

Avaliação da ocorrência de misturas de águas entre o sistema aquífero Guarani e Serra Geral na região do Vale do Rio das Antas (RS)

Evaluation of occurrence Water Mixing between the Guarani (SAG) and Serra Geral (SASG) aquifer systems in the Antas River Valley region (RS)

Érica Bellé¹, Pedro Antônio Roehe Reginato², Tiago de Vargas³

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil, ericabellebg@gmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil, pedro.reginato@ufrgs.br

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil, tiago.devargas@ufrgs.br

Recebido:

20 de outubro de 2025

Recebido no formato de revisão:

21 de novembro de 2025

Aceito:

24 de novembro de 2025

Disponível online:

09 de março de 2026

Seção:

Artigos

Palavras-chave:

Monitoramento hidroquímico.

Qualidade de água.

Bacia Hidrográfica Taquari-Antas.

Potabilidade.

Água subterrânea.

Keywords:

Hydrochemical monitoring.

Water quality.

Taquari-Antas River Basin.

Potability.

Groundwater.

RESUMO

A mistura de águas entre os sistemas aquíferos Serra Geral (SASG) e Guarani (SAG) pode acarretar no aumento da concentração de parâmetros físicos-químicos, que podem afetar a qualidade da água subterrânea de poços perfurados no SASG. Este artigo apresenta a composição das águas subterrâneas de poços que captam água do SASG, a fim de verificar a ocorrência de mistura de águas entre os dois sistemas aquíferos. Foram realizadas análises físico-químicas mensais em seis (6) poços tubulares SASG ao longo de doze (12) meses, entre Janeiro/2024 e Janeiro/2025, os quais estão localizados entre os vales encaixados no Rio das Antas, Rio Grande do Sul, Brasil. Em dois (2) desses poços, também foi realizado o monitoramento do consumo. Por meio de análise estatística, foram obtidos os respectivos valores máximos, médios e mínimos: CE (Condutividade Elétrica) (623,0; 272,13; 217,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$), pH (8,65; 7,76; 6,70), Sulfato (198,0; 38,62; <15,0 mg/L), Cloreto (14,50; 3,23; 0,80 mg/L), Fluoreto (1,25; 0,56; 0,20 mg/L), Sódio (70,49; 22,34; 1,37 mg/L). Comparou-se a hidroquímica dos poços monitorados com o SAG, e os resultados indicaram que dois poços monitorados, sendo P5 e P6, apresentaram indícios de mistura de águas entre os aquíferos SAG e SASG. A possibilidade de mistura foi evidenciada pelo aumento da demanda hídrica que resultou em aumento das concentrações de CE, Cloreto, Sódio, Sulfato e Fluoreto. Nenhum dos poços apresentou concentrações acima do VMP (Valor Máximo Permitido) pela Portaria GM/MS nº 888/2021, porém alguns resultados ficaram próximos aos limites do VMP, indicando que o monitoramento constante destes constituintes se faz necessário em regiões que apresentam problemas relacionados a mistura de águas.

ABSTRACT

The mixing of waters between the Serra Geral (SASG) and Guarani (SAG) aquifer systems can lead to an increase in the concentration of physicochemical parameters, which may affect the quality of groundwater from wells drilled in the SASG. This article presents the composition of groundwater from wells that draw water from the SASG, in order to verify the occurrence of water mixing between the two aquifer systems. Monthly physicochemical analyses were carried out on six (6) SASG tubular wells over twelve (12) months, between January 2024 and January 2025, located between the valleys enclosed in the Antas River, Rio Grande do Sul, Brazil. In two (2) of these wells, consumption monitoring was also carried out. Through statistical analysis, the maximum, average, and minimum values were obtained: EC (Electrical Conductivity) (623.0; 272.13; 217.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$), pH (8.65; 7.76; 6.70), Sulfate (198.0; 38.62; <15.0 mg/L), Chloride (14.50; 3.23; 0.80 mg/L), Fluoride (1.25; 0.56; 0.20 mg/L), Sodium (70.49; 22.34; 1.37 mg/L). The hydrochemistry of the monitored wells was compared with that of the SAG aquifer, and the results indicated that two wells, P5 and P6, showed evidence of water mixing between the SAG and SASG aquifers. The possibility of mixing was evidenced by the increased water demand, which resulted in increased concentrations of EC, Chloride, Sodium, Sulfate, and Fluoride. None of the wells presented concentrations above the Maximum Permissible Value (MPV) established by Ordinance GM/MS No. 888/2021; however, some results were close to the MPV limits, indicating that constant monitoring of these constituents is necessary in regions that present problems related to water mixing.

<https://doi.org/10.14295/ras.v40i1.30377>



1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de conexão hidráulica, ascensão ou mistura entre águas subterrâneas de diferentes aquíferos, como o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e o Sistema Aquífero Guarani (SAG), tem sido evidenciada por meio de indícios tectônicos e geoquímicos, além da similaridade na composição das águas, como fatores que corroboram essa interação. O SASG se relaciona com o SAG tanto no fornecimento de água por recarga descendente quanto na recepção por recarga ascendente (FEPAM, 2003). Em áreas onde há comunicação hidráulica entre os dois sistemas aquíferos, essa conexão é viabilizada pela presença de fraturas e sistemas de fraturas verticais que interligam as rochas vulcânicas às rochas sedimentares (Nanni, 2008; Szikszay *et al.*, 1981).

A investigação de misturas entre diferentes tipos de águas subterrâneas pode ser realizada por meio de diversos métodos. Dentre eles, destaca-se o uso de traçadores conservadores, conforme indicado por Cook (2020), os quais permitem obter informações quantitativas sobre o grau de mistura entre distintas fontes. Quando duas ou mais águas com composições isotópicas ou químicas distintas se combinam, a composição final da mistura é determinada tanto pelas características específicas de cada componente quanto pela proporção relativa de sua contribuição.

Silva *et al.* (2021) apresentam um estudo detalhado sobre lineamentos e compartimentação estrutural, que pode auxiliar na identificação de áreas suscetíveis à mistura de águas subterrâneas. O trabalho destes autores permitiu o reconhecimento de feições geomorfológicas expressivas, coincidentes com os vales dos principais rios da região Sul do Brasil. Além disso, possibilitou a delimitação de zonas altamente produtivas, com destaque para a superfície de contato entre os aquíferos Guarani e Serra Geral, considerada altamente produtiva em 93% dos poços que interceptam ambos os sistemas aquíferos.

Teramoto, Gonçalves e Chang (2020), em estudo realizado no estado de São Paulo (SP), Brasil, utilizou de análises físico-químicas e simulações numéricas para demonstrar que a maior parte da recarga do SAG provém da infiltração descendente oriunda do SASG. Corroborando essa evidência, os resultados obtidos neste trabalho indicam que mais de 50% da recarga do SAG em SP é atribuída à contribuição do SASG. Além disso, observa-se que a hidroquímica e as variações isotópicas do SAG são fortemente influenciadas pela mistura com sistemas aquíferos subjacentes e sobrejacentes, evidenciando processos de interação entre diferentes unidades hidroestratigráficas.

No nordeste do Rio Grande do Sul (RS), o SAG está associado a rochas sedimentares, especialmente ao arenito da Formação Botucatu. Nesta região, o SAG está confinado pelo pacote vulcânico da Formação Serra Geral. O SAG é reconhecido como um dos maiores aquíferos do mundo (Gemeiner *et al.*, 2025). No entanto, sua vasta extensão apresenta variações significativas na qualidade da água: enquanto em algumas regiões as águas são potáveis, em outras são salobras, salinas ou inadequadas para o consumo humano. Essa heterogeneidade das características hidroquímicas se deve à presença de compartimentos hidroestratigráficos que, segundo Machado (2005), nem sempre estão interconectados.

A recarga do SAG ocorre por infiltração da precipitação, infiltração das águas dos rios que se encontram ao longo da área de afloramento, infiltração nas fraturas das rochas, e por meio de "janelas" (descontinuidades) no basalto. Estas áreas de recarga, incluindo os afloramentos permitem que o aquífero possua vulnerabilidade alta à contaminação. As principais áreas de descarga são os rios Paraná e Uruguai, bem como áreas alagadas na Argentina e Paraguai. Também há descarga em pequenas nascentes quando há presença de diques vulcânicos por meio do fluxo ascendente da água (Foster *et al.*, 2009).

O SASG está associado à Formação Serra Geral, denominado atualmente de Grupo Serra Geral. Associado às estruturas tectônicas e de resfriamento das rochas vulcânicas, há a ocorrência de aquíferos fraturados que formam o SASG, em que os parâmetros hidrodinâmicos e hidrogeológicos são heterogêneos e descontínuos (Reginato, 2003; Viero *et al.*, 2021; Rossetti *et al.*, 2018).

As águas do SASG encontram-se armazenadas nas brechas, vesículas e amígdalas, nas disjunções verticais e horizontais, e em zona de contato de derrames e estruturas tectônicas das rochas vulcânicas (Reginato, 2003).

O estudo de Reginato *et al.* (2024) aponta que as águas minerais captadas e comercializadas no estado do RS, as quais provêm do SASG, são águas jovens, pH próximo ao neutro e possuem baixas concentrações de Condutividade Elétrica (CE), por isso são consideradas águas “leves” e dessa forma sendo bem aceita para consumo.

A maior infiltração e recarga no SASG ocorre nos altos topográficos de formato côncavo, com menor declividade e solos espessos, diferentemente das áreas com maior declividade e dissecadas que apresentam menor infiltração. Conforme Bortolin (2018) a água que percola o solo (manto de alteração das rochas) contribuirá para a recarga do aquífero fraturado, a qual é condicionada pelo clima, topografia, tipo, uso e cobertura do solo.

A demanda hídrica no RS, em relação as águas subterrâneas, totalizou 152,24 m³/s em 2021, e as finalidades de uso são: abastecimento público/consumo humano (35,44%); irrigação (20,02%); processos industriais (14,32%); dessedentação animal (2,38%); entre outros (27,84%). Há o interesse do governo do estado em ampliar o conhecimento sobre a qualidade das águas subterrâneas, para que seja aplicável um instrumento de enquadramento por meio de uma rede de monitoramento qualitativo (Rio Grande do Sul, 2022).

A pesquisa conduzida por Matos e Reginato (2019) e Matos (2020), que mapeou áreas da porção nordeste do RS, identificou regiões com potencial para a ocorrência de mistura entre águas provenientes do SAG e SASG. Segundo os autores, essa interação resulta em elevação nas concentrações de Sódio, Cloreto, Sulfato, Fluoreto e CE. Matos (2020) também ressalta que, nos vales encaixados, há maior propensão à mistura de águas subterrâneas, devido à menor espessura das rochas vulcânicas no fundo dos vales, às acentuadas declividades e às reduzidas taxas de recarga.

No estudo desenvolvido por Bellé; Reginato e Vargas (2024), na região do Vale do Rio das Antas (RS), foram identificados em alguns poços do SASG, águas com características hidroquímicas similares ao do SAG, evidenciando a ocorrência de processos de misturas de águas. Além disso, foi possível identificar a ocorrência de alguns parâmetros (Fluoreto, Sulfato, Sódio e STD) apresentando concentrações acima do VMP da Portaria GM/MS nº 888/2021.

Nessa região há três comunidade rurais (Burati, Rosário e São Luiz), e são abastecidas por poços (comunitários e individuais) que captam água do SASG. Como esses poços são utilizados para abastecimento e são bombeados de forma contínua, há possibilidade de ocorrer alterações na composição da água, provocados pelos processos de misturas.

Em função disso foi desenvolvido esse trabalho que teve como objetivo avaliar as variações sazonais da composição das águas subterrâneas, de poços que captam água exclusivamente do SASG e que são utilizadas para abastecimento comunitário e doméstico, bem como identificar a ocorrência de processos de misturas de água entre os dois aquíferos.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está situada na porção nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, abrange os municípios de Bento Gonçalves e Pinto Bandeira (Figura 1), em uma região de vales encaixados no Vale do Rio das Antas, com altitudes variando entre 150 e 320 metros.

A área de estudo pertence a Divisão Geológica Bacia do Paraná ou Província Ígnea Paraná-Etendeka (como é denominado por Rossetti *et al.*, 2018), especificamente a Formação Serra Geral na Fácies Gramado. Essa província é marcada por derrames vulcânicos de composição básica e ácida, intercalados por pacotes sedimentares preservados ao longo da coluna estratigráfica, os quais funcionam como importantes marcadores de períodos de quiescência na atividade vulcânica.

As rochas que formam a unidade Fácies Gramado são caracterizadas por derrames basálticos granulares finos a médio, constituídos por minerais escuros, então apresentando cor cinza, sendo definidas como rochas básicas por apresentarem de 55-45% de sílica. Apresentam horizontes vesiculares preenchidos por zeolitas, carbonatos, apofilitas e saponita, estruturas de fluxo e *pahoehoe* comuns, intercalações com os arenitos da Formação Botucatu (SGB, 2008).

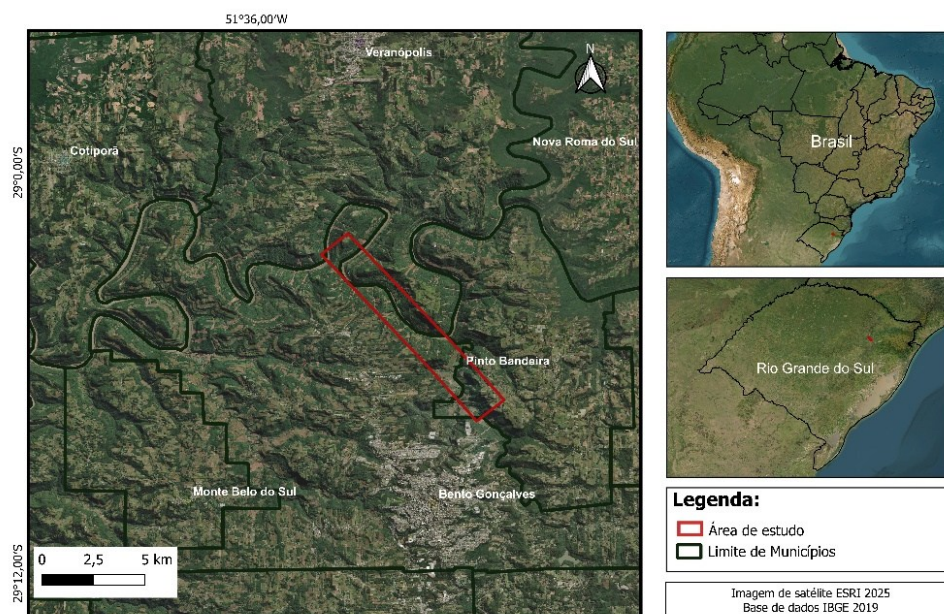


Figura 1. Área de estudo, compreendida em região de vales inclinados no RS

Inserida na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, essa região é caracterizada por intenso intemperismo e erosão, o que contribuiu para a formação de cursos fluviais nos fundos dos vales, conforme descrito por Popp (2017). O Rio das Antas possui Q95% de respectivamente 2,83 m³/s (medido na ponte Ernesto Dorneles) (Rio Grande do Sul, 2012). Na Bacia Hidrográfica a população utiliza os recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, para fins consuntivos e não consuntivos, abrangendo atividades como pecuária, agricultura irrigada, abastecimento público, uso industrial, geração de energia, turismo e lazer.

A área de estudo está inserida na Unidade Geomorfológica Serra Geral, que constitui testemunhos do recuo da escarpa desenvolvida sobre as sequências vulcânicas e sedimentares da cobertura da Província Paraná. Essa unidade abrange formas de relevo em colinas com vales fluviais pouco entalhados, caracterizadas por forte controle estrutural (Figura 2). Pontualmente, também ocorrem formas planares, evidenciando variações locais na morfologia (IBGE, 1986). Segundo Matos (2020), essa configuração geomorfológica favorece a ocorrência de problemas relacionados à mistura de águas entre o SAG e SASG uma vez que os vales apresentam acentuadas declividades, menor recarga hídrica e maior influência das águas do SAG nos poços perfurados nas rochas vulcânicas.



Figura 2. Relevo em colinas, com ocorrência do Rio das Antas no fundo do vale

A fim de caracterizar as águas do SASG e SAG, Matos (2020) agrupou os diferentes tipos de águas que circulam por esses sistemas, sendo que na região do vale do Rio das Antas, o SASG ocorre sobre o SAG (confinado). As classes são descritas no Quadro 1.

Quadro 1 – Características das águas do SASG e SAG, sendo que as classes C3-SASG e C4-SASG indicam a existência de interações entre os aquíferos

Classes	SASG	SAG
C1	Baixa concentração de sulfato (até 15 mg/L), cálcio, sódio, magnésio e CE até 280 μ S/cm.	Valores altos de bicarbonato, e baixos de fluoreto, cloreto, sulfato, sódio e CE.
C2	Maiores concentrações de cálcio e magnésio, e menores concentrações de sulfato (até 15 mg/L), fluoreto e sódio, e CE até 432 μ S/cm.	Alta concentração de sulfato e baixa de cloreto, e concentrações mais elevadas de cálcio.
C3	Predomínio do cátion sódio (acima de 50 mg/L) sobre o cálcio e o magnésio e maiores concentrações de sulfato (32 à 103 mg/L).	Águas típicas do SAG de alto confinamento, com valores elevados de CE, sódio, cloreto, sulfato, bicarbonato, e baixas concentrações de cálcio e magnésio. Fluoreto encontrado é maior que 1 mg/L.
C4	Concentrações de sulfato acima de 145 mg/L, bem como altos valores de CE, fluoreto e sódio (acima de 50 mg/L).	Águas típicas do SAG de alto confinamento, com valores elevados de sódio, sulfato, cloreto e CE, mas com concentrações bicarbonato bem mais baixas que as encontradas em C3-SAG.

Fonte: Matos (2020).

Na região, as características orográficas são um fator de grande influência na distribuição das precipitações, sendo que na região dos vales da Serra Geral é onde ocorrem as maiores precipitações (Belladonna; Vargas, 2017). Conforme Brunetto *et al.* (2025) os modelos climáticos globais mostram tendência de aumento da precipitação total, porém essas chuvas tendem a ocorrer de forma mais concentrada e intensa, alternadas com períodos de pouca precipitação.

A área está inserida no Clima Temperado, por apresentar chuvas todos os meses e é classificada como “Cfa II 1b” pela área estar localizada na região de “Periferia do bordo erodido do Planalto Basáltico” (Moreno, 1961). De acordo com a Normal Climatológica 1991-2020, a precipitação acumulada na Região Nordeste do Rio Grande do Sul varia de 1600 a 1800 mm/ano. Observa-se nos dados da estação climatológica A840 temperaturas médias mensais oscilando entre 10°C e 25°C (INMET, 2025).

Em 2024 ocorreu precipitação em todos os meses, e a precipitação média mensal ocorrida na região foi de 186,98 mm, com valor mensal acumulado máximo de 763 mm e mínimo de 47,8 mm. Os períodos com menor precipitação (<100 mm) são os meses de março, julho, agosto, outubro, novembro/2024 e janeiro/2025. Os períodos com maiores acumulados de precipitação (>300 mm) foram abril, maio e junho/2024 (INMET, 2025).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desse estudo, foram selecionados seis poços para monitoramento que estão localizados na região de ocorrência dos vales encaixados do Rio das Antas (Figura 3). Essas águas são utilizadas tanto para abastecimento doméstico, por meio de poços particulares (3 poços selecionados), quanto para o abastecimento público de comunidades locais (3 poços selecionados). A área está inserida na região delimitada por Matos (2020) que apresenta potencial para misturas e alteração da qualidade da água subterrânea.

As informações geológicas e construtivas dos poços — localização, profundidade, entrada de água, litologia e cotas (do terreno, do topo do SAG e do nível estático) — foram obtidas a partir do SIAGAS, de empresas privadas de perfuração, de relatórios da CORSAN e de trabalhos acadêmicos, como os de Matos (2020) e Tondo *et al.* (2017). As características dos seis poços do SASG (monitorados), assim como dos seis poços do SAG identificados na área e utilizados na avaliação hidrogeológica, estão apresentadas na Tabela 1.

As amostragens foram realizadas em cada poço, com início em janeiro de 2024 e continuidade nos meses subsequentes, abrangendo os períodos de janeiro a abril/2024 e de junho/2024 a janeiro/2025. Apenas no mês de maio/2024, não houve coleta nem análise, em decorrência do evento extremo que afetou a região o qual foi considerado, por Andrades-Filho *et al.* (2025), o maior evento de deslizamento já registrado no Brasil.

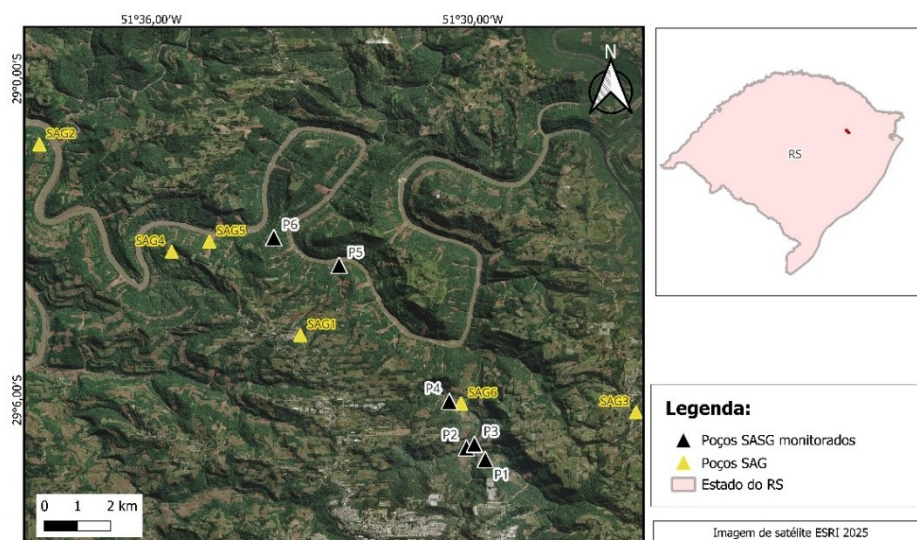


Figura 3. Localização dos poços SASG (monitorados) e poços do SAG

Tabela 1 – Informações dos poços monitorados e avaliados

Poços monitorados do Sistema Aquífero Serra Geral							
Poço	Município	Profundidade (metros)	Entradas de água (metros)	Litologia	Cota do terreno (metros)		
P1	Pinto Bandeira	190	-	Basalto	277		
P2	Pinto Bandeira	90	46;79	Basalto	158		
P3	Pinto Bandeira	220	-	Basalto	219		
P4	Bento Gonçalves	280	180;230; 240	Basalto	297		
P5	Bento Gonçalves	119	-	Basalto	122		
P6	Bento Gonçalves	306	240;300	Basalto	279		
Poços do Sistema Aquífero Guarani							
Poço	Município	Profundidade (metros)	Entradas de água (metros)	Litologia	Cota do terreno (metros)	Cota do topo do SAG (metros)	Cota do NE (metros)
SAG1	Bento Gonçalves	856	756	Basalto e Arenito	563	-293	86,66
SAG2	Bento Gonçalves	296	270;290	Basalto e Arenito	237	-59	90,75
SAG3	Pinto Bandeira	750	67;246; 376;590	Basalto e Arenito	631	-119	-
SAG4	Bento Gonçalves	360	-	Basalto e Arenito	335	-25	-
SAG5	Bento Gonçalves	210	120;150; 200	Basalto e Arenito	191	-19	-
SAG6	Bento Gonçalves	300	85;293	Basalto e Arenito	216	-84	-

Fonte: SIAGAS, empresas particulares de perfuração, CORSAN, Matos (2020) e Tondo et al. (2017).

Os parâmetros de Cloreto, Sulfato, Condutividade Elétrica (CE) e pH foram analisados mensalmente em poços do SASG, enquanto o Fluoreto e Sódio foram analisados bimestralmente. A escolha desses indicadores baseou-se em estudos anteriores realizados por Reginato, Ahlert e Schneider (2013), Matos (2020), Teixeira e Viero (2017) que indicaram que esses parâmetros podem ser utilizados para avaliar ocorrência de misturas entre o SAG e SASG, bem como são parâmetros que podem apresentar concentrações superiores aos limites recomendados para consumo humano.

Em campo, foi possível determinar o pH e CE, por meio da sonda multiparâmetros portátil da marca Biocentrix, modelo EZ-9909SP. No Laboratório de Saneamento do IPH – UFRGS, foi possível analisar os parâmetros de Cloreto e Sulfato utilizando o Fotômetro PF-12 Plus Macherey-Nagel. Foi enviado para Laboratório Terceirizado (Engequímica), as amostras de águas para análise de Sódio e Fluoreto.

Foram monitorados os volumes bombeados de dois poços comunitários, por meio da coleta mensal de dados do hidrômetro instalado nesses poços, permitindo uma avaliação mais precisa da dinâmica de exploração na influência sobre a composição da água. Além disso, foram identificados 6 poços do SAG nas proximidades da área de estudo, os quais interceptam o Arenito da Formação Botucatu, cujos dados hidroquímicos foram avaliados com o objetivo de caracterizar as águas subterrâneas do aquífero sedimentar.

Com os dados dos poços SAG e dos poços monitorados foi possível identificar a relação do contato entre as rochas sedimentares e as rochas vulcânicas, que permitiu elaborar a seção hidrogeológica, a qual foi utilizada na avaliação da possibilidade de ocorrência de misturas de águas entre os sistemas aquíferos SAG e SASG. A avaliação de mistura de águas entre o SASG e SAG foi baseada nos dados estatísticos dos dados monitorados dos poços SASG que foram comparados com os dados dos poços SAG e com os padrões de evicência de misturas identificados por Matos (2020). Para isso, os dados foram submetidos a análises estatísticas e representados graficamente com uso de Excel.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados apresentados referem-se ao monitoramento do SASG e à análise da mistura de águas entre os sistemas aquíferos SAG e SASG.

4.1. Dados de monitoramento do SASG e discussão

Foram realizadas 12 campanhas em cada poço SASG, totalizando 72 amostragens de água. As figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9 apresentam os gráficos das concentrações dos parâmetros de CE, pH, Fluoreto, Cloreto, Sulfato e Sódio de acordo com as medições realizadas, no período de Janeiro/2024 a Janeiro/2025. Nota-se que foram encontrados valores anômalos referente aos parâmetros analisados.

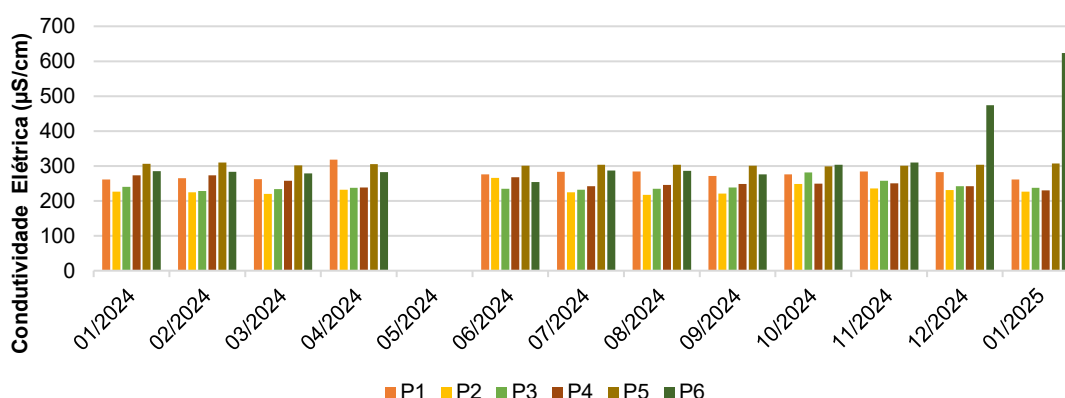


Figura 4. Monitoramento SASG – destaque para os valores anômalos de CE no P6

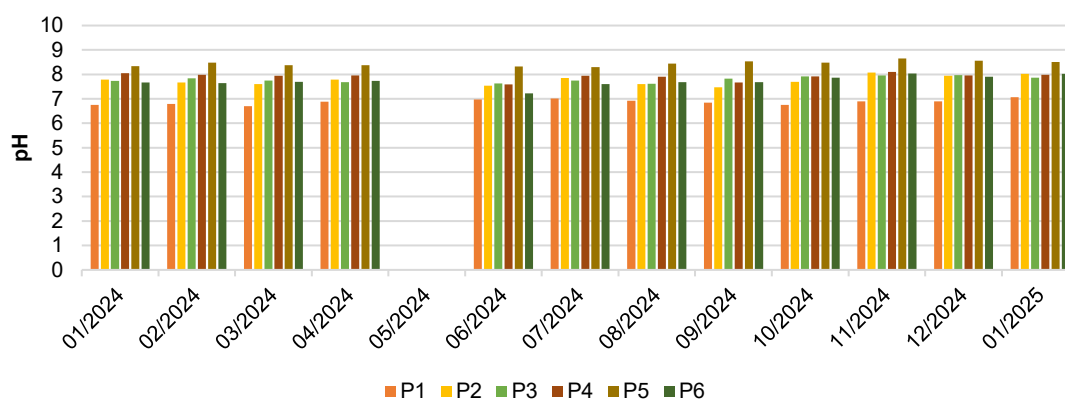


Figura 5. Monitoramento SASG – valores de pH

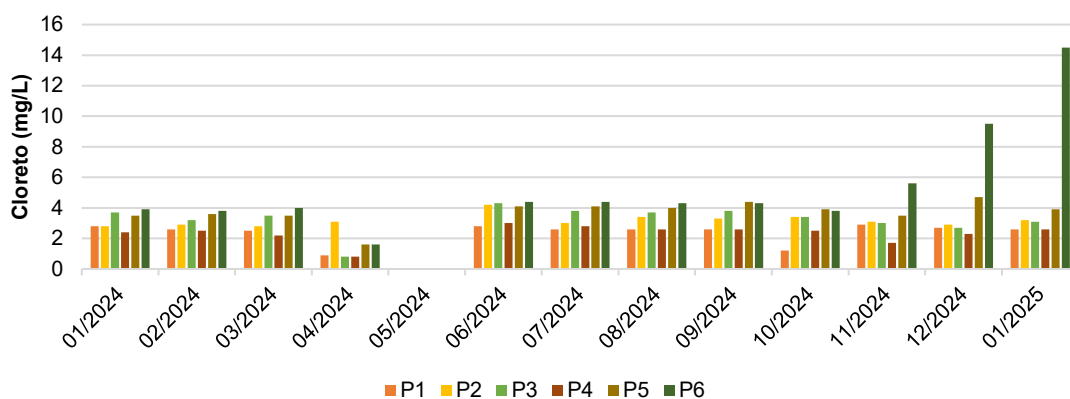


Figura 6. Monitoramento SASG – destaque para os valores anômalos de Cloreto no P6

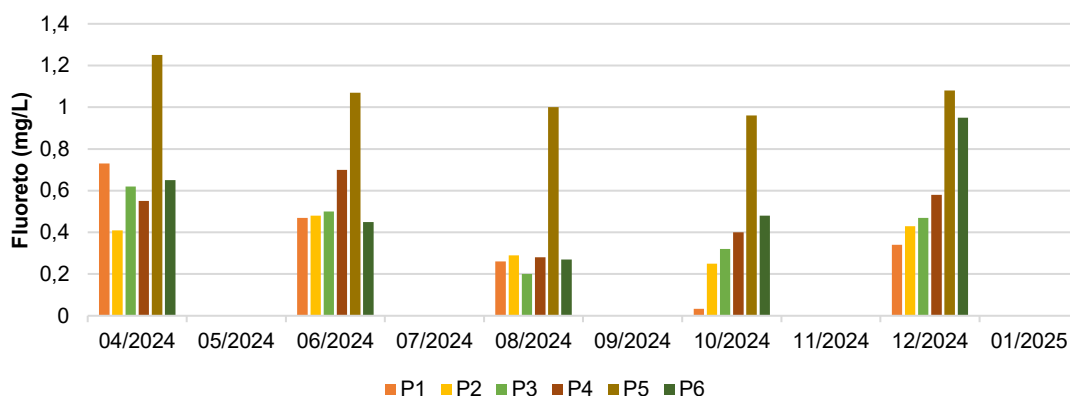


Figura 7. Monitoramento SASG – destaque para os valores anômalos de Fluoreto no P5 e P6

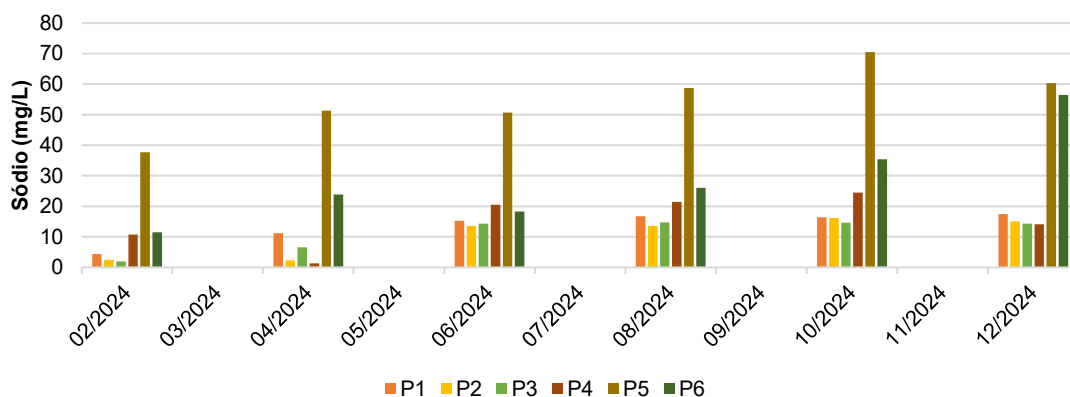


Figura 8. Monitoramento SASG – destaque para os valores anômalos de Sódio no P5 e P6

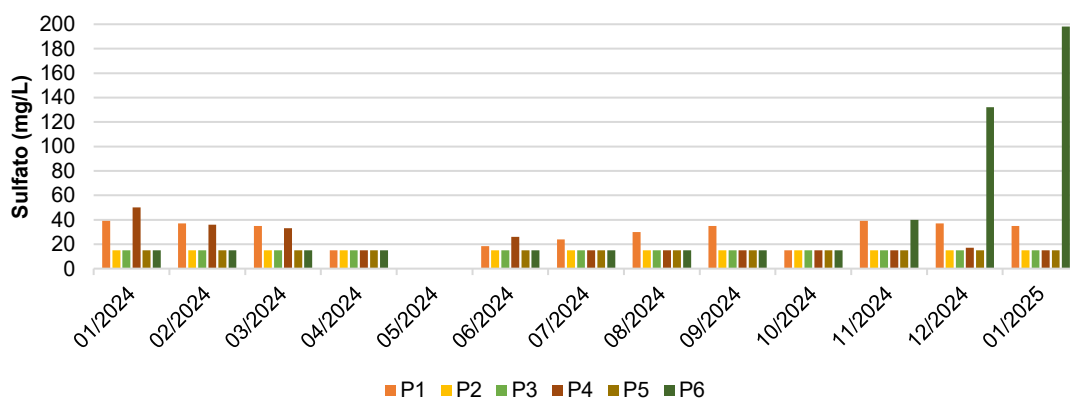


Figura 9. Monitoramento SASG – destaque para os valores anômalos de Sulfato no P5 e P6

Os resultados obtidos com o monitoramento foram analisados estatisticamente, sendo que estes dados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – In Valores estatísticos de CE, pH, Fluoreto, Cloreto, Sulfato, Sódio – P1, P2, P3, P4, P5 e P6

P1	CE (μS/cm)	pH	Fluoreto (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Sódio (mg/L)
Valor médio	276,92	6,87	0,43	2,4	32,9	13,55
Valor mínimo	261,0	6,70	0,26	0,9	<15,0	4,33
Valor máximo	318,0	7,06	0,73	2,9	39,0	17,42
Mediana	276,0	6,88	0,34	2,6	35,0	15,86
Desvio Padrão	15,16	0,10	0,18	0,61	6,56	5,04
P2	CE (μS/cm)	pH	Fluoreto (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Sódio (mg/L)
Valor médio	231,08	7,76	0,37	3,2	<15,0	10,51
Valor mínimo	217,0	7,47	0,25	2,8	<15,0	2,24
Valor máximo	266,0	8,08	0,48	4,2	<15,0	16,17
Mediana	226,0	7,74	0,41	3,1	<15,0	13,58
Desvio Padrão	13,16	0,18	0,09	0,37	0	6,40
P3	CE (μS/cm)	pH	Fluoreto (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Sódio (mg/L)
Valor médio	241,42	7,80	0,42	3,26	<15,0	11,06
Valor mínimo	228,0	7,62	0,20	0,8	<15,0	1,92
Valor máximo	281,0	7,97	0,62	4,3	<15,0	14,7
Mediana	237,0	7,77	0,47	3,45	<15,0	14,29
Desvio Padrão	13,85	0,115	0,16	0,846	0	5,48
P4	CE (μS/cm)	pH	Fluoreto (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Sódio (mg/L)
Valor médio	251,42	7,92	0,50	2,3	29,6	15,46
Valor mínimo	230,0	7,59	0,28	0,8	<15,0	1,37
Valor máximo	273,0	8,10	0,70	3,0	50,0	24,48
Mediana	248,5	7,95	0,55	2,5	26,0	17,35
Desvio Padrão	13,27	0,14	0,16	0,55	11,92	8,54
P5	CE (μS/cm)	pH	Fluoreto (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Sódio (mg/L)
Valor médio	303,42	8,45	1,07	3,7	15,0	54,88
Valor mínimo	299,0	8,3	0,96	1,6	<15,0	37,69
Valor máximo	310,0	8,65	1,25	4,7	15,0	70,49
Mediana	303,0	8,46	1,07	3,9	15,0	55,03
Desvio Padrão	2,96	0,10	0,11	0,74	0	11,08
P6	CE (μS/cm)	pH	Fluoreto (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Sódio (mg/L)
Valor médio	328,5	7,73	0,56	4,5	77,0	28,57
Valor mínimo	254,0	7,23	0,27	1,6	<15,0	11,46
Valor máximo	623,0	8,04	0,95	14,5	198,0	56,41
Mediana	285,5	7,69	0,48	4,3	86,0	24,95
Desvio Padrão	103,8	0,21	0,26	3,26	73,13	15,8
*VMP	-	-	1,5	250	250	200

* VMP estabelecido pela Portaria GM/MS 888/2021 conforme Brasil (2021).

Observando os dados obtidos com o monitoramento ao longo de 12 meses, dos seis poços (P1, P2, P3, P4, P5 e P6), quanto as concentrações dos parâmetros analisados, algumas anomalias foram identificadas nas águas dos poços que estão perfurados no SASG.

Para o parâmetro CE, os valores médios variaram entre 231,08 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 328,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Com base nos resultados e no desvio padrão, observou-se que a CE foi o parâmetro com maior variação em cinco dos seis poços monitorados, sendo o P5 a exceção, com menor variação ao longo do tempo. Os maiores valores e maiores médias de CE foram encontrados no P5 e P6. Destaca-se que em 50% dos poços, o aumento da CE ocorreu nos meses de dezembro e janeiro. Esses comportamentos de variações nos valores de CE, indicam haver episódios de aumento na concentração de substâncias dissolvidas em poços do SASG.

Em relação às anomalias de CE nas águas dos poços, Freitas, Roisenberg e Andriotti (2016, p. 14) afirmam que, no contexto do SASG, valores superiores a 378,35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ são considerados anômalos. Com base nesse critério, o P1, P2, P3, P4 e P5 não apresentaram anomalias quanto à CE. Porém, no P6 foram observados dois episódios com valores superiores a esse limite, sendo registrado 474 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 623 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que segundo os autores, podem indicar a possibilidade de mistura de águas entre os aquíferos SAG e SASG. Além disso, ressalta-se a ausência de águas com baixo grau de mineralização (<117,35 $\mu\text{S}/\text{cm}$) já que os valores mais altos indicam maior concentração de sais dissolvidos, ou seja, uma água mais mineralizada, em que houve maior tempo de interação água-rocha (Reginato *et al.*, 2021, Bortolin, 2014).

No pH dos seis poços monitorados, observou-se que o valor mínimo encontrado foi 6,7 (P1) e valor máximo de 8,65 (P5). Dentre os parâmetros analisados, o pH apresentou os menores desvios padrão em relação à média, indicando pouca variação ao longo do tempo. Porém, em todos os poços notou-se queda nos valores de pH nos meses de janeiro, junho e dezembro. Ainda, o P1 apresentou águas levemente ácidas a neutras; P2, P3 e P6 apresentaram águas levemente alcalinas; P4 e P5 apresentaram águas alcalinas. Segundo Reginato *et al.* (2021) os valores típicos de pH para o SASG na região podem variar entre 5,5 e 7,8, sendo os valores ácidos associados a poços com entradas de água rasas (<50m), enquanto maiores valores estão associados a entradas de água mais profundas (>50m).

Em relação ao fluoreto, os valores médios estiveram situados entre 0,37 mg/L a 1,07 mg/L. Os maiores valores e a maior média foram encontrados no P5, sendo que o valor máximo foi de 1,25 mg/L, sugerindo a ocorrência de maiores concentrações de fluoreto neste poço está relacionada a dinâmica da recarga ascendente do SAG, já que em águas do SASG as concentrações deste íon são menores, podendo variar entre 0,1 e 0,25 mg/L, conforme exposto por Nanni (2008) e Reginato *et al.* (2012). Ainda, no P5 percebeu-se o padrão de concentração do fluoreto, com ausência de picos ou quedas, e se mantendo contante com o passar dos meses. A segunda maior média de concentração de fluoreto se deu no P6. Ainda, em quatro dos seis poços monitorados, houve pelo menos uma queda da concentração de fluoreto nas águas, entre o período de análises de junho e outubro, representando 66,7% dos poços monitorados. A maior concentração de fluoreto foi registrada no mês de abril (50%).

Em relação ao sulfato, os valores médios variaram entre <15,0 mg/L a 42,08 mg/L. Em muitas amostras o resultado encontrado foi <15 mg/L, visto o L.Q. (Limite de Quantificação) do método da análise. Os maiores valores e as maiores oscilações de sulfato se deram no P1, P4 e P6. No P6, em que há um aumento gradativo nos últimos meses monitorados, onde o valor máximo atingiu 198 mg/L. Segundo Matos (2020), concentrações elevadas de sulfato estão associadas a anomalias hidroquímicas, que indicariam misturas de água entre o SAG e SASG. O P1 e P4 são poços que ficam ao lado de áreas de cultivo de parreiras, sendo que esse aumento do sulfato nesses poços poderia estar associado a lixiviação de insumos agrícolas, e não a ocorrência de misturas de água.

Em relação ao cloreto, os valores médios estiveram situados entre 2,38 mg/L a 4,51 mg/L. Os maiores valores e maior média foram encontrados no P6. Nota-se que em nove meses os resultados obtidos do poço P6 foram <4,0 mg/L, porém a partir de novembro, as concentrações foram aumentando gradualmente até atingir o valor máximo de 14,5 mg/L, indicando possibilidade de estar associado a mistura de águas.

Em relação ao sódio, os valores médios variaram de 10,51 mg/L a 54,88 mg/L, sendo que a maior concentração foi encontrada no P5 (70,49 mg/L). Conforme Bortolin (2014), valores de até 15 mg/L são características de águas

do SASG. Já Jeske (2022) identificou, nas águas do SAG no RS, média de CE de 331,15 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e de sódio de 34,25 mg/L. O P5 e P6 apresentaram valores semelhantes a Jeske (2022), indicando possíveis anomalias hidroquímicas.

Por fim, nenhuma das amostras analisadas apresentaram concentrações acima do VMP da Portaria GM/MS nº 888/2021 (Brasil, 2021). No poço P5, embora as concentrações de fluoreto não tenham ultrapassado o VMP, algumas medições excederam 1,0 mg/L, atingindo até 1,25 mg/L. Segundo a EPA (2009), a concentração mínima de fluoreto na água ingerida necessária para garantir efeito protetor é de 0,5 mg/L; entretanto, em excesso pode causar fluorose dentária e, com o acúmulo ao longo dos anos, levar a problemas ósseos. No poço P6, observou-se um aumento nas concentrações de sulfato, que se aproximam do VMP, podendo tornar a água imprópria para consumo. A presença de sulfato na água pode provocar corrosão no sistema de distribuição, alterar seu sabor e causar desconfortos gastrointestinais devido ao seu efeito laxativo.

4.2. Avaliação das oscilações dos parâmetros monitorados com a vazão explotada

Os dados de consumo dos poços P2 e P6 (poços comunitários) em comparação com os valores encontrados no monitoramento, estão representados nas figuras 10 e 11.

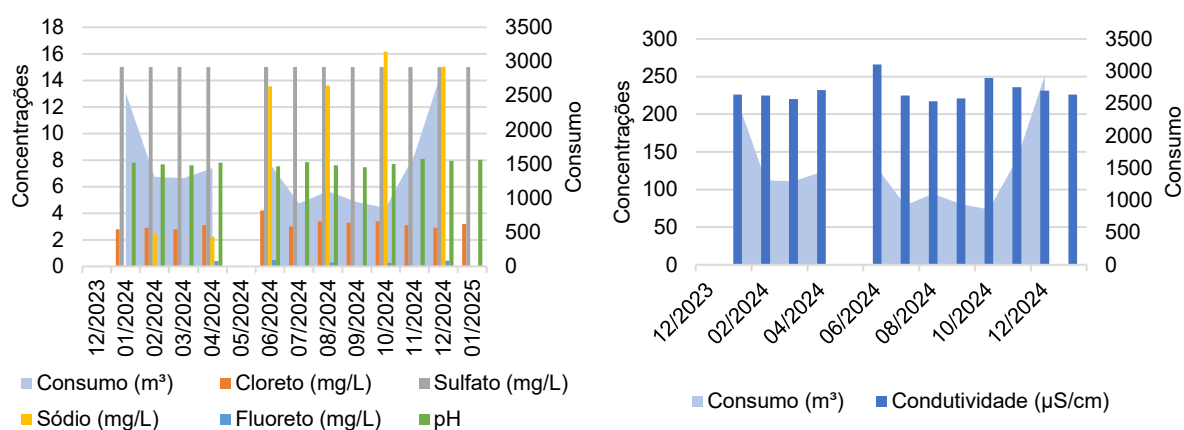


Figura 10. Comparação do consumo (m^3) com parâmetros monitorados – P2

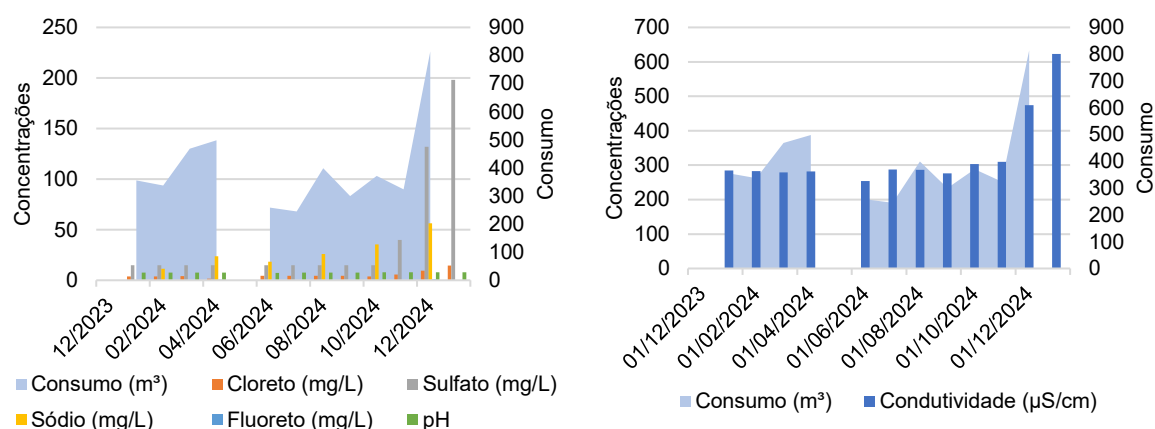


Figura 11. Comparação do consumo (m^3) com parâmetros monitorados – P6

No poço P2, o maior consumo registrado foi de 2.928 $\text{m}^3/\text{mês}$, enquanto no poço P6, o consumo máximo foi de 814 $\text{m}^3/\text{mês}$. Ambos os poços tiveram o bombeamento interrompido após o evento extremo em maio/2024, sendo que o período de maior bombeamento abrangeu os meses de dezembro e janeiro.

A análise dos períodos de maior consumo revelou comportamentos distintos entre os poços P2 e P6. No P2, os maiores valores de CE ocorreram com menor bombeamento, enquanto o pH variou ao longo do tempo e o sódio manteve concentrações elevadas independentemente do volume explotado. Sulfato e cloreto permaneceram estáveis. Já no P6, o aumento do bombeamento entre dezembro e janeiro coincidiu com o acréscimo nas concentrações de diversos parâmetros, como CE, pH, cloreto, sulfato, fluoreto e sódio.

4.3. Avaliação de mistura de águas entre SASG e SAG

Os vales de rios são locais favoráveis à comunicação de diferentes fontes de água subterrânea, por estarem encaixados em grandes estruturas que às vezes comunicam estratos diferentes, dependendo a orientação das fraturas, conforme explica Teixeira (2020). O autor explana que a mistura de águas ocorre quando o nível potenciométrico do SAG é superior à base do SASG, então ocorre drenança vertical ascendente, e as águas do SAG misturam-se às águas do aquífero superior.

A seção hidrogeológica desenvolvida nesta pesquisa evidencia que pela posição da linha potenciométrica estimada para o SAG, haveria a possibilidade de ocorrência de mistura das águas do SAG em determinados poços do SASG, conforme figuras 12 e 13.

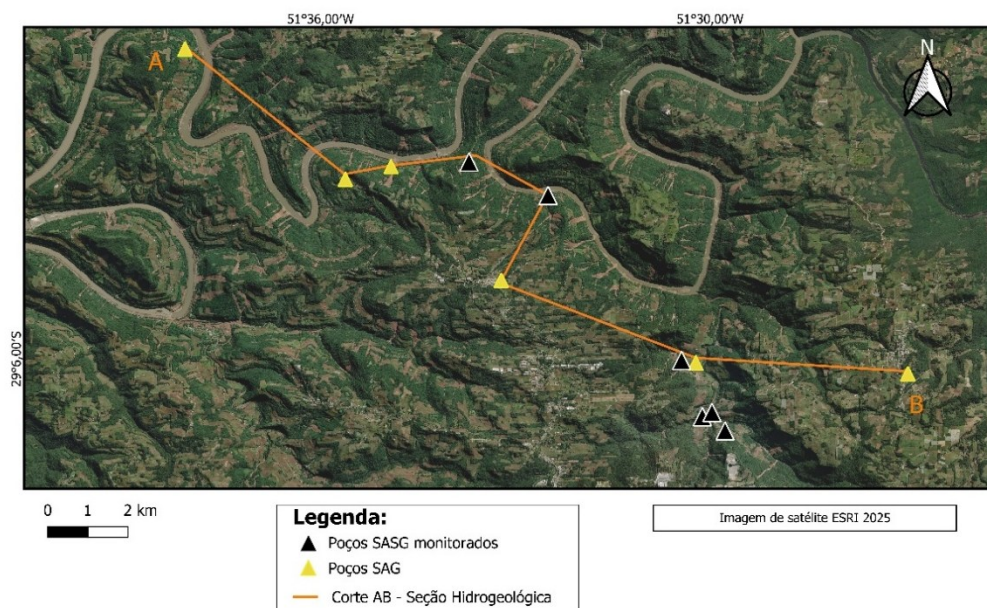


Figura 12. Corte AB da seção hidrogeológica

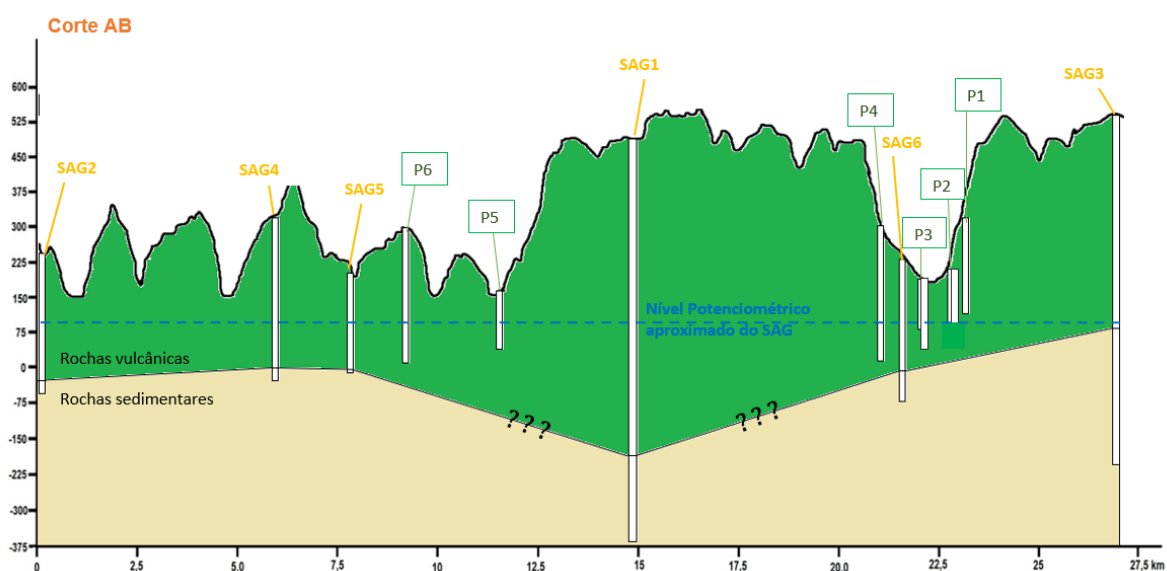


Figura 13. Seção hidrogeológica da relação entre os sistemas aquíferos SAG e SASG

A profundidade de ocorrência do arenito na região, varia de -19 até -293 m.s.n.m (metros sobre nível do mar), sendo que a base (profundidade final) dos poços SASG monitorados localizam-se a uma distância que varia de 30 a 100 metros do arenito. Por isso, os poços do SASG que estão mais próximos do contato do arenito (P2, P3, P4, P5 e P6) possuem maior possibilidade de apresentar misturas de águas.

Salienta-se que para que ocorra misturas, além de potenciometria favorável (evidenciada pelo nível potenciométrico) é necessário ter estruturas tectônicas (fraturas e falhas) que interceptam as rochas vulcânicas e sedimentares. Embora a informação sobre as estruturas não tenha sido possível de analisar nesse estudo, a ocorrência de variações significativas da profundidade de ocorrência do arenito indicam a existência de uma compartimentação do SAG, fato esse já evidenciado no trabalho de Matos (2020). No entanto, a presença de uma potenciometria favorável já pode indicar a possível ocorrência de misturas.

Matos (2020) estabeleceu classes que indicam ocorrência de misturas de águas subterrâneas entre SAG e SASG. Segundo o autor, as classes C3-SASG e C4-SASG evidenciam misturas, enquanto que as outras seriam mais típicas do SASG sem misturas. Identificou-se que os poços P5 e P6 possuem características semelhantes as classes C3-SASG e C4-SASG, evidenciando que nesses poços os processos de misturas de água ocorrem e são mais evidenciados, comprovados pelos resultados obtidos. O P5, localizado no fundo do Vale do Rio das Antas, alcançou concentração máxima de Sódio de 70,49 mg/L e Fluoreto de 1,25 mg/L. Já o P6, localizado na crista do Vale do Rio das Antas alcançou concentração máxima dos parâmetros de CE (623,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$), Cloreto (14,5 mg/L), Sulfato (198,0 mg/L) e Sódio 56,41 (mg/L). Ainda, conforme estudo de Matos (2020) nota-se semelhança das águas dos poços P5 e P6 em classes de águas típicas do SAG que foram definidas pelo autor para a região, que se referem as classes C2-SAG e C3-SAG, evidenciando ainda mais o processo de misturas de água na região onde estão localizados esses poços.

Avaliando a ocorrência de mistura de águas e observando o bombeamento no P6, nota-se que ocorreu aumento simultâneo das concentrações dos parâmetros de interesse. Essa diferença pode ser atribuída as particularidades de cada poço, porque estão em localizações geográficas diferentes, possuem estruturas geológicas diferentes, e conforme a seção hidrogeológica, o P6 está mais próximo das rochas sedimentares (arenitos) onde está localizado o SAG.

Os valores médios obtidos no monitoramento dos poços P1, P2, P3, P4, P5 e P6, assim como as médias dos parâmetros dos poços do SAG, são apresentados na Tabela 3 e Figura 14.

Tabela 3 – Valores médios para avaliação de misturas de águas do SAG, SASG (mistura) e poços monitorados

Valores médios	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cloreto (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	Sódio (mg/L)	Sulfato (mg/L)	pH
SAG	582,40	22	1,11	88,95	116,01	7,69
P1	276,92	2,38	0,43	13,55	32,9	6,87
P2	231,08	3,17	0,37	10,51	*	7,76
P3	241,42	3,26	0,42	11,06	*	7,80
P4	251,42	2,31	0,5	15,46	29,59	7,92
P5	303,42	3,72	1,07	54,88	15,0	8,45
P6	328,5	4,51	0,56	28,57	77,0	7,73

*Valores mínimos inferiores ao LQ foram desconsiderados

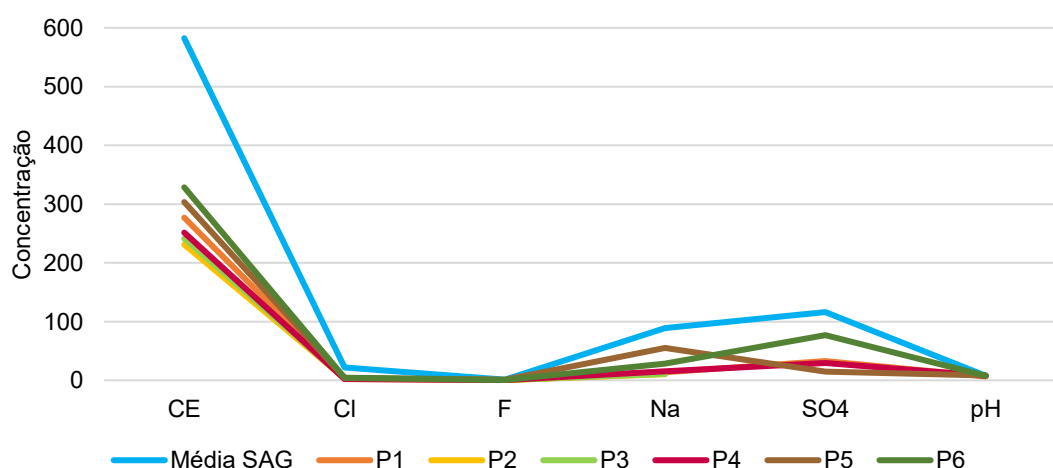


Figura 14. Valores médios dos poços SASG (monitorados) comparados com poços SAG

A comparação entre valores estatísticos dos poços (SASG) monitorados e poços SAG revela linhas com certo paralelismo, indicando possíveis semelhanças e sugerindo a ocorrência de mistura entre as águas, principalmente nos poços P5 e P6.

A seção hidrogeológica e a linha da superfície potenciométrica do SAG demonstram que quase todos os poços possuem possibilidade de haver problemas relacionados a misturas de águas entre SAG e SASG, sendo que as mesmas vão ocorrer com maior ou menor intensidade dependendo da existência de estruturas que interligam os dois sistemas aquíferos e as estruturas associadas as entradas de água dos poços.

5. CONCLUSÕES

O monitoramento hidroquímico realizado nos seis poços perfurados no basalto ao longo de 12 meses, permitem concluir que dois poços (P5 e P6) possuem características similares as águas do Sistema Aquífero Guarani. Nesses dois poços, há indícios de fluxo ascendente de águas provenientes do SAG. Em um deles, observou-se que o aumento do volume explotado, nos meses de maior bombeamento/consumo, resultou em aumento simultâneo da concentração de diversos parâmetros, como CE, pH, cloreto, sulfato, fluoreto e sódio, indicando que o bombeamento exerce influencia neste poço para ocorrer mistura de água.

Quanto à qualidade da água, em todas as amostras dos poços monitorados foram consideradas potáveis ao comparar com a Portaria GM/MS nº 888/2021. No entanto, as amostras de alguns poços apresentaram concentrações próximas aos Valores Máximos Permitidos (VMPs), como no caso do fluoreto (1,25 mg/L) e do sulfato (198 mg/L). Os valores médios considerados indicativos de mistura, utilizados como valores de alerta, são os seguintes: CE (328 μ S/cm), cloreto (4,51 mg/L), sódio (54,88 mg/L), sulfato (77,0 mg/L) e fluoreto (1,07 mg/L).

Portanto, conclui-se que no Vale do Rio das Antas há possibilidade de ocorrência de processos de misturas, as quais podem ser aceleradas por aumento de taxas de bombeamento e por esse motivo o monitoramento da qualidade da água deve ser contínuo, especialmente considerando que nessa região o abastecimento doméstico e das comunidades é feito por meio de poços, o que torna essencial garantir a potabilidade da água para consumo humano.

REFERÊNCIAS

- ANDRADES-FILHO, C. O. *et al.* The biggest landslide event in Brazil: preliminary analysis of the Rio Grande do Sul mega disaster in May 2024. **Landslides**, [s. l.], v. 22, p. 3615-3624, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-025-02587-8>.
- BELLADONA, R.; VARGAS, T. Distribuição espaço-temporal das precipitações e a relevância da orografia do município de Caxias do Sul (RS). **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 69, n. 3, p. 607-620, 2017. DOI: 10.14393/rbcv69n3-44353
- BELLÉ, É; REGINATO, P. A. R.; VARGAS, T. de. Comparativo de dados hidroquímicos de poços tubulares localizados em Zona de Mistura de Águas do SASG e SAG. In: FÓRUM TÉCNICO CIENTÍFICO DA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS: EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS, SEGURANÇA HÍDRICA E A GOVERNANÇA DAS ÁGUAS. **Anais [...]**. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 2024. DOI: doi.org/10.29327/9786527212027
- BORTOLIN, T. A. **Padrões Hidroquímicos e Isotópicos do Sistema Aquífero Serra Geral no Município de Carlos Barbosa, Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul**. 2014. 119 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- BORTOLIN, T. A. **Estudo da recarga do Sistema Aquífero Serra Geral na bacia hidrográfica Taquari-Antas**. 2018. 220 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 85, p. 126-136, 07 maio 2021.
- BRUNETTO, G.; Giroto, E.; MOTERLE, D. F.; TIECHER, T. L.; HAHN, L.; MELO, G. W. B. de. **Atualização técnica sobre calagem e adubação em frutíferas**. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2025. 544 p.

COOK, P. **Introduction to isotopes and environmental tracers as indicators of groundwater**. Guelph, Ontario, Canada: The Groundwater Project, 2020. 74 p. DOI: <https://doi.org/10.21083/978-1-7770541-8-2>

EPA. **National Primary Drinking Water Regulations**. 2009.

FEPAM. **Monitoramento da Qualidade das Águas na Bacia dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo, Região Hidrográfica do Uruguai/RS, como subsídio à Gestão dos Recursos Hídricos e ao Controle Ambiental**. Porto Alegre, 2003.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; VIDAL, A.; SCHMIDT, G.; GARDUÑO, H. A **iniciativa do Programa Sistema Aquífero Guarani: rumo à gestão prática da água subterrânea em um contexto transfronteiriço**. [S. l.]: Banco Mundial, 2009. 28 p. (Gestão sustentável da água subterrânea: lições da prática; n. 9).

FREITAS, M. A.; ROISENBERG, A.; ANDRIOTTI, J. L. S. Análise exploratória de dados da condutividade elétrica nas águas do sistema aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 30, p. 1–17, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v30i1.28518>

GEMEINER, H.; TERAMOTO, E. H.; VEROSLAVSKY, G.; CHANG, H.K. Using dissolved noble gases to characterize the groundwaters of the Southern Portion of the Guarani Aquifer System at the Brazil-Uruguay Border Region. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 966, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178690>

IBGE. **Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguiana e 51.22 Lagoa Mirim**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. 796 p.

INMET. **Dados Meteorológicos**: Estação A840. Brasília, 2025.

JESKE, T. B. **Avaliação da ocorrência de sódio e da qualidade das águas subterrâneas do RS**. 2022. 104 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

MACHADO, J. L. F. A verdadeira face do “Aquífero Guarani”: Mitos e Fatos. In: SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO SUDESTE, 2., Ribeirão Preto-SP. **Anais [...]**. São Paulo: ABAS, 2005.

MATOS, A. B. **Compartimentação estrutural e interações hidrogeológicas entre o sistema Aquífero Guarani e Serra Geral na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul**. 2020. 197 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre, 2020.

MATOS, A. B. de; REGINATO, P. A. R. Índícios de interações entre as águas dos sistemas aquíferos guarani e serra geral no Vale do Rio das Antas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: ABRHidro, 2019.

MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 11, 42 p. 1961.

NANNI, A. S. **O flúor em águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul**: origem e condicionamento geológico. 2008. 157 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

POPP, J. H. **Geologia geral**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017. 331 p.

REGINATO, P. A. R. **Integração de Dados Geológicos para Prospecção de Aquíferos Fraturados em Trecho da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (RS)**. 2003. 276 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S.; GILIOI, K. C.; CEMIN, G. Caracterização hidrogeológica e hidroquímica do aquífero livre do manto de alteração da Formação Serra Geral, na bacia hidrográfica Taquari-Antas, região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 143-162, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.903>

REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S.; SCHNEIDER, V. Caracterização Hidroquímica do Sistema Aquífero Serra Geral na região Nordeste do Rio Grande do Sul. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 27, n. 1, 2013. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v27i1.27061>

REGINATO, P. A. R.; SANFERARI, A.; ATHAYDE, G. B.; BORTOLIN, T. A.; LEÃO, M. I.; CARLOS, F. S.; KLEIN, M. A. Análise da influência de fraturas, da precipitação e da produção de poços no pH e na condutividade elétrica (CE) das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v.48, n. 2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.103908>

REGINATO, P. A. R.; PLETSCH, J. S.; VARGAS, T. de; CARLOS, F. S. Variações de pH e CE na hidroquímica das águas minerais do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) envasadas no Estado do Rio Grande do Sul. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 38, n. 1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v38i1.30253>

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. **Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas: Relatório Técnico 3 – Tomo 3: Consolidação do diagnóstico**. Porto Alegre: SEMA, 2012.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura. **Relatório Anual sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul 2021**. Porto Alegre: SEMA, 2022.

ROSSETTI, L.; LIMA, E. F.; WAICHEL, B. L.; HOLE, M. J.; SIMÕES, M. S.; SCHERER, C. M. S. Lithostratigraphy and volcanology of the Serra Geral Group, Paraná-Etendeka Igneous Province in Southern Brazil: Towards a formal stratigraphical framework, **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, [s. l.], v.355, p. 98-114, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-4889202020200003>

SILVA, R.C; TOGNOLI, F. M. W.; REGINATO, P. A. R.; SALVADORETTI, P. SOUZA, L. V. Hydrogeological compartmentalization and connection of the Guarani (GAS) and Serra Geral (SGAS) aquifer systems from a multiscale perspective: a case study in southern Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, [s. l.], v. 51, n. 3, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-4889202120200056>

SGB. **Mapa Geológico do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2008. Escala 1:750.000.

SZIKSZAY, M.; TEISSEDRE, J. M.; BARNER, U.; MATSUI, E. Geochemical and isotopic characteristics of spring and groundwater in the State of São Paulo, Brazil. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 54, p. 23-32, 1981. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(81\)90150-5](https://doi.org/10.1016/0022-1694(81)90150-5)

TEIXEIRA, G. V. **Estudo hidrogeoquímico das águas subterrâneas do aquífero Serra Geral e sua relação com aquíferos sedimentares no Rio Grande Do Sul**. 2020. 275 f. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2020.

TEIXEIRA, G. V.; VIERO, A. P. Evolução hidrogeoquímica dos aquíferos mesozoicos da porção sul da Bacia do Paraná no oeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 31, n. 1, p. 36–51, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v31i1.28577>

TERAMOTO, E. H.; GONÇALVES, R. D.; CHANG, H. K. Hydrochemistry of the Guarani Aquifer System modulated by mixing with underlying and overlying ydrostratigraphic units, **Journal of Hydrology: Regional Studies**, [s. l.], v.30, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100713>

TONDO, Roberto Tondo; DEBONI, Helvio Luiz; COMPARSI GEDOZ, Samuel. Água Mineral Termal em Poço Tubular Profundo na Bacia do Paraná, Pinto Bandeira- RS. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, 2017.

VIERO, A. P.; ROISENBERG, A.; FREITAS, M. Al. de; REGINATO, P. A. R. O Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina. In: JELINEK, A. R.; SOMMER, C. A. (org). **Contribuições a Geologia do Rio Grande do Sul e em Santa Catarina**. Porto Alegre: Compasso Lugar – Cultura, 2021. 504 p. DOI: 10.29327/537860