



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS



Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

ESTUDO HIDROQUÍMICO COMPARATIVO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E
SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE DOIS CÓRREGOS - SP

Anita Pereira Noffs

Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto

Rio Claro (SP)

2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

ANITA PEREIRA NOFFS

ESTUDO HIDROQUÍMICO COMPARATIVO DE ÁGUAS
SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE DOIS
CÓRREGOS - SP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Rio Claro (SP)

2025

N773e

Noffs, Anita Pereira

Estudo hidroquímico comparativo de águas superficiais e
subterrâneas no município de Dois Córregos - SP / Anita Pereira
Noffs. -- Rio Claro, 2025

54 p. : fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia
Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de
Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Daniel Marcos Bonotto

1. Hidroquímica. 2. Águas subterrâneas. 3. Radônio. I. Título.

ANITA PEREIRA NOFFS

ESTUDO HIDROQUÍMICO COMPARATIVO DE ÁGUAS
SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE
DOIS CÓRREGOS - SP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto (Orientador)


Prof. Dr. Diego de Souza Sardinha

Prof. Dr. Marcelo Loureiro Garcia

Rio Claro, 24 de Novembro de 2025.



Assinatura da(o) aluna(o)



Assinatura da(o) orientadora(o)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao professor Daniel Marcos Bonotto por ter aceitado conduzir este trabalho comigo, pelas aulas de excelência ministradas na Universidade, pela paciência generosa, compreensão de todos os imprevistos que apareceram ao longo do trabalho e, acima de tudo, por ser uma grande inspiração para a pesquisa científica.

Ao Fábio Thomazini, pela paciência e por me ensinar todas as práticas do laboratório necessárias.

À minha avó, que cuidou de mim e me proporcionou memórias maravilhosas de Jaú e Dois Córregos.

Ao meu pai, que sempre foi uma inspiração dentro de casa para a pesquisa científica e o serviço público.

Ao Dani por me acompanhar em todos os momentos mais importantes ao longo da minha vida, principalmente na graduação.

Aos meus amigos que tive a oportunidade de conhecer ao longo desta jornada, em especial Maicon, Giovanna e Gabriel, que tornaram os dias em Rio Claro mais divertidos e prazerosos.

E, por fim, agradeço à Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" e a todos os professores do Departamento de engenharia Ambiental por proporcionarem um ensino superior de excelência e memórias incríveis.

RESUMO

A água doce representa apenas uma pequena fração da água disponível no planeta. A crescente demanda por água potável destaca os aquíferos subterrâneos como uma alternativa estratégica para o abastecimento, dada sua extensa capacidade de armazenamento, qualidade natural geralmente superior à das águas superficiais e custos operacionais mais baixos. Assim, a hidrogeoquímica se mostra como uma ferramenta para analisar e caracterizar os processos que controlam a composição química das águas superficiais e subterrâneas. Neste trabalho foi realizado uma análise hidroquímica comparativa entre águas superficiais e subterrâneas no município de Dois Córregos - SP, com o objetivo de identificar diferenças composicionais, influências geológicas, antrópicas e avaliar a presença de radônio dissolvido. Foram coletadas sete amostras de águas subterrâneas em poços tubulares, abrangendo os sistemas aquíferos Serra Geral (SASG) e Guarani (SAG). Os parâmetros físico-químicos foram determinados *in situ* e em laboratório, utilizando espectrofotometria, titulação e medição de radônio com o equipamento RAD7. Os resultados indicaram predominância dos cátions $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$ e dos ânions $Cl^- > NO_3^- > PO_4^{3-} > NO_2^- > SO_4^{2-}$, com águas classificadas como mista bicarbonatada, cálcica bicarbonatada e magnesiânica bicarbonatada. Verificou-se concentrações de sílica entre 18,2 e 55,5 mg/L nas amostras estudadas, compatíveis com valores encontrados na literatura para águas minerais da região sudeste. A concentração de atividade de radônio-222 dissolvido variou entre 3,19 e 22,9 Bq/L, com dois pontos excedendo o limite da EPA (11,1 Bq/L). A comparação com estudos anteriores revelou que as águas subterrâneas apresentam maior mineralização que as superficiais, refletindo maior tempo de contato rocha-água, dentre outros fatores. Conclui-se que a composição hidroquímica é influenciada pela litologia local e pelo uso do solo, com destaque para a necessidade de monitoramento contínuo do radônio devido aos riscos associados à saúde.

Palavras-chave: hidroquímica; águas subterrâneas; radônio.

ABSTRACT

Freshwater represents only a small fraction of the planet's available water. The growing demand for potable water underscores groundwater aquifers as a strategic alternative for supply, given their extensive storage capacity, generally superior natural quality compared to surface water, and lower operational costs. Therefore, hydrogeochemistry serves as a fundamental tool for analyzing and characterizing the processes that control the chemical composition of surface and groundwater. This study performed a comparative hydrochemical analysis between surface and groundwater in the city of Dois Córregos - SP, Brazil, aiming to identify compositional differences, geological and anthropogenic influences, and to evaluate the presence of dissolved radon. Seven groundwater samples were collected from tubular wells, covering the Serra Geral (SASG) and Guarani (SAG) aquifer systems. Physical-chemical parameters were determined in situ and in the laboratory using spectrophotometry, titration, and radon measurement with the RAD7 equipment. Results indicated a predominance of cations $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$ and anions $Cl^- > NO_3^- > PO_4^{3-} > NO_2^- > SO_4^{2-}$ with waters classified as mixed bicarbonate, calcium bicarbonate and magnesium bicarbonate. Silica concentrations ranged from 18.2 to 55.5 mg/L in the studied samples, agreeing with values reported in the literature for mineral waters from southeastern Brazil. The radon-222 activity concentration ranged from 3.19 to 22.9 Bq/L, with two points exceeding the EPA limit (11.1 Bq/L). Comparison with previous studies revealed that groundwater has higher mineralization than surface water, reflecting a longer water-rock interaction time, among other factors. It is concluded that the hydrochemical composition is influenced by local lithology and land use, highlighting the need for continuous radon monitoring due to associated health risks.

Keywords: hydrochemistry; groundwater; radon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – A)Localização dos municípios de Jaú, Dois Córregos e São Paulo no Estado de São Paulo;B)Município de Dois Córregos. Fonte: Autora (2025).	14
Figura 2 – Localização da Bacia do Paraná com sua divisão temporal em supersequências. Fonte: Retirado de Milani <i>et al.</i> , 2007	15
Figura 3 – Litologias presentes na área de estudo. Fonte: Autora (2025), com base em dados disponibilizados pela CPRM (2021).	16
Figura 4 – Coluna estratigráfica com destaque para as formações geológicas da área de estudo. Fonte: Adaptada de Perinotto & Zaine (2008).	17
Figura 5 – Destaque para as feições geomorfológicas presentes na área de estudo. Fonte: Acervo pessoal da autora (2025).	19
Figura 6 – Localização do município de Dois Córregos em relação às UGRHIs do Estado de São Paulo. Fonte: Autora (2025).	20
Figura 7 – Unidades hidroestratigráficas presentes no município de Dois Córregos. Fonte: SIGRH, 2009.	21
Figura 8 – Séries naturais de decaimento radioativo do urânio ($4n+2$), tório ($4n$) e actínio ($4n+3$). Fonte: Adaptado de Ku, 1976.	24
Figura 9 – Localização dos pontos de coleta.	27
Figura 10 – À esquerda, espectrofotômetro HACH DR 2700 e à direita, espectrofotômetro HACH DR/2000.	28
Figura 11 – Cubetas de vidro contendo soluções de amostras de água com reagentes após os testes colorimétricos. As diferenças de tonalidade são diretamente proporcionais às concentrações dos compostos químicos. A) Concentração de cloreto. B) Concentração de sílica. C) Concentração de Cálcio e Magnésio. D) Concentração de fosfato.	29
Figura 12 – Titulação com ácidos para determinação da alcalinidade. A) Amostra esverdeada após o uso do indicador verde de bromocresol. B) Amostra com coloração rosada após realizada a titulação com ácidos.	30
Figura 13 – A) Medição da concentração de Rn-222 utilizando o equipamento RAD7 com o acessório RAD H2O. B) Esquematização do fluxo de aeração da amostra para o equipamento. (Fonte: manual RAD7)	31
Figura 14 – Localização da seção estratigráfica AB em relação ao pontos de coleta.	33
Figura 15 – Parâmetros físico-químicos das amostras coletadas.	34
Figura 16 – Principais constituintes dissolvidos nas águas.	35
Figura 17 – Concentração de Fósforo total para as amostras coletadas.	38
Figura 18 – Diagrama de Piper das amostras de água coletadas.	39

Figura 19 – Resultados obtidos por Sardinha (2011) para os parâmetros físicos e físico-químicos das água fluviais da Bacia do Rio Jaú.	40
Figura 20 – Valores médios e média ponderada dos parâmetros analisados por Sardinha (2011).	41
Figura 21 – Concentração de atividade de radônio dissolvido nas amostras de água subterrânea coletadas	42
Figura 22 – Valores de concentração de atividade de Rn-222 da literatura. Fonte: Adaptado de Amaral (2018).	43
Figura 23 – Distribuição espacial da concentração de atividade Rn-222 em Bq/m ³ . .	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGCE	Instituto de Geociências e Ciências Exatas
LABIDRO	Laboratório de Isótopos e Hidroquímica
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SASG	Sistema Aquífero Serra Geral
SGB	Serviço Geológico do Brasil
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
UGRHI	Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo
UNESP	Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa	13
1.2	Objetivos Gerais	13
1.3	Estrutura do Trabalho	13
2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	14
2.1	Localização e aspectos socioeconômicos	14
2.2	Geologia Regional	15
2.3	Geomorfologia	18
2.4	Bacia Hidrográfica e Hidrogeologia	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1	Radônio no meio ambiente	23
3.2	Estudos Prévios realizados no município	24
3.2.1	Trabalhos de referência	25
4	MATERIAIS E MÉTODOS	26
4.1	Coleta de Dados	26
4.1.1	Coleta de amostras em campo	26
4.2	Análises químicas	27
4.2.1	Espectrofotometria	28
4.2.2	Alcalinidade	29
4.3	Concentração de atividade de Radônio nas amostras	30
4.4	Processamento dos dados e diagramas geoquímicos	31
4.5	Estratigrafia dos poços	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1	Estratigrafia dos poços	33
5.2	Parâmetros físico-químicos	34
5.3	Principais constituintes dissolvidos	35
5.3.1	Cátions	35
5.3.1.1	Dureza	36
5.3.1.2	Sódio	36
5.3.1.3	Potássio	36
5.3.2	Ânions	36
5.3.2.1	Cloreto	37
5.3.2.2	Nitrato e Nitrito	37

5.3.2.3	Fosfato	37
5.3.2.4	Sulfato	38
5.3.3	Sílica	38
5.3.4	Diagrama de Piper	38
5.4	Comparação com resultados de águas fluviais na Bacia do Rio Jaú	39
5.5	Radônio (^{222}Rn)	42
6	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	46
	ANEXOS	51
	ANEXO A – LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS PRESENTES NA ÁREA DE ESTUDO	52
	ANEXO B – SEÇÃO ESTRATIGRÁFICA AB	53
	ANEXO C – ESTRATIGRAFIA DOS POÇOS EXTRAS	54

1 INTRODUÇÃO

A maior quantidade de água presente na superfície consiste em 97,5% de água salgada armazenada em geleiras, mares e oceanos. O restante, sem considerar a água congelada dos polos, representa apenas 0,6% de água doce. Deste total, 98% está contido em aquíferos e 2% nos rios e lagos (Delleur, 1999).

Por não ser um recurso limitado a fronteiras político-geográficas, quase metade da superfície terrestre é moldada por bacias hidrográficas de rios compartilhados por mais de um país. Assim, o Brasil apresenta cerca de 82 corpos hídricos, o equivalente a 12% de água doce do mundo, divididos entre os países vizinhos, como a bacia do Amazonas e da Prata, além de sistemas de aquíferos como o Guarani (SAG) e o Grande Amazônia (SAGA). Do total de água retirada dos mananciais brasileiros, cerca de 50,5% atende os setores agrícolas do país, seguido do abastecimento urbano (23,9%) e indústrias (9,4%) (Brasil, 2012).

Diante dessa crescente demanda hídrica, as águas subterrâneas surgem como uma opção estratégica para o abastecimento urbano, devido ao seu vasto volume de armazenamento, à sua qualidade natural em relação aos corpos d'água superficiais e aos custos de implantação e operação mais baixos.

No Estado de São Paulo, mais de 5,5 milhões de habitantes são abastecidos total ou parcialmente por águas subterrâneas, o que é equivalente a aproximadamente 80% dos municípios do estado (CETESB, 2021). A qualidade dessas águas é diretamente influenciada pela geoquímica dos materiais que compõem os aquíferos e os solos, bem como pelos processos de interação água-rocha e pela ação antrópica.

Assim, a hidrogeoquímica se mostra como uma ferramenta para analisar, caracterizar e elucidar os processos que controlam a composição química das águas superficiais e subterrâneas. Esse tipo de estudo permite identificar a origem, circulação e vulnerabilidade de aquíferos, fornecendo subsídios para sua proteção e gestão integrada. Neste contexto, investigações sobre elementos traço de origem natural, como o radônio (Rn-222), tornam-se, também, ferramentas valiosas. A concentração de radônio dissolvido nas águas subterrâneas pode atuar como um traçador hidrogeológico natural, auxiliando na compreensão de fluxos, identificação de zonas de recarga, mapeamento de fraturas, além de ser um parâmetro relevante para a avaliação de risco à saúde humana.

O município de Dois Córregos, localizado no centro do estado de São Paulo, representa um caso da utilização dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos para abastecimento público e uso agrícola. Partindo de estudos geoquímicos realizados anteriormente em relação às águas superficiais, o presente trabalho propõe a realização de um

estudo hidroquímico comparativo de águas superficiais e subterrâneas no municípios.

1.1 JUSTIFICATIVA

O município de Dois Córregos possui uma população que depende em parte da exploração de água subterrânea para abastecimento doméstico e uso agrícola. No entanto, também estão presentes diversos corpos hídricos superficiais, como ribeirões e córregos, utilizados para atividades agropecuárias, irrigação e lazer.

A comparação entre as duas fontes hídricas permite compreender não apenas diferenças de qualidade, mas também processos de recarga, possíveis conexões entre aquíferos e sistemas superficiais e riscos de contaminação.

1.2 OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo hidroquímico comparativo entre as águas superficiais e subterrâneas do município de Dois Córregos - SP, visando identificar as principais diferenças em suas composições físico-químicas e relações com fatores geológicos, ambientais e antrópicos. Além disso, buscou-se investigar as concentrações de radônio dissolvido nas amostras para avaliar possíveis riscos à saúde associados à presença desse radionuclídeo na região.

Assim, os objetivos específicos concentram-se em:

- Realizar a caracterização hidroquímica de amostras de água subterrânea.
- Identificar padrões hidroquímicos.
- Verificar a influência de fatores geológicos e uso da terra sobre a qualidade da água.
- Comparar os parâmetros com os limites estabelecidos pela legislação vigente.
- Comparar os resultados com estudos realizados anteriormente na região sobre águas superficiais.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em seis capítulos: o Capítulo 1 apresenta a introdução, justificativa e objetivos; o Capítulo 2 descreve a área de estudo, abordando aspectos geográficos, geológicos e hidrogeológicos; o Capítulo 3 expõe sobre o levantamento bibliográfico e trabalhos de referência utilizados para comparação; o Capítulo 4 trata dos materiais e métodos utilizados; o Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos e a discussão; por fim, o Capítulo 6 traz as conclusões e recomendações para futuras pesquisas.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

A área de estudo localiza-se na porção norte do município de Dois Córregos, centro do Estado de São Paulo, na divisa entre os municípios de Brotas, Jaú e Dourado, a uma distância de 263 km da cidade de São Paulo e 20 km de Jaú (Figura 1). Encontra-se situada nas *cuestas* basálticas, na Bacia sedimentar do Paraná, estando a uma altitude de 673 m, na longitude 48° 22' 30" Oeste e na latitude 22° 21' 30" Sul, contida dentro da folha topográfica SF-22-Z-B-III-3, mapeada em escala 1:50.000 pelo Departamento de Geodésia e Topografia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. O acesso à cidade se dá pelas rodovias principais SP-304, SP-225 e SPA-159/225.

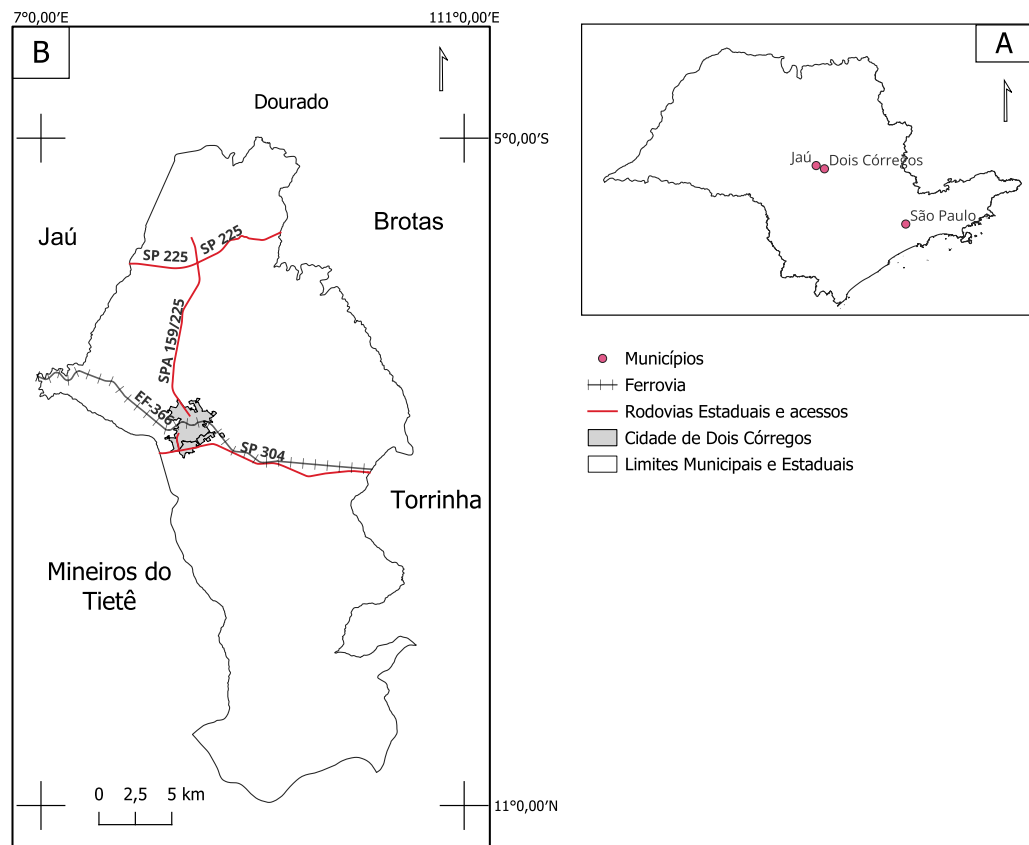


Figura 1 – A) Localização dos municípios de Jaú, Dois Córregos e São Paulo no Estado de São Paulo; B) Município de Dois Córregos. Fonte: Autora (2025).

A cidade surgiu no final da primeira metade do século XIX, às margens do Ribeirão do Peixe, como ponto de parada de tropeiros que vinham de Minas Gerais. Atualmente, possui uma população de aproximadamente 24.510 habitantes e, devido aos solos e a qualidade e disponibilidade hídrica da região, sua economia se destaca no plantio

de cana-de-açúcar, além de outras atividades agropecuárias, como o plantio de macadâmia, café, milho, cítricos (em especial a laranja), pecuária de corte, leite e mista, e a produção de açúcar e álcool (IBGE, 2022; São Paulo, 2008).

2.2 GEOLOGIA REGIONAL

A Bacia do Paraná é uma extensa bacia sedimentar intracratônica do continente sul-americano, que inclui as porções meridional do Brasil, oriental do Paraguai, noroeste do Uruguai e nordeste da Argentina (Figura 2), cobrindo cerca de 1,7 milhão de quilômetros quadrados (Schneider *et al.*, 1976). Ela compreende pacotes sedimentares-magmáticos paleozoicos a cenozoicos com mais de 7 mil metros de espessura, delimitados por limites erosivos relacionados à tectônica meso-cenozoica, que originou sua forma ovalada e irregular de direção NE-SW (Milani *et al.*, 2007).

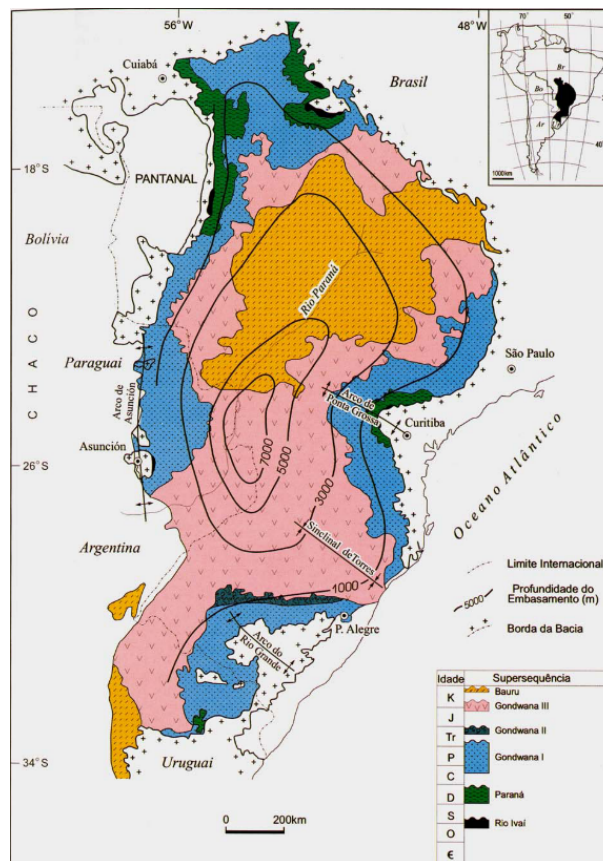


Figura 2 – Localização da Bacia do Paraná com sua divisão temporal em supersequências. Fonte: Retirado de Milani *et al.*, 2007

Milani *et al.* (1997) reconheceram, a partir de discordâncias resultantes de erosão e pausa na sedimentação, seis supersequências: Rio Ivaí (Neo-Ordoviciano-Eossiluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana 1 (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana 2 (Meso-Neotriássico), Gondwana 3 (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). As três primeiras supersequências representam sucessões sedimentares de ciclos transgressivo-regressivos resul-

tantes da mudança do nível relativo do mar, enquanto as demais representam pacotes de sedimentos continentais com rochas ígneas associadas (Milani *et al.*, 2007). Dessas, apenas as quatro últimas ocorrem no Estado de São Paulo.

A Bacia do Paraná é marcada por lineamentos estruturais orientados preferencialmente segundo as direções NW-SE, NE-SW e E-W (Zalán *et al.*, 1987). Tais lineamentos relacionam-se com a reativação de estruturas herdadas do embasamento no processo de evolução da bacia. Aqueles de direção NW-SE foram reativados durante o Eocretáceo e geraram intrusões associadas ao magmatismo Serra Geral, como diques de diabásio e outros corpos ígneos (Milani, 1997).

Grande parte das litologias presentes na área de estudo (Figura 3) está inserida na Supersequência Gondwana II, correspondendo à Formação Pirambóia, Gondwana III, que corresponde ao Grupo São Bento (Formações Botucatu e Serra Geral) e Bauru (Formação Itaquerí) (Milani *et al.*, 2007) (Figura 4).

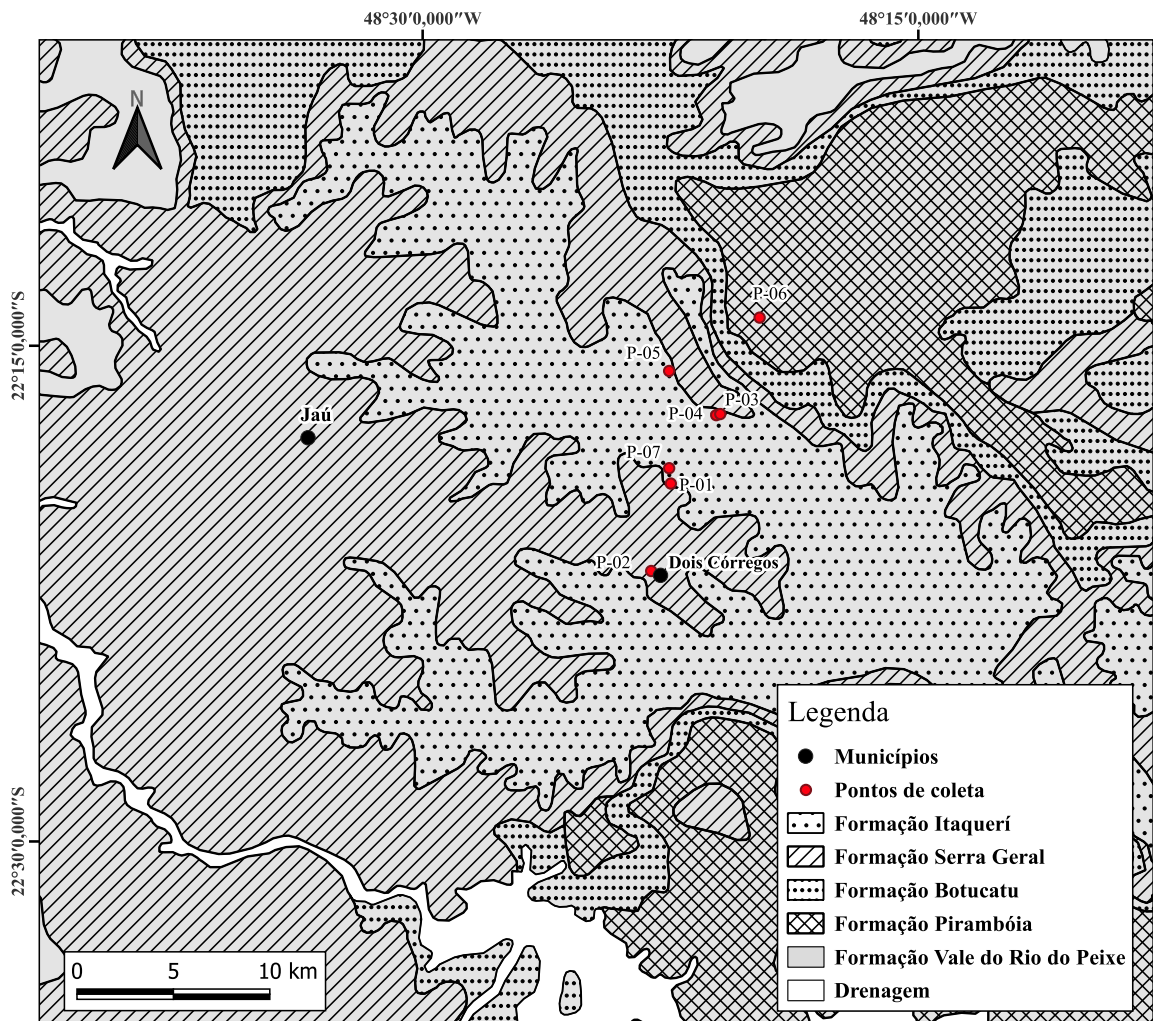


Figura 3 – Litologias presentes na área de estudo. Fonte: Autora (2025), com base em dados disponibilizados pela CPRM (2021).

ERA	PERÍODOS	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA	Espes. Aprox. (metros)	DESCRIÇÃO SUCINTA	AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO
CENOZOICA	QUATERNÁRIO		RIO CLARO		30	ARENITOS POUCO CONSOLIDADOS COM LENTES DE ARGILAS E NÍVEIS CONGLOMERÁTICOS NA BASE	CONTINENTAL: PLANÍCIE ALUVIAL E LACUSTRE. COLUVIÕES
	TERCIÁRIO		ITAQUERI		100	ARENITOS CONGLOMERÁTICOS E ARENITOS SILICIFICADOS / FERRICRETES	CONTINENTAL: LEQUES ALUVIAIS FLUVIAL E LACUSTRE
MESOZOICA	CRETÁCEO	SÃO BENTO	SERRA GERAL		100	DERRAMES DE BASALTOS COM LENTES DE ARENITO NA BASE. DIQUES E SOLEIRAS DE DIABÁSIO	MAGMATISMO FISSURAL
	JURÁSSICO		BOTUCATU		100	ARENITOS BEM SELECIONADOS COM GRÃOS BEM ARREDONDADOS E BEM ESFÉRICOS, POUCA ARGILA	CONTINENTAL: DESÉRTICO
	TRIÁSSICO		PIRAMBÓIA		150	ARENITOS COM GRÃOS ARREDONDADOS E ESFÉRICOS. DIVERSOS NÍVEIS DE LAMITOS	CONTINENTAL: FLUVIAL E DESÉRTICO
							<i>Aqüífero Guarani</i>
PALEOZOICA	PERMIANO	PASSA DOIS	CORUMBATAI		100	SILTITOS CONTENDO LENTES DE ARENITOS FINOS ARGILITOS, SILTITOS, ARENITOS FINOS, NÍVEIS DE CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS E COQUINAS <i>(Argilitos = matéria-prima para a indústria cerâmica da região de Rio Claro)</i>	CONTINENTAL: LACUSTRE TRANSICIONAL: PLANÍCIE DE MARE
			IRATI		40	FOLHELHOS, SILTITOS, FOLHELHOS PIROBETUMINOSOS, CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS	TRANSICIONAL: LAGUNA MARINHO RASO: PLATAFORMA
			TATUI		50	SILTITOS E SILTITOS ARENOSOS	TRANSICIONAL: PLANÍCIE COSTEIRA MARINHO RASO: PLATAFORMA
		ITARARÉ	Grupo ITARARÉ (dividido no Estado de São Paulo)		900	ARENITOS, SILTITOS, VARVITOS E DIAMICTITOS (ALGUNS VERDADEIROS TILITOS)	CONTINENTAL (GLACIAL): ALUVIAL - LEQUES E FLUVIAL; LACUSTRE TRANSICIONAL: DELTAS MARINHO (GLÁCIO-MARINHO): PLATAFORMAL
	CARBONIFERO		EMBASAMENTO			GRANITOS, MIGMATITOS, GNAISSES, XISTOS, QUARTZITOS	
Pré-Cambriano							

Figura 4 – Coluna estratigráfica com destaque para as formações geológicas da área de estudo. Fonte: Adaptada de Perinotto & Zaine (2008).

A Formação Pirambóia, de idade triássica, possui maior ocorrência no Centro-Leste da bacia no Estado de São Paulo e ocorre com espessuras de até 270 metros na região de São Pedro (Caetano-Chang *et al.*, 2003). Sua litologia é composta por arenitos médios a muitos finos, esbranquiçados, amarelados, avermelhados, marcados por estratificações cruzadas acanaladas de grande porte, planares, e também plano-paralelas, além de intercalações de camadas argilosas e siltosas laminadas. Tais litologias refletem um contexto de ambiente desértico, com dunas eólicas, interdunas e lençóis de areia com depósitos fluviais (Assine & Soares, 1995).

Acima encontra-se a Formação Botucatu, datada do Eojurássico, cujo contato com a Formação Pirambóia é marcado por uma discordância regional e atinge cerca de 150 metros no estado de São Paulo. É constituída em quase sua totalidade por arenitos médios a finos, grãos com alto grau de esfericidade, fosco, róseos, estratificações cruzadas acanaladas de médio a grande porte, possibilitando um reconhecimento do Deserto Botucatu devido à sua característica faciológica, que se manteve até o início das manifestações vulcânicas (Soares, 1973; Milani *et al.*, 2007). O contato superior com a Formação Serra Geral ocorre de maneira concordante junto com a ocorrência de camadas de sedimentos lacustres, na forma de ritmitos arrançados em estruturas plano-paralelas, presentes no topo da Formação interdigitadas com o primeiro derrame basáltico da Formação Serra Geral (Almeida & Melo, 1981; Milani *et al.*, 2007).

O vulcanismo da Formação Serra Geral tem idade mesozóica, resultado do Evento Serra Geral, responsável por um intenso magmatismo fissural caracterizado por derrames e intrusões de natureza básica, dando origem a basaltos e diabásios. Os derrames possuem cerca de 1500 metros de espessura no depocentro da bacia, relacionado com uma extensa rede de diques e soleiras intrudidas na camada sedimentar. As fraturas de resfriamento do basalto que predominam próximas ao topo e à base dos derrames são horizontais, enquanto que na porção central são majoritariamente verticais (Lastoria, 2002; Peate *et al.*, 1992; Reis, 2013). Na área de estudo, as rochas constituem-se de derrames basálticos toleíticos, com espessura variável de até 50 metros e extensão que pode ultrapassar 10 quilômetros, de coloração cinza escura a preta, geralmente afaníticas. As fraturas dos derrames mais espessos da zona central apresentam disjunção colunar (FEHIDROIPT, 2006).

Por fim, recobrando as unidades anteriores, encontra-se a Formação Itaqueri, com idade paleocênica-eocênica, integrante do Grupo Bauru e por vezes dita como Pós Bauru. Consiste em depósitos rudáceos de leques aluviais formados por camadas alternadas de arenitos, folhelhos, cimento argiloso e conglomerados, de no máximo 125 metros de espessura na área de estudo, com estratificações plano-paralelas ou cruzadas nos arenitos. Os arenitos podem ser argilosos e eventualmente silicificados. Tais estruturas indicam ambiente de deposição fluvial de alta energia. Possui contato basal discordante do tipo não-conformidade com a Formação Serra Geral (Riccomini, 1997; FEHIDROIPT, 2006).

2.3 GEOMORFOLOGIA

O relevo paulista é subdividido geomorfologicamente em Província Costeira, Planalto Atlântico, Depressão Periférica, *Cuestas* Basálticas e Planalto Ocidental (Almeida, 1964). O município de Dois Córregos está inserido na província geomorfológica das *cuestas* basálticas. Este sistema de *cuestas* caracteriza-se por um alinhamento de escarpas com cortes íngremes no front, segundo Almeida (1964), com a existência de relevo fortemente festonado, com morros testemunhos e mesas basálticas e, ao pé, a extensão de vales suaves e amplos. Já em seu reverso, devido ao declive suave, há o predomínio de colinas médias (Troppmair, 2000).

Na área de estudo, esta província é fonte de abrigo para relevos esculpidos pelas drenagens e erosão, formados por colinas médias que abrangem topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos; sistemas de morrotes alongados e espigões, em que predominam topos angulosos a achatados, vertentes ravinadas com presença de perfis retilíneos; e campos arenosos, suavemente convexos, correspondentes às camadas da formação Itaqueri que recobrem os basaltos (FEHIDRO-IPT, 2006) (Figura 5).



Figura 5 – Destaque para as feições geomorfológicas presentes na área de estudo. Fonte: Acervo pessoal da autora (2025).

2.4 BACIA HIDROGRÁFICA E HIDROGEOLOGIA

O Estado de São Paulo é dividido em 22 Comitês de Bacias Hidrográficas, que constituem as unidades de gestão dos recursos hídricos (UGRHI). O município de Dois Córregos participa de três Unidades Hidrográficas, sendo 58,8% do território inserido na UGRHI 13 – Tietê-Jacaré (sede), 41,15% inseridos na UGRHI 5 - Piracicaba – Capivari -Jundiaí e o restante na UGRHI 10 – Tietê – Sorocaba (Figura 6) (SGHRI,2008).

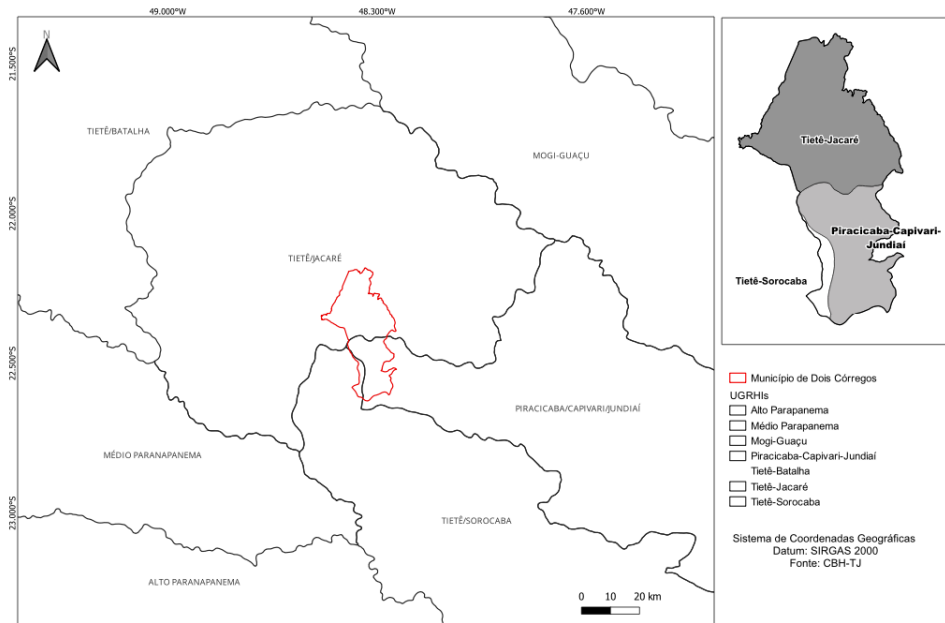


Figura 6 – Localização do município de Dois Córregos em relação às UGRHs do Estado de São Paulo. Fonte: Autora (2025).

A área de estudos abrange duas das seis sub-bacias da UGHRI 13, sendo elas a Sub-bacia do Rio Jaú e a Sub-Bacia do Alto jacaré-Pepira, e mostra como principais drenagens o Rio Jaú, Rio do Peixe, Ribeirão do Bugio e os córregos Fundo e Lajeado. A distribuição média anual de chuvas acompanha o comportamento das vazões das Sub-bacias, com o período de concentração de chuva no verão e escassez no inverno, com precipitações de aproximadamente 150 mm e 50 mm e vazões médias mensais equivalentes a 10,52 m³/s e 3,99 m³/s, respectivamente (SIGRH, 2008).

Segundo o Atlas dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Estado de São Paulo (CPRM, 2005), o arcabouço geológico, descrito na seção 2.2, responsável por sustentar a bacia hidrográfica da área de estudos, origina duas unidades hidroestratigráficas que são utilizadas para abastecer o município: o Sistema Aquífero Guarani (SAG) e o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) (Figura 7).

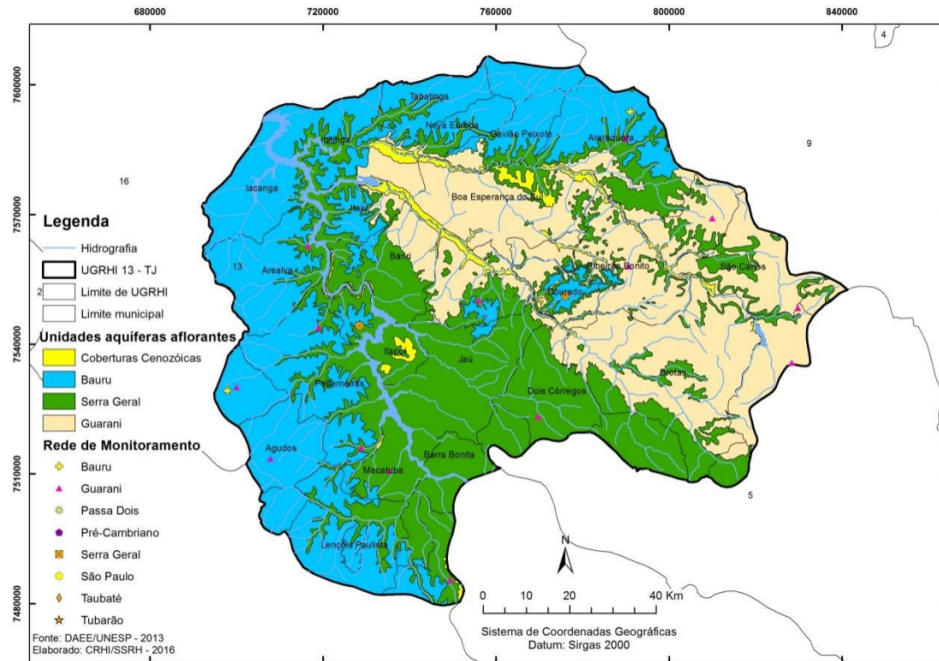


Figura 7 – Unidades hidroestratigráficas presentes no município de Dois Córregos. Fonte: SIGRH, 2009.

O SAG é um sistema aquífero de caráter regionalmente livre a predominantemente confinado que se estende por aproximadamente 839.800 km², abrangendo quase toda a Bacia Sedimentar do Paraná, que possui como rochas reservatório os arenitos eólicos da Formação Botucatu, de granulação média a fina, e os arenitos de granulação média a fina, que constituem a Formação Pirambóia. Ocorre em 76% do território do estado de São Paulo, estando sua área de afloramento inserida na margem oeste da Depressão Periférica, com cerca de 16.000 km², e na direção do interior da bacia coberta pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral e os arenitos do Grupo Bauru (DAEE *et al.*, 2005; LEBAC, 2004).

A sua zona de recarga ocorre principalmente na área de afloramento, atravessada principalmente pelos rios Tietê e Paranapanema, e, em menor contribuição, pelas zonas de fissuras dos basaltos. Exibe águas pouco mineralizadas na porção aflorante, provenientes da infiltração de águas meteóricas, e as concentrações de sais aumentam no sentido do fluxo geral das águas subterrâneas em direção ao oeste da Bacia no sentido do mergulho regional das camadas e sua espessura varia de aproximadamente 100 m na área aflorante, podendo atingir profundidades de até 1500 m nas áreas centrais da Bacia (CETESB, 2015).

O SASG é uma unidade hidrogeológica formada a partir dos derrames basálticos, ocorre nas cuestas basálticas e encontra-se em sua maior porção recoberto pelas rochas pertencentes ao Grupo Bauru. As suas características hidráulicas são determinadas pelas descontinuidades e a recarga ocorre pela precipitação de águas meteóricas sobre os solos basálticos que atingem as zonas de alteração e fissuras das rochas. Sua potencialidade

resume-se à densidade de fraturamento, grau de alteração dos horizontes vesiculares, alimentação e interrelação com outros aquíferos (DAEE *et al.*, 2005).

O uso das águas no município atende diferentes setores. Dois Córregos utiliza em sua maioria as águas provenientes das drenagens superficiais para atender as demandas de abastecimento público, uso agrícola e industrial. No entanto, cerca de 37% de sua demanda é suprida pelos poços tubulares, principalmente para irrigação (Sardinha, 2011). As áreas de captação abrangem os dois sistemas de aquífero presentes no município.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O levantamento bibliográfico realizado permitiu a obtenção de informações acerca dos poços tubulares existentes, métodos de análise das amostras, geologia e hidrogeologia regional, características geoquímicas de campanhas anteriores realizadas por órgãos públicos, caracterização socioeconômica local e padrões de qualidade e potabilidade nacionais e internacionais para águas subterrâneas. Além disso, foram compiladas informações em relação ao comportamento do gás radônio no ambiente, suas origens a partir de decaimentos radioativos de outros compostos químicos e seus isótopos radiogênicos, presença em águas subterrâneas e padrões de concentração nacionais e internacionais.

Os dados de localização, quantidade, características geoquímicas prévias, perfis construtivos e geológicos dos poços de interesse na área de estudo foram obtidos através de bancos de dados disponibilizados pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), que está inserido no Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) e pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), a partir de seus relatórios anuais de Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo.

Ademais, dados físico-químicos/hidroquímicos conduzidos por Sardinha (2011) em relação às águas superficiais da Sub-bacia do Rio Jaú foram utilizados para realizar uma comparação com os resultados obtidos neste trabalho, e seus estudos realizados na região serão discutidos nos tópicos 3.2 e 3.2.1.

3.1 RADÔNIO NO MEIO AMBIENTE

O radônio (Rn) é um gás nobre, naturalmente produzido a partir do decaimento radioativo de progenitores presentes nas séries de decaimento do urânio (U-238 e U-235) e do tório (Th-232), sendo seu predecessor imediato o rádio (Figura 8). Este processo origina os isótopos naturais Rn-222, Rn-220 e Rn-219, com meias-vidas de 3,8 dias, 54,5 segundos e 3,92 segundos, respectivamente.

Dentre os isótopos produzidos, o Rn-222 destaca-se no contexto de estudos hidrogeoquímicos devido à sua meia-vida mais longa em comparação com seus "irmãos". Devido ao seu caráter gasoso, inerte e às suas características de formação (genéticas), o radônio se encontra em uma posição cristalográfica favorável à sua remoção, o que lhe permite migrar por difusão ou arraste entre os poros e fraturas de rochas em que seu progenitor, o rádio (Ra-226), esteve presente e escapar facilmente para as águas subterrâneas e superficiais (Tanner, 1964 *apud* Bonotto, 2004).

A sua concentração em águas subterrâneas depende de fatores físicos como

temperatura e pressão, além das características estruturais e hidrogeológicas do aquífero em que se encontra, sendo que a sua solubilidade está atrelada com a temperatura do meio, conforme o diagrama de Otswald, em que é possível analisar a diminuição da solubilidade com o decaimento da temperatura das águas.

A sua detecção depende das propriedades radioativas que possui, tanto por seu decaimento com emissão de partículas alfa de energia bem definida quanto pelo seus produtos de decaimento de curta meia vida. A sua inalação pode ocasionar lesões pulmonares devido a desintegração para partículas sólidas no interior dos pulmões e, também, podendo estar associado ao risco de câncer de estômago, a partir da ingestão de água (WHO, 2023).

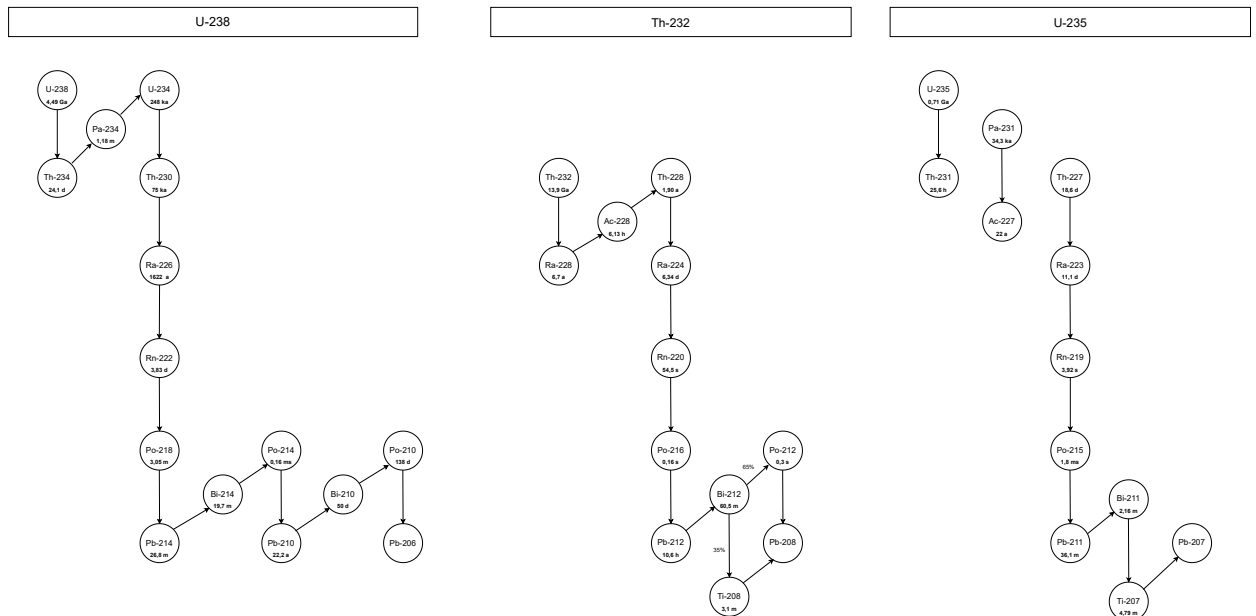


Figura 8 – Séries naturais de decaimento radioativo do urânio ($4n+2$), tório ($4n$) e actínio ($4n+3$). Fonte: Adaptado de Ku, 1976.

3.2 ESTUDOS PRÉVIOS REALIZADOS NO MUNICÍPIO

O município de Dois Córregos, integrante da UGRHI 13, 10 e 05, já foi objeto de estudo de autores como Sardinha (2011, 2012, 2013), Batista & Gastmans (2015), Costa (2005), entre outros, que tinham como objetivo compreender e determinar a hidrogeoquímica, denudação química, composição química de águas superficiais e pluviométricas e realizar modelos numéricos para simulação de qualidade de águas urbanas para as sub-bacias do Rio Jaú e Alto Jacaré-Pepira. Dentre as contribuições mais importantes para o presente estudo, destacam-se a dissertação realizada por Sardinha (2011), sobre as taxas de intemperismo e suas implicações no uso e evolução dos solos, e o artigo publicado pelo mesmo em 2012, que realizou um estudo em relação à taxa de denudação química e suas implicações na composição das águas superficiais da sub-bacia do Rio Jaú. Desse

modo, a abordagem integrada do autor sobre a geoquímica superficial e sua relação com a modelagem do relevo, erosão e evolução da paisagem torna-se relevante para o presente estudo que busca uma relação comparativa entre a composição de águas superficiais e subterrâneas na região de Dois Córregos.

3.2.1 Trabalhos de referência

Conforme mencionado na seção anterior (3.2), a contribuição feita por Sardinha (2011) em relação à composição química das águas superficiais e à influência dos substratos geomorfológicos/geológicos na qualidade e quantidade do material dissolvido removido pelas drenagens da sub-bacia, além de seus agentes definidores, será utilizada ao longo deste estudo como norteador e objeto de comparação.

Em sua tese de 2011 - *Avaliação da taxa de intemperismo químico na Bacia do Rio Jaú (SP)* - utilizou-se as concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ e SiO_2 , para avaliar a taxa de intemperismo químico das rochas presentes na região (Formações Itaquerí e Serra Geral), a partir da amostragem de 6 pontos de coleta, entre os meses de agosto de 2009 e janeiro de 2010, buscando abranger os períodos secos e chuvosos na região. Os resultados obtidos para as análises químicas e mineralógicas revelam que os óxidos de sódio, cálcio, magnésio, potássio e manganês são os primeiros elementos a serem mobilizados pelo intemperismo.

As análises físicas e físico-químicas para as águas superficiais revelam águas geralmente neutras, com tendência para os principais cátions $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$ e para o ânions de $NO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^- > PO_4^{3-}$, estando as maiores concentrações destes íons presentes no período chuvoso, quando há maior arraste e dissolução destes compostos para o corpo hídrico.

O balanço geoquímico realizado para as águas superficiais da bacia revelaram uma considerável contribuição antropogênica para as concentrações de cátions e ânions, decorrente do uso de corretivos químicos para os solos das atividades agrícolas, queima de combustíveis fósseis e de biomassa.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 COLETA DE DADOS

4.1.1 Coleta de amostras em campo

Foram identificados um total de 22 poços tubulares, cadastrados pelo DAEE e disponibilizados pelo SIAGAS-CPRM, espalhados pelo município de Dois Córregos, sendo que somente 18 possuíam informações hidrogeológicas e construtivas.

A campanha de coleta foi realizada em outubro de 2024 e foram coletadas 7 amostras, sendo 4 cadastradas pelo SIAGAS e outras 3 encontradas em campo, conforme pode ser visto pelo mapa na figura 9. No local, foram medidos os parâmetros de temperatura e oxigênio dissolvido, já que estes se modificam durante o transporte das amostras até o laboratório. A determinação destas medidas foi realizada utilizando o medidor portátil de oxigênio dissolvido da marca HANNA HI-9146, calibrado em solução-padrão redutora com excesso de sulfito de sódio e utilizando cloreto de cobalto como catalisador, disponibilizado pelo LABIDRO - Laboratório de Isótopos e Hidroquímica do Departamento de Geologia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da Unesp campus de Rio Claro, e os resultados serão discutidos no tópico 5.2.

As amostras foram armazenadas em recipientes de polietileno com capacidade de 1,5 litros, etiquetados e transportados para realizar as demais análises em laboratório. Juntamente, foram coletadas em garrafas de vidro de 250 mililitros para quantificar a concentração de atividade de Rn-222. Os recipientes foram lavados previamente com água destilada e, posterior à coleta, refrigerados a uma temperatura de 4°C nas dependências do LABIDRO, para realização das análises dos compostos químicos presentes/dissolvidos. As descrições das etapas laboratoriais e procedimentos serão discutidos nos tópicos a seguir.



Figura 9 – Localização dos pontos de coleta.

4.2 ANÁLISES QUÍMICAS

A determinação da concentração química para os elementos Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} e sílica (SiO_2) das amostras de água foi realizada no LABIDRO utilizando o espectrofotômetro de bancada HACH DR-2700. Foram utilizados os métodos e reagentes da *Hach Company*, seguindo os procedimentos padrão: para cálcio e magnésio, o método colorimétrico da calmagita (0,0 a 4,00 mg/L; precisão: $Ca^{2+} \pm 0,09$ mg/L, $Mg^{2+} \pm 0,08$ mg/L como $CaCO_3$); para nitrato, o método de redução por cádmio com o reagente Nitriver®5 (0,1 a 10,0 mg/L); para o nitrito, o método Nitriver®3 (0,002 a 0,300 mg/L); para fosfato, o método do ácido ascórbico (0 a 2,5 mg/L $\pm 0,05$ mg/L); para potássio, o método de tetrafenilborato (0,1 a 7,0 mg/L); para o cloreto, o método de Tiocianato de Mercúrio (0,1 a 25 mg/L); e para sulfato, o método Sulfaver®4 (0 a 70 mg/L $\pm 0,5$ mg/L) (Hach, 2013).

Para amostras com resultados acima da faixa de concentração do método, empregou-se a técnica de diluição conforme orientação do fabricante. A sílica (SiO) foi determinada pelo método do silício molibdato (1,0 a 100 mg/L) (Hach, 2013). Para a medição da turbidez, foi utilizado o modelo HACH DR/2000.



Figura 10 – À esquerda, espectrofotômetro HACH DR 2700 e à direita, espectrofotômetro HACH DR/2000.

4.2.1 Espectrofotometria

O método de determinação por espectrofotometria para testes colorimétricos na faixa do visível consiste em um equipamento que emite uma luz de mono-feixe a partir de uma lâmpada de tungstênio ou halogênio, que atinge o elemento de dispersão, separando a luz em seus diferentes comprimentos de onda. O comprimento de onda selecionado atinge, então, a amostra, e um sensor detecta a taxa de transmitância e absorbância, devolvendo para o *display* a concentração do composto químico de interesse presente na solução. Os testes possuem calibrações pré-programadas que seguem as seguintes etapas: seleção no *display* do composto de interesse, zeragem do equipamento, preparação da amostra com reagentes e leitura. Para orientação, foi utilizado o manual HACH - *Water Analysis Handbook*.

A preparação das amostras para posterior leitura no equipamento consiste, primeiramente, na adição de reagentes em pó — contidos em sachês pré-medidos — a amostras de 10 mL em cubetas de vidro pré-lavadas com água destilada, seguida de um tempo de descanso. Paralelamente, prepara-se uma cubeta de 10 mL contendo apenas a amostra de água coletada, para a leitura inicial do equipamento e para zerar as medidas de referência (chamada de "branco" ou "blank"). Em seguida, a amostra com o reagente é inserida para leitura do composto químico de interesse e seu resultado exibido no *display*.

Desse modo, a tonalidade da amostra após a realização do teste colorimétrico é diretamente proporcional à concentração do composto químico que foi selecionado para leitura (Figura 11)

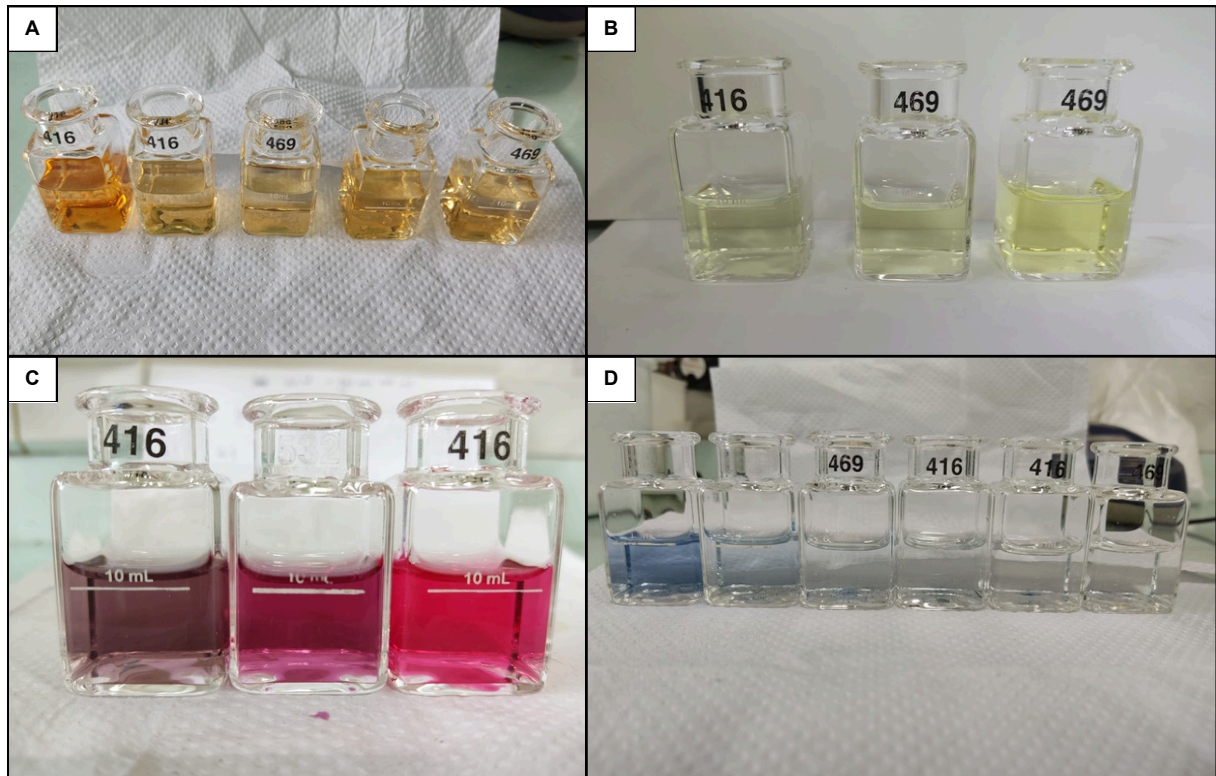


Figura 11 – Cubetas de vidro contendo soluções de amostras de água com reagentes após os testes colorimétricos. As diferenças de tonalidade são diretamente proporcionais às concentrações dos compostos químicos. A) Concentração de cloreto. B) Concentração de sílica. C) Concentração de Cálcio e Magnésio. D) Concentração de fosfato.

4.2.2 Alcalinidade

A alcalinidade das águas minerais é decorrente da presença principalmente de íons carbonato e bicarbonato e, subordinadamente, de hidróxidos, silicatos, fosfatos, boratos e amônio (Siqueira, 2016), que conferem a capacidade de resistir a mudanças de pH.

A determinação da alcalinidade total das amostras foi feita pelo método de titulação com ácido sulfúrico 0,02 N, com concentração entre 1 e $500 \pm 0,2$ mg/L, utilizando os indicadores verde de bromocresol e fenolftaleína para titular apenas o íon carbonato, ambos da marca HACH. A titulação é um procedimento que determina um volume de uma solução padrão necessário para reagir com uma solução cuja concentração se deseja determinar. Desse modo, foram preparadas amostras de 50 ml de água e adicionado o indicador verde de bromocresol, para quantificação da alcalinidade total, deixando a amostra inicialmente com coloração esverdeada (Figura 12A) e, após a adição do ácido, passando para o rosa (Figura 12B). E, em seguida, para quantificação dos íons carbonato, foi adicionada fenolftaleína até que a cor passasse para o rosa. Isso ocorre quando o pH assume valores acima de 8,3 e abaixo disso fica incolor.

Em todas as amostras, a alcalinidade a fenolftaleína foi nula, indicando a ausência de íons hidróxidos (OH^-) e carbonato (CO_3^{2-}). Dessa forma, a alcalinidade total é atribuída exclusivamente aos íons bicarbonato (HCO_3^-). Seu valor foi calculado multiplicando-se o volume de titulante gasto (em mL) pelo fator 20, resultando na concentração expressa em mg/L de $CaCO_3$.

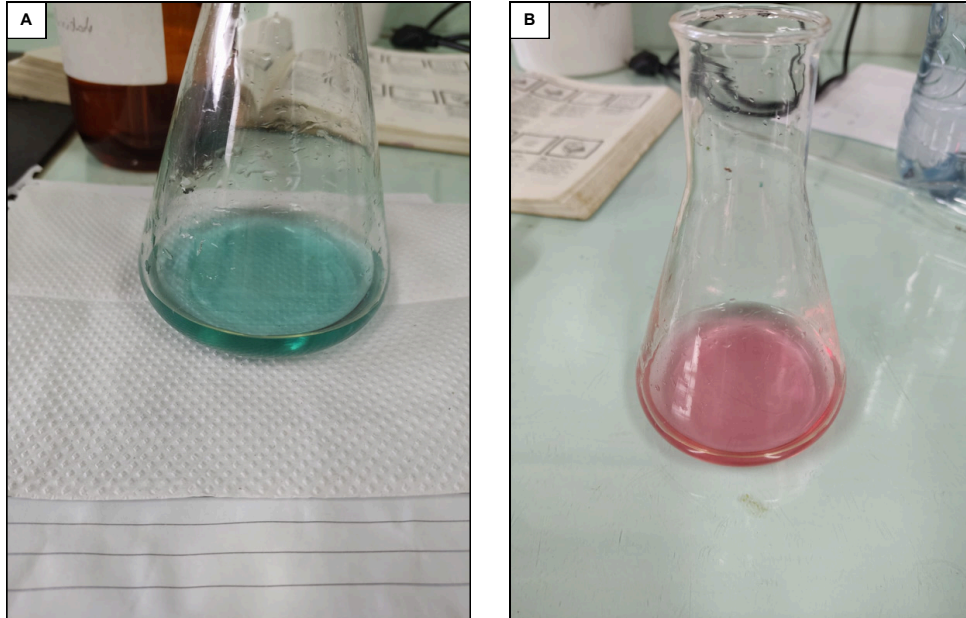


Figura 12 – Titulação com ácidos para determinação da alcalinidade. A) Amostra esverdeada após o uso do indicador verde de bromocresol. B) Amostra com coloração rosada após realizada a titulação com ácidos.

4.3 CONCENTRAÇÃO DE ATIVIDADE DE RADÔNIO NAS AMOSTRAS

Para a determinação do gás radônio, foi utilizado o equipamento *Radon Detector* RAD7 com o acessório RAD H_2O , que permite analisar a sua concentração em água em uma faixa de 10 pCi/L a 400.000 pCi/L. O equipamento consiste em um sistema fechado de aeração em que o ar é bombeado da amostra para o equipamento, passando por um filtro para reter a umidade, de modo que a concentração do gás possa ser mensurada corretamente (Figura 13).

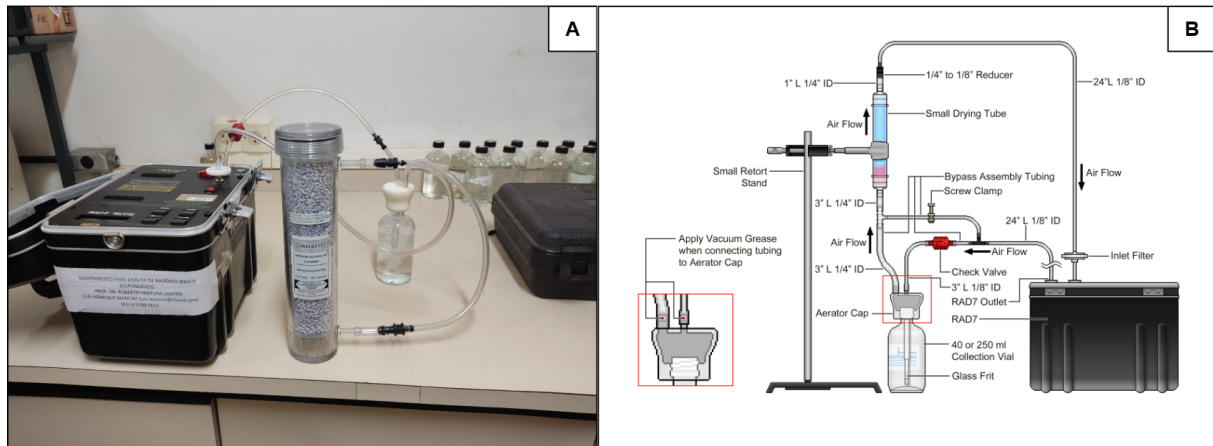


Figura 13 – A) Medição da concentração de Rn-222 utilizando o equipamento RAD7 com o acessório RAD H2O. B) Esquematização do fluxo de aeração da amostra para o equipamento. (Fonte: manual RAD7)

4.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS E DIAGRAMAS GEOQUÍMICOS

Os dados geoquímicos das amostras coletadas foram tabelados através do software Microsoft Excel e, como resultado, foi plotado o diagrama de Piper, para classificação das águas através do software QualiGraft, desenvolvido em 2001 como ferramenta de uso interno no Departamento de Recursos Hídricos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME.

Para os mapas regionais, foram utilizados o software ArcGIS, em conjunto com as bases do Google Earth Pro, e os dados disponibilizados pelo IBGE e CPRM.

4.5 ESTRATIGRAFIA DOS POÇOS

Dos 18 poços tubulares em atividade no município de Dois Córregos, apenas 9 foram utilizados para extrair dados litológicos e construtivos através do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS, com o objetivo de confeccionar uma seção estratigráfica dos poços tubulares de interesse para o presente estudo, para permitir uma maior compreensão das características hidrogeológicas da área.

Os dados dispostos pelo banco de dados do SIAGAS são referentes às informações adquiridas no momento da perfuração dos poços, que não seguem uma metodologia padronizada. Assim, além de não ser possível ter acesso aos testemunhos para cruzar com as informações cadastradas no sistema, nem sempre os dados sobre os parâmetros hidrogeológicos estão atualizados e detalhados. Por conta disso, foram selecionados apenas os que possuíam informações consistentes como: localização geográfica, litologia, profundidade, tipo de uso, nível estático e dinâmico.

Para a elaboração da seção estratigráfica, os poços foram espacializados no Datum WGS-84, utilizando os softwares Qgis e CorelDRAW Graphics Suite 2025 (versão

26.2), em complemento com o plugin Profile Tool para determinar o perfil de elevação da região, sobrepondo as litologias e a localização dos poços. A estratigrafia de cada poço presente no município pode ser consultada no anexo C.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos para as medições dos parâmetros físico-químicos medidos em campo, as concentrações de ions maiores obtidas em laboratório e para a análise radiométrica de Rn-222 dissolvido nas águas subterrâneas estudadas, além da seção estratigráfica da região.

5.1 ESTRATIGRAFIA DOS POÇOS

A figura presente no anexo B apresenta a seção estratigráfica AB do pacote geológico presente na área de estudo, composta a partir dos dados construtivos e litológicos disponíveis no banco de dados do SIAGAS (Figura 14).

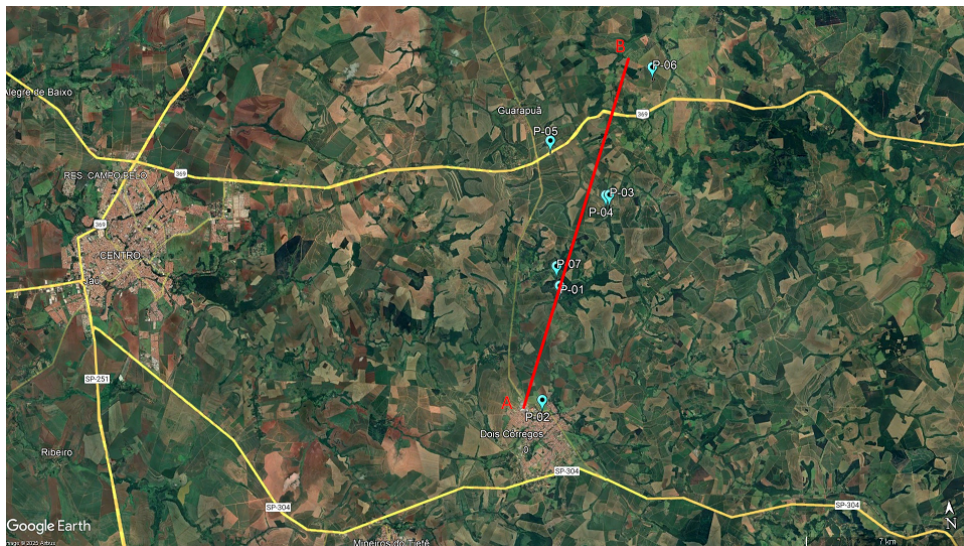


Figura 14 – Localização da seção estratigráfica AB em relação ao pontos de coleta.

A seção apresenta os poços E-01 ao E-14, correspondentes às informações utilizadas para complementar o perfil, e os poços P-01 ao P-07, correspondem aos pontos de coleta realizados. A integração destes dados com o estudo realizado por Sardinha (2011) possibilitou determinar as estruturas geológicas presentes na área de estudo, bem como inferir possíveis falhas entre as Formações Serra Geral e Botucatu na porção que corresponde ao sopé das *cuestas* basálticas. Com base nas descrições geológicas e construtivas, observa-se que os poços P-01 ao P-07 possuem profundidades entre 50 e 346 metros, sendo este último presente na formação serra geral.

As descrições individuais de cada grupo de poços apresentam a Formação Itaquerí constituída principalmente por arenitos finos a médios, de coloração amarelo-alaranjado, com grãos subangulares e mal selecionados. A Formação Serra Geral mostra-se

composta por diabásios e basaltos, com a área de captação ao pé da *cuesta* formada por camadas alternadas de arenito fino a médio. Já as Formações Botucatu e Pirambóia apresentam-se como arenitos finos a muito finos, com coloração avermelhada e bem a parcialmente selecionados.

Todos os poços de coleta apresentam como principal aquífero o Serra Geral, com exceção do P-06, que possui área de captação no afloramento do aquífero Guarani.

5.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Os parâmetros físico-químicos medidos durante a coleta das amostras, além dos valores para turbidez e condutividade elétrica, são apresentados na figura 15. Estas variáveis estão relacionadas com a composição das águas subterrâneas e nos processos geoquímicos presentes na área de estudo.

Amostra	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	Condutividade Elétrica (µS/cm)	pH	Alcalinidade (mg/L de CaCO ₃)	Turbidez
P-01	25,9	3,57	220	6,21	110	1
P-02	28,8	6,78	67,7	6,13	38	6
P-03	27,6	7,25	144,2	6,2	64	2
P-04	27,1	6,17	63,5	5,44	6	3
P-05	16,3	5,8	25,8	5,8	12	1
P-06	29,4	5,54	90	6,5	98	3
P-07	28,7	8,4	100	6,45	104	10
Média	26,25	6,21	101,6	6,1	61,71	3,71

OD = Oxigênio Dissolvido

Figura 15 – Parâmetros físico-químicos das amostras coletadas.

A temperatura das águas minerais impacta na dissolução dos compostos químicos maiores. Geralmente, águas mais frias diminuem a solubilidade, enquanto que as mais quentes aumentam. As águas subterrâneas da área de estudo possuem uma média de temperatura de 25,8°C. De acordo com o Decreto-Lei nº 7.841 (Capítulo VIII, Art. 36), que estabelece as normas para a exploração, classificação e comercialização de águas minerais e potáveis de mesa no Brasil, é possível classificar a amostra P-05 como fria e o restante como hipotermiais (Brasil, 1945).

Os valores de condutividade elétrica para as amostras analisadas encontram-se com valores entre 25,8 e 220 µS/cm. Este parâmetro determina a capacidade de uma água conduzir corrente de acordo com a disponibilidade iônica em solução e a temperatura do meio. Assim, quanto maior a disponibilidade de cátions e ânions em solução, maior será a capacidade de conduzir corrente elétrica (HERMES & SILVA, 2004). Apenas as amostras P-01 e P-03 ultrapassam o limite superior de 100 µS/cm esperado para águas naturais. Em geral, valores acima deste indicam ambientes impactados (CETESB, 2022).

A turbidez corresponde ao grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar uma amostra, devido aos sólidos que estão em suspensão. As amostras apresentaram valores entre 1 e 10 uT, para os pontos P-01/P-05 e P-07, respectivamente.

A concentração de oxigênio dissolvido depende de vários fatores, sendo o principal a temperatura e, em menor grau, a concentração de sais dissolvidos. O aumento da temperatura causa a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido, enquanto que em águas mais frias apresenta maior capacidade de retenção do gás. Os valores obtidos para as amostras variaram entre 3,57 a 8,40 mg/L.

Em relação ao pH, as amostras apresentaram valores de 5,44 a 6,5, com uma média de 6,10 de caráter ligeiramente ácido. O pH é um parâmetro que influencia o grau de solubilidade de diversas substâncias presentes nas águas subterrâneas, podendo contribuir para a precipitação de substâncias tóxicas. Não há Legislações que limitem os valores de pH porém, a PORTARIA N^o 888 recomenda que seja mantido na faixa de 6 a 9,5 para consumo (Brasil, 2021).

Os valores de alcalinidade variaram de 6 a 110 mg/L de $CaCO_3$, sendo o menor valor correspondente a amostra P-04, indicando uma baixa capacidade de tamponamento.

5.3 PRINCIPAIS CONSTITUINTES DISSOLVIDOS

A Figura 16 apresenta os resultados dos principais constituintes dissolvidos nas amostras de água.

Amostra	NO_2^- mg/L	NO_3^- mg/L	SO_4^{2-} mg/L	PO_4^{3-} mg/L	Cl^- mg/L	Silica (SiO_2) mg/L	Na^+ mg/L	K^+ mg/L	Ca^{2+} mg/L	Mg^{2+} mg/L
P-01	0,009	1,6	0	1,22	10,4	55,5	22	5,3	41,6	39
P-02	0,023	1	0	0,15	1,9	37,3	17	9,2	29,8	1,4
P-03	0,011	1,1	0	0,52	0,6	42,6	13	6,9	38,4	17
P-04	0,010	4,1	0	0,05	2	18,2	10	9	32,8	9
P-05	0,010	2,3	0	0,09	0,5	23,7	7	2,9	10,4	7,2
P-06	0,012	1,1	0	0,22	1	42,1	16	6,2	39,6	29,2
P-07	0,012	1,5	0	0,17	2,9	40,4	21	5,9	23	34
Média	0,012	1,81	0	0,34	2,75	37,11	15,14	6,48	30,8	19,54

Figura 16 – Principais constituintes dissolvidos nas águas.

Os valores obtidos indicam uma tendência entre os cátions de $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$, e entre os ânions de $Cl^- > NO_3^- > PO_4^{3-} > NO_2^- > SO_4^{2-}$.

5.3.1 Cátions

As informações sobre as concentrações dos cátions encontradas para as amostras de água subterrânea estão dispostas nas seções a seguir.

5.3.1.1 Dureza

A dureza das águas está associada a presença dos cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} associados a ânions carbonato e sulfato, que lhe conferem a capacidade de precipitar sabão. A sua concentração é naturalmente mais elevada em águas subterrâneas do que as águas superficiais devido a sua passagem pelo solo (CETESB, 2022), estando associada a dissolução dos minerais presentes nas rochas pelo gás carbônico.

A Portaria N° 888 indica que as concentrações de dureza total devem estar em conformidade com o padrão organoléptico, não ultrapassando o limite de 500 mg/L (Brasil, 2021). Os valores obtidos para as amostras atendem ao requisito da portaria, contendo as maiores concentrações de cálcio e magnésio correspondentes a 41,6 mg/L e 39 mg/L, respectivamente, para o ponto P-01.

5.3.1.2 Sódio

O sódio é um elemento químico abundante que possui sais altamente solúveis em água, com suas concentrações excedendo frequentemente 50 mg/L em águas subterrâneas (CETESB, 2016). O aumento de sua concentração pode ser indicativo de lançamento de efluentes e sua medição é alvo de preocupação quando a água é utilizada para dessedentação de animais e para irrigação, já que o seu teor pode desagregar as estruturas do solo (CETESB, 2022). A sua presença pode estar associada, também, por ser constituinte de minerais ígneos que compõe a área de estudos, como plagioclásios e piroxênios.

As amostras variaram entre 10 e 22 mg/L, estando abaixo das concentrações esperadas para águas subterrâneas, conforme Cetesb (2022).

5.3.1.3 Potássio

O potássio não é um constituinte encontrado em concentrações consideráveis nas águas naturais por ser integrante de rochas que resistem às ações intempéricas, sendo encontrado principalmente nas micas, leucitas e feldspatos potássicos. Seu principal uso ocorre nas indústrias e em fertilizantes para agricultura, entrando nas águas superficiais através dos efluentes e proximidade com áreas agrícolas (CETESB, 2016). O valor máximo obtido para a área de estudo foi de 9,2 mg/L (P-02), estando dentro da concentração esperada para águas naturais de 10 mg/L, conforme indicado pela Cetesb (2022).

5.3.2 Ânions

As informações sobre as concentrações dos ânions encontradas para as amostras de água subterrânea estão dispostas nas seções a seguir.

5.3.2.1 Cloreto

o ânions cloreto (Cl^-) manifesta-se nas águas subterrâneas oriundo da sua percolação em solos e rochas, não apresentando toxicidade para consumo até o valor de 250 mg/L (BRASIL, 2021). A sua presença elevada em corpos hídricos decorre de fontes de descargas de efluentes sanitários e industriais. Para desinfecção de sistemas de tratamento de água, a adição de cloro puro leva no aumento da concentração de de cloretos em solução (CETESB, 2022).

A Portaria de Consolidação nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde estabelece o limite de aceitação de consumo com valor máximo de 250 mg/L. Nenhuma das amostras ultrapassou os limites previstos, sendo a maior concentração no ponto P-01 de 10,4 mg/L.

5.3.2.2 Nitrato e Nitrito

O nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-) são as formas mais oxidadas do nitrogênio encontradas nas águas naturais. A sua origem decorre do ciclo do nitrogênio, no processo de nitrificação, em que bactérias nitrificantes convertem o amoníaco em nitrito e, posteriormente, em nitrato.

A sua alta concentração nas águas é usada como indicativo de poluição por despejo de efluentes domésticos e industriais, mas pode estar associada, também, ao escoamento proveniente de culturas agrícolas devido ao uso de fertilizantes. O valor máximo permitido de nitrato para potabilidade é de 10 mg/L, por ser um composto tóxico que pode levar a mortalidade de crianças causando metahemoglobinemia infantil, já para nitrito é de 1 mg/L (Brasil, 2021). As amostras de água da área de estudo estão do padrão de potabilidade para NO_3^- e NO_2^- , com atenção para a P-04 que possui concentração de 4,1 mg/L de nitrato.

5.3.2.3 Fosfato

Os fosfatos podem aparecer de mais de uma forma nas águas naturais devido às descargas de efluentes domésticos, já que são macro-nutrientes e participam dos processos biológicos, e industriais, na fabricação de fertilizantes para a agricultura. Quando presentes nos corpos hídricos, os fosfatos podem contribuir para os processos de eutrofização.

A concentração de fósforo total (P total) foi estimada a partir da concentração de ortofosfato (PO_4^{3-}), aplicando-se o fator estequiométrico de conversão de 0,326, conforme a relação molar entre os elementos fósforo (P) e fosfato (PO_4^{3-}). Os valores resultantes de P total são apresentados a seguir.

Amostra	P total (mg/L)
P-01	0,39
P-02	0,05
P-03	0,17
P-04	0,02
P-05	0,03
P-06	0,07
P-07	0,05
Média	0,11

Figura 17 – Concentração de Fósforo total para as amostras coletadas.

Segundo a resolução n° 396 do CONAMA (2008), não há limites de concentrações de fosfatos e fósforo total nas águas subterrâneas, em comparação com as águas superficiais de 0,02 mg/L (Brasil, 2005). Assim, as amostras apresentaram concentrações que variam de 0,02 a 0,39 mg/L. Esses valores podem ser justificados devido à elevada presença da agricultura e uso de fertilizantes em quase toda a extensão do município.

5.3.2.4 Sulfato

O sulfato ocorre nas águas através da dissolução de solos e rochas e pela oxidação do sulfeto. Pode aparecer também em decorrência de efluentes domésticos e industriais nos corpos hídricos. Conforme os padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde (2021), as águas potáveis devem manter-se abaixo do limite de 250 mg/L. Não houve detecção de sulfato nas amostras estudadas.

5.3.3 Sílica

A sílica é uma substância amplamente presente no meio ambiente, em especial nas águas superficiais e subterrâneas que possuem concentrações influenciadas pelo tempo de contato água-rocha, presença de CO_2 distância percorrida e, em especial, pela temperatura que determinam a sua maior ou menor solubilidade (LAZZERINI E BONOTTO, 2014).

Seguindo a recomendação internacional dietética de silício entre 35 a 45 mg/L, as amostras P-04 e P-05 apresentam concentração abaixo do recomendado, as P-02, P-03, P-06 e P-07 estão dentro do esperado, e, por fim, a amostra P-01 ultrapassa a recomendação. Além disso, todas as concentrações são compatíveis com valores encontrados em águas minerais (LAZZERINI E BONOTTO, 2014).

5.3.4 Diagrama de Piper

O diagrama de Piper (1944) consiste em um procedimento gráfico de diagramas triangulares para segregar dados analíticos relevantes para compreender as fontes dos

constituintes dissolvidos nas águas. Nele, utiliza-se um triângulo para representar os cátions principais e outro para os ânions, de forma que as informações de ambos os triângulos possam ser transportadas para o losango principal em que as seguintes classes fazem presentes: águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, águas sulfatadas ou cloretadas sódicas, águas bicarbonatadas sódicas e águas sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas.

As águas subterrâneas do município de Dois Córregos foram classificadas a partir dos resultados obtidos para o diagrama de Piper (Figura 18). As amostras são classificadas entre mista bicarbonatada (P-01, P-03, P-05 e P-06), magnésiana bicarbonatada (P-07) e cálcica bicarbonatada (P-02 e P-04).

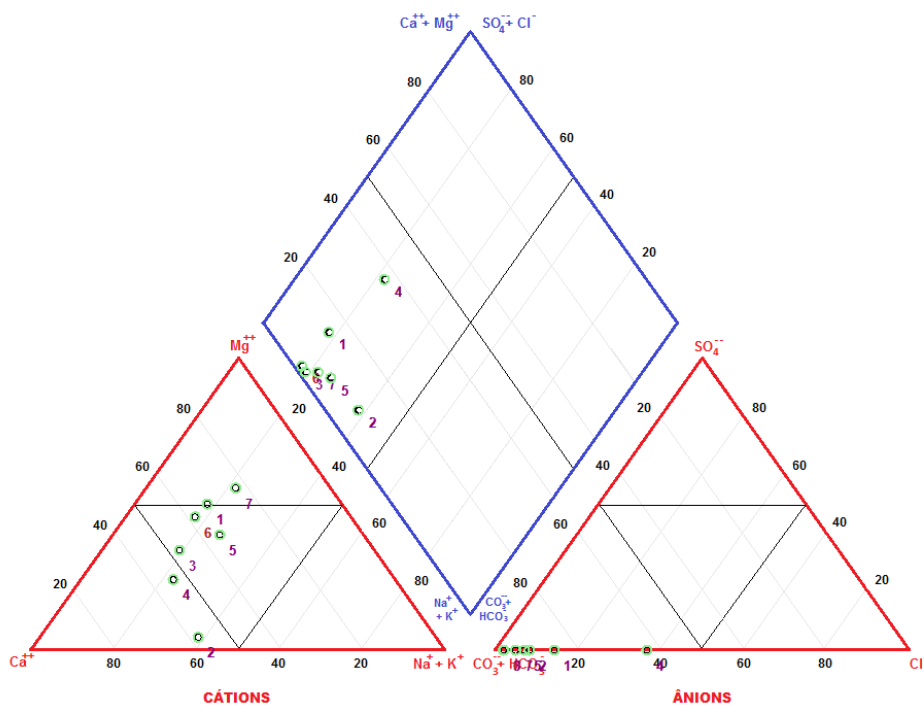


Figura 18 – Diagrama de Piper das amostras de água coletadas.

Embora a área de estudo englobe duas unidades hidroestratigráficas diferentes, não houve uma distinção clara entre os quimismos das águas presentes no aquífero Serra Geral para o Guarani, apresentando valores semelhantes para os principais íons dissolvidos.

5.4 COMPARAÇÃO COM RESULTADOS DE ÁGUAS FLUVIAIS NA BACIA DO RIO JAÚ

Esta seção compila os resultados dos parâmetros químicos e físico-químicos analisados nas águas fluviais da bacia do Rio Jaú realizados por Sardinha (2011) (Figura 19 e 20)

Data de coleta	¹ Q	² C	pH	T (°C)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SiO ₂	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	³ STD
<i>(mg/L)</i>														
Ponto 1 - Ribeirão do Bugio: 22°23'59" S e 48°15'37" W														
14/08/09	0,09	3	6,17	19,20	2,27	0,83	0,81	1,06	3,20	0,30	0,19	2,00	7,80	18,46
17/09/09	0,09	2	6,09	23,30	2,28	0,89	0,80	1,21	4,40	0,10	0,12	4,00	0,60	14,4
17/10/09	0,10	4	6,69	21,60	3,13	1,26	0,76	1,15	2,30	0,00	0,09	3,00	11,10	22,79
20/11/09	0,13	2	6,17	26,50	1,30	0,49	0,50	0,57	0,60	0,00	0,12	3,00	1,80	8,38
23/12/09	0,14	3	6,47	23,40	2,24	0,84	0,70	0,78	3,60	0,50	0,33	2,00	0,80	11,79
12/01/10	0,23	2	6,06	24,10	2,10	0,77	0,70	0,96	1,70	0,30	0,30	5,00	0,60	12,43
Ponto 2 - Ribeirão do Bugio: 22°23'59" S e 48°15'37" W														
14/08/09	2,54	53	6,50	20,00	6,37	2,66	3,21	1,72	16,90	1,60	0,56	1,00	8,80	42,82
17/09/09	2,55	41	6,51	23,50	8,17	2,89	2,59	1,67	13,00	1,20	0,62	4,00	7,80	41,94
17/10/09	2,75	25	6,66	22,10	7,91	3,18	4,15	1,75	13,70	1,20	0,42	1,00	10,50	43,81
20/11/09	3,47	60	6,50	26,60	8,91	3,44	5,35	2,04	17,10	1,60	0,30	1,00	1,10	40,84
23/12/09	3,87	48	7,37	23,10	7,24	3,07	2,67	1,54	17,30	0,00	0,58	4,00	1,20	37,60
12/01/10	6,20	35	6,43	24,00	6,75	2,88	1,91	1,53	13,60	0,50	0,43	2,00	1,70	31,30
Ponto 3 - Ribeirão São João: 22°26'04" S e 48°25'05" W														
14/08/09	0,10	25	6,15	17,50	5,21	1,65	1,36	2,40	9,00	1,40	0,63	2,00	0,50	24,15
17/09/09	0,10	22	6,10	20,30	5,98	1,93	1,35	2,90	9,10	1,40	0,43	2,00	0,70	25,79
17/10/09	0,10	18	6,36	20,50	5,49	2,01	1,35	4,23	8,10	2,20	0,44	2,00	8,70	34,52
20/11/09	0,13	47	6,37	23,80	9,04	2,67	1,32	4,16	4,20	1,70	0,87	8,00	2,10	34,06
23/12/09	0,15	37	6,56	22,60	6,07	1,92	1,30	3,98	12,30	1,80	0,56	4,00	0,50	32,43
12/01/10	0,23	10	6,18	23,70	5,56	1,75	1,35	3,52	2,40	1,70	0,30	2,00	0,80	19,38
Ponto 4 - Ribeirão São João: 22°22'51" S e 48°28'01" W														
14/08/09	0,87	40	6,44	21,00	5,31	2,19	3,25	1,46	15,30	1,00	0,84	3,00	1,10	33,45
17/09/09	0,87	33	6,26	22,90	5,90	2,48	3,47	1,64	13,20	1,60	0,56	2,00	8,00	38,85
17/10/09	0,94	25	6,71	21,70	6,62	2,72	2,56	1,67	1,90	1,90	0,43	2,00	10,80	30,60
20/11/09	1,18	31	6,55	25,20	6,25	2,55	2,91	1,65	1,50	1,10	0,32	2,00	1,30	19,58
23/12/09	1,32	39	7,18	23,20	6,55	2,79	2,63	1,59	1,60	0,80	0,58	3,00	12,00	31,54
12/01/10	2,11	37	6,34	23,80	7,17	2,80	2,54	1,59	2,50	0,80	0,34	4,00	1,20	22,94
Ponto 5 - Rio Jaú: 22°18'09" S e 48°32'25" W														
14/08/09	4,87	55	6,34	21,70	7,71	3,08	3,64	1,56	0,60	1,30	0,28	3,00	1,30	22,47
17/09/09	4,90	54	6,28	23,40	8,08	3,32	4,00	1,76	0,50	9,40	0,82	3,00	13,60	44,48
17/10/09	5,28	40	6,97	23,50	157,14	7,49	3,50	1,91	1,20	0,90	0,40	2,00	9,00	183,54
20/11/09	6,67	55	6,48	27,00	147,55	7,50	3,70	1,93	0,70	2,10	0,81	4,00	1,00	169,29
23/12/09	7,43	59	7,26	24,60	129,57	7,20	3,45	1,70	2,00	1,50	0,17	4,00	7,50	157,09
12/01/10	11,91	43	6,46	24,80	122,05	6,36	2,13	1,42	2,00	0,90	0,24	4,00	1,40	140,50
Ponto 6 - Rio Jaú: 22°15'15" S e 48°36'39" W														
14/08/09	6,41	82	6,45	22,00	9,81	3,78	6,28	2,14	1,80	2,60	0,96	5,00	8,20	40,57
17/09/09	6,44	68	6,36	25,60	10,85	4,03	4,27	1,98	14,80	1,80	0,43	3,00	10,80	51,96
17/10/09	6,94	61	6,99	24,30	10,38	4,06	4,89	2,25	17,50	1,80	0,52	5,00	12,30	58,70
20/11/09	8,77	79	6,40	27,90	11,45	4,37	5,85	2,24	1,40	2,40	0,26	4,00	1,60	33,57
23/12/09	9,77	75	7,37	26,00	118,64	7,49	4,75	1,93	19,30	2,00	0,28	4,00	9,60	167,99
12/01/10	15,66	55	6,53	25,20	10,72	4,16	3,28	1,80	20,20	1,20	0,30	4,00	3,10	48,76

¹Q = Vazão (m³/s): P1 (vazão medida em campo), P2, P3, P4, P5 e P6 (vazão estimada de acordo com a equação 2); ²C = Condutividade (μS/cm); ³STD = Sólidos Totais Dissolvidos (Σ constituintes analisados).

Figura 19 – Resultados obtidos por Sardinha (2011) para os parâmetros físicos e físico-químicos das águas fluviais da Bacia do Rio Jaú.

	<i>pH</i>	<i>T</i>	<i>ST</i> ¹	<i>STS</i> ²	<i>STD</i> ³	<i>Ca</i> ²⁺	<i>Mg</i> ²⁺	<i>Na</i> ⁺	<i>K</i> ⁺	<i>SiO</i> ₂	<i>Cl</i>	<i>PO</i> ₄ ³⁻	<i>SO</i> ₄ ²⁻	<i>NO</i> ₃ ⁻	
	(°C)		<i>Média (mg/L)</i>												
<i>P1</i>	6,28	23,02	16,67	7,33	9,33	2,22	0,85	0,71	0,96	2,63	0,20	0,19	3,17	3,78	
<i>P2</i>	6,66	23,22	53,33	22,00	31,33	7,56	3,02	3,31	1,71	15,27	1,02	0,49	2,17	5,18	
<i>P3</i>	6,29	21,40	55,00	14,67	40,33	6,23	1,99	1,34	3,53	7,52	1,70	0,54	3,33	2,22	
<i>P4</i>	6,58	22,97	53,33	17,33	36,00	6,30	2,59	2,89	1,60	6,00	1,20	0,51	2,67	5,73	
<i>P5</i>	6,63	24,17	60,00	45,33	14,67	95,35	5,83	3,40	1,71	1,17	2,68	0,45	3,33	5,63	
<i>P6</i>	6,68	25,17	95,00	49,33	45,67	28,64	4,65	4,89	2,06	12,50	1,97	0,46	4,17	7,60	
	<i>Média ponderada (mg/L)</i>														
<i>P1</i>	----	----	17,62	8,12	9,50	2,17	0,82	0,70	0,93	2,44	0,23	0,21	3,40	3,04	
<i>P2</i>	----	----	61,15	26,40	34,75	7,46	3,02	3,13	1,68	15,17	0,89	0,47	2,19	4,21	
<i>P3</i>	----	----	60,96	16,71	44,26	6,22	1,97	1,34	3,59	6,80	1,71	0,51	3,34	1,92	
<i>P4</i>	----	----	56,95	19,23	37,72	6,47	2,64	2,81	1,60	4,89	1,11	0,48	2,88	5,20	
<i>P5</i>	----	----	70,57	55,04	15,53	104,89	6,09	3,20	1,67	1,34	2,27	0,41	3,50	4,86	
<i>P6</i>	----	----	101,48	59,81	41,66	30,22	4,72	4,64	2,01	13,81	1,85	0,41	4,13	6,74	

¹ST = Sólidos Totais; ²STS = Sólidos Totais em Suspensão; ³STD = Sólidos Totais Dissolvidos (ST - STS).

Figura 20 – Valores médios e média ponderada dos parâmetros analisados por Sardinha (2011).

Os valores médios para temperatura encontram-se levemente abaixo dos encontrados para as águas subterrâneas. Variações nas temperaturas de águas superficiais podem estar relacionados a transferências calor por radiação, condução e convecção atreladas aos períodos de inverno e verão, diferentemente das águas subterrâneas.

A condutividade elétrica das amostras do poços exibem valores mais elevados do que as amostras medidas por Sardinha, indicando pequena concentração de sais dissolvidos. O comportamento do pH apresenta-se muito semelhante ao das águas subterrâneas, indicando águas geralmente neutras e levemente básicas nos períodos de chuva, quando a atividade intempérica é mais acentuada e a vazões dos rios maior.

Os valores obtidos para os principais cátions segue a mesma tendência para as águas subterrâneas, que indicam $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^{+} > K^{+}$. As maiores concentrações encontram-se nos períodos chuvosos, mas ainda estão muito abaixo do medido para as águas dos poços. Essa diferença evidência que a dissolução dos minerais e o contato água-rocha é mais longo para as águas subterrâneas, dentre outros fatores.

Os principais ânions exibem comportamento diferente, indicando a seguinte tendência $NO_3^{-} > SO_4^{2-} > Cl^{-} > PO_4^{3-}$. As rochas da bacia do Rio Jaú não possuem minerais portadores destes ânions como constituinte principal dos minerais. Assim, as maiores concentrações de nitrato e sulfato indicam uma possível origem de efluentes domésticos e o escoamento laminar dos solos agrícolas. Os fosfatos medidos, ao contrário da sua ausência em águas subterrâneas, estariam relacionados, provavelmente, com o carreamento de fertilizantes fosfatados para o corpo hídrico.

5.5 RADÔNIO (^{222}Rn)

Os resultados para as concentrações de atividade de radônio dissolvido nas águas subterrâneas, obtidos através do equipamento RAD7, estão dispostos na Figura 21.

Pontos de coleta	Latitude	Longitude	Concentração (Bq/m ³)			Concentração (Bq/L)
			Máximo	Mínimo	Média	
1	22°19'10"S	48°22'29"W	4500	1830	3190	3,19
2	22°21'49"S	48°23'05"W	7590	3660	5200	5,20
3	22°17'06"S	48°21'07"W	26200	17300	22900	22,90
4	22°14'09"S	48°19'48"W	8160	6330	7450	7,45
5	22°15'45"S	48°22'32"W	8160	3520	6090	6,09
6	22°17'04"S	48°20'59"W	11600	9980	10700	10,70
7	22°18'42"S	48°22'32"W	12400	11500	12000	12

Figura 21 – Concentração de atividade de radônio dissolvido nas amostras de água subterrânea coletadas

Os limites máximos de radônio-222 para água potável variam entre os países. A União Europeia estabelece um limite de 100 a 1000 Bq/L, enquanto nos Estados Unidos é de 11,1 Bq/L (EPA 2009; Comissão Europeia 2012). Os pontos P-03 e P-07 apresentam valores acima do estabelecido pela EPA, enquanto o restante está dentro do permitido. Concentrações elevadas aumentam os riscos à saúde associados à dose efetiva anual de radônio recebida pela população.

As águas podem ser classificadas, ainda, como fracamente radioativas, de acordo com o Decreto-Lei 7.841, por apresentarem teores menores do que 5 unidades mache (equivalente a 67,25 Bq/L).

Embora alguns valores amostrados estejam acima do limite estabelecido pela EPA, estudos realizados em outras localidades do Brasil demonstram valores naturais acima deste limite (Figura 22). Bonotto & Mello (2006), por exemplo, analisaram águas de poços do estado de São Paulo e constataram concentrações médias entre 11 e 155 Bq/L, enquanto que em outras localidades, autores como Amaral (2018), Fianco(2011) e Corrêa *et al* (2015) também identificaram valores acima do limite.

Local	Concentração (Bq/L)			Fonte
	Mínimo	Média	Máximo	
Abreu e Lima - PE	7,6	37	74	Amaral, 2018
Bairro de Paratibe Paulista - PE	33	46	76	Amaral, 2018
Bairro Pau Amarelo Paulista - PE	< 0,8	-	1,3	Amaral, 2018
Catanduba - SP	0,04	-	27	Bonotto; Mello (2006)
Bocaina - SP	1	-	40	Bonotto; Mello (2006)
Novo Horizonte - SP	5	-	155	Bonotto; Mello (2006)
São José do Rio Preto - SP	6	-	11	Bonotto; Mello (2006)
Porto Alegre - RS	0	157	508	Fianco (2011)
Curitiba - PR	1,6	44	215	Corrêa et al. (2015)

Figura 22 – Valores de concentração de atividade de Rn-222 da literatura. Fonte: Adaptado de Amaral (2018).

A Figura 23 apresenta os valores encontrados para a concentração da atividade de Rn-222 para a área de estudo, a partir de um mapa de isovalores.

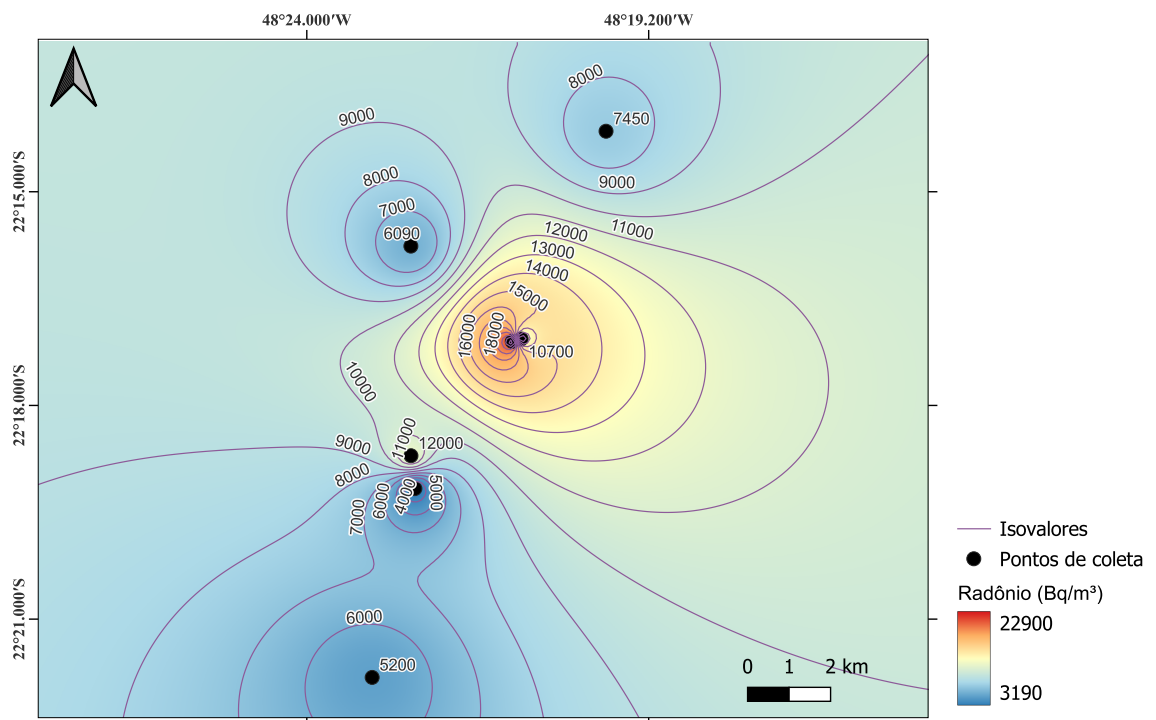


Figura 23 – Distribuição espacial da concentração de atividade Rn-222 em Bq/m³.

Na figura é possível observar que as maiores concentrações ocorrem nos pontos

P-03 e P-07 de maiores cotas. Os menores valores correspondem às cotas mais baixas do *sopé* da *cuesta*. Essa situação indica um maior fluxo de água subterrânea para o centro da região, onde estas águas irão compor a rede de drenagem que atravessa o local. Isto implicaria na possibilidade de uma maior facilidade no transporte e conseqüente aumento da concentração deste radionuclídeo na direção deste fluxo.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu identificar e quantificar as propriedades e constituintes químicos das águas subterrâneas e compará-las com os resultados obtidos em estudos anteriores para as águas superficiais da área de estudo.

A elaboração da seção estratigráfica a partir dos dados construtivos e litológicos disponibilizados pelo SIAGAS, permitiu identificar as unidades hidroestratigráficas da área de estudo e correlacionar as concentrações dos íons com as litologias existentes. A análise hidroquímica revelou a predominância dos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} , com elevados teores de sílica, refletindo a influência das formações geológicas locais, especialmente as Formações Serra Geral e Botucatu em comparação com as concentrações encontradas para as águas superficiais estudadas por Sardinha (2011). A classificação das águas por meio do diagrama de Piper permitiu identificar diferentes facies hidroquímicas, com destaque para as águas mistas bicarbonatadas e cálcicas cloretadas, sem distinção clara entre os sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani.

Os parâmetros físico-químicos analisados, como condutividade elétrica, pH e alcalinidade, indicaram águas ligeiramente ácidas e com baixa capacidade de tamponamento. A presença de fosfato e nitrato em concentrações significativas sugere influência antrópica, possivelmente relacionada ao uso de fertilizantes na atividade agrícola regional.

Quanto às legislações, cabe destacar que alguns constituintes químicos quantificados neste estudo, como a sílica (SiO) e o potássio (K), assim como o próprio íon fosfato (PO^3), não possuem valores de referência ou limites máximos permitidos nas legislações federais vigentes para águas subterrâneas (CONAMA 396/2008) e potabilidade (Portaria GM/MS nº 888/2021). Os resultados evidenciam a necessidade de revisão dessas legislações para que incluam parâmetros fundamentais à caracterização geoquímica natural e ao monitoramento de impactos.

Em relação ao radônio, os resultados apontaram concentrações variáveis, com dois pontos (P-03 e P-07) acima do limite recomendado pela EPA (11,1 Bq/L), indicando a necessidade de avaliação de risco à saúde em áreas de maior exposição. A distribuição espacial do radônio sugere relação com o fluxo subterrâneo que irá compor as drenagens superficiais e a litologia local.

Recomenda-se a continuidade dos estudos com uma rede de monitoramento mais ampla, incluindo a sazonalidade e a análise de outros elementos traço, bem como a avaliação da dose efetiva de radônio para a população.

Referências

- ALMEIDA, F.F.M. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. São Paulo: Instituto de Geografia-USP, 1964. 102 p.
- ALMEIDA, F. F. M.; MELO, M. S. A. **Bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico**. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, São Paulo:IPT, 1981, v.1, p.46-81. Escala 1:500.000.
- AMARAL, D. S. **Radônio-222 e radionuclídeos associados em águas de poços e solos em áreas do fosforito uranífero da Região Metropolitana do Recife**. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares), Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, p. 1 - 88, 2018.
- ASSINE, M. L., SOARES, P. C. & MILANI, E. J. 1993. **Sequências tectono-sedimentares mesopaleozóicas da Bacia do Paraná, Sul do Brasil**. Submetido à Revista Brasileira de Geociências
- BATISTA, Ludmila V.; GASTMANS, Didier. **Hidrogeoquímica e qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Jacaré--Pepira (SP), Brasil**. Pesquisas em Geociências, v. 42, n. 3, p. 297-311, 2015.
- BONOTTO, D. M., & Mello, C. B. (2006). **A combined method for evaluating radon and progeny in waters and its use at Guarani aquifer, São Paulo State, Brazil**. Journal of environmental radioactivity, 86(3), 337-353.
- BONOTTO, Daniel Marcos. **Doses from 222Rn, 226Ra, and 228Ra in groundwater from Guarani aquifer, South America**. Journal of environmental Radioactivity, v. 76, n. 3, p. 319- 335, 2004.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. Ministério do Meio Ambiente (Org.). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012**. 4. ed. Brasília: ANA, 2012. 215 p
- _____. Decreto-lei N° 7.841, de 8 de agosto de 1945. **Código de águas minerais**. Brasília, 2005. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1937-1946/del7841.htm>. Acesso em 25 mar. 2025.

_____. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008.** Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=545>. Acesso em 14 jul. 2025.

_____. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.** Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/?id=450&option=com_sisconama&task=arquivo.download>. Acesso em 14 jul. 2025.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021.** Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 04 mai. 2021. Seção 1, p. 127.

CAETANO-CHANG, M.R. & WU, F.T. **Diagênese de arenitos da Formação Pirambóia no centro-leste paulista.** Geociências, São Paulo, UNESP, v. 22, N. Especial, p. 33- 39, 2003

CETESB - Companhia Ambiental do São Paulo. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas no estado de São Paulo 2013-2015.** São Paulo, 2016. 311 p. (Série Relatórios). Disponível em: . Acesso em maio de 2025.

_____. **Apêndice C - Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. 2022.** Disponível em: . Acessado em 10 set. 2025

_____. **Águas subterrâneas.** 2021. Disponível em: . Acessado em 10 set. 2025.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ-JACARÉ. **RELATÓRIO DE SITUAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO TIETÊ/JACARÉ (UGRHI 13),** São Paulo, 2008. Disponível em Acessado em 24 jul. 2025.

COSTA, Ana Lúcia Carneiro da. **Estudo da vulnerabilidade à erosão com a aplicação da Equação Universal de Perda de Solo na alta bacia hidrográfica do rio Jacaré Pepira, utilizando SIG/SPRING. 2005.** 166 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2005.

Comissão Europeia. **Diretiva do conselho que fixa as normas de segurança de base relativas à proteção contra os perigos resultantes da exposição a radiações ionizantes.** European Commission, Bruxelas, 2012. Disponível em: . Acessado em: 02 out. 2025.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Atlas dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Estado de São Paulo, 2005.** Escala 1: 1.000.000. Disponível em: . Acessado em: 23 jul. 2025

DAEE. et al. **Mapa de águas subterrâneas do estado de São Paulo.** São Paulo, 2005. 119 p. + 1 mapa + 1 CD. Escala 1:1.000.000. Nota explicativa disponível em: . Acesso em: 20 ago. 2025

DE ALMEIDA, Flávio Marques. **Fundamentos geológicos do relevo paulista.** Revista do Instituto Geológico, São Paulo, v. 39, n. 3, p. 9-75, 2018.

Delleur, J.W., 1999. **The Handbook of Groundwater Engineering.** CRC Press LLC, Boca Raton.

FEHIDRO. Fundo Estadual de Recursos Hídricos. IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê Jacaré – CBH – TJ.** Relatório, 40.674. São Paulo: FEHIDRO, IPT, 331p, 2006.

HERMES, L.C.; SILVA, A.S. Avaliação da qualidade das águas: manual prático. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 55p. 2004.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico, 2022.** Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: . Acesso em: 02 jun. 2025

KU, T.L.; **The uranium – series methods of age determination.** An. Rev. Earth Plan. Sci. Elsevier Science v. 4 p. 347-79. 1976.

LABORATÓRIO DE ESTUDO DE BACIA. **Estudo de viabilidade técnico-econômica de abastecimento da região metropolitana de São Paulo pelo Aquífero Guarani.** Informe técnico: LEBAC/UNESP, 2004.

LASTORIA, G. **Hidrogeologia da Formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul.** Rio Claro, 2002. 133 p. Tese (Doutoramento em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE – UNESP – Rio Claro, 2002.

LAZZERINI, F. T.; BONOTTO, D. M. **O silício em águas subterrâneas do Brasil**. *Ciência e Natura*, v. 36, n. 2, p. 159-168, 2014.

Milani, E. J., de Melo, J. H. G., de Souza, P. A., Fernandes, L. A., & França, A. B. (2007). **Bacia do paraná. Boletim de Geociências da PETROBRAS**, 15(2), 265-287.

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-oriental**. 1997. 2 v. II. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre, 1997

PEATE, David W.; HAWKESWORTH, Chris J.; MANTOVANI, Marta SM. **Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution**. *Bulletin of Volcanology*, v. 55, n. 1, p. 119-139, 1992.

PERINOTTO, J. A. J.; ZAINÉ, M. F. **Patrimnios naturais e história geológica da região de Rio Claro-SP**. *Rev. Arq. Pb. Hist. Município de Rio Claro*, v. 1, 2008.

PIPER, Arthur M. **A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses**. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, v. 5, n. 6, p. 914-928, 1944.

REBOUÇAS, A.C. **Recursos hídricos subterrâneos da bacia do Paraná - análise de prviabilidade**. 1976. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de LivreDocncia, 143 p. https://teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/44/tde_02062014-141431/pt-br.php

REIS, Gleice dos Santos. **A formação Serra Geral (cretáceo, bacia do Paraná) - como análogo para os reservatórios ígneo-básicos da margem continental brasileira**. 2013. *Pesquisa em Geociências*, 41 (2) (2014), pp. 155-168

REZENDE, J. H.; PIRES, J. S. R.; VENIZIANI JR, J. C. T. **ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RESERVA LEGAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAÚ. *Holos Environment*, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 16–30, 2011. Disponível em: <<https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/3443>>. Acesso em: 10 jun. 2025**

RICCOMINI, Cláudio. **Arcabouço estrutural e aspectos do tectonismo gerador e deformador da Bacia Bauru no Estado de São Paulo**. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 27, n. 2, p. 153- 162, 1997.

SARDINHA, D.S. **Avaliação da taxa de intemperismo químico na bacia do Rio Jaú (SP)**. Tese apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas para obtenção do título de doutor em Geologia Regional. UNESP, Rio Claro, 2011, 109p.

SARDINHA, D.S.; BONOTTO, D.M.; GODOY, L.H.; CONCEIÇÃO, F.T.; MORENO, M.M.T. **Denudação química e implicações na composição das águas superficiais da bacia do Rio Jaú (SP)**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 13, p. 337-349, 2012.

SARDINHA, D.S.; Bonotto, D.M.; Godoy, L.H.; Conceição, F.T.; Torres Moreno, M.M. 2013. **Influências geogênicas/antropogênicas na composição química das águas pluviais de Dois Córregos, bacia do Rio Jaú (SP)**. Geociências, v. 32, n.3, p.577-585.

SCHNEIDER, R. L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1976. Anais... Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1976, v. 1, p. 41-66.

SIQUEIRA, Lucas Alfredo et al. **Titulador automático baseado em filmes digitais para determinação de dureza e alcalinidade total em águas minerais 2016**.

SOARES, Paulo Cesar et al. **Divisão estratigráfica do Mesozóico no estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Geociências, v. 5, n. 4, p. 229-251, 1975.

TANNER, Allan B. **Physical and chemical controls on distribution of radium-226 and radon-222 in ground water near Great Salt Lake, Utah**. The natural radiation environment, p. 253- 276, 1964.

TROPPEMAIR, H. **Geossistemas e Geossistemas Paulistas**. Rio Claro: UNESP; Edição do Autor, 2000.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA) [homepage on the Internet]. Washington, DC: EPA; **A Citizen's Guide to Radon: the Guide TO Protecting Yourself and Your Family from Radon; 2016**. Disponível em Acessado em 02 out. 2025.

Anexos

Anexo A - Localização dos poços tubulares

1 - Localização dos poços tubulares das amostras de água coletadas para a realização do estudo

Amostra N°	Nome	N° SIAGAS	Data da coleta	Coordenadas		Localidade	Uso da Água
				Latitude	Longitude		
P-01	DAEE - Folha 215, poço 11	3500029151		22°19'10"S	48°22'29"W	Fazenda Palmeiras	Irrigação
P-02	SIDAS/DAEE FL.215 - P.20	3500056897		22°21'49"S	48°23'05"W	Av. Dom Pedro I, S/N	Abastecimento doméstico
P-03	DAEE - Folha 215, poço 7	3500029149		22°17'06"S	48°21'07"W	Sítio Santo Expedito	Abastecimento doméstico
P-04*	-	-	16/10/2024	22°14'09"S	48°19'48"W	Próximo ao ponto P-03	Irrigação
P-05**	SIDAS/DAEE FL.215 - P.14	3500047258		22°16'05"S	48°23'14"W	Rod. Jau-Brotas km 272 (atual 159)	Abastecimento doméstico
P-06	SIDAS/DAEE FL.189 - P.15 - CPRM 8722	3500028970		22°14'09"S	48°19'48"W	ROD.SP-225, KM 152	Irrigação
P-07*	-	-		22°18'42,3"S	48°22'32,3"W	Próximo à rodovia SP-255	irrigação

*Poço tubular encontrado em campo. Não possui informações cadastradas no banco de dados do SIAGAS

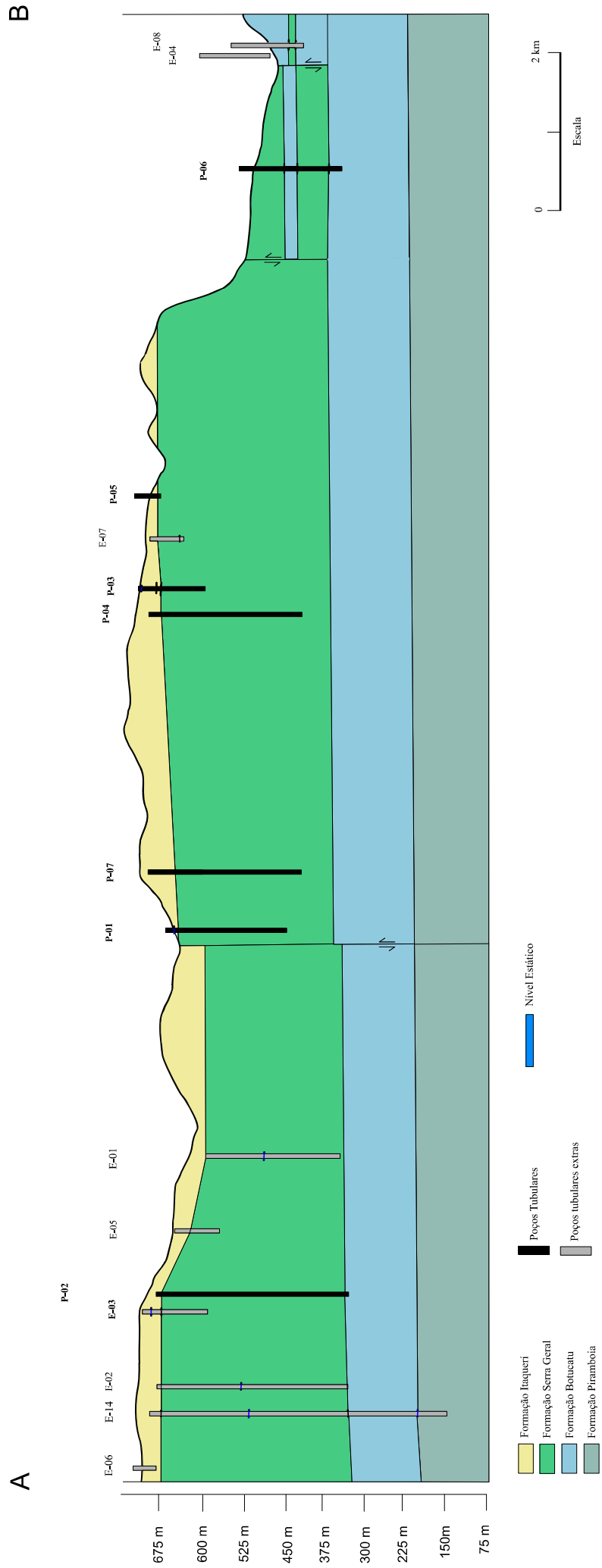
**Poço tubular cadastrado no banco de dados do SIAGAS, mas não possui informações litológicas.

2 - Localização dos poços tubulares cadastrados no banco de dados do SIAGAS utilizados para realização da seção estratigráfica

Poço tubular N°	Nome	N° SIAGAS	Coordenadas		Localidade	Uso da Água
			Latitude	Longitude		
E-01	SIDAS/DAEE FL.215 - P.10 / CPRM - 9238	3500031027	22°20'23"S	48°24'04"W	Fazenda Santo Antônio	Abastecimento industrial
E-02*	SIDAS/DAEE FL.215 - P.12 / CPRM - 9240	3500031028	22°23'01"S	48°21'45"W	Fazenda São Benedito	Abastecimento industrial
E-03	DAEE - Folha 215, poço 13	3500029152	22°21'42"S	48°23'34"W	Rua Sebastião de Oliveira Lima, 240	Abastecimento doméstico
E-04	SIDAS/DAEE FL.189 - P.17	3500046799	22°12'55"S	48°21'24"W	Fazenda Maria Rodovia SP-225 km 154, Guarapua	-
E-05	SIDAS/DAEE FL.215 - P.16	3500047259	22°21'26"S	48°22'44"W	Chacara Amica ,Zona Rural	Abastecimento doméstico
E-06	SIDAS/DAEE FL.215 - P.17	3500047260	22°22'50"S	48°23'43"W	Av. Drua Godredo Sschelini 950, Centro	Abastecimento doméstico
E-07	SIDAS/DAEE FL.216 - P.1	3500056898	22°15'29"S	48°21'20"W	Rod. Eng. Paulo Nilo Romano, SP 225 km 144	Abastecimento industrial
E-08	SIDAS/DAEE FL.189 - P.17	3500056703	22°12'58"S	48°21'14"W	Faz. Mariane/Rod. SP-225, km 152	-
E-14	04-DC-01-SP	3500000558	22°23'21"S	48°21'16"W	Dois Corregos	Abastecimento urbano

*Possui apenas informações construtivas e hidráulicas

Seção Estratigráfica AB



Anexo C - Estratigrafia dos poços tubulares extras

2 - Localização dos poços tubulares cadastrados no banco de dados do SIAGAS utilizados para realização da seção estratigráfica

Poço tubular N°	Nome	N° SIAGAS	Coordenadas Latitude	Longitude	Localidade	Uso da Água	Litologia ** (m)
E-01	SIDAS/DAEE FL.215 - P.10 / CPRM - 9238	3500031027	22°20'23"S	48°24'04"W	Fazenda Santo Antônio	Abastecimento industrial	0 - 250 SG
E-02*	SIDAS/DAEE FL.215 - P.12 / CPRM - 9240	3500031028	22°23'01"S	48°21'45"W	Fazenda São Benedito	Abastecimento industrial	-
E-03	DAEE - Folha 215, poço 13	3500029152	22°21'42"S	48°23'34"W	Rua Sebastião de Oliveira Lima, 240	Abastecimento doméstico	0 - 34 It 34 - 106 SG
E-04	SIDAS/DAEE FL.189 - P.17	3500046799	22°12'55"S	48°21'24"W	Fazenda Maria Rodovia SP-225 km 154, Guarapua	-	15 - 102 Bo 102 - 112 SG 112 - 130 Bo
E-05	SIDAS/DAEE FL.215 - P.16	3500047259	22°21'26"S	48°22'44"W	Chacara Amica , Zona Rural	Abastecimento doméstico	0 - 15 It 15 - 80 SG
E-06	SIDAS/DAEE FL.215 - P.17	3500047260	22°22'50"S	48°23'43"W	Av. Drua Godredo Sschelini 950, Centro	Abastecimento doméstico	0 - 42 It
E-07	SIDAS/DAEE FL.216 - P.1	3500056898	22°15'29"S	48°21'20"W	Rod. Eng. Paulo Nilo Romano, SP 225 km 144	Abastecimento industrial	0 - 66 It
E-08	SIDAS/DAEE FL.189 - P.17	3500056703	22°12'58"S	48°21'14"W	Faz. Mariane/Rod. SP-225, km 152	-	0 - 102 Bo 102 - 112 SG 112 - 130Bo
E-14	04-DC-01-SP	3500000558	22°23'21"S	48°21'16"W	Dois Corregos	Abastecimento urbano	0 - 30 It 30 - 368 SG 368 - 500 Bo 500 - 558 Pi

*Possui apenas informações construtivas e hidráulicas

**Bo = Formação Botucatu; It = Formação Itaqueri; Pi = Formação Pirambóia; SG = Formação Serra Geral

Entre parênteses: profundidade em metros