Amostras (n°) ⁽²⁾ | LQ ⁽³⁾ (%) | Mínimo | Máximo | Média | Mediana | Desvio padrão | 3° Quartil |
|----------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|--------|--------|---------|------------------|---------------|
| Temp. | °C | -- | 59 | 0 | 18 | 27,3 | 22,62 | 22,5 | 1,66 | 23,2 |
| pH | | 6,0-9,5 ^(A) | 59 | 0 | 5,07 | 8,8 | 6,89 | 6,9 | 0,7 | 7,35 |
| Condutividade Elétrica | µS/cm ² | -- | 59 | 0 | 18 | 387 | 178,79 | 176 | 91,48 | 242 |
| Bactérias heterotróficas | UFC/mL | 500 ^(B) | 59 | 5,08 | 0 | >5700 | 174,36 | 9 | 757,8 | 50 |
| Coliformes totais | NMP/100mL | 2,2 ^(C) | 59 | 0 | Teor Máximo de 1 em 10 amostras | | | | | -- |
| Escherichia coli | Presença/100 mL | Ausência ^(C) | 59 | 0 | Presente em 3 amostras | | | | | -- |
| Sólidos Dissolvidos Totais | mg/L | -- | 59 | 20,34 | <50 | 334 | 141,41 | 138 | 56,77 | 170 |
| Alcalinidade Bicarbonato | mg/L | 145 ^(D) | 53 | 5,66 | <2 | 208 | 68,35 | 68,7 | 47,04 | 96 |
| Alcalinidade Carbonato | mg/L | -- | 53 | 56,6 | 0 | 77,2 | 2,59 | 2 | 10,49 | 2 |
| Nitrogênio Nitrato | mg/L | 50 ^(C) | 59 | 38,98 | <0,1 | 7,47 | 1,13 | 0,46 | 1,64 | 1,03 |
| Nitrogênio Nitrito | mg/L | 0,02 ^(C) | 59 | 100 | <0,01 | 0,1 | 0,08 | 0,1 | 0,04 | 0,1 |
| Fluoreto | mg/L | 0,02 ^(D) | 59 | 40,68 | <0,1 | 9 | 0,47 | 0,17 | 1,19 | 0,5 |
| Cloreto | mg/L | 303,5 ^(D) | 59 | 11,86 | 0,7 | 37 | 4,76 | 3 | 5,59 | 5,2 |
| Sulfato | mg/L | 50 ^(D) | 59 | 28,81 | 0,6 | 132 | 7,38 | 3,74 | 17,24 | 8,66 |
| Antimônio | µg/L | 5 ^(C) | 59 | 27,12 | <0,01 | 0,41 | 0,03 | 0,01 | 0,07 | 0,02 |
| Arsênio | µg/L | 10 ^(C) | 59 | 11,86 | <0,2 | 42,4 | 2,17 | 0,62 | 5,74 | 1,54 |
| Bário | µg/L | 700 ^(C) | 59 | 0 | 1 | 390 | 42,83 | 21 | 59,09 | 54 |
| Boro | µg/L | 5000 ^(C) | 59 | 11,86 | <2 | 151 | 9,41 | 4,18 | 20,85 | 6,5 |
| Cádmio | µg/L | 3 ^(C) | 59 | 13,56 | <0,005 | 0,1 | 0,01 | 0,007 | 0,02 | 0,01 |
| Cálcio | mg/L | -- | 59 | 1,69 | <0,5 | 61,4 | 16,85 | 13,9 | 13,18 | 25 |
| Chumbo | µg/L | 10 ^(C) | 59 | 10,17 | <0,05 | 2,15 | 0,31 | 0,08 | 0,45 | 0,46 |
| Cobre | µg/L | 1000 ^(C) | 59 | 6,78 | <0,2 | 13,3 | 2,25 | 0,6 | 3,44 | 2,48 |
| Crômio Total | µg/L | 50 ^(C) | 59 | 20,34 | <0,2 | 4,81 | 0,54 | 0,2 | 0,79 | 0,59 |
| Ferro | µg/L | 50.000 ^(D) | 59 | 8,47 | <2 | 4217 | 410,66 | 15,8 | 937,08 | 349 |
| Lítio | µg/L | 10 ^(D) | 59 | 0 | 0,55 | 36,7 | 9,94 | 8,31 | 9,22 | 16,9 |
| Magnésio | mg/L | 8,6 ^(D) | 59 | 0 | 0,1 | 17,7 | 4,62 | 3,86 | 3,74 | 6,56 |
| Manganês | µg/L | 500 ^(C) | 59 | 3,39 | <0,1 | 541 | 38,91 | 2,37 | 82,6 | 57 |
| Mercurio | µg/L | 1 ^(C) | 59 | 40,68 | <0,1 | 0,67 | 0,14 | 0,1 | 0,11 | 0,1 |
| Níquel | µg/L | 20 ^(C) | 59 | 1,69 | <0,1 | 3,49 | 0,87 | 0,65 | 0,76 | 1,18 |
| Potássio | mg/L | -- | 59 | 0 | 0,37 | 7,61 | 2,24 | 2,02 | 1,3 | 2,79 |
| Selênio | µg/L | 6 ^(D) | 59 | 49,15 | <0,1 | 1,03 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| Sódio | mg/L | 55 ^(D) | 59 | 0 | 2,2 | 88,7 | 13,28 | 11 | 13,72 | 15,5 |
| Vanádio | µg/L | 30 ^(D) | 59 | 33,9 | <0,2 | 12,3 | 1,04 | 0,35 | 1,82 | 1,22 |

Notas: (1) Valor Permitido; (2) Número de amostras analisadas do aquífero no 2º semestre de 2015; (3) Percentual de amostras com resultados inferiores aos limites de quantificação praticados; (A) Recomendação de pH a ser mantido no sistema de distribuição de água para consumo humano (CETESB 2015); (B) Padrão de potabilidade acima do qual há risco potencial à saúde humana (Portaria MS 2.914/2011); (C) Valor máximo permitido para água mineral natural (Resoluções RDC 274-275/2005); (D) Valor mínimo necessário para classificação pelo Código de Águas Minerais 1945.

6.2 Classificação pelo Diagrama de Piper

O diagrama de Piper é um método gráfico para a classificação das águas baseado nos principais constituintes iônicos. As águas dos aquíferos, segundo o Diagrama de Piper (Figura 8) são classificadas em dois tipos predominantes: as bicarbonatadas cálcicas e calco-magnesianas, secundariamente bicarbonatadas sódicas e minoritariamente em cloro-sulfatadas.

Figura 8 - Classificação dos aquíferos de São Paulo, segundo Diagrama de Piper



Fonte: Elaborado pela autora através do *software* Diagrammes

Dos aquíferos sedimentares, há uma predominância de águas bicarbonatadas cálcicas e calco-magnesianas, com exceção do SAT de caráter mais sódico. Uma pequena quantidade de amostras dos aquíferos granulares, como as do SAG, SAB e SAT, foram enquadradas como cloro-sulfatada sódica a cálcica.

Os aquíferos fraturados possuem uma abrangência de águas bicarbonatadas cálcicas a mistas e secundariamente sódicas. É possível observar que o SAT possui uma distribuição mais heterogênea de cátions e íons nas suas águas, com ocorrência secundária de cloro-sulfatadas cálcicas e sódicas.

De modo geral, o domínio das águas pelo Diagrama de Piper corrobora com a classificação com o relatório das águas subterrâneas, CETESB (1998), com classificações similares para praticamente todos aquíferos.

6.3 Qualidade da Água Mineral Natural

Neste item é apresentado um panorama geral das não conformidades observadas nas amostras, sem, contudo, detalhar suas localidades ou causas. Para melhor entendimento, sugere-se a utilização do Relatório de qualidade das Águas Subterrâneas – 2013 a 2015, (CETESB, 2016). Em que constam todas as informações referentes à potabilidade e qualidade das águas subterrâneas.

Com base nas Resoluções RDC nº274 e 275 de 2005 da ANVISA, foram avaliados 17 padrões de qualidade, presentes no Quadro 6 (página 29). Como resultado, foi obtido alterações em diversos pontos, relacionados a contaminações biológicas, e concentrações acima do VMP de elementos químicos que podem causar problemas à saúde.

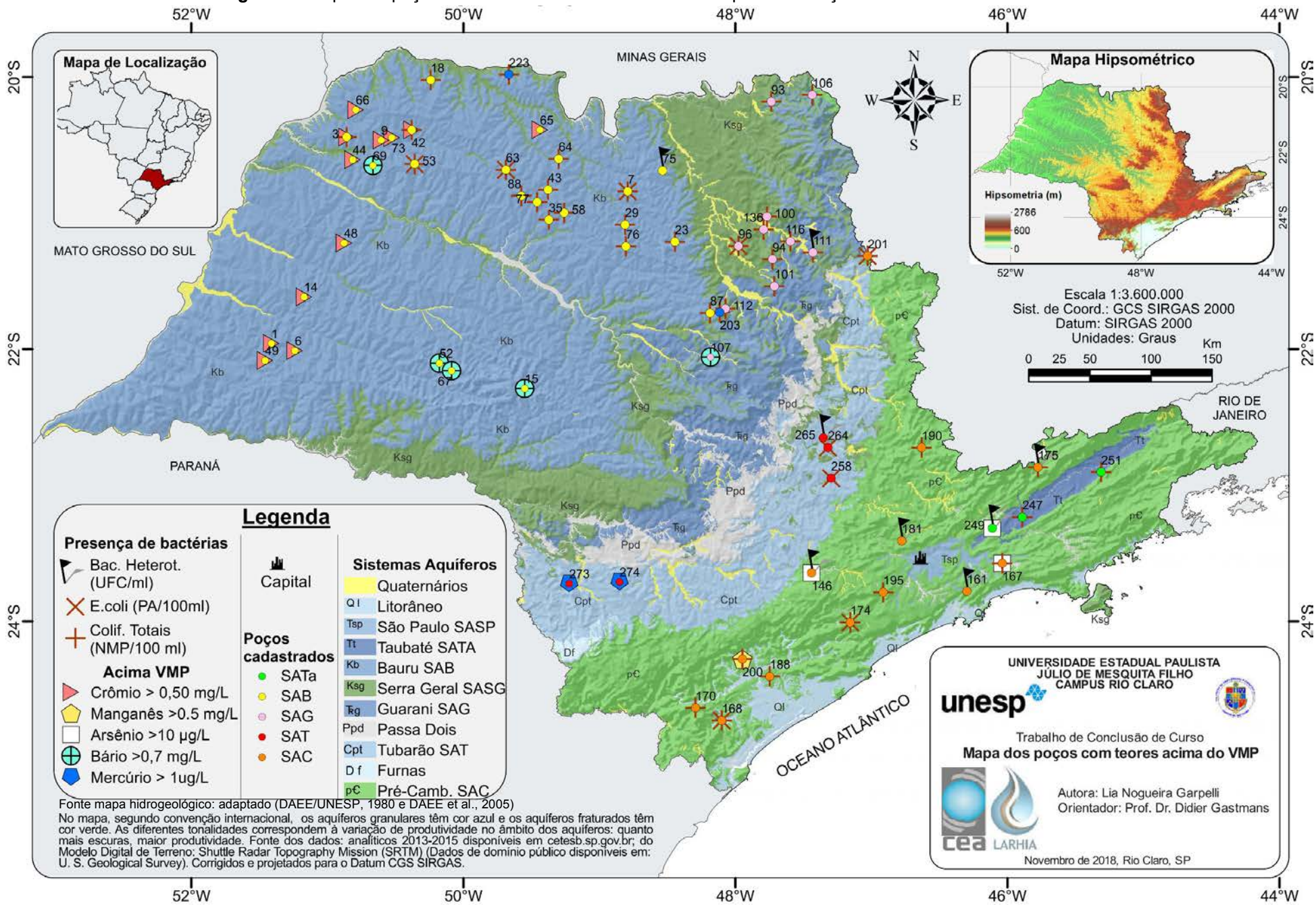
Das contaminações microbiológicas, 14,5% dos poços tiveram ocorrência de coliformes totais, abrangendo os aquíferos SAB (16 poços), SAG e SAC com 10 poços cada e, SASG e SATA com dois poços cada. Quanto ao teor de *E.coli*, houve contaminações em nove poços e, somente o SATA, SASP e SASG estavam livres de alterações. Por fim, as bactérias heterotróficas tiveram médias baixas, mas quando observado os teores máximos, cinco poços tiveram mais de 5700 UFC/ml.

Quanto aos demais elementos acima do VMP, a análise destacou alterações para Nitrito, Crômio, Bário, Arsênio, Mercúrio e Manganês. Cerca de 90% dos poços estavam com o teor de nitrito acima do permitido (0,02 mg/L). Contudo, 92,4% do total de amostras não atingiram o limite de detecção do equipamento. Outrossim, quando comparado com os teores de nitrato, todos estavam abaixo do permitido pela legislação. Desse modo, não foram demonstrados em mapa.

Excesso de crômio foi encontrado nos poços do SAB (12 localidades), com teores entre 0,06 a 0,098 mg/L. Ademais, foram constatadas 5 localidades com bário em demasia (quatro no SAB e um no SAC, na faixa de 700 a 910 mg/L). Minoritariamente, o arsênio 11,1 a 42,4 mg/L foi observado em três poços (2 do SAC e um do SATA). Foram descritos dois poços do SAT com alta concentração de mercúrio. E por fim, um local no SAC com teor acima de manganês.

Através do mapa da Figura 9, é possível visualizar a distribuição dos poços afetados pelas concentrações acima do VMP e com presença de bactérias. Nota-se que há uma predominância das bactérias na região norte, com presença difusa no sudeste do estado. As concentrações anômalas de crômio e de bário estão na porção oeste, no Planalto Ocidental.

Figura 9 - Mapa dos poços com teores acima do recomendado pelas resoluções RDC 274 e 275 de 2005



6.4 Classificação das águas minerais à luz do Código de Águas Minerais

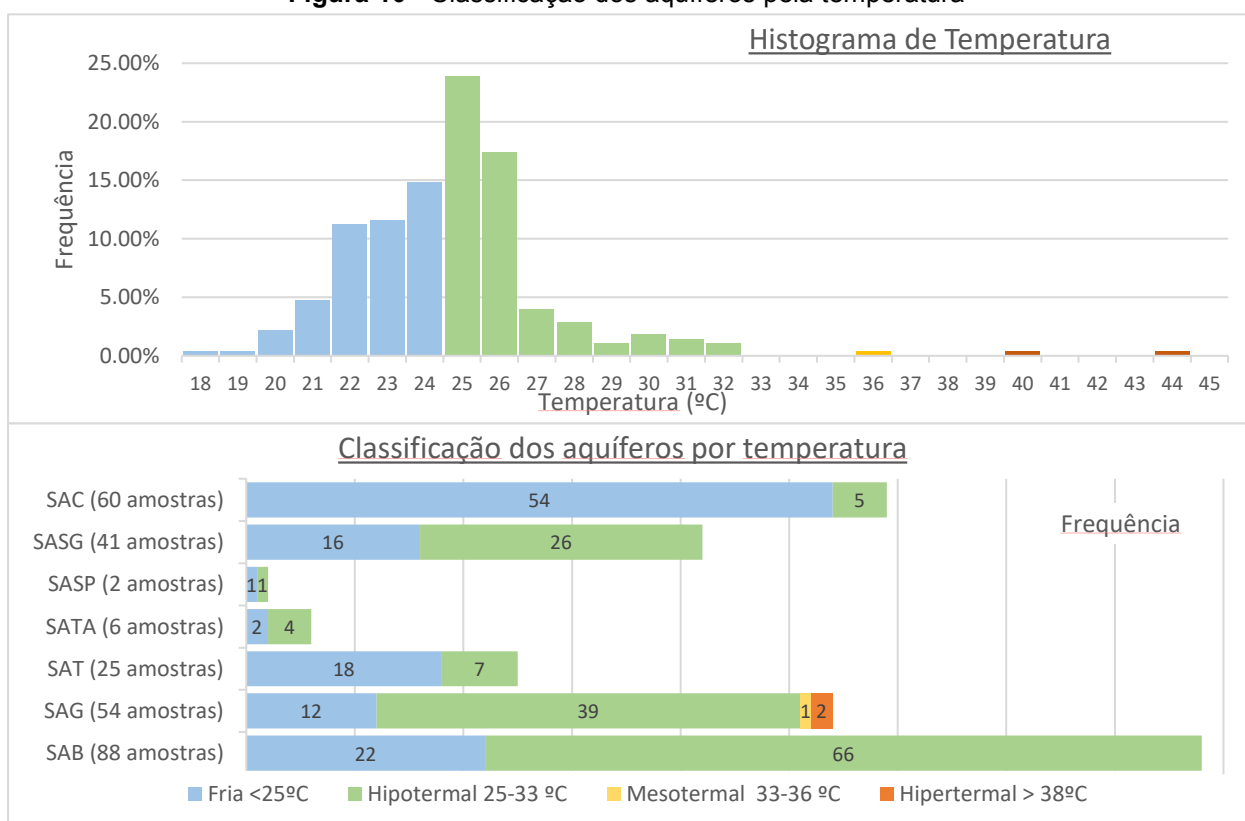
6.4.1 Classificação das águas por gases e temperatura

Uma das classificações das águas minerais pelo CAM é feita quanto as características conservativas ou inerentes às fontes, através do teor de gases e temperatura. Entretanto, não foi possível a quantificação dos gases por fontes radioativas, tório-ativas e sulfurosas pela falta de métodos físico-químicos específicos para tal determinação.

Com base no Quadro 4, a determinação das águas quanto à temperatura seguiu a classificação de fontes: frias (< 25 °C); hipotermas (entre 25 e 33 °C); mesotermas (entre 33 e 36 °C); isotermas (entre 36 a 38 °C) e hipertermas (> 38 °C).

A Figura 10 simplifica os resultados encontrados através de dois gráficos. Como demonstrado, não foram descritos poços com águas isotermas. Contudo, mais da metade das águas (53,6%) foram enquadradas como hipotermas (maior ocorrência no SAB), seguidas das águas frias com 44,9% (predominância no SAC), e uma pequena fração em águas mesotermas e hipertermas com 0,75% cada (correspondendo a 2 amostras de cada).

Figura 10 - Classificação dos aquíferos pela temperatura



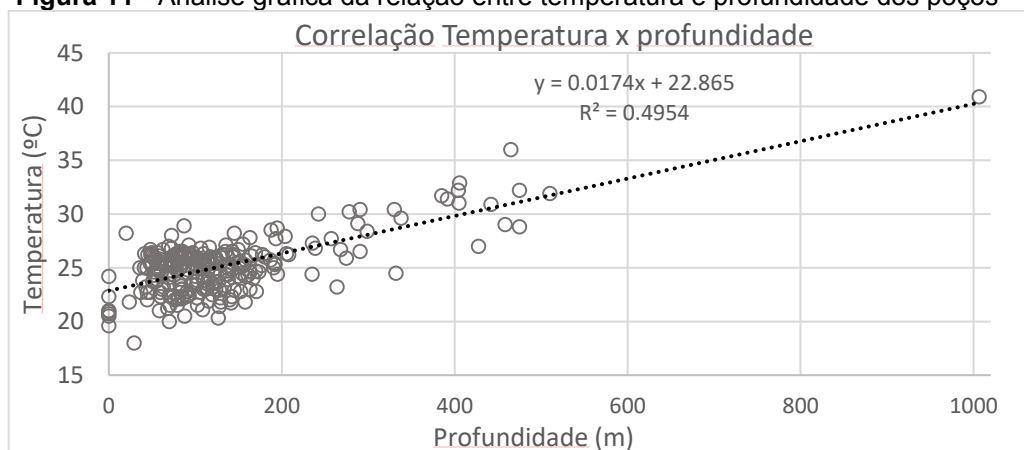
Os dois poços com maiores temperaturas pertencem ao SAG, o 121 com 40,9 °C, e o 124, com 44,8 °C. Destes, o 121 possui uma profundidade de captação de 721 a 1292 m, enquanto o segundo poço não possui dados relacionados à profundidade. A temperatura mais baixa registrada foi do poço 191 no SAC, com 18 °C, em uma profundidade que não ultrapassa 43 m.

A variação das temperaturas dependam do grau geotérmico e da presença da radioatividade (FEITOSA & MANOEL FILHO, 2000). Os autores complementam que é preciso assegurar-se de que a amostra representa a temperatura da água do aquífero e não da água do interior do poço em que foi coletada.

Independentemente de não haver informações sobre como foi realizada a aferição de temperatura, foi feito uma análise como tentativa de correlacioná-la com a profundidade. No gráfico da Figura 11, gerado a partir das médias de profundidade com as respectivas temperaturas, nota-se um incremento na temperatura de 1,74 °C a cada 100 metros de profundidade (17,4 °C/km ou 1 °C/ 54,47km).

Estudos preliminares do grau geotérmico na Bacia do Paraná resultaram em temperaturas de 14,2 a 19,2 °C/km (UYEDA & WATANABE, 1970). Enquanto, estudos mais recentes na bacia apresentaram valores superiores, como 26,6 °C/km (HINDI, 2007) e 29 °C/km (REIS, 2011). De acordo com Hindi (2007), o aumento gradual da temperatura se dá à medida que se afasta da borda, em direção ao centro da bacia.

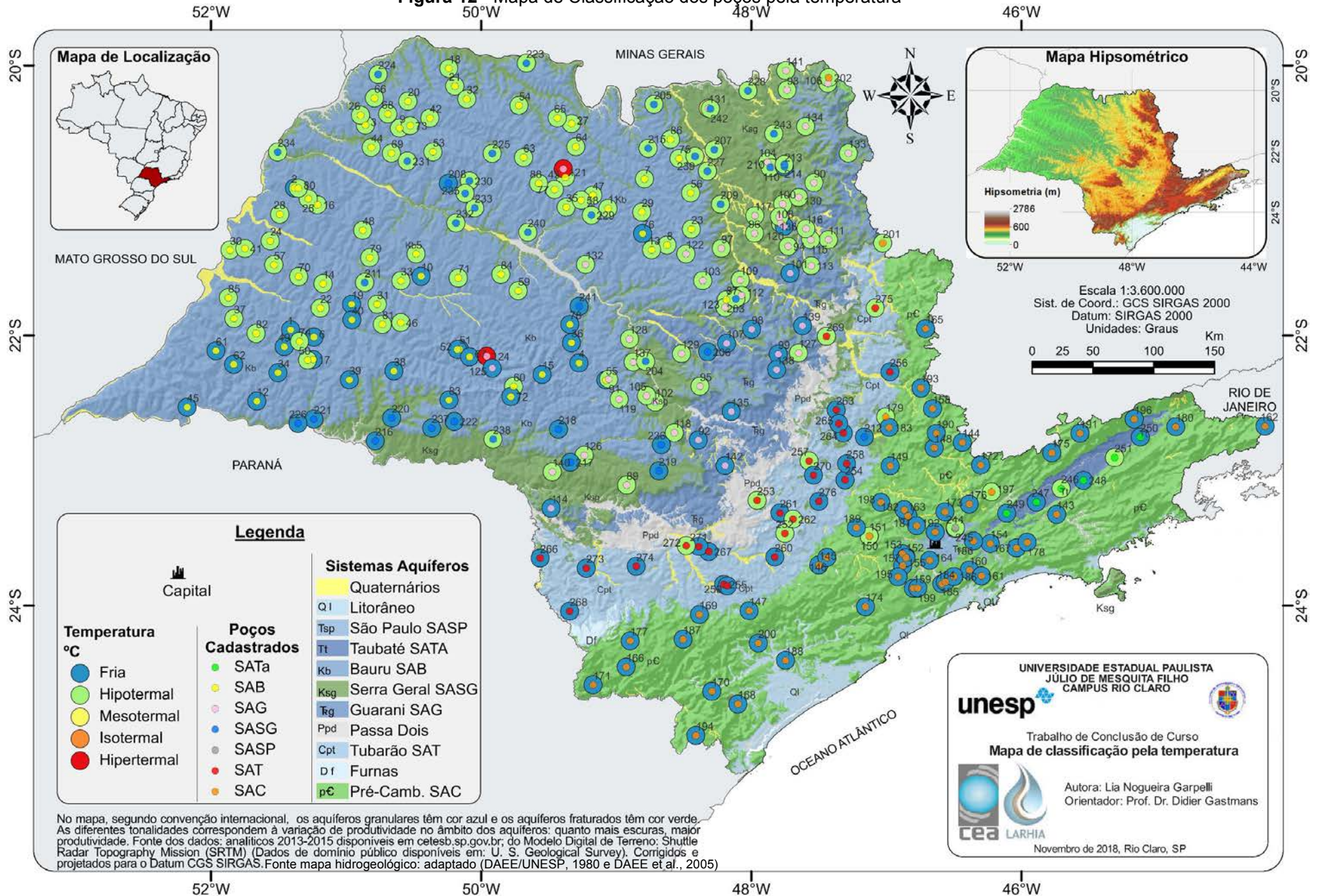
Figura 11 - Análise gráfica da relação entre temperatura e profundidade dos poços



Nota: Total de 260 poços com dados da profundidade de captação

Como complemento da Figura 10, foi gerado o mapa termal de distribuição dos poços, Figura 12. Como discutido, nota-se uma predominância das águas frias a partir do centro-leste, e de as águas hipotermas majoritariamente no Planalto Atlântico.

Figura 12 - Mapa de Classificação dos poços pela temperatura

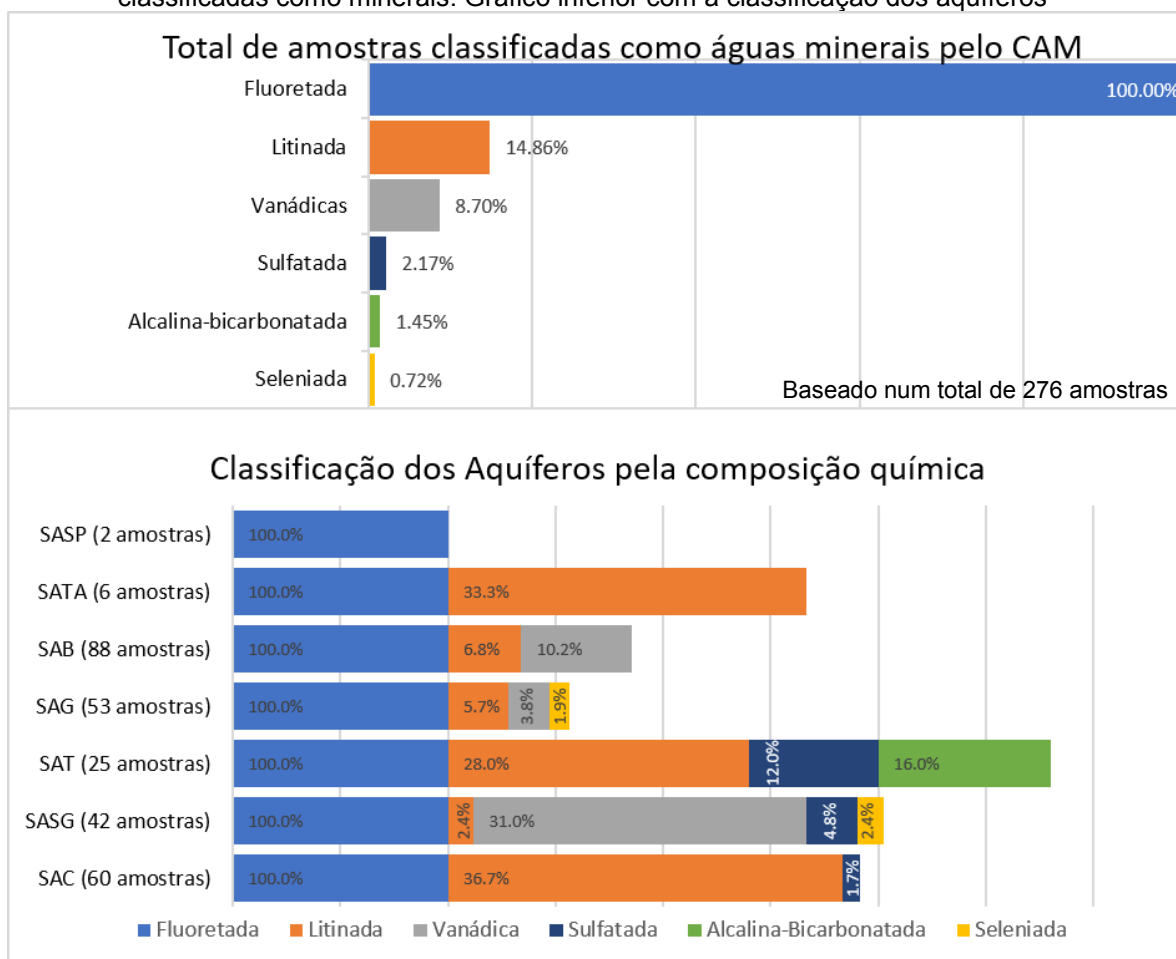


6.4.2 Classificação Química

A classificação química segundo os elementos do CAM, estabelece teores mínimos de compostos químicos (Quadro 3, página 21). Enquanto a CETESB por sua vez, disponibiliza os resultados por cátions e ânions que se fazem presentes nas águas subterrâneas. Para apresentação dos resultados segundo a CAM, foram realizados cálculos químicos para determinação dos teores dos íons presentes nos compostos.

Os gráficos dispostos na Figura 13 exemplificam o total de amostras abrangidas pelo CAM. Foram definidas seis classificações, com os elementos dignos de nota (flúor, lítio, vanádio e selênio), as alcalinas-bicarbonatadas e sulfatadas. Os demais componentes não atingiram os valores mínimos dos íons para enquadramento, foram eles: as alcalinas-terrosas, cloretada, ferruginosas, sulforosas e radioativas.

Figura 13 - Gráficos dos teores dos elementos. Gráfico superior com total de amostras classificadas como minerais. Gráfico inferior com a classificação dos aquíferos



Conforme apresentado na Figura 13, todos os pontos analisados possuem concentrações mínimas para classificá-los como fluoretados (acima de 0,02 mg/L), numa média de 0,31 mg/L de teor. Ademais, três pontos tiveram concentrações acima do recomendado para consumo diário (1,5 mg/L pela Portaria do Ministério da Saúde 2914/2011) Foram, o ponto 149 com o maior nível (9 mg/L), seguido dos pontos 231 e 197, com 2 e 2,2 mg/L, respectivamente.

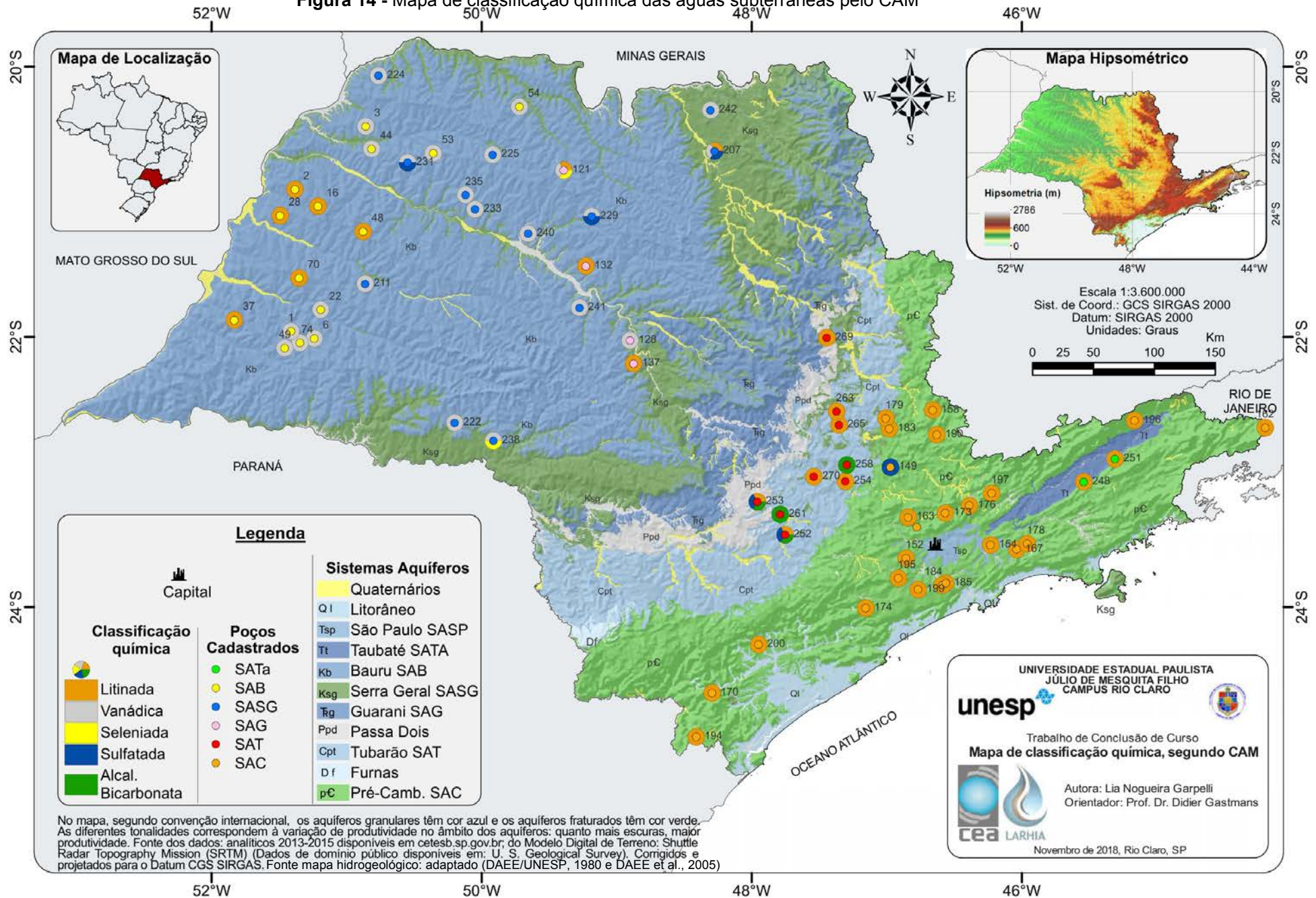
Foi observado que altos níveis de flúor estavam associados com as maiores concentrações de sulfato, lítio e sódio, em águas geralmente alcalinas e com alta condutividade elétrica. Reis (2011) explica que diversos pesquisadores associaram altas concentrações de flúor em águas ricas em Na, Cl e SO₄. Apesar disso, sua presença nas localidades que as concentrações estão acima dos limites permitidos (> 2mg/L), pode gerar dificuldades no aproveitamento da água para o abastecimento público e consumo humano.

Dos demais elementos, o lítio é o que teve a segunda maior representatividade nas águas subterrâneas (Figura 13). Com ocorrência em 41 poços (cerca de 14,9% do total), com variação de 0,01 a 0,038 mg/L de lítio. Cerca de 66% dos poços tiveram teores entre 0,01 e 0,02 mg/L e, 4 amostras com teores acima de 0,034, nos pontos 253, 269, 162 e 252. Quanto a distribuição, mais da metade ocorreu no SAC (22 poços), seguido do SAT (sete poços), SAB (seis poços), SAG (três poços), SATA (dois poços) e SASG (um poço). No mapa da Figura 14, nota-se a faixa de abrangência do elemento, bem distribuído sobre o SAC, enquanto no SAB, concentra-se no extremo oeste do estado.

Seguindo a ordem de ocorrência, o vanádio foi constatado em 24 poços (8,6% do total) (Figura 13). Os teores variaram entre 0,0323 a 0,131 mg/L, com média de 0,067 mg/L. Entretanto, dois pontos (6 e 235) possuem níveis de vanádio entre 0,12 e 0,131 mg/L. As águas denominadas como vanádicas estão distribuídas no Planalto Ocidental (Figura 14). A maior concentração de pontos pertence ao SASG, com 14 localidades, seguida do SAB com nove e do SAG com apenas duas amostras.

Com apenas duas amostras, o selênio é o elemento mais limitado em ocorrência (apenas 0,72% do total, Figura 13). Distribuídos no Planalto Ocidental, os pontos estão em lados opostos no extremo norte (Figura 14), no ponto 121 (SAG) com 0,019 mg/L, e no centro-sul, no SASG, ponto 238, com 0,006 mg/L.

Figura 14 - Mapa de classificação química das águas subterrâneas pelo CAM

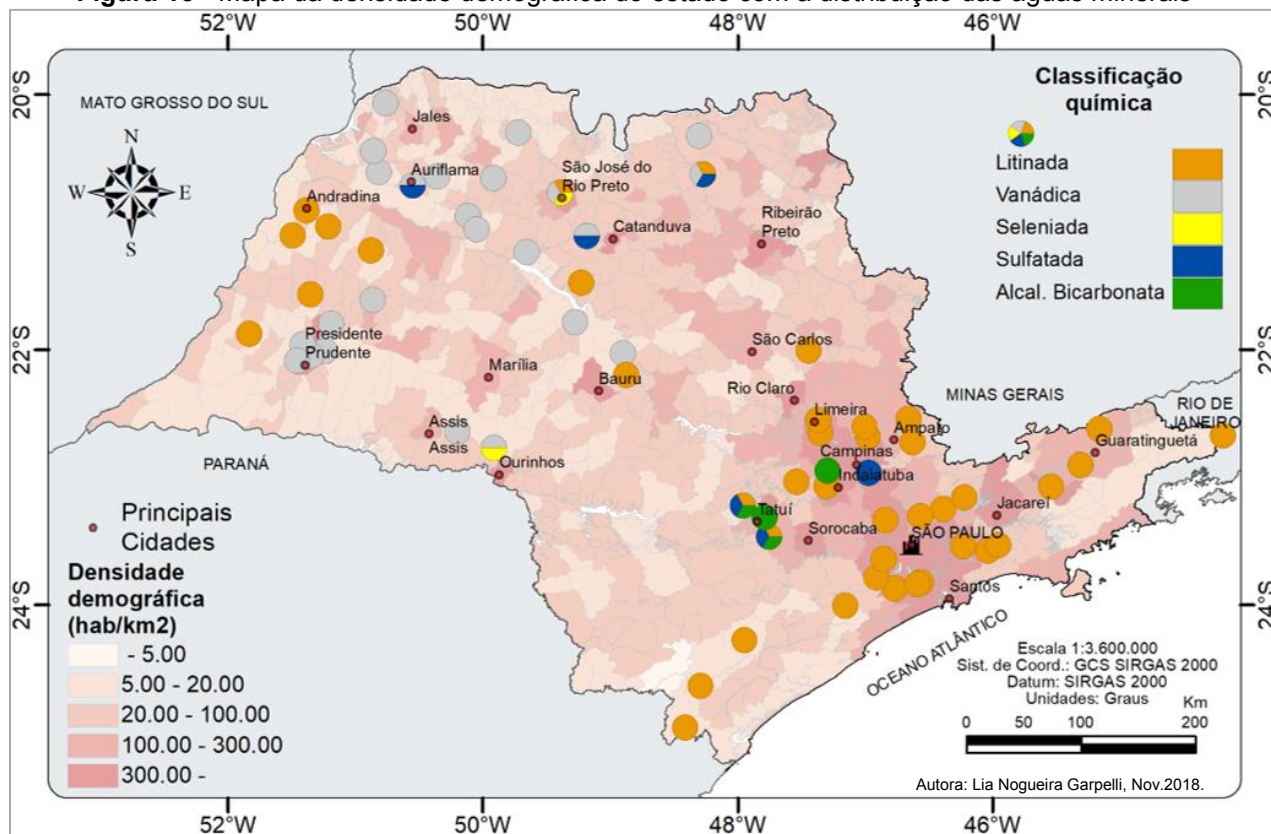


As águas sulfatadas corresponderam a 2,17% do total (seis pontos, Figura 13). Para classificação, foi feito um recálculo do elemento SO para SO_4 , que resultou em teor mínimo de de 50 mg/L de SO_4 . Desse modo, a média dos teores atingiram 159 mg/L, com valores que variaram entre 52,6 a 287 mg/L. As maiores concentrações foram nos poços 231 e 252. Os pontos estão distribuídos no norte do Planalto Ocidental, no SASG, e no centro-leste, distribuídas entre o SAT e SAC (Figura 14).

Também foi recalculado o teor mínimo para o bicarbonato (mínimo 145 mg/L) presentes em 0,2 g/L de $NaHCO_3$, como resultado foram caracterizados 1,45% dos pontos com potencial (Figura 13). Todas as amostras ocorrem na região central da Depressão Periférica, no SAT, e correspondem a 16% dos poços (Figura 14). A maior concentração é do ponto 253 com 296 mg/L e o restante entre 158 e 164 mg/L.

Quando comparado os pontos com potencial mineral com a densidade demográfica (Figura 15), percebe-se que a proximidade dos pontos com os grandes centros urbanos é um atrativo para o mercado das águas. Visto que são nessas áreas que unem o mercado consumidor e uma logística mais facilitada.

Figura 15 - Mapa da densidade demográfica do estado com a distribuição das águas minerais



Fonte: Elaborado pela autora. Dados analíticos disponíveis em www.cetesb.sp.gov.br; dados da densidade demográfica disponíveis em www.geoservicos.ibge.gov.br

Através do mapa - que não possui os pontos com flúor - nota-se a possibilidade de usar as águas litinadas do SAC na metrópole paulista e grandes cidades, como Campinas, Guaratinguetá e Limeira. A região de Tatuí, embora um pouco mais afastada dos grandes centros, é interessante pela variação dos tipos de água. Na região do Planalto Ocidental, as águas litinadas e vanádicas se distribuem largamente, sendo ótima opção para as macrorregiões da área.

6.4.3 Discussão acerca do Código de Águas Minerais

O CAM é essencial para a classificação, controle e uso das águas minerais. Contudo, devido ao longo tempo sem revisão, é necessário um aprimoramento dos seus métodos, principalmente no que tange aos elementos com ações medicamentosas. Segundo Reis (2011), não há mais, no consenso comum coletivo, o pensamento que a água mineral deva ter alguma ação medicamentosa.

Outro ponto questionável do código é quanto sua permissividade, que faz as águas subterrâneas terem o *status* de mineral. Com base na minuta de projeto de lei da ANM de 2002, alguns elementos teriam níveis maiores de concentração. Mesmo assim, quando comparado o fluoreto, que foi presente em todos os poços, foi notado que com o teor de 0,02 para 0,1 mg/L, pela minuta, ainda permitiria a classificação de cerca de 96,7% dos poços, não alterando muito para atual classificação.

Considerando os fatores da indústria da água ser um dos segmentos do setor mineral que mais cresce, um dos países que mais consomem água envasada; e a busca em expandir o mercado, com importações, a busca por águas de qualidade, que atendam às exigências do consumidor e do mercado são cada vez maiores. Como forma de atender legislação internacionais, o CAM precisaria ser aperfeiçoado, com definições mais claras que não sejam sujeitas a variações na sua interpretação.

Por fim, se a classificação é baseada na presença de minerais, o mais lógico seria avaliar a água - além dos elementos ditos como importantes - avaliá-la pelo teor de sais dissolvidos. Detalhes que estão na minuta de nova proposta de Lei.

7 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

As águas foram classificadas através do código, predominantemente, como frias, e hipotermiais, e uma ínfima parcela em hipertermiais. Quanto aos teores dos elementos todos os aquíferos têm potencial para classificação como água mineral. Todas as amostras são tidas como águas minerais fluoretadas. Seguido em ordem de ocorrência do lítio, vanádio, sulfato, alcalina bicarbonatada e o selênio.

A distribuição dos elementos se deu de forma abrangente pelo flúor. Enquanto o lítio ocorre principalmente no SAC, e com concentrações relevantes nos demais aquíferos, com exceção do SASP. O vanádio encontra-se em predominância no SASG, seguido do SAB e SAG. O sulfato ocorre em menor quantidade nos poços do SAT, com pontos também ricos em concentrações de alcalina bicarbonatadas. Por fim, o selênio de pouca expressão, com 0,72% dos poços, ocorre no SAG e SASG.

O quimismo das águas subterrâneas é função dos aquíferos onde estão confinados. A variação dos elementos químicos apresentado no trabalho permite admitir que aquíferos confinados ou livres, de diferentes composições litológicas apresentam diferentes íons dissolvidos nas águas subterrâneas. Desse modo, é possível zonestar as águas subterrâneas em áreas com interesse mineral.

Das concentrações de origem natural, o flúor, encontrado em todos os aquíferos, pode ser proveniente de fontes primárias ou secundárias - geralmente relacionadas à percolação de fluídos. As concentrações de lítio estão possivelmente, associadas aos granitos mais diferenciados que ocorrem no SAC, e quanto suas concentrações no Planalto Ocidental, por sedimentos transportados de áreas fontes com concentrações de lítio. Enquanto o Vanádio, disperso no Planalto Ocidental, poder estar associados aos derrames da Formação Serra Geral, com mobilização do elemento para estratos superiores. As águas mistas no SAT, são reflexos da natureza heterogênea das rochas, como por exemplo folhelhos, argilitos, diamictitos, calcários entre outros.

O CAM continua sendo importante para classificação e uso das águas. Contudo, devido o grande período sem revisão, é interessante o estudo de novas propostas de atualização para atender os padrões atuais de qualidade e exigência dos consumidores.

Por fim, como considerações finais, o presente trabalho não avaliou as vazões dos aquíferos, nem a problemática de locais com estresse hídrico. Desse modo é interessante para futuras pesquisas, o aprofundamento sobre comportamento hidrológico em regiões com potencial mineral. Para fins de aprofundamento também no tema (capacidade hídrica dos aquíferos) interessante avaliação dos perfis técnicos construtivos dos poços.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, F. Z. DE; ALENCASTRE, C. E. N.; RANZANI, A. J. T.; CRIVELENTI, R. Política de Recursos Hídricos e a Gestão das Águas Subterrâneas: Experiência dos Comitês do Estado de São Paulo. I Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste. **Anais...** . p.12, 2007. Gramado, RS. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/22162/14518>> . Acesso em: 17/5/2018.
- BRASIL. Decreto-Lei nº 7.841, de 8 de agosto de 1945: Código de Águas Minerais. Brasília. 1945.
- BRASIL. Legislação Federal do Brasil. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em: 17/11/2018.
- BRASIL. **Resolução RDC nº 274, de 22 de setembro de 2005 - Regulamento Técnico para Águas Envasadas e Gelo.** 2005a.
- BRASIL. **Resolução RDC nº 275, de 22 de setembro de 2005 - Regulamento Técnico de Características Microbiológicas para Água Mineral Natural e Água Natural.** 2005b.
- CAMPOS, H. C. N. S. **Caracterização e Cartografia das Províncias Hidrogeoquímicas do Estado de SP.** Tese de doutorado - Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. p. 177. 1993.
- CAMPOS, H. C. N. S. Metodologia para estudos da qualidade das águas subterrâneas e sua aplicação para caracterização hidrogeoquímica do Aquífero Guarani. **Terra e Didática**, v. 9, n. 2, p. 114–131, 2013.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo 1997.** São Paulo, 1998.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo: 2007-2009 (recurso eletrônico) / equipe técnica Modesto et al.** São Paulo, 2010.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Qualidade Das Águas Subterrâneas No Estado De São Paulo 2013-2015.** São Paulo, 2016.
- CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS - CERH. Relatório de situação dos recursos hídricos do Estado de São Paulo. **Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH.** São Paulo. p. 128, 1999.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE; INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS - IGCE; LABORATÓRIO DE ESTUDO DE BACIAS - LEBAC. **Águas subterrâneas no Estado de São Paulo, Diretrizes de Utilização e Proteção.** São Paulo: DAEE/LEBAC, 2013.

- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRIC - DAEE; UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO - UNESP. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**, escala 1:250.000. Rio Claro: DAEE/UNESP, 1980.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE; INSTITUTO GEOLÓGICO - IG/SMA; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT; SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo, Escala 1:1.000.000: Nota Explicativa / Rocha, G. (Coord.)**. São Paulo: DAEE/IG/IPT/CPRM, 2005.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. Sumário Mineral - Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral 2015**, v. 35, 2015.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **Anuário Mineral Estadual - São Paulo 2015 - ano base 2014**. Brasília, 2016.
- FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia - conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, Serviço Geológico do Brasil, 2000.
- FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão Estratigráfica da Parte Oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 4, p. 717–728, 2000.
- GESICKI, A. L. D.; SINDICO, F. Gestão Das Águas Minerais No Brasil - Panorama Legal Atual E Perspectivas Futuras. **Revista do Instituto Geológico**, v. 34, n. 2, p. 69–88, 2013. Disponível em: <<http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/0100-929X.20130010>>. .
- HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS NETO, M. D. C.; et al. Província Mantiqueira. **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca. p.203–234, 2004.
- HINDI, E. C. **Hidroquímica e Hidrotermalismo do Sistema Aquífero Guarani no Estado do Paraná**. Tese de doutorado - Setor de Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. p. 153. 2007.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Dados estatísticos - Panorama do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/panorama>>. Acesso em: 15/5/2018.
- IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. 2ª ed. São Paulo: Secretaria de Estad do Meio Ambiente - SMA, 2009.
- LAZZERINI, F. T. **Fontes Hidrotermais do Brasil: Componentes Biologicamente Ativos (BAC) Naturais**. Tese de doutorado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Rio Claro. p. 388. 2013.
- MELO, S. DE; RICCOMINI, C.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F. F. M. DE; COIMBRA, A. M. Geologia e Evolução do Sistema de Bacias Tafrogênicas Continentais do Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 15, n. 3, p. 193–201, 1985.

- MILANI, E. J.; MELO, J. H. G. DE; SOUZA, P. A. DE; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 265–287, 2007.
- MIRANDA, M. J. DE; PINTO, H. S.; ZULLO JR, J.; et al. **A Classificação Climática de Koeppen para o Estado de São Paulo**. Disponível em: <<https://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 15/5/2018.
- PORTUGAL JR., P. DOS S. **A CONTROVÉRSIA SOBRE AS ÁGUAS: uma proposta de integração institucional e de políticas públicas para o segmento de águas minerais no âmbito da gestão de recursos hídricos**. Tese de doutorado - Instituto de Economia, Universidade de Campinas. Campinas. p. 180. 2016
- REIS, M. M. **Potencial Hidrotermal das Águas Hipertermais do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Rio Claro. p. 116. 2011.
- RODWAN JR., J. G. Bottled Water 2014: Reinvigoration, U.S and international developments and statistics, in Bottled Water Reporter. **IBWA, International Bottled Water Association**, 2015. Disponível em: <http://issuu.com/ibwa/docs/bwr_julyaug2015_final>. Acesso em: 10/3/2018.
- ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. **Revista Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo**, v. 10, n. 0, p. 41–58, 1996.
- SÃO PAULO. **Governo do Estado. Plano de Ação de São Paulo. Metas de Aichi 2020: Implementação no Estado de São Paulo**. 2013.
- SEADE. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Indicadores do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/>>. Acesso em: 16/5/2018.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Sistema Aquífero Bauru-Caiuá nos Estados de SP, MS e PR. Bacia Sedimentar do Paraná**. Franzini, A.S. e Mourão, M.A.A. (Coord.). Belo Horizonte, 2012a.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: Sistema Aquífero Guarani Nos Estados De São Paulo, Mato Grosso Do Sul E Paraná**. Takahashi, A.T. e Mourão, M.A.A. (Coord.). Belo Horizonte, 2012b.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Projeto Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Aquífero Furnas nos Estados de SP, MS e PR. Bacia Sedimentar do Paraná [Silveira, M.C.de M. e Mourão, M.A.A. Coord.]**. Belo Horizonte, 2012c.
- SILVA, A. J. P. DA; LOPES, R. DA C.; VASCONCELOS, A. M.; BAHIA, R. B. C. Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores. In: L. A. Bizzi; R. M. Vidotti; J. H. Gonçalves (Orgs.); **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do**

Brasil. Brasília: CPRM, Serviço Geológico do Brasil. 1º ed, v. 581, p.55–85, 2003.

UYEDA, S.; WATANABE, T. Preliminary report of terrestrial heat flow study in the South America Continent; Distribution of Geothermal Gradients. **Tectonophysics**, v. 10, n. 1–3, p. 235–242, 1970. Elsevier. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0040195170901095>>. Acesso em: 5/11/2018.

ANEXO

ANEXO A – Relação dos poços cadastrados.

| Sistema Aquífero | Cód. Mapa | Código CETESB | Município | Profundidade de captação (m) | Nível Estát. (m) | Latitude | Longitude | UGHRI |
|------------------|-----------|---------------|--------------------------|------------------------------|------------------|--------------|--------------|-------|
| SAB | 1 | BA0002P | Alfredo Marcondes | 84 a 192 | 52 | -21.95805556 | -51.41222222 | 21 |
| SAB | 2 | BA0006P | Andradina | 54 a 102 | 26 | -20.90777778 | -51.38333333 | 19 |
| SAB | 3 | BA0007P | Aparecida d'Oeste | 49 a 110 | 0 | -20.44111111 | -50.85861111 | 18 |
| SAB | 4 | BA0010P | Avai | 20 a 52 | 28 | -22.20361111 | -49.27638889 | 16 |
| SAB | 5 | BA0014P | Bilac | 26 a 122 | 22 | -21.39638889 | -50.4825 | 19 |
| SAB | 6 | BA0022P | Caiabu | 85 a 185 | 45 | -22.01138889 | -51.23972222 | 21 |
| SAB | 7 | BA0023P | Cajobi | 6 a 124 | 67 | -20.84027778 | -48.79222222 | 15 |
| SAB | 8 | BA0024P | Cândido Rodrigues | 66 a 104 | 36 | -21.33027778 | -48.625 | 15 |
| SAB | 9 | BA0026P | Dirce Reis | 47 a 98 | 26 | -20.46388889 | -50.60611111 | 18 |
| SAB | 10 | BA0028P | Clementina | 22 a 84 | 33 | -21.56083333 | -50.44611111 | 20 |
| SAB | 11 | BA0031P | Catiaguá | 15 a 102 | 26 | -21.05944444 | -49.06222222 | 15 |
| SAB | 12 | BA0037P | Estrela do Norte | 56 a 162 | 84 | -22.48583333 | -51.66111111 | 22 |
| SAB | 13 | BA0038P | Fernando Prestes | 31 a 81 | 26 | -21.36527778 | -48.73944444 | 16 |
| SAB | 14 | BA0040P | Flórida Paulista | 81 a 195 | 14 | -21.61611111 | -51.17166667 | 21 |
| SAB | 15 | BA0041P | Gália | 132 a 194 | 13 | -22.28888889 | -49.54972222 | 17 |
| SAB | 16 | BA0044P | Guaraçai | 56 a 166 | 52 | -21.03194444 | -51.21277778 | 19 |
| SAB | 17 | BA0050P | Indiana | | 25 | -22.1775 | -51.24472222 | 21 |
| SAB | 18 | BA0051P | Indiaporã | 38 a 87 | 29 | -20.02194444 | -50.24083333 | 15 |
| SAB | 19 | BA0052P | Inúbia Paulista | 70 a 204 | 42 | -21.76861111 | -50.96083333 | 21 |
| SAB | 20 | BA0059P | Jales | 36 a 142 | 19 | -20.265 | -50.54361111 | 18 |
| SAB | 21 | BA0065P | Macedônia | 55 a 174 | 22 | -20.15333333 | -50.19638889 | 15 |
| SAB | 22 | BA0066P | Mariápolis | 94 a 220 | 35 | -21.79777778 | -51.19222222 | 21 |
| SAB | 23 | BA0072P | Monte Alto | 52 a 116 | 89 | -21.21194444 | -48.44472222 | 9 |
| SAB | 24 | BA0073P | Monte Castelo | 32 a 98 | 17 | -21.29888889 | -51.56222222 | 20 |
| SAB | 25 | BA0076P | Murutinga do Sul | 35 a 130 | 15 | -20.98694444 | -51.28138889 | 19 |
| SAB | 26 | BA0077P | Nova Canaã Paulista | 53 a 89 | 19 | -20.36805556 | -50.89472222 | 18 |
| SAB | 27 | BA0078P | Nova Granada | 20 a 79 | 0 | -20.42972222 | -49.33194444 | 15 |
| SAB | 28 | BA0079P | Nova Independência | 32 a 86 | 7 | -21.1025 | -51.49277778 | 20 |
| SAB | 29 | BA0087P | Palmares Paulista | 55 a 112 | 44 | -21.08583333 | -48.81166667 | 15 |
| SAB | 30 | BA0088P | Panorama | 64 a 100 | 42 | -21.36694444 | -51.86055556 | 20 |
| SAB | 31 | BA0090P | Parapuã | 55 a 173 | 22 | -21.76805556 | -50.77083333 | 20 |
| SAB | 32 | BA0095P | Pedranópolis | 27 a 86 | 22 | -20.24833333 | -50.10805556 | 15 |
| SAB | 33 | BA0097P | Piacatu | 88 a 142 | 14 | -21.59416667 | -50.595 | 20 |
| SAB | 34 | BA0100P | Pirapozinho | 59 a 219 | 13 | -22.27611111 | -51.50555556 | 22 |
| SAB | 35 | BA0103P | Potirendaba | 44 a 115 | 26 | -21.04944444 | -49.37166667 | 16 |
| SAB | 36 | BA0104P | Presidente Alves | 28 a 76 | 22 | -22.0525 | -49.3325 | 16 |
| SAB | 37 | BA0106P | Presidente Venceslau | 141 a 233 | 74 | -21.87444444 | -51.83166667 | 22 |
| SAB | 38 | BA0107P | Quatá | 35 a 108 | 30 | -22.26333333 | -50.64722222 | 21 |
| SAB | 39 | BA0108P | Rancharia | 28 a 93 | 22 | -22.32805556 | -50.97666667 | 17 |
| SAB | 40 | BA0117P | Sagres | 33 a 132 | 39 | -21.88361111 | -50.95833333 | 21 |
| SAB | 41 | BA0123P | Santa Mercedes | 82 a 153 | 27 | -21.35583333 | -51.75027778 | 20 |
| SAB | 42 | BA0125P | São João das Duas Pontes | 90 a 114 | 56 | -20.38944444 | -50.38083333 | 18 |
| SAB | 43 | BA0127P | São José do Rio Preto | 28 a 68 | 22 | -20.82861111 | -49.37777778 | 15 |
| SAB | 44 | BA0141P | Sud Mennucci | 67 a 152 | 37 | -20.60777778 | -50.81472222 | 19 |
| SAB | 45 | BA0144P | Teodoro Sampaio | 78 a 150 | 70 | -22.53055556 | -52.17805556 | 22 |
| SAB | 46 | BA0146P | Tupã | 38 a 114 | 10 | -21.90444444 | -50.59638889 | 20 |
| SAB | 47 | BA0147P | Uchoa | 36 a 120 | 30 | -20.96138889 | -49.175 | 15 |
| SAB | 48 | BA0149P | Valparaíso | 66 a 166 | 30 | -21.22 | -50.87777778 | 20 |
| SAB | 49 | BA0158P | Álvares Machado | 70 a 252 | 79 | -22.08277778 | -51.45888889 | 21 |
| SAB | 50 | BA0188P | Regente Feijó | 85 a 269 | 90 | -22.18222222 | -51.28583333 | 22 |
| SAB | 51 | BA0203P | Pompéia | 52 a 233 | 134 | -22.10111111 | -50.16222222 | 20 |
| SAB | 52 | BA0211P | Pompéia | | | -22.10277778 | -50.17722222 | 20 |
| SAB | 53 | BA0219P | General Salgado | 72 a 190 | 55 | -20.64 | -50.35861111 | 18 |
| SAB | 54 | BA0226P | Américo de Campos | | 59 | -20.29638889 | -49.72111111 | 15 |
| SAB | 55 | BA0232P | Bauru | 41 a 47 | 19 | -22.33083333 | -49.07805556 | 13 |
| SAB | 56 | BA0233P | Bebedouro | 55 a 115 | 32 | -20.94333333 | -48.45 | 12 |
| SAB | 57 | BA0241P | Dracena | 110 a 206 | 59 | -21.47666667 | -51.53611111 | 20 |
| SAB | 58 | BA0246P | Ibirá | | 25 | -20.99777778 | -49.25972222 | 16 |
| SAB | 59 | BA0252P | Lins | 34 a 141 | 29 | -21.66861111 | -49.7275 | 16 |
| SAB | 60 | BA0253P | Lupércio | 57 a 272 | 122 | -22.37777778 | -49.76138889 | 21 |
| SAB | 61 | BA0255P | Marabá Paulista | 64 a 194 | 54 | -22.1125 | -51.96472222 | 22 |
| SAB | 62 | BA0258P | Mirante do Paranapanema | 53 a 152 | 29 | -22.21388889 | -51.83361111 | 22 |
| SAB | 63 | BA0259P | Monte Aprazível | 40 a 156 | 40 | -20.68194444 | -49.6875 | 18 |
| SAB | 64 | BA0264P | Onda Verde | 63 a 154 | 44 | -20.60194444 | -49.30027778 | 15 |
| SAB | 65 | BA0265P | Palestina | 20 a 95 | 25 | -20.38861111 | -49.43777778 | 15 |
| SAB | 66 | BA0277P | Santana da Ponte Pensa | 54 a 126 | 21 | -20.24166667 | -50.79138889 | 18 |

Continuação ANEXO A

| | | | | | | | | |
|-----|-----|---------|-------------------------|-------------------|-----|--------------|--------------|----|
| SAB | 67 | BA0289P | Oriente | 122 a 259 | 134 | -22.15805556 | -50.0875 | 21 |
| SAB | 68 | BA0291P | São Francisco | 66 a 142 | 37 | -20.35944444 | -50.6925 | 18 |
| SAB | 69 | BA0293P | Guzolândia | 40 a 174 | 34 | -20.65027778 | -50.66555556 | 18 |
| SAB | 70 | BA0297P | Irapuru | 114 a 194 | | -21.56361111 | -51.35222222 | 21 |
| SAB | 71 | BA0304P | Alto Alegre | 43 a 161 | 2 | -21.57361111 | -50.17055556 | 19 |
| SAB | 72 | BA0309P | Alvinlândia | 80 a 166 | 20 | -22.45166667 | -49.78083333 | 17 |
| SAB | 73 | BA0325P | Pontalinda | 36 a 59 | 6 | -20.44611111 | -50.52694444 | 18 |
| SAB | 74 | BA0327P | Presidente Prudente | 77 a 156 | 72 | -22.04416667 | -51.34583333 | 21 |
| SAB | 75 | BA0330P | Colina | 43 a 47 | 17 | -20.68861111 | -48.53666667 | 12 |
| SAB | 76 | BA0332P | Santa Adélia | 58 a 146 | 93 | -21.24472222 | -48.80583333 | 15 |
| SAB | 77 | BA0334P | Bady Bassit | 30 a 164 | 35 | -20.91916667 | -49.45833333 | 16 |
| SAB | 78 | BA0336P | Balbinos | 18 a 121 | 28 | -21.91833333 | -49.34472222 | 16 |
| SAB | 79 | BA0337P | Rubiácea | 23 a 119 | 4 | -21.42388889 | -50.82638889 | 20 |
| SAB | 80 | BA0338P | Andradina | 53 a 96 | 34 | -20.90944444 | -51.35555556 | 19 |
| SAB | 81 | BA0339P | Bastos | 48 a 60 | 21 | -21.9175 | -50.73222222 | 21 |
| SAB | 82 | BA0340P | Santo Anastácio | 37 a 182 | 54 | -21.98472222 | -51.6675 | 22 |
| SAB | 83 | BA0354P | Echaporá | 20 a 100 | 36 | -22.4775 | -50.24 | 17 |
| SAB | 84 | BA0355P | Promissão | 60 a 130 | 70 | -21.54638889 | -49.85555556 | 19 |
| SAB | 85 | BA0356P | Caiuá | 60 a 124 | 54 | -21.72138889 | -51.8725 | 21 |
| SAB | 86 | BA0359P | Barretos | 16 a 67 | 7 | -20.5475 | -48.59888889 | 12 |
| SAB | 87 | BA0360P | Araraquara | 64 a 68 e 72 a 84 | 23 | -21.735 | -48.18638889 | 13 |
| SAB | 88 | BA0361P | Jaci | 128 a 160 | 32 | -20.87361111 | -49.57416667 | 16 |
| SAG | 89 | GU0011P | Avaré | 257 a 419 | 172 | -23.10805556 | -48.92416667 | 17 |
| SAG | 90 | GU0012P | Batatais | 148 a 260 | 88 | -20.86916667 | -47.53694444 | 8 |
| SAG | 91 | GU0013P | Bauru | 86 a 297 | 59 | -22.32305556 | -49.05694444 | 13 |
| SAG | 92 | GU0016P | Botucatu | 54 a 110 | 42 | -22.77472222 | -48.39361111 | 10 |
| SAG | 93 | GU0019P | Buritizeiro | 113 a 262 | 82 | -20.18194444 | -47.73638889 | 8 |
| SAG | 94 | GU0030P | Cravinhos | 350 a 505 | 214 | -21.33944444 | -47.72833333 | 4 |
| SAG | 95 | GU0032P | Dois Córregos | 377 a 539 | 175 | -22.37555556 | -48.38055556 | 13 |
| SAG | 96 | GU0035P | Dumont | 240 a 341 | 104 | -21.24222222 | -47.97777778 | 9 |
| SAG | 97 | GU0045P | Guariba | 220 a 591 | 96 | -21.35472222 | -48.22305556 | 9 |
| SAG | 98 | GU0048P | Ibaté | 201 a 327 | 123 | -21.95416667 | -47.99861111 | 13 |
| SAG | 99 | GU0057P | Itirapina | | | -22.13777778 | -47.8025 | 13 |
| SAG | 100 | GU0061P | Jardinópolis | 183 a 331 | 123 | -21.02583333 | -47.76833333 | 4 |
| SAG | 101 | GU0063P | Luis Antônio | 74 a 167 | 68 | -21.53861111 | -47.71361111 | 9 |
| SAG | 102 | GU0064P | Macatuba | 136 a 248 | 19 | -22.49333333 | -48.71222222 | 13 |
| SAG | 103 | GU0068P | Matão | 365 a 443 | 115 | -21.59277778 | -48.36138889 | 16 |
| SAG | 104 | GU0086P | Orlândia | 206 a 375 | 157 | -20.71555556 | -47.88027778 | 12 |
| SAG | 105 | GU0092P | Pederneras | 132 a 167 | 31 | -22.44611111 | -48.77638889 | 13 |
| SAG | 106 | GU0096P | Pedregulho | 49 a 116 | 11 | -20.1325 | -47.43527778 | 8 |
| SAG | 107 | GU0111P | Ribeirão Bonito | 30 a 80 | 52 | -22.05833333 | -48.18416667 | 13 |
| SAG | 108 | GU0114P | Ribeirão Preto | 125 a 230 | 35 | -21.16972222 | -47.78388889 | 4 |
| SAG | 109 | GU0115P | Rincão | 121 a 205 | 61 | -21.58888889 | -48.0825 | 9 |
| SAG | 110 | GU0118P | Sales Oliveira | 355 a 529 | 247 | -20.755 | -47.8525 | 4 |
| SAG | 111 | GU0121P | Santa Cruz da Esperança | 91 a 194 | 55 | -21.29 | -47.43055556 | 4 |
| SAG | 112 | GU0122P | Santa Lúcia | 149 a 237 | 100 | -21.70194444 | -48.07361111 | 9 |
| SAG | 113 | GU0134P | São Simão | 38 a 180 | 24 | -21.48388889 | -47.55777778 | 4 |
| SAG | 114 | GU0136P | Sarutaíá | 71 a 141 | 8 | -23.27888889 | -49.48361111 | 14 |
| SAG | 115 | GU0137P | Serra Azul | 58 a 190 | 7 | -21.29083333 | -47.56138889 | 4 |
| SAG | 116 | GU0138P | Serrana | 17 a 170 | 14 | -21.20861111 | -47.59583333 | 4 |
| SAG | 117 | GU0139P | Sertãozinho | 118 a 293 | 75 | -21.11222222 | -47.97472222 | 9 |
| SAG | 118 | GU0159P | São Manuel | 163 a 386 | 115 | -22.72 | -48.57138889 | 13 |
| SAG | 119 | GU0160P | Aquidos | 189 a 347 | 71 | -22.47138889 | -48.97944444 | 13 |
| SAG | 120 | GU0175P | Ribeirão Preto | | 34 | -21.19138889 | -47.75833333 | 4 |
| SAG | 121 | GU0202P | São José do Rio Preto | 721 a 1292 | 92 | -20.76555556 | -49.39277778 | 15 |
| SAG | 122 | GU0204P | Taquaritinga | 282 a 501 | 63 | -21.39583333 | -48.48444444 | 16 |
| SAG | 123 | GU0205P | Araraquara | 187 a 369 | 91 | -21.79194444 | -48.195 | 13 |
| SAG | 124 | GU0206P | Marília | | | -22.15305556 | -49.96 | 20 |
| SAG | 125 | GU0207P | Marília | | | -22.24138889 | -49.91916667 | 21 |
| SAG | 126 | GU0225P | Águas de Santa Bárbara | 246 a 351 | 37 | -22.88694444 | -49.23888889 | 17 |
| SAG | 127 | GU0227P | Analândia | 48 a 200 | 78 | -22.12944444 | -47.65111111 | 5 |
| SAG | 128 | GU0229P | Arealva | 320 a 490 | 21 | -22.02638889 | -48.90194444 | 13 |
| SAG | 129 | GU0235P | Bocaina | 176 a 301 | 73 | -22.13416667 | -48.5175 | 13 |
| SAG | 130 | GU0236P | Brodowski | 350 a 600 | | -20.9775 | -47.65027778 | 4 |
| SAG | 131 | GU0245P | Guaira | 213 a 717 | 22 | -20.31638889 | -48.3175 | 8 |
| SAG | 132 | GU0263P | Novo Horizonte | 420 a 600 | 14 | -21.47444444 | -49.22805556 | 16 |
| SAG | 133 | GU0266P | Patrocínio Paulista | 224 a 352 | 10 | -20.64944444 | -47.28277778 | 8 |
| SAG | 134 | GU0272P | Ribeirão Corrente | 207 a 278 | 122 | -20.45166667 | -47.59888889 | 8 |
| SAG | 135 | GU0276P | Santa Maria da Serra | 18 a 240 | | -22.56305556 | -48.15027778 | 5 |
| SAG | 136 | GU0286P | Ribeirão Preto | 107 a 194 | 46 | -21.12083333 | -47.79305556 | 4 |
| SAG | 137 | GU0287P | Pederneras | 355 a 415 | 21 | -22.19666667 | -48.87555556 | 13 |
| SAG | 138 | GU0292P | Itirapina | 63 a 138 | 5 | -22.25277778 | -47.81361111 | 13 |
| SAG | 139 | GU0296P | Descalvado | 82 a 158 | 48 | -21.92833333 | -47.62222222 | 9 |

Continuação ANEXO A

| | | | | | | | | |
|------|-----|---------|------------------------|----------------------|-----|--------------|--------------|----|
| SAG | 140 | GU0310P | Bernardino de Campos | 363 a 587 | 173 | -23.01027778 | -49.47416667 | 17 |
| SAG | 141 | GU0324P | Igarapava | 47 a 98 | 0 | -20.03833333 | -47.74555556 | 8 |
| SAG | 142 | GU0346P | Anhembi | 94 a 190 | 88 | -22.96333333 | -48.19555556 | 10 |
| SAC | 143 | PC0060P | Jambeiro | 48 a 199 | 0 | -23.32555556 | -45.74055556 | 2 |
| SAC | 144 | PC0094P | Pedra Bela | 37 a 180 | 0 | -22.79194444 | -46.43916667 | 5 |
| SAC | 145 | PC0098P | Piedade | 32 a 251 | 1 | -23.70083333 | -47.50111111 | 10 |
| SAC | 146 | PC0099P | Piedade | 10 a 180 | 1 | -23.64416667 | -47.44027778 | 10 |
| SAC | 147 | PC0131P | São Miguel Arcanjo | 24 a 151 | 2 | -24.03861111 | -48.01722222 | 14 |
| SAC | 148 | PC0145P | Tuiuti | 26 a 141 | 1 | -22.8325 | -46.64666667 | 5 |
| SAC | 149 | PC0148P | Valinhos | 19 a 150 | 2 | -22.96555556 | -46.9725 | 5 |
| SAC | 150 | PC0154N | São Roque | Nascente | 0 | -23.48638889 | -47.1275 | 10 |
| SAC | 151 | PC0155P | São Roque | 32 a 186 | 14 | -23.48611111 | -47.12805556 | 10 |
| SAC | 152 | PC0163P | Embu das Artes | 53 a 262 | 23 | -23.63944444 | -46.85694444 | 6 |
| SAC | 153 | PC0171P | Cotia | 34 a 290 | | -23.615 | -46.88388889 | 6 |
| SAC | 154 | PC0173P | Moji das Cruzes | | | -23.54083333 | -46.23166667 | 6 |
| SAC | 155 | PC0174N | Itapeerica da Serra | Nascente | 0 | -23.70444444 | -46.88111111 | 6 |
| SAC | 156 | PC0178P | Poá | | | -23.5225 | -46.35638889 | 6 |
| SAC | 157 | PC0180N | Embu das Artes | Nascente | 0 | -23.64638889 | -46.85666667 | 6 |
| SAC | 158 | PC0181P | Lindóia | 36 a 220 | 190 | -22.54138889 | -46.65916667 | 9 |
| SAC | 159 | PC0184P | Embu-Guaçu | 31 a 150 | 1 | -23.87222222 | -46.80111111 | 6 |
| SAC | 160 | PC0192N | Rio Grande da Serra | Nascente | 0 | -23.73777778 | -46.38722222 | 6 |
| SAC | 161 | PC0193N | Santo André | Nascente | 0 | -23.77944444 | -46.29805556 | 6 |
| SAC | 162 | PC0200P | Bananal | 22 a 101 | 5 | -22.67194444 | -44.1975 | 2 |
| SAC | 163 | PC0209P | Cajamar | | 11 | -23.33638889 | -46.84222222 | 6 |
| SAC | 164 | PC0214P | São Paulo | 88 a 252 | 95 | -23.66555556 | -46.68027778 | 6 |
| SAC | 165 | PC0224P | Águas da Prata | | | -21.94944444 | -46.71194444 | 9 |
| SAC | 166 | PC0228P | Apiáí | 25 a 180 | 3 | -24.45527778 | -48.92722222 | 11 |
| SAC | 167 | PC0234P | Biritiba-Mirim | 6 a 140 | 7 | -23.57388889 | -46.03861111 | 6 |
| SAC | 168 | PC0237P | Cajati | 68 a 118 | 9 | -24.72944444 | -48.10027778 | 11 |
| SAC | 169 | PC0238P | Capão Bonito | 35 a 60 | 1 | -24.06666667 | -48.385 | 14 |
| SAC | 170 | PC0243P | Eldorado | 28 a 81 | 3 | -24.63611111 | -48.29333333 | 11 |
| SAC | 171 | PC0248P | Itapirapuã Paulista | 40 a 118 | 1 | -24.5875 | -49.1725 | 11 |
| SAC | 172 | PC0251P | Joanópolis | 17 a 210 | 6 | -22.95944444 | -46.30277778 | 5 |
| SAC | 173 | PC0254P | Mairiporã | 26 a 154 | 3 | -23.30527778 | -46.56694444 | 6 |
| SAC | 174 | PC0257P | Miracatu | 6 a 130 | 0 | -24.00833333 | -47.15583333 | 11 |
| SAC | 175 | PC0260P | Monteiro Lobato | 30 a 250 | 30 | -22.86861111 | -45.77666667 | 2 |
| SAC | 176 | PC0262P | Nazaré Paulista | 21 a 233 | 7 | -23.24888889 | -46.38805556 | 5 |
| SAC | 177 | PC0271P | Ribeirão Branco | 96 a 135 | 4 | -24.26166667 | -48.89805556 | 14 |
| SAC | 178 | PC0274P | Salesópolis | 37 a 49 | 0 | -23.53166667 | -45.95916667 | 6 |
| SAC | 179 | PC0278P | Santo Antonio de Posse | 171 a 300 | 54 | -22.6025 | -47.00666667 | 5 |
| SAC | 180 | PC0283P | Silveiras | 12 a 140 | 1 | -22.67583333 | -44.85833333 | 2 |
| SAC | 181 | PC0290P | Pirapora do Bom Jesus | 136 a 211 | 4 | -23.40916667 | -46.77777778 | 6 |
| SAC | 182 | PC0295P | Cajamar | 24 a 215 | 5 | -23.29027778 | -46.86888889 | 6 |
| SAC | 183 | PC0298P | Amparo | 11 a 150 | 2 | -22.68083333 | -46.98083333 | 5 |
| SAC | 184 | PC0299P | São Bernardo do Campo | 34 a 240 | 3 | -23.83833333 | -46.58972222 | 6 |
| SAC | 185 | PC0300P | São Bernardo do Campo | 85 a 220 | 2 | -23.82416667 | -46.56388889 | 6 |
| SAC | 186 | PC0301P | São Bernardo do Campo | 51 a 208 | 2 | -23.785 | -46.50222222 | 6 |
| SAC | 187 | PC0318P | Guapiara | 41 a 100 | 3 | -24.25 | -48.50666667 | 14 |
| SAC | 188 | PC0319P | Registro | 22 a 28 e 34,5 a 118 | 1 | -24.40555556 | -47.74805556 | 11 |
| SAC | 189 | PC0320P | Mairinque | 17 a 21 e 33 a 150 | 2 | -23.42361111 | -47.22277778 | 10 |
| SAC | 190 | PC0321P | Monte Alegre do Sul | 10 a 107 | 5 | -22.72388889 | -46.63111111 | 5 |
| SAC | 191 | PC0322P | Campos do Jordão | 15 a 43 | 2 | -22.72444444 | -45.56861111 | 1 |
| SAC | 192 | PC0323N | São Paulo | Nascente | 0 | -23.455 | -46.63888889 | 6 |
| SAC | 193 | PC0328P | Itapira | 12 a 230 | 5 | -22.38861111 | -46.74555556 | 9 |
| SAC | 194 | PC0329P | Barra do Turvo | 20 a 150 | 6 | -24.96277778 | -48.41138889 | 11 |
| SAC | 195 | PC0341P | São Lourenço da Serra | 53 a 200 | 35 | -23.78722222 | -46.91416667 | 11 |
| SAC | 196 | PC0343P | Piquete | 20 a 150 | 16 | -22.61888889 | -45.16555556 | 2 |
| SAC | 197 | PC0344P | Igaratá | 14 a 90 | 2 | -23.15805556 | -46.22333333 | 2 |
| SAC | 198 | PC0345P | Itupeva | 35 a 220 | 12 | -23.23527778 | -47.04194444 | 5 |
| SAC | 199 | PC0349P | São Paulo | 40 a 250 | 0 | -23.87055556 | -46.76777778 | 6 |
| SAC | 200 | PC0352P | Sete Barras | 39 a 180 | 9 | -24.27777778 | -47.94888889 | 11 |
| SAC | 201 | PC0357P | Mococa | 27 a 122 | 3 | -21.31583333 | -47.02777778 | 4 |
| SAC | 202 | PC0358P | Rifaina | 35 a 150 | 5 | -20.09 | -47.42833333 | 8 |
| SASG | 203 | SG0005P | Américo Brasiliense | 23 a 120 | 0 | -21.72861111 | -48.11555556 | 9 |
| SASG | 204 | SG0015P | Boracéia | 11 a 200 | 0 | -22.19111111 | -48.78388889 | 13 |
| SASG | 205 | SG0029P | Colômbia | 10 a 150 | 2 | -20.28805556 | -48.72166667 | 12 |
| SASG | 206 | SG0033P | Dourado | 18 a 120 | 4 | -22.12138889 | -48.32388889 | 13 |
| SASG | 207 | SG0075P | Morro Agudo | 24 a 150 | 29 | -20.62416667 | -48.27527778 | 12 |
| SASG | 208 | SG0081P | Nova Luzitânia | 9 a 220 | 5 | -20.87222222 | -50.24416667 | 19 |
| SASG | 209 | SG0101P | Pitangueiras | 20 a 250 | 40 | -21.02777778 | -48.22888889 | 9 |
| SASG | 210 | SG0119P | Sales Oliveira | 30 a 70 | 15 | -20.75527778 | -47.86166667 | 4 |
| SASG | 211 | SG0156P | Salmourão | 110 a 200 | 95 | -21.60722222 | -50.86333333 | 20 |
| SASG | 212 | SG0199N | Paulínia | Nascente | 0 | -22.7525 | -47.16416667 | 5 |

Continuação ANEXO A

| | | | | | | | | |
|------|-----|---------|-------------------------|--------------------------|-----|--------------|--------------|----|
| SASG | 213 | SG0212P | Nuporanga | 16 a 100 | 23 | -20.74972222 | -47.75638889 | 12 |
| SASG | 214 | SG0213P | Nuporanga | 15 a 130 | 23 | -20.73277778 | -47.75722222 | 8 |
| SASG | 215 | SG0231P | Barretos | 27 a 70 | | -20.61388889 | -48.76527778 | 12 |
| SASG | 216 | SG0239P | Cruzália | 6 a 120 | 2 | -22.78055556 | -50.78555556 | 17 |
| SASG | 217 | SG0242P | Óleo | 9 a 150 | 7 | -22.93861111 | -49.34083333 | 17 |
| SASG | 218 | SG0244P | Espírito Santo do Turvo | 32 a 150 | 4 | -22.69388889 | -49.42777778 | 17 |
| SASG | 219 | SG0250P | Itatinga | 31 a 70 | 36 | -23.00277778 | -48.68583333 | 17 |
| SASG | 220 | SG0256P | Maracáí | 13 a 65 | 5 | -22.61111111 | -50.66305556 | 17 |
| SASG | 221 | SG0261P | Nantes | 25 a 200 | 25 | -22.61888889 | -51.23944444 | 22 |
| SASG | 222 | SG0268P | Platina | 15 a 74 | 1 | -22.63666667 | -50.2 | 17 |
| SASG | 223 | SG0273P | Riolândia | 7 a 150 | 5 | -19.9825 | -49.66638889 | 15 |
| SASG | 224 | SG0275P | Santa Albertina | 16 a 100 | 3 | -20.06611111 | -50.76388889 | 15 |
| SASG | 225 | SG0281P | Sebastianópolis do Sul | 52 a 180 | 62 | -20.65194444 | -49.91888889 | 18 |
| SASG | 226 | SG0284P | Taciba | 12 a 100 | 15 | -22.65138889 | -51.35777778 | 22 |
| SASG | 227 | SG0285P | Terra Roxa | 16 a 100 | 2 | -20.7825 | -48.32583333 | 12 |
| SASG | 228 | SG0288P | Miguelópolis | 20 a 270 | 37 | -20.18666667 | -48.02583333 | 8 |
| SASG | 229 | SG0294P | Ibirá | 16 a 122 | 0 | -21.10833333 | -49.18527778 | 16 |
| SASG | 230 | SG0302P | Monções | 70 a 203 | 67 | -20.85472222 | -50.08833333 | 19 |
| SASG | 231 | SG0303P | Auriflama | 138 a 251 | 46 | -20.70861111 | -50.54833333 | 19 |
| SASG | 232 | SG0305P | Brejo Alegre | 39 a 210 | 45 | -21.16666667 | -50.18861111 | 19 |
| SASG | 233 | SG0306P | Zacarias | 28 a 115 | 44 | -21.055 | -50.04916667 | 19 |
| SASG | 234 | SG0307P | Itapura | 17 a 83 | | -20.64166667 | -51.50805556 | 19 |
| SASG | 235 | SG0308P | Turiúba | 85 a 186 | 70 | -20.94805556 | -50.12 | 19 |
| SASG | 236 | SG0311P | Pratânia | 14 a 60 | 3 | -22.80916667 | -48.66777778 | 17 |
| SASG | 237 | SG0312P | Assis | Fraturas em 19 m e 26-28 | 2 | -22.68638889 | -50.36777778 | 17 |
| SASG | 238 | SG0313P | Ribeirão do Sul | 43 a 200 | 57 | -22.76833333 | -49.91333333 | 17 |
| SASG | 239 | SG0331P | Jaborandi | 17 a 166 | 1 | -20.67361111 | -48.4175 | 12 |
| SASG | 240 | SG0333P | Adolfo | 26 a 150 | 38 | -21.23527778 | -49.65638889 | 16 |
| SASG | 241 | SG0335P | Uru | 46 a 105 | 16 | -21.78361111 | -49.27583333 | 16 |
| SASG | 242 | SG0348P | Guaira | | | -20.32111111 | -48.30472222 | 8 |
| SASG | 243 | SG0350P | Guará | 12 a 200 | 32 | -20.50611111 | -47.83388889 | 8 |
| SASP | 244 | SP0187P | Guarulhos | 78 a 238 | 43 | -23.43055556 | -46.49166667 | 6 |
| SASP | 245 | SP0351P | Guarulhos | 125 a 235 | 141 | -23.42333333 | -46.49027778 | 6 |
| SATA | 246 | TA0021P | Caçapava | 93 a 196 | 47 | -23.13305556 | -45.70777778 | 2 |
| SATA | 247 | TA0128P | São José dos Campos | 78 a 152 | 72 | -23.23472222 | -45.89111111 | 2 |
| SATA | 248 | TA0185P | Taubaté | 24 a 116 | 18 | -23.07305556 | -45.54222222 | 2 |
| SATA | 249 | TA0189P | Guararema | 20 a 62 | 6 | -23.31611111 | -46.11083333 | 2 |
| SATA | 250 | TA0198P | Lorena | 84 a 217 | 81 | -22.75166667 | -45.12027778 | 2 |
| SATA | 251 | TA0201P | Roseira | 82 a 206 | 33 | -22.90388889 | -45.31111111 | 2 |
| SAT | 252 | TU0025P | Capela do Alto | 48 a 368 | 0 | -23.46555556 | -47.75305556 | 10 |
| SAT | 253 | TU0027P | Cesário Lange | 95 a 244 | 21 | -23.22083333 | -47.95833333 | 10 |
| SAT | 254 | TU0036P | Elias Fausto | 42 a 162 | 6 | -23.06972222 | -47.30722222 | 5 |
| SAT | 255 | TU0055P | Itapetininga | 102 a 224 | 35 | -23.8425 | -48.205 | 14 |
| SAT | 256 | TU0070P | Moji Guaçu | 15 a 150 | 39 | -22.26972222 | -46.97444444 | 9 |
| SAT | 257 | TU0071P | Mombuca | 102 a 203 | 30 | -22.92861111 | -47.57361111 | 5 |
| SAT | 258 | TU0074P | Monte Mor | 40 a 350 | 7 | -22.94861111 | -47.29638889 | 5 |
| SAT | 259 | TU0132P | São Miguel Arcanjo | 30 a 59 | 0 | -23.85416667 | -48.17833333 | 14 |
| SAT | 260 | TU0135P | Sarapuí | 47 a 294 | 0 | -23.64111111 | -47.82722222 | 10 |
| SAT | 261 | TU0143P | Tatuí | 18 a 101 | 3 | -23.31416667 | -47.78944444 | 10 |
| SAT | 262 | TU0151P | Iperó | 20 a | 47 | -23.35972222 | -47.69166667 | 10 |
| SAT | 263 | TU0153P | Limeira | 176 a 488 | 106 | -22.55138889 | -47.37194444 | 5 |
| SAT | 264 | TU0176N | Americana | 96 a 204 | 107 | -22.72222222 | -47.32055556 | 5 |
| SAT | 265 | TU0177P | Limeira | | | -22.65194444 | -47.35416667 | 5 |
| SAT | 266 | TU0230P | Barão de Antonina | 71 a 196 | 7 | -23.64888889 | -49.56472222 | 14 |
| SAT | 267 | TU0247P | Itapetininga | 18 a 203 | 4 | -23.60027778 | -48.31611111 | 14 |
| SAT | 268 | TU0249P | Itararé | | | -24.04222222 | -49.34611111 | 14 |
| SAT | 269 | TU0267P | Pirassununga | 252 a 408 | 0 | -22.00638889 | -47.44472222 | 9 |
| SAT | 270 | TU0270P | Rafard | 11 a 297 | 69 | -23.035 | -47.54 | 5 |
| SAT | 271 | TU0314P | Angatuba | 140 a 194 | | -23.56222222 | -48.38916667 | 14 |
| SAT | 272 | TU0315P | Campina do Monte Alegre | 19 a 220 | 7 | -23.55611111 | -48.48305556 | 14 |
| SAT | 273 | TU0316P | Itaberá | 34 a 160 | 24 | -23.72305556 | -49.22277778 | 14 |
| SAT | 274 | TU0317P | Itapeva | 55 a 148 | 0 | -23.71 | -48.8525 | 14 |
| SAT | 275 | TU0342P | Casa Branca | | | -21.79638889 | -47.08416667 | 4 |
| SAT | 276 | TU0347P | Porto Feliz | 80 a 390 | 54 | -23.22861111 | -47.50083333 | 10 |