

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

JONATHAN MACHADO SANTOS DOS SANTOS

VARIAÇÃO TEMPORAL E VERTICAL DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO
SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NOS POÇOS DE MONITORAMENTO
DA RIMAS NO RIO GRANDE DO SUL.

PORTO ALEGRE

2024

JONATHAN MACHADO SANTOS DOS SANTOS

VARIAÇÃO TEMPORAL E VERTICAL DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO
SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NOS POÇOS DE MONITORAMENTO
DA RIMAS NO RIO GRANDE DO SUL.

Trabalho de conclusão do curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia junto à disciplina de Projeto Temático em Geologia III, requisito para obtenção de grau do grau em Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Antônio Roehe

Coorientador(a): Isadora Aumond Kuhn

PORTO ALEGRE

2024

CIP - Catalogação na Publicação

Machado Santos dos Santos, Jonathan
VARIAÇÃO TEMPORAL E VERTICAL DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA
DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NOS POÇOS DE MONITORAMENTO
DA RIMAS NO RIO GRANDE DO SUL. / Jonathan Machado
Santos dos Santos. -- 2024.

80 f.

Orientador: Pedro Antônio Roehe Reginato.

Coorientador: Isadora Aumound Kuhn.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,
BR-RS, 2024.

1. Hidrogeologia. 2. RIMAS. 3. Low Flow. 4.
Hidroquímica. 5. Sistema Aquífero Guarani. I. Roehe
Reginato, Pedro Antônio, orient. II. Aumound Kuhn,
Isadora, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **VARIAÇÃO TEMPORAL E VERTICAL DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NOS POÇOS DE MONITORAMENTO DA RIMAS NO RIO GRANDE DO SUL**, elaborado por Jonathan Machado Santos dos Santos, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Antonio Pedro Viero
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Prof^a. Dr^a. Franciéle Schwanck Carlos
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Prof. Dr. Alfonso Risso
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

AGRADECIMENTOS

A graduação em Geologia sempre foi um sonho, quase um objetivo de vida que consegui realizar.

São muitas histórias vividas no curso Geologia ao longo desses anos, foram bons e maus momentos, fica a lembrança dos trabalhos de campo, as festas, a convivência diária, as cervejas bebidas, tudo foi muito marcante..

Porém, tudo passou muito rápido, de forma insana. Me questiono sobre não ter tido um pouco mais de paciência com a graduação. A forma que encerro essa etapa deixa - me insatisfeito consigo mesmo, onde as questões emocionais pesaram bastante no final, mas durante todos os anos, foi o lugar que me encontrei.

De qualquer maneira, quero agradecer aos meus amigos que conquistei ao longo desse período, Adriana, Bernardo, Elisa, João Eduardo, Laís, Luca, Lucca, Natália, Nicole, Maurício, Misael, Priscila, Pedro, entre muitos outros que não foram citados mas serão lembrados.

Ao meu orientador, Pedro pela paciência enorme e conselhos. A Isadora e ao Marcelo pelo período de convivência na CPRM e pelo suporte dos dados. Aos professores e funcionários do Instituto de Geociências.

Ao meu pai, Hildebrando, aos meus irmãos Henrique e Priscila que mesmo de muito longe, lá no Itaqui, acreditaram em mim.

Aos meus amigos próximos da infância, João, Pedro, Pablo e Cainã. Mas, dedico principalmente esse trabalho a Teresinha, (*in memoriam*), minha querida mãe, onde nos seus últimos dias de vida em 2020, era o início da minha história aqui na geociências.

Apesar de tudo, a Geologia é minha vida, onde pude ser feliz, onde descobri a vontade de amar a profissão que eu escolhi. Foi a melhor escolha da minha vida.

RESUMO

A Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS) do Serviço Geológico do Brasil (SGB), tem como objetivo avaliar as variações do nível de água, qualidade e comportamento do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no estado do Rio Grande do Sul. Os poços da RIMAS possuem amostragens de água subterrânea pelo método *Low Flow*, determinadas através das seções filtrantes localizadas em níveis de profundidade distintos de cada poço. Este estudo teve como objetivo avaliar a ocorrência de variações temporais e verticais de composição da água subterrânea dos poços Cerro do Jarau, ETA Rosário, Saicã e Secretaria de Agricultura, pertencentes à Formação Pirambóia no estado. Para análise das variações temporais foram avaliados os dados de análises físico - químicas que foram realizadas em diferentes períodos. Já para a análise de variações verticais foram utilizados os dados amostragem *Low Flow* realizados em diferentes profundidades. Através de análise estatística dos dados, o poço ETA Rosário apresenta as maiores variações temporais significativas das concentrações de cátions e ânions, além do pH e Condutividade Elétrica. Suas águas são classificadas como Mistas Carbonatadas. O poço Saicã apresenta as menores variações temporais de concentração, suas águas são classificadas como Sódicas Bicarbonatadas, enquanto os poços Cerro do Jarau e Secretaria de Agricultura apresentam águas Cálcicas Bicarbonatadas. As variações verticais significativas foram encontradas nos poços Cerro do Jarau e ETA Rosário, com oscilações de concentração consideráveis a partir da profundidade. Há indícios da relação de mistura de águas provenientes de aquíferos distintos, assim como a influência das zonas de recarga aquífera dos poços. Os resultados obtidos servirão de apoio à RIMAS e evidenciam a importância do monitoramento do SAG.

Palavras - Chave: *Low Flow*, RIMAS, Sistema Aquífero Guarani (SAG), Hidroquímica, Água Subterrânea.

ABSTRACT

The Integrated Groundwater Monitoring Network (RIMAS) of the Brazilian Geological Service (SGB) aims to assess variations in water levels, quality, and behavior of the Guarani Aquifer System (GAS) in the state of Rio Grande do Sul. The RIMAS wells have groundwater samples collected using the Low Flow method, determined through filter sections located at different depth levels in each well. This study aimed to evaluate the occurrence of temporal and vertical variations in the composition of groundwater from the Cerro do Jarau, ETA Rosário, Saicã, and Secretaria de Agricultura wells, which belong to the Pirambóia Formation in the state. Temporal variations were analyzed based on physicochemical analysis data conducted at different periods. For vertical variations, Low Flow sampling data collected at different depths were used. Through statistical analysis of the data, the ETA Rosário well showed the most significant temporal variations in the concentrations of cations and anions, as well as in pH and Electrical Conductivity. Its waters are classified as Mixed Carbonated. The Saicã well showed the least temporal variation in concentrations, with its waters classified as Sodid Bicarbonated, while the Cerro do Jarau and Secretaria de Agricultura wells exhibited Calcareous Bicarbonated waters. Significant vertical variations were found in the Cerro do Jarau and ETA Rosário wells, with considerable concentration fluctuations starting from specific depths. There are indications of a mixing relationship between waters from different aquifers, as well as the influence of the recharge zones of the wells. The results obtained supported RIMAS and highlight the importance of monitoring the GAS.

Keywords: Low Flow, RIMAS, Guarani Aquifer System (GAS), Hydrochemistry, Groundwater.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo com poços RIMAS no oeste do estado do Rio Grande do Sul. Extraído de Kuhn, (2023).....	15
Figura 2 - Mapa de localização dos poços cadastrados no SIAGAS no estado do Rio Grande do Sul. Adaptado de SIAGAS, CPRM, (2024).....	19
Figura 3 - Divisão do SAG no estado do Rio Grande do Sul, extraído de Machado, (2005).....	21
Figura 4 - Distribuição dos poços RIMAS pelo estado. Adaptado de RIMAS, (CPRM, 2024).....	26
Figura 6 - Mapa de localização dos poços da RIMAS na porção centro - oeste do Rio Grande do Sul selecionados para o estudo. Elaboração própria.....	30
Figura 7 - Perfil construtivo do poço ETA Rosário. Fonte: (CPRM, 2024).....	34
Figura 8 - Perfil construtivo do poço Secretaria de Agricultura. Fonte: (CPRM, 2024)..	36
Figura 9 - Perfil construtivo do poço Saicã. Fonte: (CPRM, 2024).....	37
Figura 10 - Perfil construtivo poço Cerro do Jarau. Fonte: CPRM, (2024).....	39
Figura 11 - Mapa de localização dos poços e as unidades hidroestratigráficas presentes. Elaboração própria.....	41
Figura 12 - Média dos parâmetros físico - químicos, a) poço Secretaria de Agricultura; b) poço Cerro do Jarau; c) poço Saicã; d) poço ETA Rosário. Elaboração própria.....	50
Figura 13 - a) Média do pH dos quatro poços; b) Médias de Condutividade Elétrica e Bicarbonato; c) Gráfico médio geral dos parâmetros químicos. Elaboração própria.....	51
Figura 14 - Diagrama de Piper com a classificação das águas dos poços.....	52
Figura 15 - Diagramas de Stiff dada pela concentração dos principais cátions e ânions para os quatro poços, a) Sec Agricultura; b) Cerro do Jarau; c) ETA Rosário; d) Saicã.....	53
Figura 16 - Gráfico dos parâmetros físico - químicos do poço Secretaria de Agricultura.....	56
Figura 17 - Gráfico dos parâmetros físicos - químicos, poço Cerro do Jarau.....	59
Figura 18 - Gráfico dos parâmetros físico - químicos, poço ETA Rosário.....	61
Figura 19 - Gráfico dos parâmetros físico - químicos do poço Saicã.....	64
Figura 20 - Gráfico dos parâmetros físicos - químicos do poço Secretaria de Agricultura, para amostragem por Low Flow na data de 16/09/2016.....	66

Figura 21 - Gráfico dos parâmetros físico - químicos para amostragem de 29/03/2019.....	67
Figura 22 - Relação dos parâmetros físico - químicos poço Secretaria de Agricultura.....	68
Figura 23 - Gráfico dos parâmetros físicos - químicos do poço Cerro do Jarau , para amostragem por Low Flow na data de 29/10/2016.....	70
Figura 24 - Gráfico dos parâmetros físicos - químicos do poço Cerro do Jarau , para amostragem por Low Flow na data de 15/03/2019.....	71
Figura 25 - Relação dos parâmetros físicos - químicos do em relação a data de 29/10/2016, poço Cerro do Jarau.....	72
Figura 26 - Relação dos parâmetros físicos - químicos do em relação a data de 15/03/2019, poço Cerro do Jarau.....	72
Figura 27 - Gráfico dos parâmetros físicos - químicos do poço ETA Rosário, para amostragem por Low Flow na data de 21/10/2016.....	74
Figura 28 - Gráfico dos parâmetros físico químicos, ETA Rosário em 27/03/2019....	75
Figura 29 - Gráfico da análise por Low Flow referente a 21/10/2016 poço ETA Rosário.....	75
Figura 30 - Gráfico da análise por Low Flow referente a data de 27/03/2019 poço ETA Rosário.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Poços destacados da RIMAS sob monitoramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG), no Rio Grande do Sul. Fonte: (CPRM, 2024).....	27
Tabela 2 - Poços selecionados para o estudo. Fonte: CPRM, (2024).....	29
Tabela 3 - Exemplo de análise química de composição da água do poço Secretaria de Agricultura, Cacequi, RS. Fonte: (CPRM, 2024).....	31
Tabela 4 - Dados construtivos do poço ETA Rosário. Fonte: (CPRM, 2024).....	33
Tabela 5 - Dados do poço de monitoramento SECRETARIA DE AGRICULTURA. Fonte: (CPRM, 2024).....	35
Tabela 6 - Dados do poço de monitoramento SAICÃ. Fonte: (CPRM, 2024).....	37
Tabela 7 - Dados construtivos do poço CERRO DO JARAU. Fonte: (CPRM, 2024).	38
Tabela 8 - Dados físico - químicos do poço Secretaria de Agricultura. Fonte: (CPRM, 2024).....	42
Tabela 9 - Dados físico - químicos do poço Cerro do Jarau . Fonte: (CPRM, 2024).	43
Tabela 10 - Dados físico - químicos do poço ETA Rosário. Fonte: (CPRM, 2024)....	44
Tabela 11 - Dados físico - químicos do poço Saicã. Fonte: (CPRM, 2024).....	45
Tabela 12 - Dados hidroquímicos referentes a análise estatística de composição das águas do poço, Secretaria de Agricultura, Cacequi, RS. Fonte: (CPRM, 2024).....	46
Tabela 13 - Dados Hidroquímicos referentes a análise estatística de composição das águas do poço, Cerro do Jarau, Quaraí, RS. Fonte: (CPRM, 2024).....	47
Tabela 14 - Dados hidroquímicos referentes a análise estatística de composição das águas do poço, ETA Rosário. Fonte: (CPRM, 2024).....	48
Tabela 15 - Dados hidroquímicos referentes à análise estatística de composição das águas do poço, Saicã, Cacequi, RS. Fonte: (CPRM, 2024).....	49
Tabela 16 - Dados dos parâmetros físico-químicos das coletas realizadas e resultado da análise estatística dos parâmetros para o poço da Secretaria da Agricultura , Cacequi, RS. Fonte: (CPRM, 2024).....	55
Tabela 17 - Dados dos parâmetros físico-químicos das coletas realizadas e resultado da análise estatística dos parâmetros para o poço Cerro do Jarau, Quaraí, RS. Fonte: (CPRM, 2024).....	57
Tabela 18 - Dados dos parâmetros físico-químicos das coletas realizadas e resultado da análise estatística dos parâmetros para o poço ETA Rosário, RS. Fonte: (CPRM, 2024).....	60
Tabela 19 - Dados dos parâmetros físico-químicos das coletas realizadas e resultado da análise estatística dos parâmetros para o poço Saicã, RS. Fonte: (CPRM, 2024).....	62

Tabela 20 - Dados dos parâmetros físico-químicos das coletas por Low Flow realizadas para o poço da Secretaria da Agricultura, RS. Fonte: (CPRM, 2024).....	65
Tabela 21 - Dados dos parâmetros físico-químicos das coletas por Low Flow realizadas para o poço Cerro do Jarau, RS.....	69
Tabela 22 - Dados dos parâmetros físico-químicos das coletas por Low Flow realizadas para o poço ETA Rosário, RS. Fonte: (CPRM, 2024).....	73

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA - Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico

CE - Condutividade Elétrica

CORSAN - Companhia Rio Grandense de Saneamento

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

ETA - Estação de Tratamento de Água

LAMIN - Laboratório de Análises Minerais

RHN - Rede Hidrometeorológica Nacional

RIMAS - Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas

SAG - Sistema Aquífero Guarani

SAC – Sistema Aquífero Costeiro

SASG – Sistema Aquífero Serra Geral

SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

SGB - Serviço Geológico do Brasil

STD - Sólidos Dissolvidos Totais

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO.....	14
1.1 - Localização da área de estudo.....	15
2. OBJETIVOS.....	17
3. JUSTIFICATIVA.....	18
4. ESTADO DA ARTE.....	19
4.1 - Usos da água subterrânea.....	19
4.2 – Bacia do Paraná.....	20
4.3 - Sistema Aquífero Guarani.....	20
4.4 - Caracterização Hidroquímica.....	23
4.5 - Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas.....	25
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
5.1 - Levantamento de dados históricos dos poços da rede RIMAS.....	28
5.2 - Seleção de poços da rede RIMAS.....	29
5.3 - Avaliação Hidrogeológica.....	30
5.4 - Avaliação Hidroquímica.....	31
5.5 – Avaliação da ocorrência de variações temporais.....	32
5.6 – Avaliação da Ocorrência de Variações Verticais da Composição da Água nos Poços.....	32
6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
6.1 - Avaliação Hidrogeológica.....	33
6.2 - Avaliação Hidroquímica.....	40
6.3 – Avaliação da Ocorrência de Variações Temporais da Composição da Água nos Poços.....	54
6.4 – Avaliação da Ocorrência de Variações Verticais da Composição da Água nos Poços.....	64
7 - CONCLUSÃO.....	78
8 - REFERÊNCIAS.....	80

1- INTRODUÇÃO

O estudo da composição da água é de grande importância, pois para o consumo humano, a qualidade e características físico-químicas e bacteriológicas são fundamentais para definir sua utilização para esse fim. Segundo a ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) (BRASIL, 2024), estima-se que 97,5% da água existente no mundo é salgada e não é adequada ao nosso consumo direto nem à irrigação. Além disso, uma considerável porção de água doce existente na Terra é de difícil acesso, ou está presente em geleiras. O volume global de água doce líquida (menos de 1% de toda a água na Terra nas formas líquida, congelada ou vapor) é estimado em 10,6 milhões de km³. Cerca de 99% dessa quantidade consiste em águas subterrâneas (Shiklomanov; Rodda, 2003). Por meio da análise dos parâmetros físico-químicos é possível analisar as concentrações dos diferentes parâmetros e os padrões hidroquímicos, sendo possível classificar a água de acordo com a sua qualidade, potabilidade e risco à saúde humana (Feitosa *et al.*, 2008).

Os poços da rede RIMAS – Rede Integrada de Monitoramento vinculada ao SGB - Serviço Geológico do Brasil tem como objetivo o monitoramento quali-quantitativo dos principais aquíferos brasileiros com a finalidade de determinar a ocorrência de modificações nos aquíferos, sejam eles associados a processos de extração ou contaminação. A rede RIMAS monitora o Sistema Aquífero Guarani (SAG), que é um dos principais sistemas do Brasil, com ocorrência em vários estados brasileiros. Na parte Centro – Oeste do Rio Grande do Sul há 28 poços da “RIMAS” que têm a finalidade de monitorar as variações de nível e da composição da água subterrânea (Troian *et al.*, 2012; Kuhn *et al.*, 2016). Com um número extenso de poços construídos na parte centro oeste do estado Rio Grande do Sul, há um número significativo de análises físico-químicas, sendo que os dados presentes nessas análises podem ser utilizados em estudos que visam caracterizar a composição da água e suas possíveis variações químicas.

Esse estudo teve como tema principal a avaliação da ocorrência de variações

composicionais da água subterrânea, visando com isso determinar se há alterações ou oscilações temporais e verticais da composição da água nos poços da RIMAS que monitoram o SAG na porção centro ocidental do estado. A determinação de variações temporais será importante para inferir qual o comportamento da composição da água ao longo do tempo. Já a análise vertical, que será feita de acordo com o posicionamento das seções filtrantes que estão instaladas em diferentes profundidades, irá permitir avaliar a ocorrência de estratificações da composição.

1.1 - Localização da área de estudo

Alguns poços da rede RIMAS (Figura 1) que são utilizados para o monitoramento do SAG estão localizados na porção ocidental do estado a região em geral é caracterizada por relevos de baixa altitude à medida que se desloca a oeste perto da fronteira com a Argentina, alternando entre variações suaves de altitude e formas de relevo como coxilhas dentro do bioma pampa.

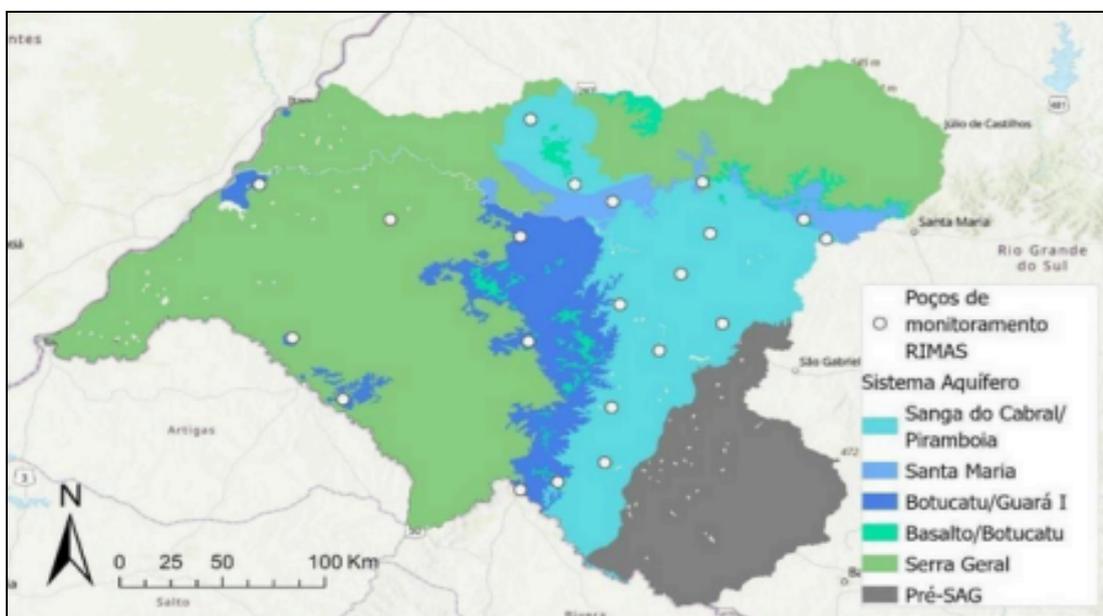


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo com poços RIMAS no oeste do estado do Rio Grande do Sul. Extraído de Kuhn, (2023).

O contexto hídrico da região é de suma importância pois abrange importantes bacias hidrográficas e sub - bacias como, a do Uruguai, Ibicuí, Quaraí e Santa Maria, (Wurth, 2014). O clima da região é marcado por grande amplitude térmica, com médias de 18° a 20° C com máximas nos meses de verão aproximadamente de 40°C e alternando para mínimas abaixo de 0°C nos meses de inverno. Em relação aos índices pluviométricos a média da região fica com volumes entre 1.300 mm a 1.700 mm de precipitação distribuída de forma heterogênea. Os poços de monitoramento da rede estão localizados em importantes municípios gaúchos como Alegrete, Cacequi, Itaqui, Rosário do Sul, São Gabriel, Santana do Livramento, Santa Maria e Quaraí. A região é marcada por intensa atividade agropecuária, onde o uso da água subterrânea é de suma importância para atender as demandas hídricas de uso e abastecimento das demandas de atividades da população.

2. OBJETIVOS

Os objetivos gerais deste trabalho foram avaliar as variações temporais e verticais de composição da água subterrânea nos poços da rede RIMAS, que monitoram o SAG na região oeste do Rio Grande do Sul.

- Identificar características hidroquímicas associadas às variações temporais e verticais da composição da água, com base na análise de parâmetros físico-químicos (pH, CE e principais cátions e ânions).
- Analisar a ocorrência de variações verticais da composição da água em relação a profundidade de ocorrência das seções filtrantes.

3. JUSTIFICATIVA

Até o momento foram desenvolvidos poucos estudos sobre variações temporais da água do SAG no estado do Rio Grande do Sul. Além disso, a porção oeste já passou por diversos períodos de estiagem, onde há diminuição da recarga que pode ter reflexo na composição da água subterrânea. Como nessa região há poços da rede RIMAS, que possuem diferentes profundidades, interceptam diferentes litologias e possuem mais de uma seção filtrante localizada em profundidades variadas, é possível, com base na análise dos dados de monitoramento, avaliar a ocorrência de variações temporais e verticais da composição da água subterrânea. O método de bombeamento por *Low Flow* permite uma amostragem de água com menor turbidez em comparação a outros métodos de bombeamento, o que pode indicar mudanças na composição química da água subterrânea dos poços.

4. ESTADO DA ARTE

4.1 - Usos da água subterrânea

No Estado do Rio Grande do Sul ao longo das últimas décadas foram perfurados uma quantidade significativa de poços (tubulares, pequeno diâmetro, ponteira) para captação de água subterrânea. Atualmente há 20.949 poços cadastrados (Figura 2) na plataforma SIAGAS, no estado do RS (CPRM, 2024), mas ainda há muitos poços sem registros legais, o que demonstra a importância da água subterrânea para o estado do Rio Grande do Sul.

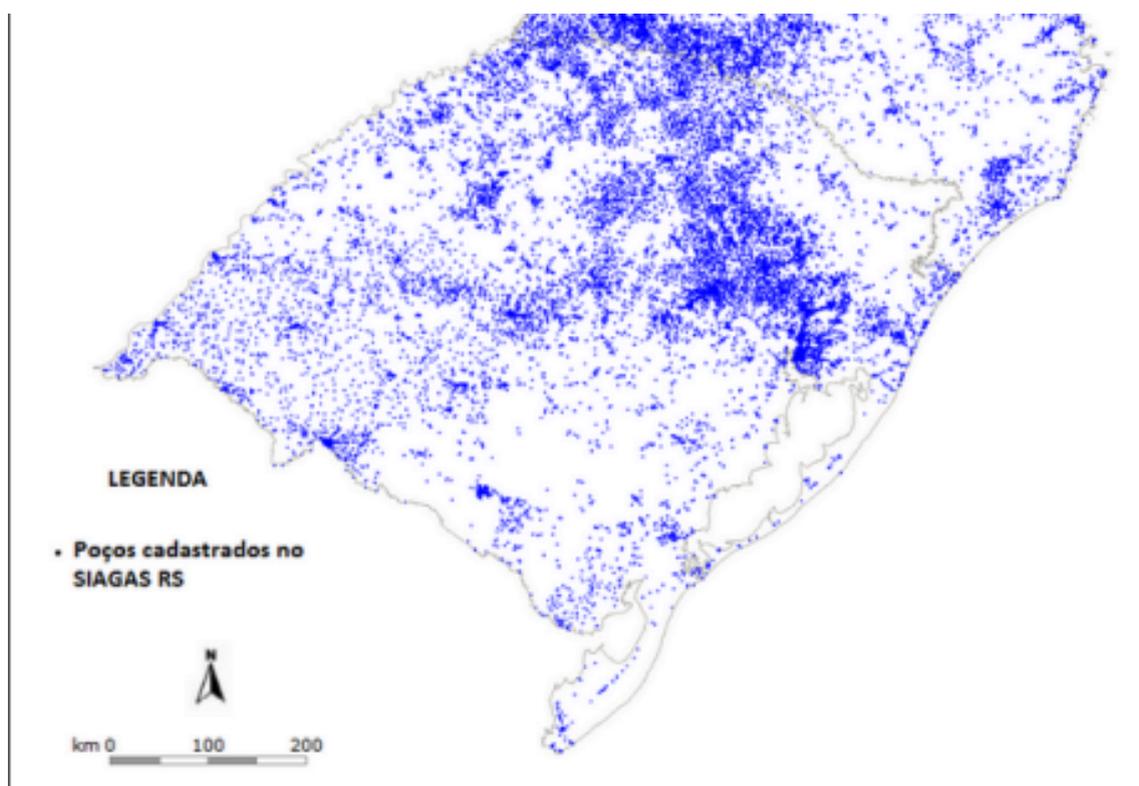


Figura 2 - Mapa de localização dos poços cadastrados no SIAGAS no estado do Rio Grande do Sul. Adaptado de SIAGAS, CPRM, (2024).

O uso das reservas naturais de água tem se tornado cada vez mais frequente para atender as demandas da população, sendo que os aquíferos representam o maior volume armazenado de água. Em geral essa água possui boa qualidade e

pode ser utilizada para atender os diferentes usos (abastecimento, indústria, comércio, agricultura, lazer).

4.2 – Bacia do Paraná

A bacia sedimentar do Paraná, segundo Milani (1997), ocupa uma área de aproximadamente 1.500.000 km², distribuída em parte da Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai. Em relação ao Brasil a bacia ocorre nos estados brasileiros Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Essa bacia teve sua origem durante as eras Mesozoica e Paleozoica, sendo que segundo Milani *et al.* (2007), a mesma apresenta pacotes de rochas ígneas e sedimentares com espessura total de aproximadamente sete mil metros. Esses pacotes podem ser organizados em sequências estratigráficas denominadas de Rio Ivaí (Ordoviciano/Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero/Triásico), Gondwana II (Mesozoico/Neo Triásico), Gondwana III (Neo Jurásico/Cretáceo) e Bauru (Neocretáceo).

4.3 - Sistema Aquífero Guarani

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) ocupa uma área aproximada de 1.194.000 km², ao longo das bacias do Paraná e do Chaco – Paraná e de países como Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai, o que o caracteriza como um sistema transfronteiriço. No Brasil, o SAG ocorre em Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina, São Paulo e Rio Grande do Sul, com área aproximada de 840.000 km² (Gastmans, 2007). Esse sistema representa uma fonte de água subterrânea de grande importância econômica e social. Por isso, a realização de estudos se faz necessária para entender a dinâmica e comportamento de água para o desenvolvimento de boas práticas de captação e gestão das reservas hídricas disponíveis.

No Rio Grande do Sul, o SAG ocupa uma área de aproximadamente 157.600 km², consistindo num importante reservatório cujas águas são utilizadas para abastecimento público, lazer, atividades industriais e agropecuárias (Machado, 2005). Esse sistema é heterogêneo em função da influência tectônica e estrutural, apresentando padrões hidráulicos e hidroquímicos distintos. Em relação à área do SAG no RS (Figura 3), Machado (2005), definiu a existência de quatro blocos principais.

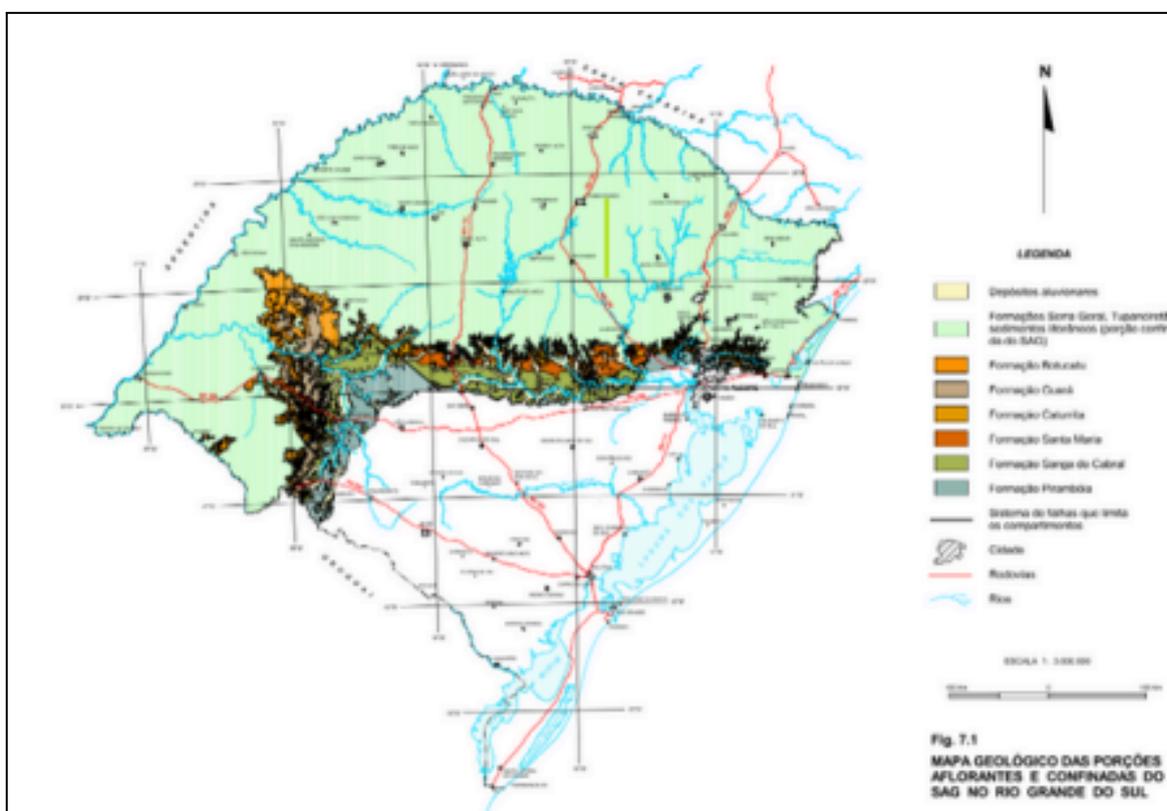


Figura 3 - Divisão do SAG no estado do Rio Grande do Sul, extraído de Machado, (2005).

O bloco Oeste apresenta as maiores espessuras do SAG, que aumentam em direção à Argentina, sendo que a Oeste, a espessura das rochas confinantes da unidade hidroestratigráfica Serra Geral é aproximadamente 100m. As linhas de fluxo de água são direcionadas para as grandes drenagens existentes e a principal referência é o rio Uruguai na divisa com a Argentina. Em relação a composição

química das águas, o conteúdo total de sais dissolvidos (STD) indica baixos valores nas áreas aflorantes entre 50 e 200 mg/L e nas áreas confinadas esse valor é da ordem de 200 a 400 mg/L (Machado, 2005). Esse compartimento é de grande importância pois apresenta camadas de potencial hidrogeológico, como as unidades Botucatu, Guará e Pirambóia. O bloco Central - Missões segundo Machado ,(2005) apresenta espessuras consideráveis do SAG em aproximadamente 400 m junto ao sistema de falhas de Terra de Areia - Posadas. A partir do município de São Luiz Gonzaga aborda-se a unidade hidroestratigráfica Serra Geral e aumenta em direção a leste. As linhas de fluxo são direcionadas para o sistema de falhas Terra de Areia - Posadas, sendo que na região missioneira parte se dirige para o rio Uruguai. O STD dos poços da unidade Botucatu possui valores de aproximadamente 200 mg/L, já na unidade Passo das Tropas os valores aumentam consideravelmente.

O bloco Leste segundo Machado (2005), apresenta espessuras entre 100 e 200m, com presença das unidades hidroestratigráficas Botucatu e Pirambóia. Em vários locais o SAG é confinado pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, sendo que a espessura do pacote vulcânico pode chegar a mais de 700m. O fluxo está predominantemente orientado para Sul e Sudeste nas áreas de afloramento, sendo que nesses locais o STD apresenta valores entre 200 e 300 mg/L, mas esse compartimento apresenta poucos estudos realizados. Com elevação estrutural da área de divisa dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a potencialidade do SAG é baixa a média O bloco Norte-Alto Uruguai apresenta espessuras do SAG variadas, em camadas confinantes da unidade Serra Geral, podendo variar entre 300m a 1200m de altitude na divisa dos estados do RS e SC. As linhas de fluxo dirigem-se para a região de Lagoa Vermelha, a nordeste do estado do RS. Em relação ao conteúdo de sais, há poucas perfurações profundas e análises químicas de água, mas como nesse compartimento existe confinamento são esperadas maiores mineralizações. Os valores variam de 800 a 3500 mg/L e possuem alta a média potencialidade.

A unidade hidroestratigráfica Botucatu é constituída por arenitos finos a médios, quartzo - feldspáticos, bem selecionados com cores avermelhadas e amareladas, apresentando maior distribuição na área de confinamento do SAG principalmente na região oeste do estado. Os poços possuem vazões de produção variáveis, que podem chegar a mais de 100 m³/h. Quanto a potabilidade o Botucatu apresenta valores extremos de sais dissolvidos acima de 800 mg/L na área

confinada, (Machado, 2005).

A unidade hidroestratigráfica Pirambóia possui ampla distribuição ao longo do estado nas áreas aflorantes, apresenta poços com produtividade variada, sendo que no Oeste as vazões chegam entre 20 e 100 m³/h, no centro entre 3 e 100 m³/h, e no Leste ficam em torno de 10 m³/h. O tipo de água encontrada é bicarbonatada cálcica ou mista, podendo ser utilizadas para atividades como indústria ou irrigação (Machado, 2005).

Segundo Machado (2005), a unidade Hidroestratigráfica Guará localiza-se na região da fronteira oeste do estado, sendo caracterizada pela presença de arenitos de origem flúvio-eólica. Na área aflorante a unidade apresenta poços com capacidades produtivas consideráveis, com vazões de mais de 100m³/h. As águas apresentam sólidos dissolvidos totais baixos, sendo que raramente ultrapassam a 250 mg/L (Machado, 2005). Na porção confinada, as informações são restritas, pois a maior parte dos poços capta água da unidade Botucatu. Nessa área as capacidades específicas ultrapassam a 4m³/h/m, alcançando até 10m³/h/m, com águas apresentando sólidos totais dissolvidos entre 250 e 400 mg/L.

4.4 - Caracterização Hidroquímica

Os estudos hidroquímicos têm como objetivo a identificação e a quantificação dos principais componentes químicos presentes nas águas subterrâneas, sendo que muitos fatores têm influência na composição química como, o clima, o tipo de rocha, processos de recarga, o tempo de armazenamento, e possíveis contaminações antrópicas. A análise dos dados físico-químicos da água subterrânea pode ser feita de diversas formas (análises estatísticas, utilização de diagramas, entre outros), sendo que os resultados podem ser comparados com resoluções para avaliação da qualidade e uso da água. Um exemplo de resolução é a CONAMA nº 396 de 2008 (BRASIL, 2008) que dispõe sobre as diretrizes ambientais necessárias para atender o enquadramento e adequar as possíveis fontes de poluição das reservas subterrâneas com base nos Valores Máximos Permitidos (VMPs) que são estabelecidos para o consumo humano e outros usos. Outro exemplo é a Portaria Nº888 que é utilizada para avaliação da qualidade e padrão de potabilidade para

consumo humano (BRASIL, 2021).

Num estudo desenvolvido por Reginato *et al.* (2013), na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, foi possível identificar que o SAG apresenta águas do tipo bicarbonatadas sódicas a sulfatadas ou cloretadas sódicas. Essa composição é explicada, pois nessa região o SAG é confinado e está localizado sob pacotes de rochas vulcânicas que possuem diferentes espessuras, bem como apresenta condições para ocorrência de misturas de água. Nessa mesma região foi avaliado dados de poços do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), sendo que foram identificadas águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, bicarbonatadas sódicas, bem como sulfatadas ou cloretadas sódicas. A explicação para a ocorrência desse último grupo de águas no SASG está relacionada à ocorrência de processos de misturas, que são originados pela existência de sistemas de fraturadas que conectam os dois sistemas aquíferos e favorecem a misturas de águas.

Já Vargas (2014), desenvolveu um trabalho na região oeste do estado do Rio Grande do Sul, onde há ocorrência do SASG e do SAG. Nesse estudo, através de análise estatística multivariada, foram definidos três grupos principais de águas, que possuem características químicas distintas e que possuem relação com as unidades hidroestratigráficas. O grupo 1 tem influência apenas do SASG, enquanto os grupos 2 e 3 apresentam teores de sódio maiores indicando águas típicas do SAG, bem como misturas de águas que seriam provenientes de aquíferos confinados da bacia do Paraná. A ocorrência de concentrações significativas dos íons cloreto e fluoreto são explicados pela mistura de águas no SAG que são provenientes da Formação Irati que está abaixo estratigraficamente do SAG e SASG.

Quaggio *et al.* (2018) desenvolveu um estudo hidroquímico, onde avaliou dados físico-químicos do SAG e SASG em vários estados brasileiros, através de poços cadastrados no SIAGAS. Para o estado do Rio Grande do Sul foram avaliados 2202 laudos hidroquímicos de água subterrânea, sendo que os parâmetros analisados foram: Cloreto, Fluoreto, Sódio, Nitrato, Sulfato, pH e Sólidos Totais Dissolvidos. Os resultados foram comparados com a resolução CONAMA nº 396 de 2008 (BRASIL, 2008), sendo que 77 amostras estavam fora dos limites permitidos de acordo com a resolução. De acordo com Quaggio *et al.* (2018), na porção oeste do estado do Rio Grande do Sul os valores de Nitrato (NO₃) estão acima dos VMP definidos pela resolução CONAMA nº 396 de 2008, sendo que a origem está associada a intensa atividade agrícola existente nessa região do estado.

Em relação ao Cloreto (Cl), foram encontradas amostras com valores superiores a norma, com concentrações entre 256,6 e 550 mg/L, onde as altas concentrações acompanham o curso do Rio Uruguai. Em relação ao sódio os valores variam entre 218 a 771 mg/L no estado, sendo que a análise dos valores do pH, indicou que a maioria das amostras são águas predominantemente alcalinas. Os autores concluem que, com base nos parâmetros analisados, a grande maioria das águas do SASG apresentam concentrações que estão aptas para consumo humano. O SAG no RS, dependendo da estruturação, da localização dos blocos, das unidades hidroestratigráficas, do grau de confinamento dos aquíferos, bem como dos processos de recarga e outros fatores, pode apresentar características distintas da composição e qualidade da água subterrânea (Machado, 2005). Assim, o desenvolvimento de estudos hidroquímicos permite avaliar as características hidroquímicas das águas subterrâneas numa área de ocorrência do SAG, bem como identificar a ocorrência de misturas de águas entre sistemas aquíferos.

4.5 - Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas

A Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS) tem como objetivo o monitoramento sistemático das principais reservas hídricas do país, assim como obter informações quali-quantitativas dos aquíferos brasileiros e suas variações de nível de água ao longo do tempo. A RIMAS possui registros automáticos de níveis de água através dos poços de monitoramento instalados pelo território nacional, os sensores (Levelloggers e Dataloggers) registram as variações e armazenam os dados de nível de água onde posteriormente o dado obtido deverá ser consistido (Genaro *et al.* 2019). No estado do Rio Grande do Sul as atividades da rede começaram no ano de 2010 e atualmente a RIMAS possui mais de 50 poços de monitoramento ativos (Figura 4) que abrange os principais aquíferos do estado, o Sistema Aquífero Guarani (SAG), Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), Sistema Aquífero Costeiro (SAC), o SAG no estado ocupa uma área considerável do território gaúcho onde possui grande importância na fonte de abastecimento de água para atender as demandas da população, atividades agrícolas e industriais, atualmente o SAG é monitorado através de 28 poços sendo 11 em áreas de afloramento do SAG, espalhados pelo território do estado, enquanto o SASG possui 2 poços ativos e o

SAC possui 12 poços ativos. Os dados brutos gerados são manipulados sob consistência dos dados, sintetizados e após a consistência são disponibilizados através da plataforma online Web RIMAS onde o usuário tem acesso às informações dos poços. A RIMAS também é importante fonte de dados pluviométricos, temperatura e umidade obtidas junto à Rede Hidrometeorológica Nacional ou por estações automáticas.

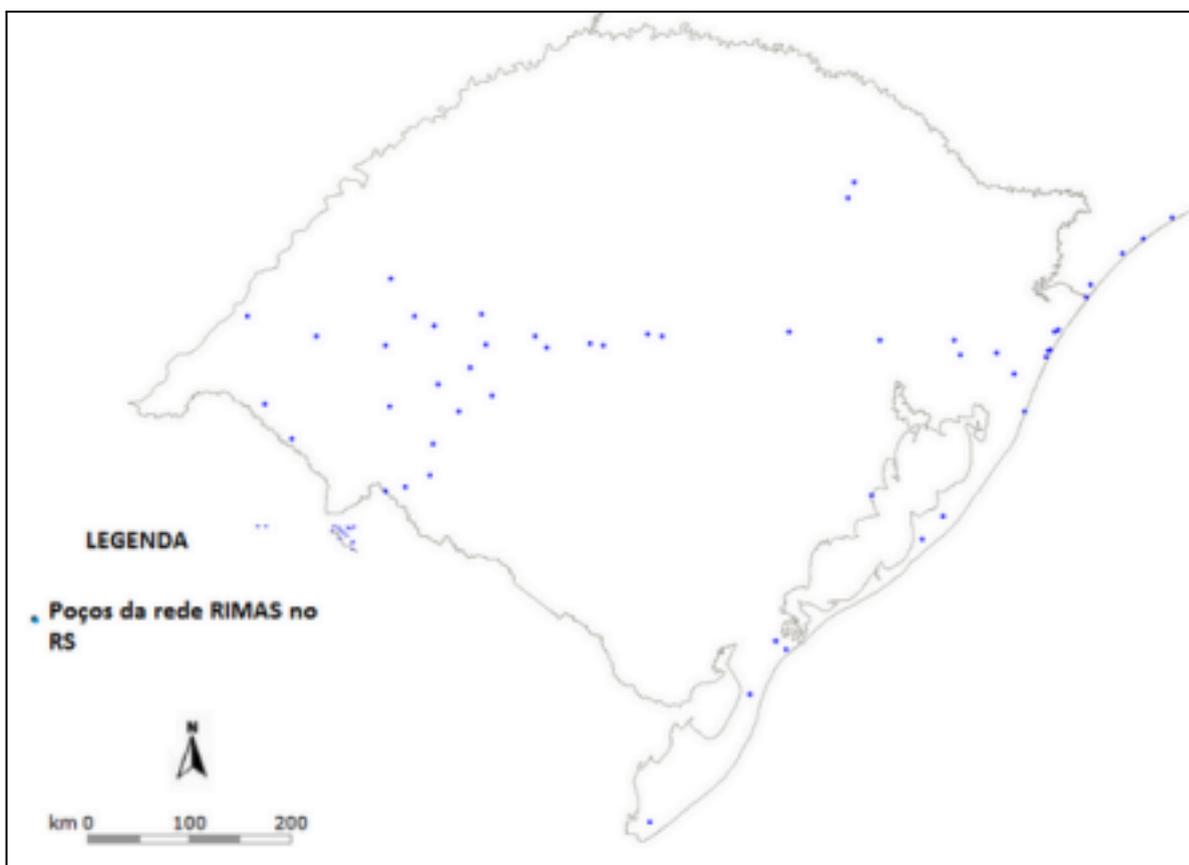


Figura 4 - Distribuição dos poços RIMAS pelo estado. Adaptado de RIMAS, (CPRM, 2024).

Os poços da RIMAS, em média, apresentam 80m de profundidade e o revestimento é feito por tubos geomecânicos de 4 polegadas. Os poços foram preferencialmente perfurados em zonas próximas de recarga dos aquíferos e dos pluviômetros instalados junto à RHN. Há também, poços tubulares cedidos por empresas de saneamento como poços da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) que foram transferidos após termos acordados entre as

mesmas.

Os poços destacados (Tabela 1) fazem parte da região Oeste do estado do Rio Grande do Sul, além disso, são poços que introduziram parte do início do desenvolvimento do projeto da rede RIMAS no estado, em que o monitoramento contínuo do SAG começou no ano de 2010 com as primeiras perfurações e acompanhamento dos dados de nível de água subterrânea.

Tabela 1 - Poços destacados da RIMAS sob monitoramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG), no Rio Grande do Sul. Fonte: (CPRM, 2024).

Município	Localidade	Latitude	Longitude	SIAGAS	Profundidade (m)
Itaqui	Puitã	-29°10'01"	-55°28'52"	4300020119	45.00
Uruguaiana	João Arregui	-29°28'15"	-56°40'04"	4300022637	53.00
Santana do Livramento	Cooperação	-30°51'43"	-55°21'41"	4300021602	86.00
Rosário do Sul	São Carlos	-30°12'15"	-55°29'26"	4300020121	162.34
Cacequi	Saicã	-30°01'55"	-55°05'22"	4300022636	93.00
Cacequi	Sec. Agricultura	-29°53'20"	-54°49'23"	4300022634	50.00
Quaraí	Cerro do Jarau	-54°49'23"	-56°31'23"	4300020534	101.00
Alegrete	Escola Agrícola	-29°42'52"	-55°31'32"	4300020534	117.11
São Francisco de Assis	Miracatu	-29°28'16"	-55°17'10"	4300020124	161.2
Quaraí	Passo do Meio	-30°28'30"	-56°18'04"	4300021603	62.00
São Gabriel	Azevedo Sodré	-30°07'21"	-54°38'31"	4300020125	109.44

5. MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades que foram realizadas são apresentadas de acordo com o fluxograma (Figura 5), seguindo criteriosamente as etapas para a realização do estudo.



Figura 5 - Fluxograma de materiais e métodos com as etapas do estudo. Elaboração própria.

5.1 - Levantamento de dados históricos dos poços da rede RIMAS

Com base nos dados históricos dos poços de monitoramento da RIMAS foram selecionados 21 poços ativos, que monitoram o SAG e estão localizados na porção centro-oeste do estado do RS. Estes poços apresentam características distintas como profundidade, quantidade de seções filtrantes instaladas, unidades hidroestratigráficas interceptadas, quantidade de campanhas de amostragem realizadas. A seleção dos poços que foi utilizada no desenvolvimento deste trabalho seguiu os seguintes critérios: a existência de um laudo químico quando da instalação do poço e que apresentam amostragem de água subterrânea por bombeamento direto; ocorrência de mais de uma seção filtrante ; análises por *Low Flow* em diferentes datas e profundidades de coletas (no mínimo duas análises) e unidade hidroestratigráfica interceptada. Além disso, foi realizada consistência dos dados hidroquímicos com base na avaliação do balanço iônico, sendo que poços

que apresentavam análises com maior percentual de erros identificados no balanço iônico foram descartados. Deve-se destacar que as análises dos parâmetros físico-químicos foram realizadas pelo laboratório LAMIN (Laboratório de Análises Minerais, localizado na cidade do Rio de Janeiro), que gerou laudos que foram encaminhados a Superintendência de Porto Alegre (SGB/CPRM), onde estão disponíveis para a consulta e são utilizados para alimentar o banco de dados do SIAGAS.

5.2 - Seleção de poços da rede RIMAS

Os poços da RIMAS que atenderam os critérios para a realização do trabalho (Figura 6, Tabela 2), e possuem dados disponíveis desde a etapa inicial de atividade do monitoramento, e análises químicas por data e por método de bombeamento.

Tabela 2 - Poços selecionados para o estudo. Fonte: CPRM, (2024).

Poço	Localização	Profundidade	Filtros	Análises Químicas	Análises Low Flow
Cerro do Jarau	Quaraí, RS	101.00	5	5	4
ETA Rosário	Rosário do Sul, RS	100.00	10	6	5
Saicã	Cacequi, RS	93.00	2	4	3
Sec. Agricultura	Cacequi, RS	50.00	4	4	3

Os critérios para a seleção dos poços foram a partir de dados suficientes de análises químicas, número de dados de análises por *Low Flow* compatíveis e a mesma unidade hidroestratigráfica. O poço Cerro do Jarau localiza - se em Quaraí, Rio Grande do Sul, enquanto o poço ETA Rosário, no município de Rosário do Sul e os poços Saicã e Secretaria de Agricultura em Cacequi, na fronteira oeste do estado.

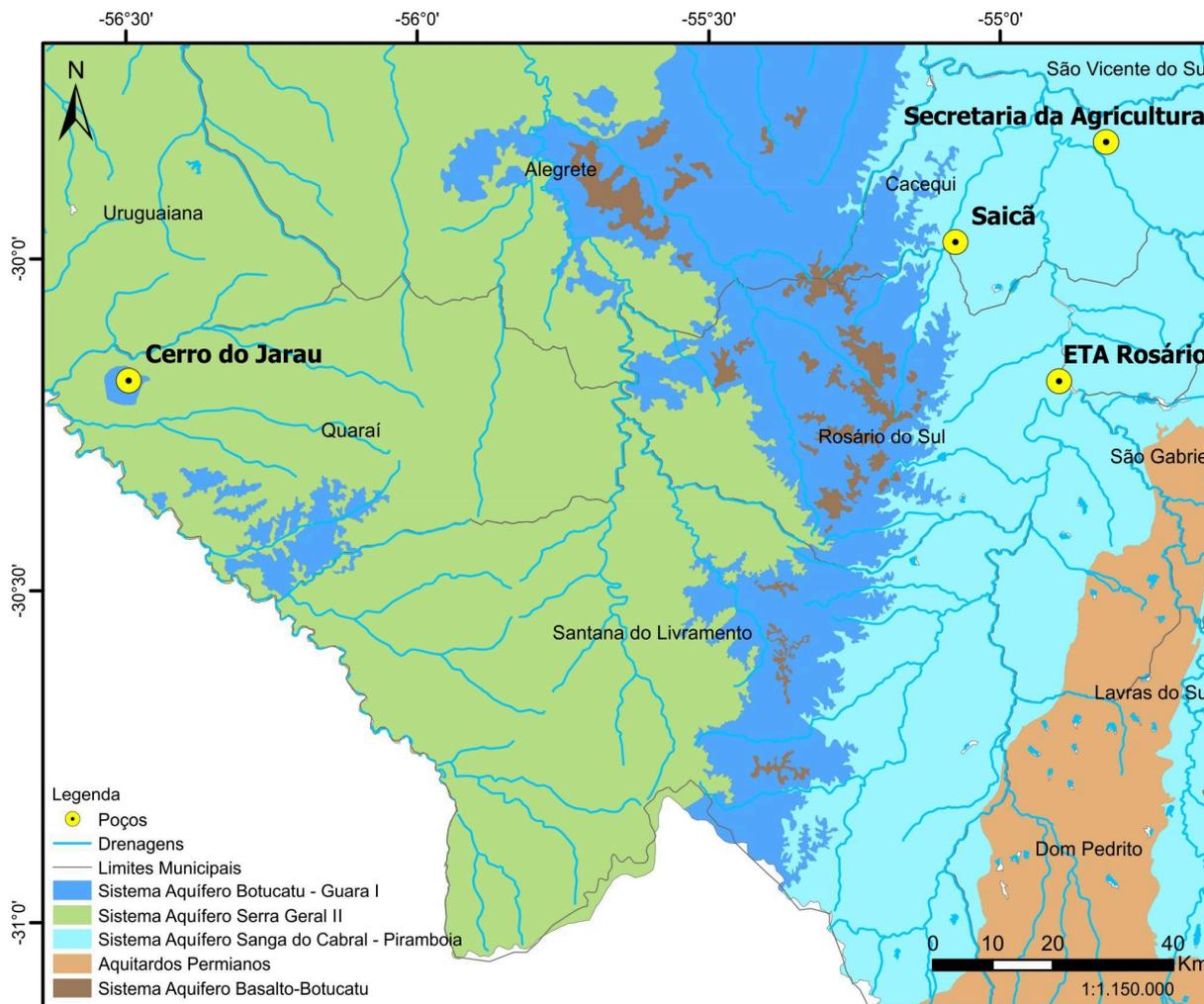


Figura 6 - Mapa de localização dos poços da RIMAS na porção centro - oeste do Rio Grande do Sul selecionados para o estudo. Elaboração própria.

5.3 - Avaliação Hidrogeológica

Com base no perfil geológico e construtivo dos poços selecionados, foram avaliadas as seguintes informações: nível estático, vazão após estabilização, profundidade do poço, profundidade de instalação e comprimento das seções filtrantes; camadas geológicas e unidades aquíferas interceptadas e parâmetros químicos monitorados por amostragem em determinado período. Os dados foram organizados em planilha Excel, sendo depois utilizados para a caracterização hidrogeológica de cada poço.

5.4 - Avaliação Hidroquímica

Os dados que foram obtidos através do levantamento do banco de dados disponíveis foram inseridos numa planilha Excel (Tabela 3) para melhor visualização e tratamento dos dados químicos, identificando os diferentes períodos e condições de coleta e análise de água.

Tabela 3 - Exemplo de análise química de composição da água do poço Secretaria de Agricultura, Cacequi, RS. Fonte: (CPRM, 2024).

Data	21/08/2014	16/09/2014			28/03/2019			20/08/2022
Profundidade filtros (m)	24.00	19.0	29.0	35.0	19.0	29.0	35.0	19.00
Método	Bomba	Low Flow			Low Flow			Low Flow
pH	7,32	6,78	6,64	6,61	7,44	7,81	7,76	7,73
Cálcio (mg/L)	59,37	5,27	6,78	6,19	36,50	37,40	36,8	23,32
Magnésio (mg/L)	5,19	1,26	1,29	1,16	3,87	4,14	3,91	1,32
Sódio (mg/L)	12,24	10,32	8,98	8,23	14,20	14,00	13,90	10,70
Potássio (mg/L)	4,08	2,56	2,82	2,70	4,85	4,71	4,58	4,36
Bicarbonato (mg/L)	130,01	48,83	52,19	46,97	167,5	165,3	167,7	109,86
Sulfato (mg/L)	1,72	0,15	0,27	0,26	0,84	0,9	0,84	0,55
CE (μ S/cm)	375,5	73,3	70,3	65,1	227,2	225,8	225,3	186,5
Cloreto (mg/L)	12,34	3,6	1,41	1,34	1,85	1,97	1,97	1,21
Carbonato (mg/L)	0,32	0,01	0,00	0,00	0,35	0,36	0,00	0,00
Fluoreto (mg/L)	0,11	0,27	0,18	0,19	0,1	0,1	0,11	0,11

Os parâmetros físico-químicos utilizados foram: Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio, Sulfato, Fluoreto, Bicarbonato e Carbonato (todos em mg/l), bem como Condutividade Elétrica (μ S/cm) e pH. Para cada poço selecionado foi realizada uma análise estatística exploratória, que envolveu a determinação dos valores máximos e mínimos, média, mediana e desvio padrão, para cada um dos parâmetros. Os

resultados foram apresentados na forma de tabelas e gráficos gerados com uso do Excel. Além disso, os valores médios das concentrações dos principais cátions e ânions foram utilizados para geração dos gráficos de Piper e Stiff, a fim de determinar o tipo de água subterrânea em cada poço. O programa utilizado foi o *software* Qualigraf Mobus, (2002).

5.5 – Avaliação da ocorrência de variações temporais

Para a avaliação de variações temporais foram analisados e comparados dados dos parâmetros analisados em cada campanha de amostragem. Nos poços que tiveram coleta de amostras realizada pelo método *Low Flow*, onde a amostragem de água subterrânea é específica a uma determinada profundidade da seção filtrante, foi utilizada a média de cada parâmetro para a avaliação. Como o objetivo é analisar a ocorrência de variações temporais, optou-se por utilizar a média como valor representativo de cada campanha. Gráficos hidroquímicos foram elaborados a fim de avaliar a variação da concentração de um determinado parâmetro em função do período de coleta e análise, e assim identificar a ocorrência de variações na composição da água subterrânea ao longo do tempo.

5.6 – Avaliação da Ocorrência de Variações Verticais da Composição da Água nos Poços

Os dados de cada parâmetro em cada poço, e em diferentes profundidades foram utilizados na avaliação da ocorrência de variações verticais. Para isso foram gerados gráficos de variações dos resultados obtidos para cada parâmetro com a profundidade da seção filtrante onde foi feita a coleta, sendo que os mesmos foram elaborados com uso do programa Excel.

6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 - Avaliação Hidrogeológica

Os poços de monitoramento selecionados estão localizados dentro da unidade hidroestratigráfica Pirambóia. Segundo Machado (2005), a unidade apresenta arenitos de granulometria fina a muito fina, algumas porções moderadamente mal selecionadas com presença de argila. O sistema Pirambóia apresenta intercalações de lentes de silte e argila, além de coloração em tons vermelhos e amarelos.

No Compartimento Oeste, os maiores valores de capacidade específica são encontrados em Cacequi (RS), com predominância de variações entre 0,98 a 1,56 m³/h/m, alcançando um valor máximo de 2,30 m³/h/m. As vazões variam entre 4,3 e 45 m³/h para poços com até 100 m de profundidade, podendo atingir 100 m³/h em poços de até 200 m. Esses valores indicam que as litologias apresentam boas características de porosidade e uma média de permeabilidade adequada, confirmando sua boa potencialidade como aquífero. No que diz respeito à qualidade química, Machado (2005), indica que a Unidade Hidroestratigráfica Pirambóia apresenta, em geral, concentrações de sais dissolvidos abaixo de 400 mg/L.

Em contrapartida, no Compartimento Central - Missões, especialmente nas proximidades de Santa Maria, esses valores podem atingir até 3000 mg/L. O tipo geoquímico predominante nas águas de baixa salinidade é o bicarbonato cálcico ou misto, enquanto as águas mais salinas são predominantemente sulfatadas ou cloretadas sódicas. As águas bicarbonatadas, em geral, não apresentam problemas de potabilidade e são adequadas para uso na indústria e na irrigação.

Analisando os dados dos perfis geológicos dos quatro poços que foram utilizados neste estudo, se observa que embora os mesmos estejam localizados dentro da área de ocorrência da Formação Pirambóia, cada um deles intercepta diferentes tipos de litologias e possui diferentes características construtivas. O poço ETA Rosário (Tabela 4), possui uma profundidade de 100 m, nível estático de 11,08 m (com oscilações entre 6 e 12 m (Figura 7), obtidas da série de monitoramento de variações de nível de água), capacidade específica de 0,64 m³/h/m e vazão de estabilização de 8,5 m³/h.

Tabela 4 - Dados construtivos do poço ETA Rosário. Fonte: (CPRM, 2024).

ETA ROSÁRIO, ROSÁRIO DO SUL, RS.					
Coordenadas	Nível Estático (m)	Profundidade (m)	Vazão (m³/h/m)	Tipo de Aquífero	Filtros (m)
-30°14'50" S -54°55'03" W	11.08	100.0	0.064	Poroso	8 - 12 16 - 20 24 - 28 32 - 26 40 - 44 52 - 56 60 - 64 68 - 72 80 - 84 88 - 92

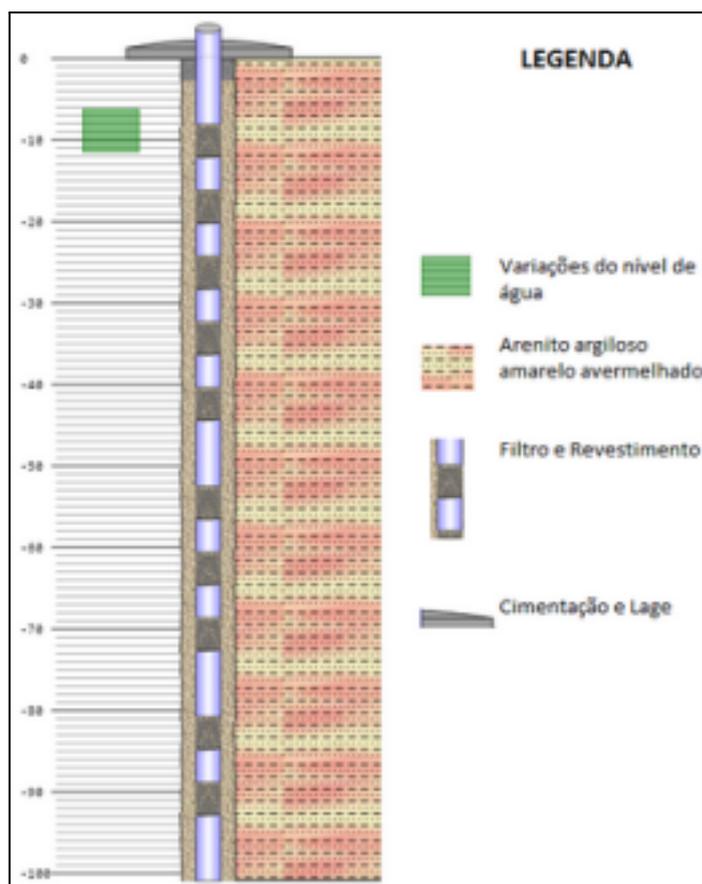


Figura 7 - Perfil construtivo do poço ETA Rosário. Fonte: (CPRM, 2024).

A avaliação do perfil geológico do poço permite identificar a ocorrência de um perfil geológico homogêneo, composto por arenito argiloso em tons que variam entre amarelado e avermelhado, ao longo de toda profundidade. ETA apresenta no total 10 seções filtrantes que captam água em níveis de profundidade distintos, o poço apresenta um espesso pacote de arenito argiloso em praticamente toda sua extensão, do topo até a base do aquífero captado.

O poço Secretaria de Agricultura (Tabela 5) possui 50 metros de profundidade, diâmetro de 4" e nível estático de 3,04 m (com oscilações entre 0,50 e 2,75 m, obtidas da série de monitoramento de variações de nível de água). A capacidade específica é de 0,136 m³/h/m e a vazão de estabilização é de 2,93 m³/h. A avaliação do perfil geológico do poço (Figura 8) permite identificar a ocorrência de 4 camadas geológicas principais, sendo que o Arenitos de tons distintos acompanham a extensão quase total do poço.

Tabela 5 - Dados do poço de monitoramento SECRETARIA DE AGRICULTURA. Fonte: (CPRM, 2024).

SECRETARIA DE AGRICULTURA, CACEQUI, RS.					
Coordenadas	Nível Estático (m)	Profundidade (m)	Vazão (m ³ /h/m)	Tipo de Aquífero	Filtros (m)
- 29°53'20" S -54°49'23" W	3.04	50.0	0.136	Poroso	10 - 12 16 - 20 28 - 30 34 - 36

De acordo com as informações obtidas pela CPRM, o poço teve início das atividades no ano de 2014. A profundidade total do poço Secretaria de Agricultura é de 50 metros, ou seja 50 metros menos profundo em comparação ao poço ETA Rosário que de acordo com os dados construtivos (Figura 8) que possui 100 metros de profundidade. O número de seções filtrantes também se reduz pela metade.

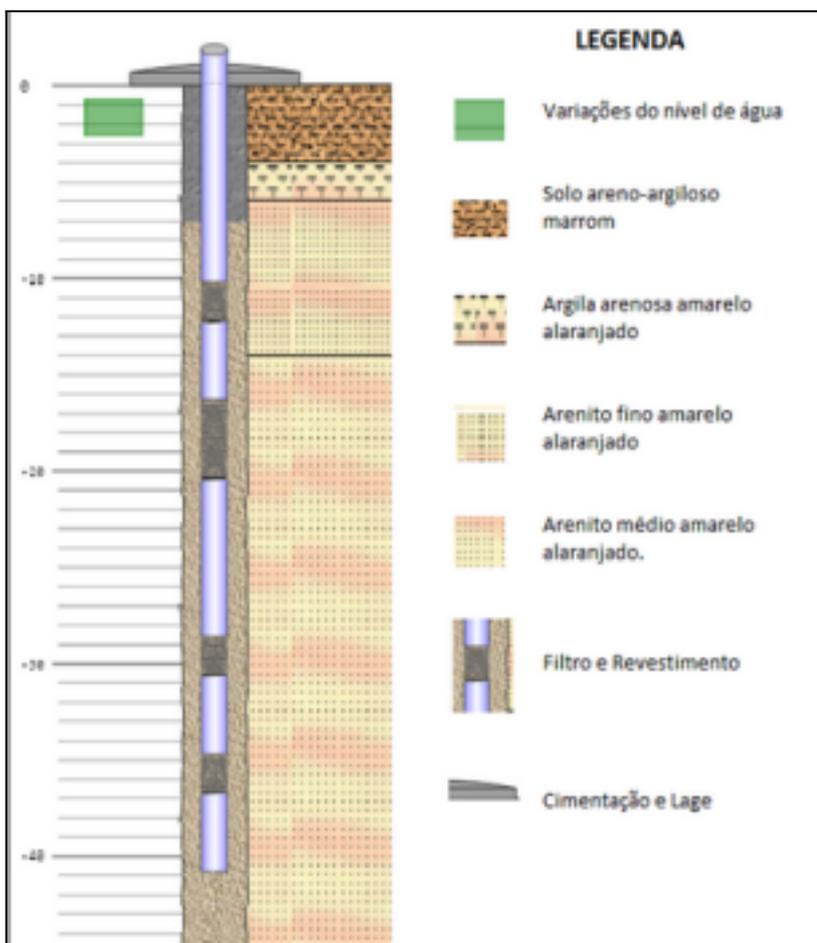


Figura 8 - Perfil construtivo do poço Secretaria de Agricultura.
 Fonte: (CPRM, 2024).

O poço Saicã (Tabela 6) possui 93 m de profundidade, diâmetro de 4" e nível estático de 12,26 m, com oscilações entre 12 e 13,2 m, obtidas da série de monitoramento de variações de nível de água. Não possui informações sobre a capacidade específica e vazão de estabilização. A avaliação do perfil geológico do poço (Figura 9) permite identificar a ocorrência de 5 camadas geológicas principais. A primeira está localizada entre 0 e 2 m e consiste em um solo areno-argiloso de coloração preta. Já entre 2 e 4 m há ocorrência de uma camada de argila arenosa, entre 4 e 5 m há uma camada de seixos de quartzo subangulosos, entre 5 e 80 m uma espessa camada de argilito de coloração vermelho acinzentado, que apresenta intercalações com níveis arenosos pouco friáveis.

Tabela 6 - Dados do poço de monitoramento SAICÃ. Fonte: (CPRM, 2024).

SAICÃ, CACEQUI, RS.					
Coordenadas	Nível Estático (m)	Profundidade (m)	Vazão (m³/h/m)	Tipo de Aquífero	Filtros (m)
-30°01'55" S -55°05'22' W	12.26	93.00	ND	Poroso	73 - 77 81 - 89

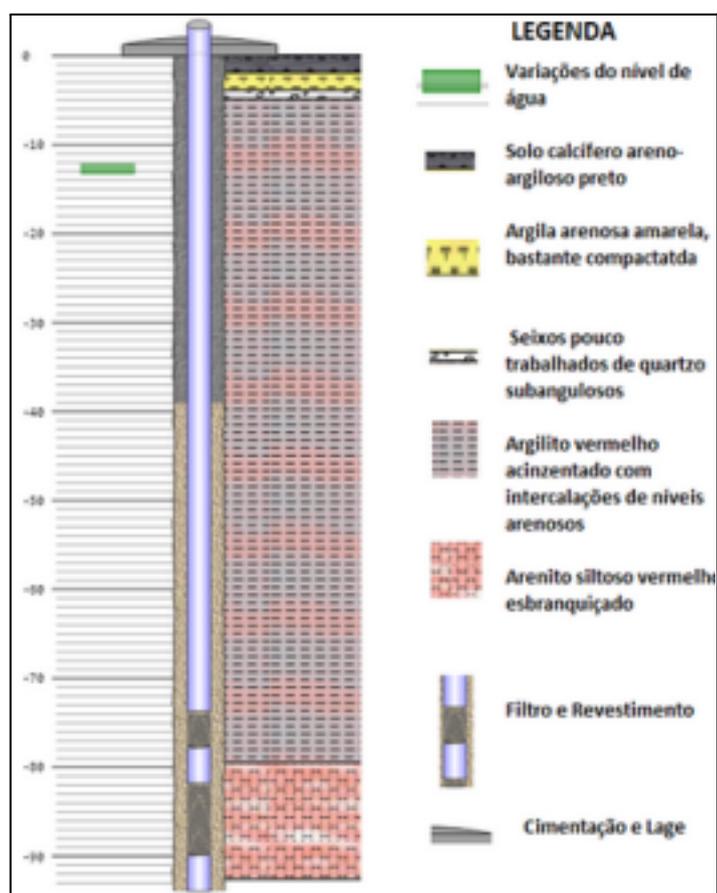


Figura 9 - Perfil construtivo do poço Saicã. Fonte: (CPRM, 2024).

O poço Cerro do Jarau (Tabela 7), possui uma profundidade de 101 m, diâmetro de 4", nível estático de 6,9 m (com oscilações entre 1,5 e 7,0 m, obtidas da série de monitoramento de variações de nível de água), capacidade específica de

0,034 m³/h/m e vazão de estabilização de 2,52 m³/h. A avaliação do perfil geológico do poço (Figura 10) permite identificar a ocorrência de grande heterogeneidade litológica.

Tabela 7 - Dados construtivos do poço CERRO DO JARAU. Fonte: (CPRM, 2024).

CERRO DO JARAU, QUARAÍ, RS.					
Coordenadas	Nível Estático (m)	Profundidade (m)	Vazão (m ³ /h/m)	Tipo de Aquífero	Filtros (m)
-30°11'19" S - 56°31'26" W	6.90	101.0	0.034	Poroso	49-51 63-65 75-87 89-91 95-99

O perfil tem início com a presença de solo arenoso de coloração marrom entre 0 a 1,5 m de profundidade, seguido por camadas de arenito fino de tons avermelhados a branco avermelhados, entre 1,5 e 8 m, camadas de siltito de coloração vermelho, amarronzado, vermelho e azul amarronzado entre 8 e 26 m, camada de arenito siltoso de coloração vermelho azulado (26 e 36 m) e camadas de arenitos finos de coloração variadas que estão entre 36 a 101 m de profundidade. O tipo de aquífero interceptado é caracterizado como poroso, sendo que as seções filtrantes estão localizadas em diferentes profundidades (entre 49 e 99 m), nas camadas mais profundas de arenitos finos.

Jarau apresenta cinco seções filtrantes em toda sua extensão, localizadas entre 49 a 51 metros; 63 a 56 metros; 75 a 87 metros; 89 a 91 metros; e 95 a 99 metros.

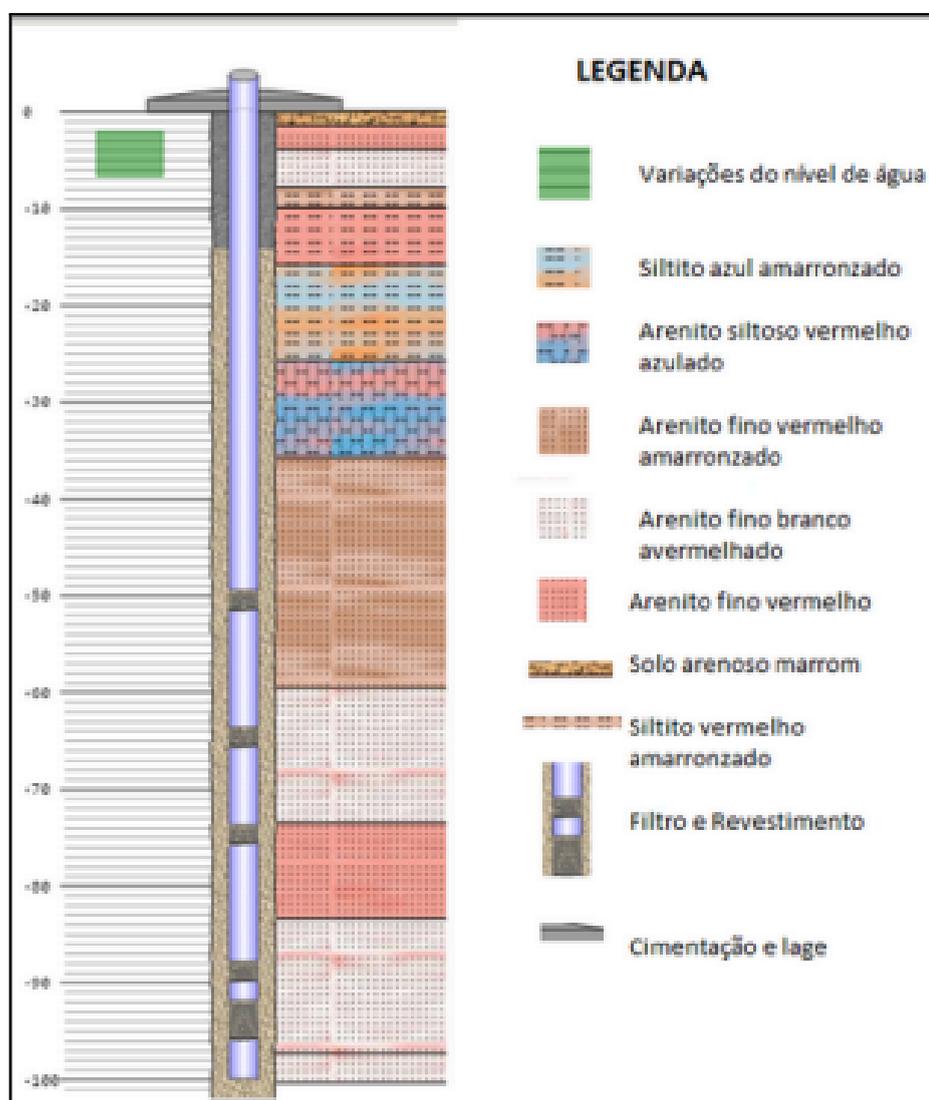


Figura 10 - Perfil construtivo poço Cerro do Jarau. Fonte: CPRM, (2024).

6.2 - Avaliação Hidroquímica

Os dados dos parâmetros físico-químicos disponibilizados pela RIMAS e que foram analisados neste trabalho são apresentados nas tabelas 8, 9, 10 e 11. Além dos resultados são apresentadas informações sobre a data da coleta, método de coleta utilizado (bombeamento ou *Low Flow*) e profundidade da coleta.

Analisando os dados gerais dos diferentes parâmetros, para cada um dos poços, se observa que há diferenças nos valores encontrados para cada um dos parâmetros. Essas diferenças podem ser observadas em cada poço em função da data que foi realizada a coleta e análise, bem como em diferentes profundidades no mesmo poço. Como os dados fornecidos estão associados a diferentes métodos de coleta, realizados em diferentes períodos, bem como em diferentes profundidades (quando as amostras foram coletadas pelo método *Low Flow*), foram feitas análises estatísticas visando determinar uma composição média da água subterrânea de cada poço. Isso permitiu avaliar melhor as diferenças hidroquímicas que existem entre os poços. Os resultados da análise estatística são apresentados nas tabelas 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15, sendo que para melhor visualização e interpretação dos resultados foram gerados os gráficos apresentados nas figuras 12 e 13.

As tabelas 8 e 12 representam os dados físico - químicos do poço Secretaria de Agricultura, localizado em Cacequi, Rio Grande do Sul. O poço possui quatro datas de análises químicas realizadas pela RIMAS. As tabelas 9 e 13 , representam os dados do poço Cerro do Jarau, localizado no município de Quaraí, Rio Grande do Sul, em relação às datas, o poço apresenta cinco análises realizadas. As tabelas 10 e 14 mostram as análises físico - químicas do poço ETA Rosário, localizado no município de Rosário do Sul, Rio Grande do Sul, o poço apresenta seis datas de análises realizadas, número superior de análises aos demais poços. Por fim, as tabelas 11 e 15 indicam as amostragens realizadas no poço Saicã, localizado no município de Cacequi, Rio Grande do Sul, onde há quatro datas de análises químicas fornecidas pela RIMAS.

A tabela 8 apresenta as informações obtidas pelas coletas de água subterrânea realizadas pelo poço Secretaria de agricultura. As datas de

amostragens são referentes a campanhas de amostragem e realização das medições de nível do poço, as datas de análise são: (21/08/2014; 16/09/2016; 28/03/2019 e 20/08/2022). Os parâmetros físicos - químicos analisados foram determinados pelo Laboratório de Análises Mineraias - LAMIN (CPRM), com sede no Rio de Janeiro, (RJ), onde posteriormente foram encaminhadas a RIMAS - SUREG - Porto Alegre, (RS) após o período de análise e interpretação dos resultados. Os parâmetros analisados foram, Sódio, Cálcio, Magnésio, Potássio, Cloreto, Sulfato, Bicarbonato, Fluoreto além do pH e Condutividade Elétrica. O parâmetro Carbonato não foi detectado em algumas profundidades nas avaliações dos dias (16/09/2016 e 28/03/2019).

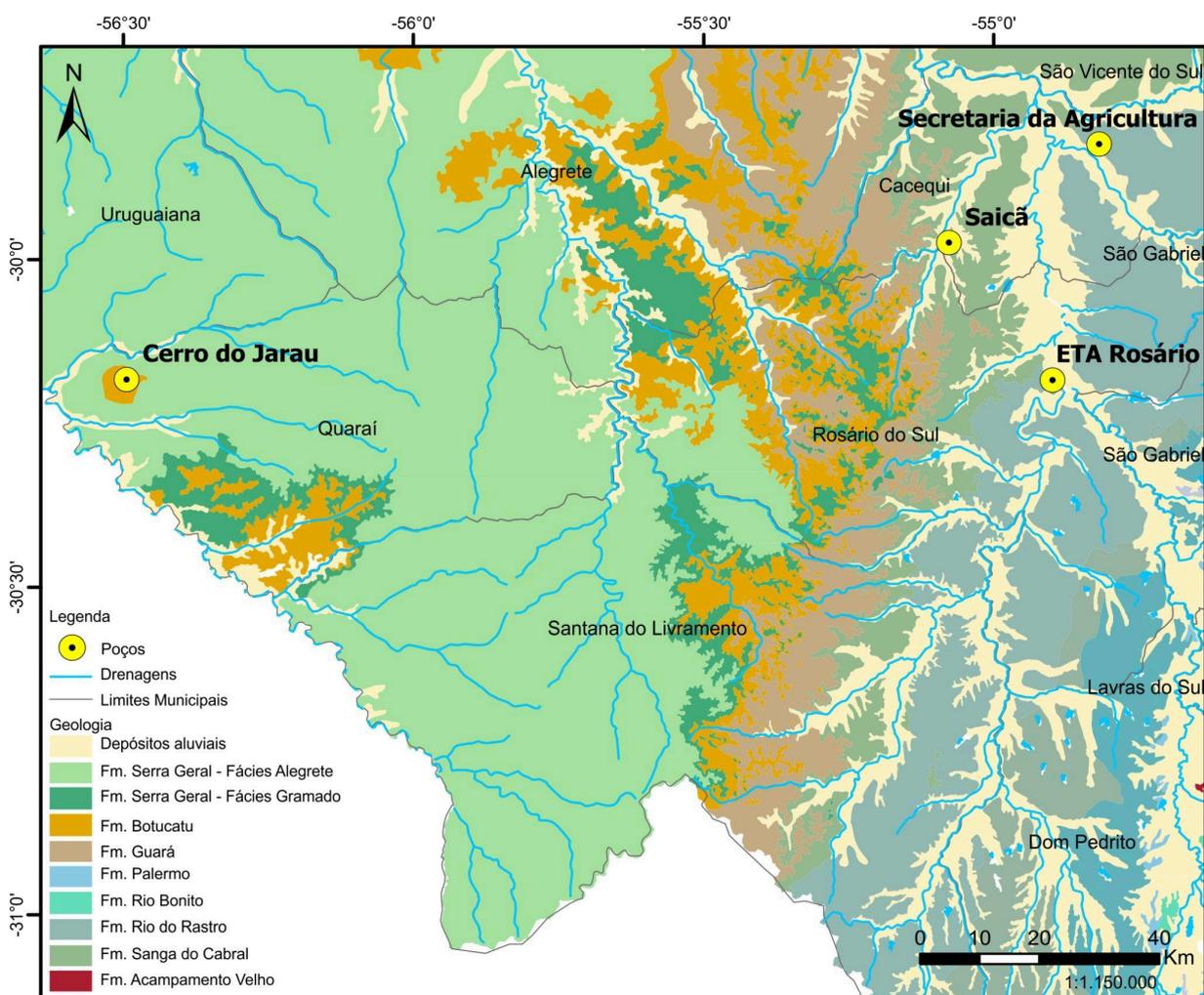


Figura 11 - Mapa de localização dos poços e as unidades hidroestratigráficas presentes. *Elaboração própria.*

Tabela 8 - Dados físico - químicos do poço Secretaria de Agricultura. Fonte: (CPRM, 2024).

SECRETARIA DE AGRICULTURA, CACEQUI, RS - RIMAS/ SIAGAS - 4322634								
Data	21/08/2014	16/09/2016			28/03/2019			20/08/2022
Profundidade filtros (m)	24,00	19,00	29,00	35,00	19,00	29,00	35,00	19,00
Método	Bomba	Low Flow			Low Flow			Low Flow
pH	7,32	6,78	6,64	6,61	7,44	7,81	7,76	7,73
CE (µS/cm)	329,00	97,00	89,00	82,00	252,0	251,0	250,0	186,5
Cálcio (mg/L)	59,37	5,27	6,78	6,19	36,50	37,40	36,80	23,32
Magnésio (mg/L)	5,19	1,26	1,29	1,16	3,87	4,14	3,91	1,32
Sódio (mg/L)	12,24	10,32	8,96	8,23	14,20	14,00	13,90	1,70
Potássio (mg/L)	4,08	2,56	2,82	2,70	4,85	4,71	4,58	4,36
Carbonato (mg/L)	0,32	0,01	nd	nd	0,35	0,36	nd	0,01
Bicarbonato (mg/L)	130,01	48,83	52,19	46,97	167,5	165,3	167,7	109,86
Fluoreto (mg/L)	0,11	0,27	0,18	0,19	0,1	0,1	0,11	0,11
Cloreto (mg/L)	12,34	3,6	1,41	1,34	1,85	1,97	1,97	1,21
Sulfato (mg/L)	1,72	0,15	0,27	0,26	0,84	0,9	0,84	0,55

Tabela 9 - Dados físico - químicos do poço Cerro do Jarau . Fonte: (CPRM, 2024).

CERRO DO JARAU. QUARAÍ, RS - RIMAS/ SIAGAS - 4320122									
Data	22/09/2010	05/08/2013	29/10/2016			15/03/2019			20/08/2022
Profundidade filtros (m)			51.00	75.00	89.00	51.00	75.00	89.00	51.00
Método	Bomba	<i>Low Flow</i>	<i>Low Flow</i>			<i>Low Flow</i>			<i>Low Flow</i>
pH	5,7	7,7	5,77	5,8	5,81	5,84	5,83	6,96	7,47
CE (µS/cm)	62,00	35,00	35	35	35	78	88	427	36,7
Cálcio (mg/L)	1,76	1,60	1,67	1,62	1,70	1,55	1,53	53,1	1,51
Magnésio (mg/L)	0,48	0,62	0,68	0,68	0,73	0,73	0,73	5,6	0,15
Sódio (mg/L)	1,35	1,98	1,92	1,95	2,13	4,54	2,19	2,93	2,66
Potássio (mg/L)	3,43	4,86	4,54	4,47	4,55	3,79	3,89	5,94	4,42
Carbonato (mg/L)	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Bicarbonato (mg/L)	-	17,68	17,6	18,1	18,00	10,2	11,61	140,3	16,05
Fluoreto (mg/L)	-	0,08	0,09	0,09	0,09	0,1	0,08	0,18	0,01
Cloreto (mg/L)	-	0,82	0,78	0,78	0,81	0,87	0,26	1,01	0,69
Sulfato (mg/L)	-	0,21	0,17	0,14	0,15	0,21	0,06	<0,01	0,17

- nd - Não obteve dados detectados pela RIMAS.

Tabela 10 - Dados físico - químicos do poço ETA Rosário. Fonte: (CPRM, 2024).

ETA ROSÁRIO, ROSÁRIO DO SUL, RS - RIMAS/SIAGAS - 4320532										
Data	29/09/2011	20/08/2012	08/08/2013	21/10/2016			27/03/2019			20/08/2022
Profundidade filtros (m)				16,00	42,00	74,00	16,00	42,00	74,00	16,00
Método	Bomba	<i>Low Flow</i>	<i>Low Flow</i>	<i>Low Flow</i>			<i>Low Flow</i>			<i>Low Flow</i>
pH	7,20	8,23	7,53	7,42	5,93	6,07	7,40	5,92	6,18	7,65
CE (µS/cm)	463,00	361,00	55,00	479,00	59,00	66,00	434,00	50,00	58,00	515,30
Cálcio (mg/L)	4,17	38,34	4,35	48,34	4,42	5,38	45,90	4,91	6,25	52,76
Magnésio (mg/L)	1,46	10,22	1,55	12,63	1,54	1,66	14,00	1,76	1,96	13,30
Sódio (mg/L)	3,98	32,34	4,65	34,50	4,72	5,49	41,70	4,91	6,37	37,89
Potássio (mg/L)	2,42	3,23	2,47	2,63	2,39	2,41	4,15	2,17	2,31	3,71
Carbonato (mg/L)	-	-	-	-	-	-	0,4	nd	nd	nd
Bicarbonato (mg/L)	-	-	34,65	-	-	-	250,10	32,18	40,60	276,0
Fluoreto (mg/L)	-	-	0,06	0,3	0,07	0,07	0,3	0,7	0,8	0,23
Cloreto (mg/L)	-	-	0,66	19,96	0,64	0,67	19,96	0,71	0,70	18,00
Sulfato (mg/L)	-	-	0,25	7,68	0,17	0,15	9,58	0,22	0,22	8,7

Tabela 11 - Dados físico - químicos do poço Saicã. Fonte: (CPRM, 2024).

SAICÃ, CACEQUI, RS - RIMAS/ SIAGAS - 432636				
Data	27/08/2014	22/10/2016	28/03/2019	20/08/2022
Profundidade filtros (m)	73.00	84.00	84.00	84.00
Método	Bomba	<i>Low Flow</i>	<i>Low Flow</i>	<i>Low Flow</i>
pH	8,8	9,5	9,19	8,52
CE (µS/cm)	543,2	486,00	493	566,9
Cálcio (mg/L)	6,39	7,36	7,42	6,25
Magnésio (mg/L)	1,031	0,36	0,91	0,31
Sódio (mg/L)	128,30	92,84	135,00	119,53
Potássio (mg/L)	1,85	1,68	3,43	2,45
Carbonato (mg/L)	0,32	17,87	7,60	19,77
Bicarbonato (mg/L)	180,1	175,5	251,1	229,55
Fluoreto (mg/L)	0,1	0,22	0,12	0,1
Cloreto (mg/L)	29,78	29,49	31,91	33,1
Sulfato (mg/L)	13,26	18,31	14,98	16,00

O poço Secretaria de Agricultura (Tabela 12) apresenta pH médio de 7,26, caracterizando as águas como neutras. A condutividade Elétrica média registrada foi de 192,06 $\mu\text{S/cm}$, um valor inferior ao observado nos poços Saicã e ETA Rosário, mas superior ao do poço Cerro do Jarau. A análise estatística revelou que este poço possui a maior concentração média de Cálcio, com 26,45 mg/L, quando comparado aos outros poços. Devido ao alto índice de Cálcio, a classificação das águas, segundo o Diagrama de Piper (Figura 14), foi determinada como Cálcica Bicarbonatada. Por outro lado, o poço Secretaria de Agricultura apresentou a menor concentração média de Sulfato entre os quatro poços analisados, com 0,69 mg/L, um valor aproximadamente 23 vezes inferior à concentração de Sulfato do poço Saicã, que apresentou uma média de 15,64 mg/L.

Tabela 12 - Dados hidroquímicos referentes a análise estatística de composição das águas do poço, Secretaria de Agricultura, Cacequi, RS. Fonte: (CPRM, 2024).

Parâmetro	Valor Máximo	Valor Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
pH	7,81	6,61	7,26	7,38	0,51
CE ($\mu\text{S/cm}$)	329,00	82,00	192,06	218,25	93,33
Cálcio (mg/L)	59,37	5,27	26,45	29,91	19,52
Magnésio (mg/L)	5,19	1,17	2,77	2,60	1,66
Sódio (mg/L)	14,20	8,24	11,57	11,47	2,36
Potássio (mg/L)	4,85	2,57	3,83	4,22	0,97
Cloreto (mg/L)	12,34	1,21	3,21	1,91	3,76
Sulfato (mg/L)	1,72	0,15	0,69	0,70	0,51
Carbonato (mg/L)	0,36	0,01	0,21	0,32	0,18
Bicarbonato (mg/L)	167,7	46,97	111,21	130,01	59,36
Fluoreto (mg/L)	0,27	0,1	0,15	0,11	0,06

O poço Cerro do Jarau (Tabela 13) apresenta um pH de 6,32, classificando a água como levemente ácida. A condutividade Elétrica média é de 93,41 $\mu\text{S/cm}$, o menor valor entre os poços analisados. Além disso, o poço registra a maior concentração média de Potássio, com aproximadamente 4,4 mg/L. Por outro lado, apresenta a menor concentração de Bicarbonato dentre os quatro, com 31,19 mg/L, valor inferior aos dos poços Saicã, ETA Rosário e Secretaria de Agricultura, que possuem concentrações acima de 100 mg/L. De acordo com o Diagrama de Piper suas águas são classificadas como Cálcica Bicarbonatada (Figura 14).

Tabela 13 - Dados Hidroquímicos referentes a análise estatística de composição das águas do poço, Cerro do Jarau, Quaraí, RS. Fonte: (CPRM, 2024).

Parâmetro	Valor Máximo	Valor Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
pH	7,7	5,7	6,32	5,83	0,82
CE ($\mu\text{S/cm}$)	427,00	35,00	93,41	36,70	127,08
Cálcio (mg/L)	53,10	1,51	7,36	1,67	17,15
Magnésio (mg/L)	5,6	0,15	1,16	0,69	1,68
Sódio (mg/L)	4,55	1,36	2,41	2,14	0,92
Potássio (mg/L)	5,94	3,44	4,44	4,48	0,72
Cloreto (mg/L)	1,01	0,26	0,75	0,80	0,22
Sulfato (mg/L)	0,21	0,26	0,75	0,80	0,22
Carbonato (mg/L)	*	*	*	*	*
Bicarbonato (mg/L)	140,3	10,2	31,19	17,64	44,19
Fluoreto (mg/L)	0,18	0,01	0,09	0,09	0,05

O poço ETA Rosário (Tabela 14) apresenta pH de 6,95 indicando águas neutras, a Condutividade Elétrica média é de 254,03 $\mu\text{S/cm}$ sendo o segundo maior valor em comparação aos poços analisados. O poço apresenta a maior concentração média dos parâmetros Fluoreto e Magnésio, a concentração de

Fluoreto obtida foi de 0,32 mg/L e a concentração de Magnésio de 6,01 mg/L respectivamente. De acordo com o Diagrama de Piper (Figura 14), a classificação das águas do poço foram Mista Bicarbonatada, a concentração média de Bicarbonato seja de 126,87 mg/L valor abaixo inferior somente em comparação ao poço Saicã e superior as concentrações obtidas dos poços Secretaria de Agricultura e Cerro do Jarau.

Tabela 14 - Dados hidroquímicos referentes a análise estatística de composição das águas do poço, ETA Rosário. Fonte: (CPRM, 2024).

Parâmetro	Valor Máximo	Valor Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
pH	8,23	5,92	6,95	7,3	0,84
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	515,3	50,0	254,03	213,50	210,67
Cálcio (mg/L)	52,76	4,17	21,49	5,82	21,68
Magnésio (mg/L)	14,00	1,46	6,01	1,86	5,70
Sódio (mg/L)	41,70	3,98	17,66	5,93	16,49
Potássio (mg/L)	4,15	2,17	2,79	2,45	0,67
Cloreto (mg/L)	19,96	0,64	7,29	0,71	9,16
Sulfato (mg/L)	9,58	0,15	3,38	0,24	4,42
Carbonato (mg/L)	*	*	*	*	*
Bicarbonato (mg/L)	276,82	32,18	126,87	40,60	125,08
Fluoreto (mg/L)	0,8	0,06	0,32	0,27	0,29

O poço Saicã se destaca por apresentar os maiores valores médios de pH e Condutividade Elétrica, além das maiores concentrações de Sódio, Cloreto, Bicarbonato e Sulfato (Tabela 15) em comparação com outros quatro poços analisados no estudo. A análise estatística dos íons maiores revela que o pH médio registrado em medições de campanhas de campo é de 9,02, indicando uma água alcalina. A Condutividade tem um valor médio de 522,28 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e a concentração média de Sódio é de 118,92 mg/L, o que indica mineralização superior aos demais poços possivelmente influenciada pelas litologias e camadas aquíferas interceptadas pelo poço, onde há um extenso pacote de argilito que cobre quase toda a extensão do poço, e na base um pequeno pacote de arenito média avermelhado.

Além disso, o poço apresenta uma concentração média de Cloreto de 31,07

mg/L, o que, juntamente com a alta concentração de Sódio, classifica suas águas como Sódicas Bicarbonatadas no Diagrama de Piper (Figura 14).

Tabela 15 - Dados hidroquímicos referentes à análise estatística de composição das águas do poço, Saicã, Cacequi, RS. Fonte: (CPRM, 2024).

Parâmetro	Valor Máximo	Valor Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
pH	9,50	8,52	9,02	9,04	0,42
CE (μ S/cm)	566,9	486,00	522,28	518,10	39,17
Cálcio (mg/L)	7,42	6,25	6,86	6,88	0,62
Magnésio (mg/L)	1,03	0,31	0,66	0,64	0,37
Sódio (mg/L)	135,00	92,85	118,92	123,92	18,50
Potássio (mg/L)	3,43	1,69	2,36	2,15	0,79
Cloreto (mg/L)	33,1	29,49	31,07	30,85	1,73
Sulfato (mg/L)	18,31	13,26	15,64	15,49	2,11
Carbonato (mg/L)	19,77	0,32	11,39	12,74	9,11
Bicarbonato (mg/L)	251,10	175,5	209,06	204,83	37,20
Fluoreto (mg/L)	0,22	0,1	0,14	0,11	0,06

Saicã também se destaca por apresentar uma concentração média de Sulfato de 15,64 mg/L, cerca de cinco vezes superior à concentração observada no poço ETA Rosário e 20 vezes maior do que as concentrações encontradas nos poços Cerro do Jarau e Secretaria de Agricultura. Importante destacar as concentrações superiores em relação aos demais poços de parâmetros como Sódio, Cloreto e Sulfato além como os valores de Condutividade elétrica para o poço, a relação dos valores encontrados indica provável mistura de águas provenientes de aquíferos mais profundos do SAG, além da influência da Formação Sanga do Cabral.

Com base nos dados estatísticos apresentados nas tabelas pode-se verificar que há diferenças significativas na composição hidroquímica das águas que circulam pelos quatro poços, além disso, é possível avaliar com base nos valores máximos, mínimos e média que também há variações em cada um dos poços.

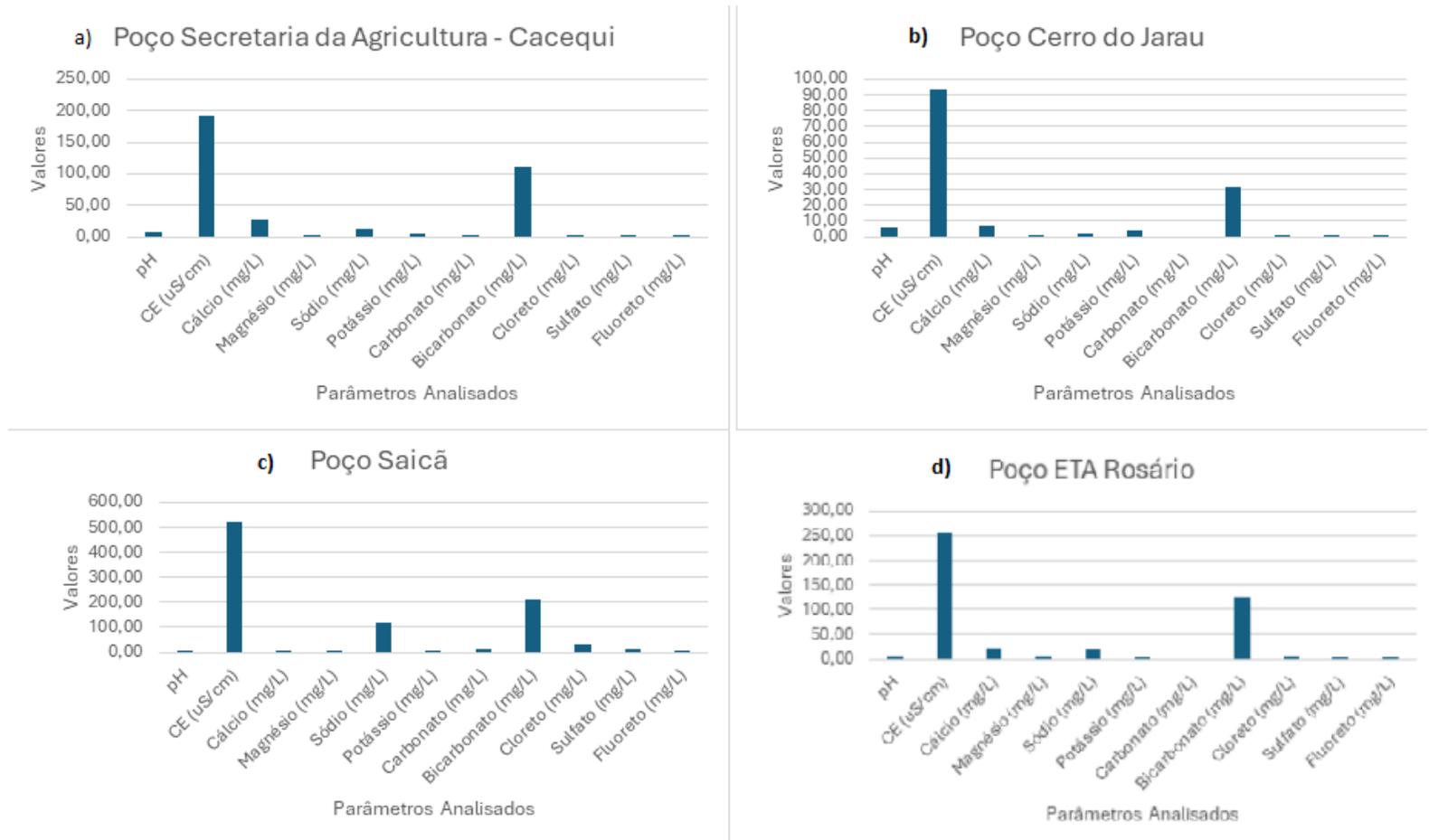


Figura 12 - Média dos parâmetros físico - químicos, a) poço Secretaria de Agricultura; b) poço Cerro do Jarau; c) poço Saicã; d) poço ETA Rosário. Elaboração própria.



Figura 13 - a) Média do pH dos quatro poços; b) Médias de Condutividade Elétrica e Bicarbonato; c) Gráfico médio geral dos parâmetros químicos. Elaboração própria.

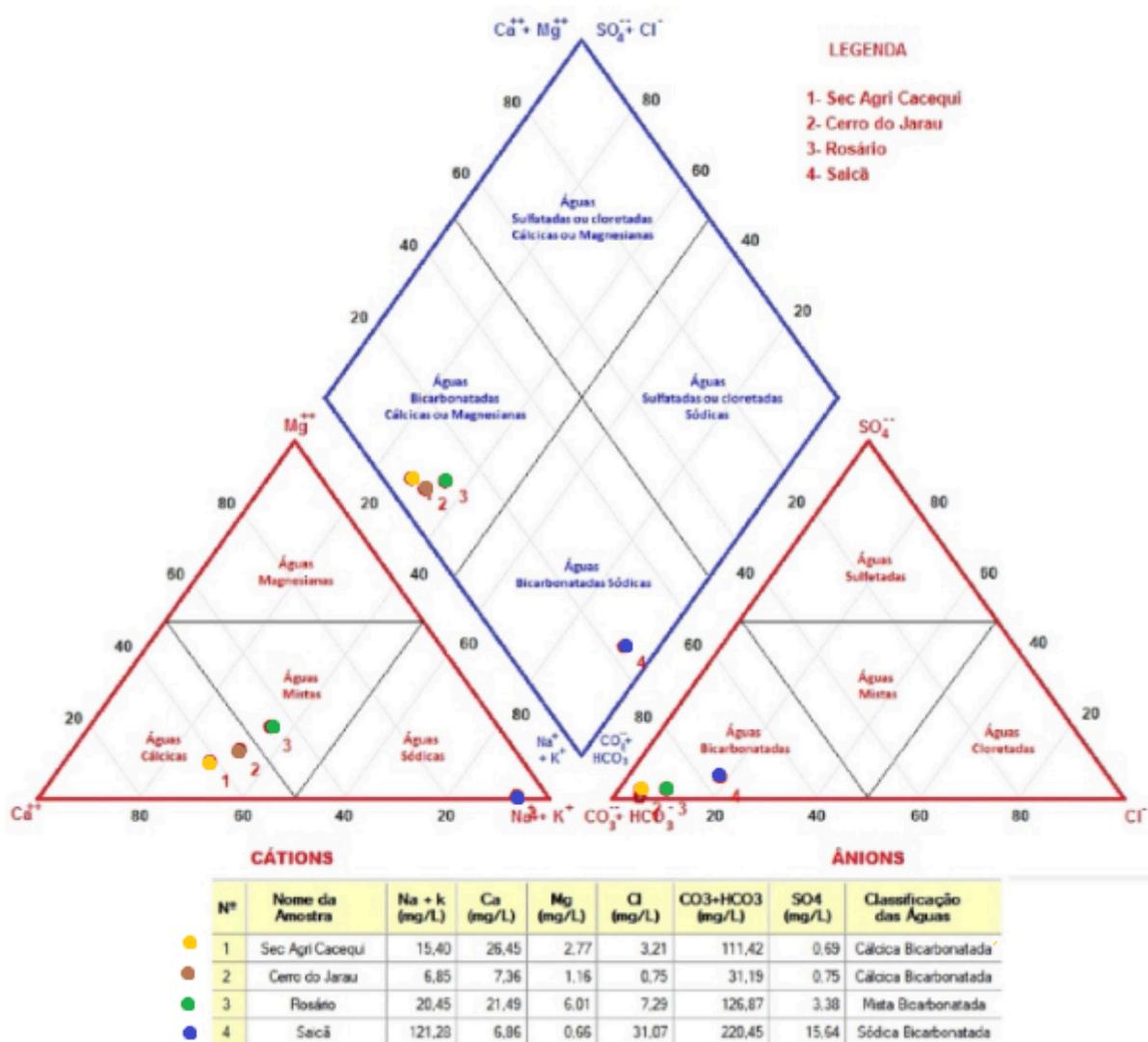


Figura 14 - Diagrama de Piper com a classificação das águas dos poços.

Com base na análise do Diagrama de Stiff (Figura 15) observa-se que os poços que tiveram suas águas classificadas como bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, apresentam variações nas concentrações de cátions e ânions. O poço Cerro do Jarau possui um diagrama mais próximo da linha central o que indica baixa concentração dos elementos e baixa mineralização, quando comparado com os poços ETA Rosário e Secretaria da Agricultura. Já o poço Saicã, que possui águas do tipo bicarbonatadas sódicas, apresentou maiores concentrações de cátions e ânions, principalmente para o Sódio, o que reflete num padrão geométrico diferenciado do Diagrama de Stiff. Esse poço possui duas seções filtrantes, sendo que a primeira seção está na profundidade de 73 a 77 m (parte final de uma espessa camada de argilito vermelho com níveis arenosos), enquanto a segunda seção está

em uma profundidade de 80 a 93 metros (camada de arenito siltoso), conforme o perfil construtivo do poço fornecido pela rede RIMAS (Figura 10).

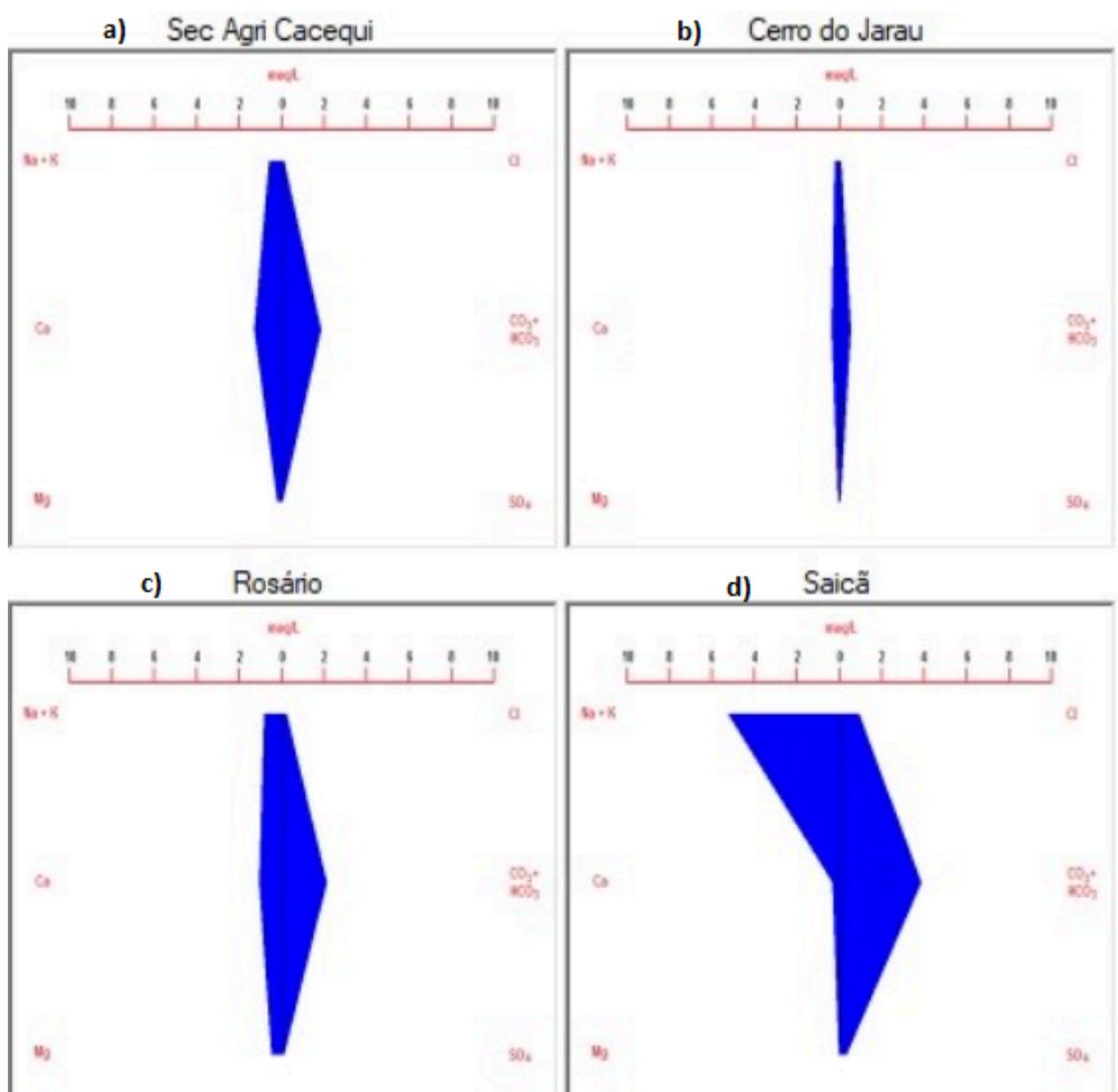


Figura 15 - Diagramas de Stiff dada pela concentração dos principais cátions e ânions para os quatro poços, a) Sec Agricultura; b) Cerro do Jarau; c) ETA Rosário; d) Saicã.

Hansen *et al.* (2024) realizaram um estudo hidrogeoquímico da bacia do Rio Pardo, localizada no estado do Rio Grande do Sul, sendo que os resultados indicaram que águas do tipo bicarbonatadas sódicas são típicas de aquíferos Pré-SAG, enquanto águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas são mais

comuns no SAG e SASG.

Segundo Kuhn *et al.* (2017), as elevadas concentrações de Sulfato e Cloreto observados no poço Saicã são condicionadas a diferentes fatores, sendo o fluxo da água subterrânea em que a distância da área de recarga para o poço possui a influência nas concentrações elevadas, assim como, a interceptação de litologias pelíticas como siltitos argilosos e arenosos provenientes da Formação Sanga do Cabral que podem proporcionar condições de confinamento ou semi - confinamento do aquífero, bem como a provável relação de mistura de águas.

A alta salinidade observada nos poços do Sistema Aquífero Guarani (SAG), conforme estudo de Teixeira e Viero (2017), que analisou a evolução hidrogeoquímica dos aquíferos da Bacia do Paraná no oeste do estado do Rio Grande do Sul, sugere a ocorrência de mistura de águas de aquíferos mais profundos. Nesse contexto, interações químicas, como a troca catiônica entre os argilominerais, considerando Sódio e Cálcio, provenientes da Formação Irati (localizada abaixo do SAG), desempenham um papel importante. Os elevados índices de Sódio encontrados em determinados grupos de poços analisados reforçam a hipótese de mistura de águas dentro da área do SAG no estado.

6.3 – Avaliação da Ocorrência de Variações Temporais da Composição da Água nos Poços

A análise das variações temporais foi realizada com base nos dados que são apresentados nas tabelas 16, 17, 18 e 19. Como o objetivo é avaliar a ocorrência de variações temporais, para os poços que tinham campanhas de amostragem feitas por *Low Flow*, em diferentes profundidades, foi calculada a média para cada parâmetro. A ocorrência de variações temporais em cada parâmetro foi realizada através de análise estatística e da elaboração de gráficos de linha, que demonstram o comportamento hidroquímico das águas com relação a variação do tempo (datas das amostragens). Esses gráficos são apresentados nas Figuras 16, 17, 18 e 19.

Tabela 16 - Dados dos parâmetros físico-químicos das coletas realizadas e resultado da análise estatística dos parâmetros para o poço da Secretaria da Agricultura , Cacequi, RS. Fonte: (CPRM, 2024).

SEC. DE AGRICULTURA	DATA DAS AMOSTRAGENS REALIZADAS				PARÂMETROS ESTATÍSTICOS				
	Parâmetros	21/08/2014	16/09/2014	29/03/2014	20/08/2022	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
pH	7,32	6,68	7,67	7,73	7,73	6,68	7,35	7,50	0,48
CE (µS/cm)	329,0	89,33	251,0	186,5	329,0	89,33	213,96	218,75	101,48
Cálcio (mg/L)	59,37	6,08	36,90	23,32	58,37	6,08	31,42	30,11	22,50
Magnésio (mg/L)	5,19	1,24	3,97	1,32	5,19	1,24	2,93	2,65	1,97
Sódio (mg/L)	12,24	9,18	14,03	10,7	14,03	9,18	11,54	11,47	2,08
Potássio (mg/L)	4,08	2,70	4,71	4,36	4,71	2,70	3,96	4,22	0,88
Bicarbonato (mg/L)	130,01	49,33	166,83	109,86	166,83	49,33	115,39	130,01	60,10
Cloreto (mg/L)	12,34	2,12	1,93	1,21	12,34	1,21	4,40	2,02	5,31
Sulfato (mg/L)	1,72	0,23	0,86	0,55	1,72	0,23	0,84	0,71	0,64
Fluoreto (mg/L)	0,11	0,21	0,10	0,11	0,21	0,10	0,13	0,11	0,05

O poço da Secretaria de Agricultura apresenta quatro campanhas de amostragem com o método *Low Flow* (Tabela 16). Em relação ao pH, o valor máximo registrado foi de 7,73 na última campanha, enquanto o mínimo foi de 6,68 na segunda amostragem. A análise revela uma diferença significativa no pH das águas do poço entre as datas de amostragem, a média do pH das campanhas analisadas foi de 7,35. Quanto à Condutividade Elétrica, observou-se uma grande variação entre os valores mínimos e máximos. Na primeira amostragem, o valor foi de 329 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enquanto na amostragem seguinte apresentou Condutividade Elétrica de 89,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o que pode estar relacionado à redução das concentrações de sódio e cloreto na segunda amostragem. Em relação aos parâmetros químicos, o sódio apresentou concentração máxima de 14,03 mg/L e mínima de 9,18 mg/L, com variações tanto para cima quanto para baixo nas campanhas subsequentes.

O cálcio apresentou valores elevados na primeira amostragem, com uma concentração máxima de 59,37 mg/L. Na segunda campanha, observou-se uma queda brusca, atingindo o menor valor de 6,08 mg/L. Nas amostragens subsequentes (Figura 16), houve variações, com aumentos e quedas na concentração. O bicarbonato também mostrou diferenças significativas entre os valores máximos e mínimos.

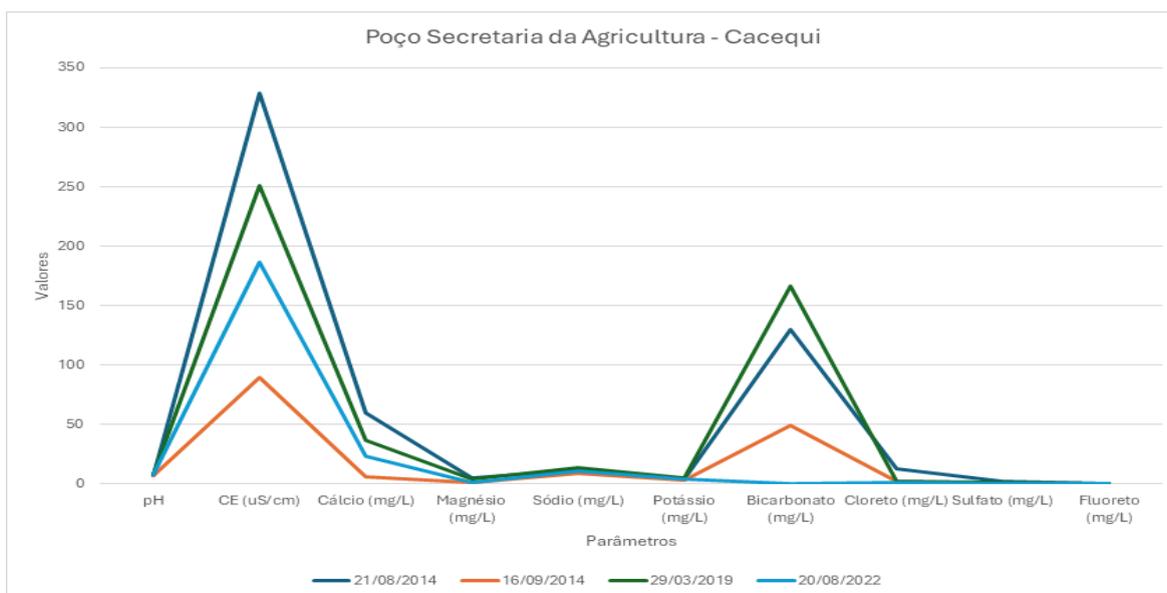


Figura 16 - Gráfico dos parâmetros físico - químicos do poço Secretaria de Agricultura.

Tabela 17 - Dados dos parâmetros físico-químicos das coletas realizadas e resultado da análise estatística dos parâmetros para o poço Cerro do Jarau, Quaraí, RS. Fonte: (CPRM, 2024).

CERRO DO JARAU	DATA DAS AMOSTRAGENS REALIZADAS					PARÂMETROS ESTATÍSTICOS				
Parâmetros	22/09/2010	05/08/2013	29/10/2016	15/03/2019	20/08/2022	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
pH	5,7	7,7	5,79	6,21	7,47	7,70	5,70	6,57	6,21	0,95
CE (µS/cm)	62,0	35,0	35,0	72,57	36,7	72,57	35,0	48,25	36,70	17,97
Cálcio (mg/L)	1,76	1,60	1,67	18,79	1,51	18,79	1,51	5,07	1,67	7,67
Magnésio (mg/L)	0,48	0,62	0,70	2,36	0,15	2,36	0,15	0,86	0,62	0,86
Sódio (mg/L)	1,35	1,98	2,01	3,22	2,66	3,22	1,35	2,24	2,01	0,71
Potássio (mg/L)	3,43	4,86	4,52	4,54	4,42	4,86	3,43	4,36	4,52	0,54
Bicarbonato (mg/L)		17,68	17,90	54,04	16,05	54,04	16,05	26,42	17,79	18,34
Cloreto (mg/L)		0,82	0,79	0,71	0,69	0,82	0,69	0,75	0,75	0,06
Sulfato (mg/L)		0,21	0,15	0,14	0,17	0,21	0,14	0,17	0,16	0,03
Fluoreto (mg/L)		0,08	0,09	0,12	0,01	0,12	0,01	0,08	0,09	0,05

O poço Cerro do Jarau (Tabela 17), em relação ao pH, apresentou valor mínimo de 5,70, indicando águas mais ácidas na primeira campanha de amostragem, dentre cinco análises pelo método Low Flow. O valor máximo determinado foi de 7,70, indicando águas mais alcalinas na segunda campanha de amostragem, revelando uma diferença considerável de pH nas águas do poço, da primeira à segunda amostragem. A média calculada foi de 6,57, indicando águas levemente ácidas. A Condutividade Elétrica máxima foi de 72,57 $\mu\text{S}/\text{cm}$, na terceira campanha de amostragem. O menor valor registrado foi na segunda coleta de amostragem, com 35,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enquanto a média foi de 48,25 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Em relação aos cátions, o Cálcio apresenta a maior variação de valores entre os valores mínimos e máximos. A maior concentração determinada foi de 18,79 mg/L na quarta campanha de amostragem, enquanto a menor registrada foi de 1,51 mg/L na primeira campanha. A média da concentração de Cálcio neste poço, ao longo dos anos, foi de 5,07 mg/L.

Em proporção aos valores mínimos e máximos, a concentração de Magnésio apresentou as maiores diferenças entre os valores mínimos e máximos variando entre 2,36 mg/L e 0,15 mg/L na última data de amostragem, aproximadamente 15 vezes menos que o valor máximo obtido.

O Sódio apresenta valor máximo de concentração de 3,2 mg/L na terceira campanha de amostragem. Em contrapartida, o valor mínimo determinado foi de 1,36 mg/L, na primeira data de análise. A média encontrada foi de 2,01 mg/L. A relação de Magnésio entre a quarta e a quinta campanha mostra uma redução de aproximadamente dezessete vezes, com o valor máximo obtido de 2,36 mg/L, enquanto o valor mínimo estipulado foi de 0,15 mg/L. Em relação aos ânions, o Bicarbonato apresenta as maiores diferenças entre valores máximos e mínimos. A maior concentração foi de 54,04 mg/L na quarta campanha de amostragem, enquanto a menor concentração foi de 16,05 mg/L, na quinta campanha de amostragem. As concentrações de Cloreto e Sulfato não apresentam valores discrepantes entre o valor mínimo e o valor máximo ao longo do tempo, embora as concentrações de Fluoreto variem cerca de 12 vezes entre o máximo e o mínimo registrado, são valores muito baixos.

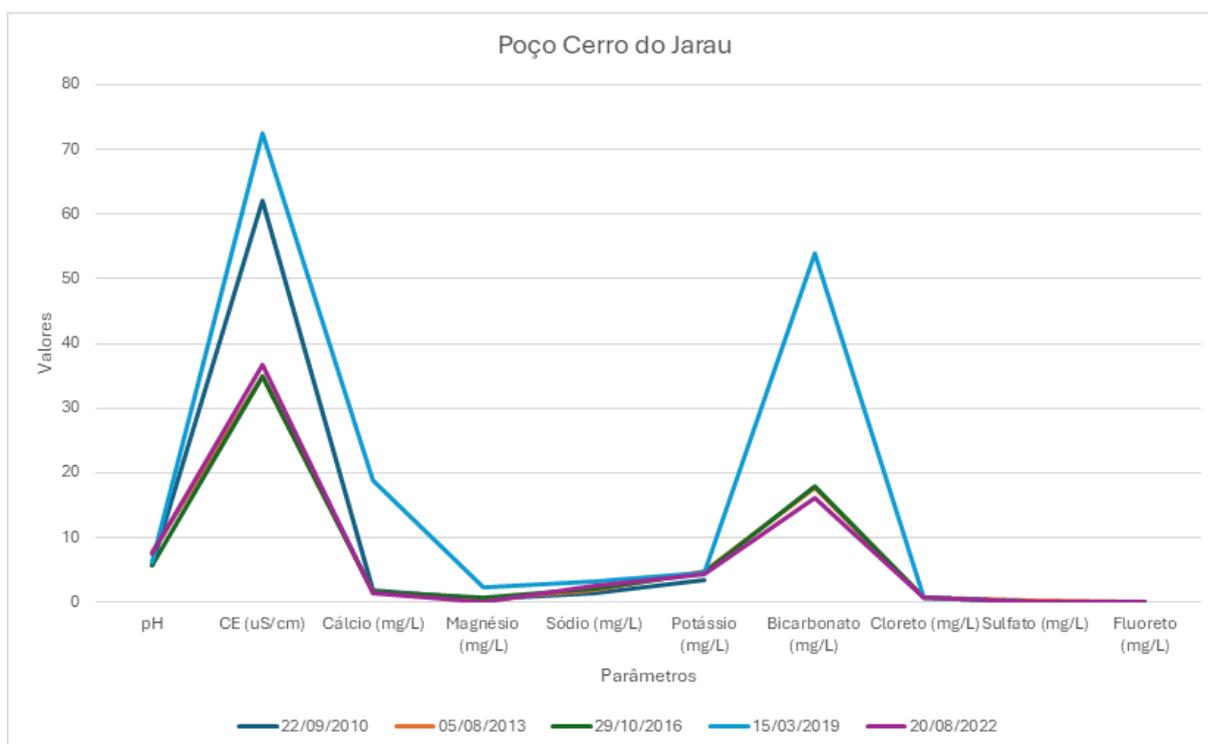


Figura 17 - Gráfico dos parâmetros físicos - químicos, poço Cerro do Jarau.

O Poço ETA Rosário apresenta seis campanhas de amostragem pelo método *Low Flow* (Tabela 18). Em relação ao pH, o poço apresenta valor máximo de 8,23, enquanto o valor mínimo registrado foi de 6,47, o que evidencia uma variação considerável das medições do pH entre as coletas. A Condutividade Elétrica apresenta variações altas de acordo com os valores medidos em campo. A máxima registrada foi de 515,30 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enquanto o menor valor determinado foi de 55,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A média registrada ficou em 281,17 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Em relação aos cátions, o Cálcio apresenta a maior diferença entre valores mínimos e máximos. Na última campanha de amostragem, o valor máximo obtido foi de 52,76 mg/L, enquanto o valor mínimo registrado foi de 4,17 mg/L, na primeira campanha. A média do parâmetro foi de 23,01 mg/L. O Sódio também apresenta uma diferença considerável entre os valores determinados. O valor máximo registrado foi de 37,89 mg/L, enquanto o menor valor registrado foi de 3,98 mg/L. O Magnésio apresenta concentração máxima de 13,20 mg/L e seu valor mínimo registrado é de 1,46 mg/L.

Tabela 18 - Dados dos parâmetros físico-químicos das coletas realizadas e resultado da análise estatística dos parâmetros para o poço ETA Rosário, RS. Fonte: (CPRM, 2024).

ETA ROSÁRIO	DATA DAS AMOSTRAGENS REALIZADAS						PARÂMETROS ESTATÍSTICOS				
Parâmetros	29/09/2011	28/08/2012	08/08/2013	21/10/2016	27/03/2019	20/08/2022	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
pH	7,2	8,23	7,53	6,47	6,50	7,65	8,23	6,47	7,26	7,37	193,24
CE ($\mu\text{S/cm}$)	463,00	361,00	55,00	201,33	180,76	515,30	515,30	55,00	296,05	281,17	187,24
Cálcio (mg/L)	4,17	38,34	4,36	19,39	19,02	52,76	52,76	4,17	23,01	19,20	15,96
Magnésio (mg/L)	1,46	10,23	1,55	5,28	5,91	13,30	13,20	1,46	6,29	5,59	11,86
Sódio (mg/L)	3,98	32,35	4,65	14,91	17,66	37,89	37,89	3,98	18,57	16,28	12,52
Potássio (mg/L)	2,42	3,24	2,47	2,49	2,88	3,71	3,71	2,42	2,87	2,86	92,41
Bicarbonato (mg/L)	-	-	34,65	-	107,63	276,82	276,82	34,65	139,70	107,63	100,64
Cloreto (mg/L)	-	-	0,66	6,09	7,12	18,00	18,00	0,66	7,97	6,61	5,76
Sulfato (mg/L)	-	-	0,25	2,67	3,34	8,77	8,77	0,25	3,76	3,00	2,96
Fluoreto (mg/L)	-	-	0,66	0,15	0,60	0,23	0,66	0,15	0,41	0,42	0,26

O Magnésio apresenta concentração máxima de 13,20 mg/L e seu valor mínimo registrado é de 1,46 mg/L. O Potássio varia pouco entre as concentrações máximas e mínimas. Quanto aos ânions, o Bicarbonato apresenta as maiores variações, com concentração máxima determinada de 276,82 mg/L, enquanto a mínima registrada foi de 34,65 mg/L. A média da concentração de Bicarbonato foi de 139,70 mg/L. O Cloreto também apresenta variações significativas entre as medidas. A máxima registrada foi de 18,00 mg/L, enquanto a mínima foi de 0,66 mg/L, na terceira campanha de amostragem.

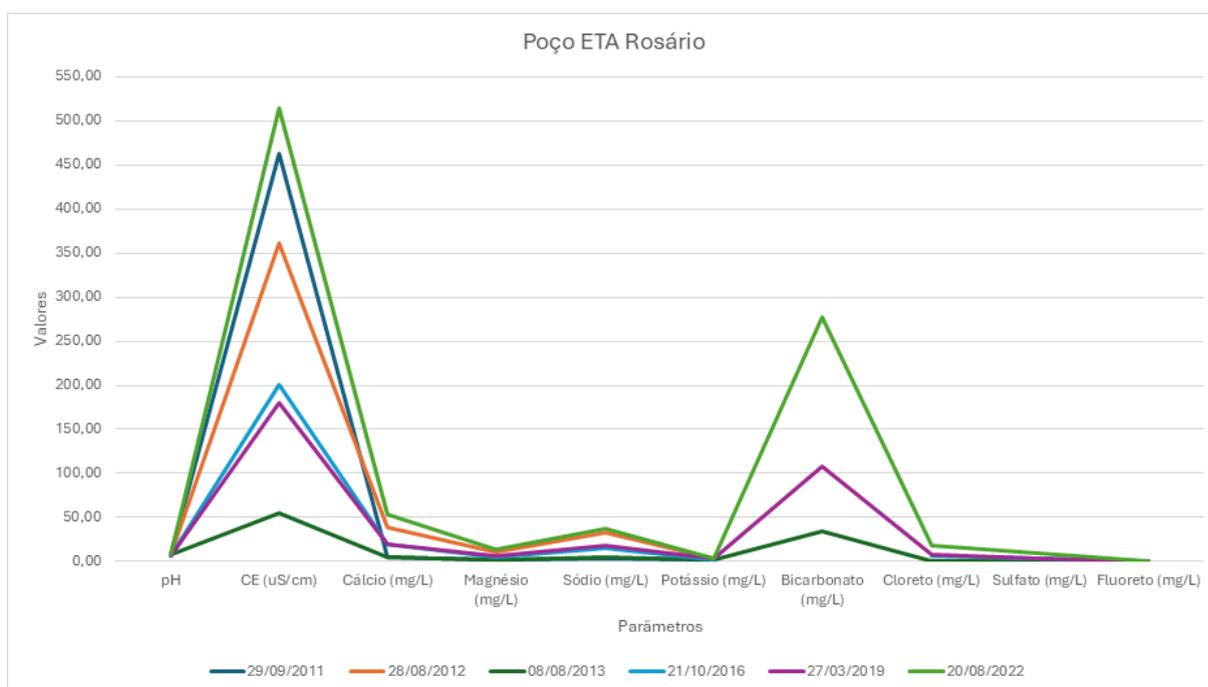


Figura 18 - Gráfico dos parâmetros físico - químicos, poço ETA Rosário.

O poço Saicã apresenta quatro amostragens pelo método *Low Flow* (Tabela 19), em relação ao pH o poço apresenta valor máximo determinado na segunda amostragem com valor máximo de 9,50 enquanto o valor mínimo registrado é de 8,52. Sobre a média das quatro análises, Saicã apresentou valor de 9,02 indicando águas alcalinas, no geral Saicã apresenta variações de queda e subida dos valores, porém, o pH possui característica alcalina em todas as amostragens.

Tabela 19 - Dados dos parâmetros físico-químicos das coletas realizadas e resultado da análise estatística dos parâmetros para o poço Saicã, RS. Fonte: (CPRM, 2024).

SAICÃ	DATA DAS AMOSTRAGENS REALIZADAS				PARÂMETROS ESTATÍSTICOS				
	27/08/2014	22/10/2016	28/03/2019	20/08/2022	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
Parâmetros									
pH	8,88	9,50	9,19	8,52	9,50	8,52	9,02	9,04	0,42
CE ($\mu\text{S/cm}$)	543,20	486,00	493,00	566,90	566,90	486,00	522,28	518,10	39,17
Cálcio (mg/L)	6,39	7,37	7,42	6,25	7,42	6,25	6,86	6,88	0,62
Magnésio (mg/L)	1,03	0,37	0,92	0,31	1,03	0,31	0,66	0,64	0,37
Sódio (mg/L)	128,30	92,85	135,00	119,53	135,00	92,85	118,92	123,92	18,50
Potássio (mg/L)	1,85	1,69	3,43	2,45	3,43	1,69	2,36	2,15	0,79
Bicarbonato (mg/L)	180,10	175,50	251,10	229,55	229,55	175,50	209,06	204,83	37,20
Cloreto (mg/L)	29,78	29,49	31,91	33,10	33,10	29,49	31,07	30,85	1,75
Sulfato (mg/L)	13,26	18,31	14,91	16,00	18,31	13,26	15,64	15,49	2,11
Fluoreto (mg/L)	0,10	0,22	0,10	0,10	0,22	0,10	0,14	0,11	0,66

Em relação a Condutividade Elétrica, o poço apresenta valor máximo de 566,90 uS/cm na última data de amostragem, enquanto o valor mínimo registrado, é de 486,00 uS/cm na segunda medição. A média registrada é de 522,28 uS/cm porém, no geral as variações de CE são pequenas comparadas a poços como ETA Rosário e Secretaria de Agricultura onde as medições de CE possuem ampla variação. Em relação aos cátions, o Sódio possui concentrações moderadas em todas as datas de amostragem, o valor máximo registrado na terceira coleta é de 135,00 mg/L enquanto o valor mínimo registrado na segunda data é de 92,85 mg/L. A média da concentração de Sódio é de 118,92 mg/L, no geral os índices de Sódio são moderados e há variações de queda e subida por data de amostragem, em relação aos outros poços as concentrações obtidas são amplamente superiores às concentrações obtidas nos poços Secretaria de Agricultura e principalmente o poço Cerro do Jarau onde a relação de concentração máxima é aproximadamente 42 vezes maior.

O Cálcio apresenta pouca variação significativa de concentração dentre as amostragens com valor máximo obtido na terceira data de 7,42 mg/L enquanto o valor mínimo é de 6,32 mg/L. As concentrações de Magnésio e Potássio apresentam concentrações com variações maiores, o valor máximo de Magnésio obtido na primeira amostragem é de 1,03 mg/L, enquanto o menor valor registrado na última campanha é de 0,31 mg/L. Em relação aos ânions, o poço apresenta concentrações elevadas de Bicarbonato, Cloreto e Sulfato.

O Bicarbonato apresenta concentração máxima registrada de 229,55 mg/L na última data de amostragem, o valor mínimo determinado de 175,50 mg/L na segunda data. No geral, há variações de concentração de queda e subida de Bicarbonato em relação às datas de amostragem. O Cloreto possui concentrações elevadas em todas as amostragens por *Low Flow* onde, possui concentração máxima de 33,10 mg/L na última campanha registrada, o valor mínimo determinado foi de 29,78 mg/L. No geral, as concentrações de cloreto permanecem elevadas nas quatro amostragens, relação consideravelmente superior em comparação aos poços ETA Rosário, Cerro do Jarau e Secretaria de Agricultura. Saicã também se destaca pelas concentrações elevadas de Sulfato durante as campanhas realizadas, a concentração máxima obtida de 18,31 mg/L na segunda data de amostragem,

enquanto a menor concentração obtida de 13,26 mg/L na primeira coleta.

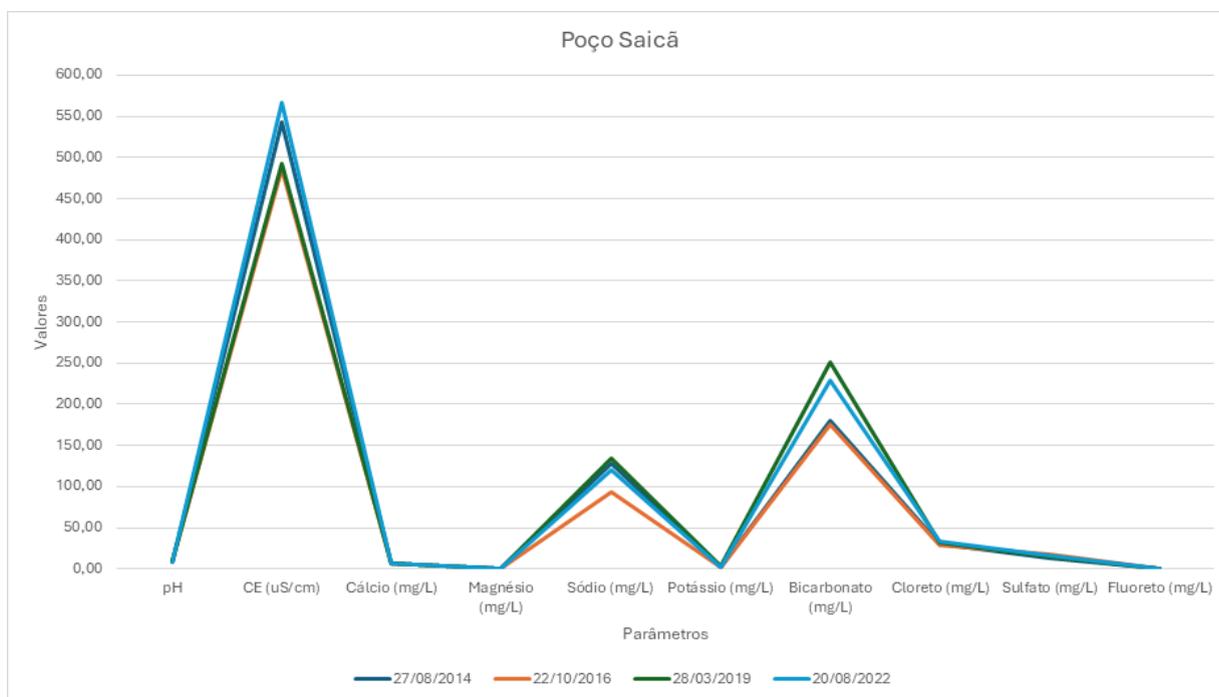


Figura 19 - Gráfico dos parâmetros físico - químicos do poço Saicã.

Em relação às variações temporais encontradas, o poço ETA Rosário destaca - se por apresentar as maiores oscilações entre os parâmetros físico - químicos, enquanto que o poço Saicã apresenta as menores variações. As variações de Sódio, Cloreto e Sulfato além do pH e da CE no Saicã, indicam que o poço apresenta águas provenientes de misturas de aquíferos mais profundas ou seja, abaixo estratigraficamente do SAG no estado do Rio Grande do Sul.

6.4 – Avaliação da Ocorrência de Variações Verticais da Composição da Água nos Poços

A análise da ocorrência de variações verticais na composição da água subterrânea dos poços Secretaria da Agricultura-Cacequi, Cerro do Jarau e ETA Rosário foi feita com base na análise dos dados coletados pelo método de *Low Flow* a diferentes profundidades. Para o poço Saicã, não foi realizada a análise, visto que embora o poço tivesse duas seções filtrantes, as coletas por *Low Flow* foram

realizadas numa profundidade única nas últimas três campanhas. Os dados e resultados das análises do poço Secretaria da Agricultura são apresentados na Tabela 20 e nas figuras 20, 21 e 22. As coletas foram realizadas em três profundidades, de acordo com as seções filtrantes: 19m, 26m e 35m em duas campanhas de coleta.

Tabela 20 - Dados dos parâmetros físico-químicos das coletas por Low Flow realizadas para o poço da Secretaria da Agricultura, RS. Fonte: (CPRM, 2024).

SECRETARIA DE AGRICULTURA						
Data	16/09/2016			28/03/2019		
Profundidade Filtros (m)	19.00	29.00	35.00	19.00	29.00	35.00
Cálcio (mg/L)	5,27	6,78	6,19	36,50	37,40	36,80
Magnésio (mg/L)	1,26	1,29	1,16	3,87	4,14	3,91
Sódio (mg/L)	10,32	8,96	8,23	14,20	14,00	13,90
Potássio (mg/L)	2,56	2,82	2,70	4,85	4,14	4,58
CE (μ S/cm)	73,30	70,3	65,10	227,2	225,8	225,3
pH	6,35	6,25	6,03	7,55	7,57	7,5
Bicarbonato (mg/L)	48,33	52,19	46,97	167,5	165,30	165,2
Alcalinidade Total (mg/L)	40,04	42,79	38,48	138,00	136,20	138,2
Fluoreto (mg/L)	0,27	0,18	0,19	0,1	0,1	0,11
Cloreto (mg/L)	3,60	1,41	1,34	1,85	1,97	1,97
Sulfato (mg/L)	0,15	0,27	0,26	0,84	0,9	0,84

A avaliação dos resultados da primeira campanha de amostragem (16/09/2016) permite identificar uma diminuição de valores dos parâmetros, Sódio, Fluoreto e Cloreto com o aumento da profundidade porém, com baixa diferença entre os valores de concentração (Tabela 20). Os parâmetros Bicarbonato, Alcalinidade, Cálcio, Magnésio, Potássio e Sulfato tem um aumento nas

concentrações no intervalo médio (29 m), sendo que há uma pequena diminuição nas concentrações no horizonte mais profundo. Já para o fluoreto houve uma diminuição da primeira seção para a segunda, com tendência de estabilização na seção mais profunda. A Condutividade Elétrica e o pH apresentam queda dos valores a partir da zona menos profunda para a zona mais profunda, entretanto não indicam variações significativas nos valores medidos posteriormente. O pH mantém-se estabilizado e com águas indicando leve tendência a acidez, enquanto a Condutividade é baixa nas três medições.

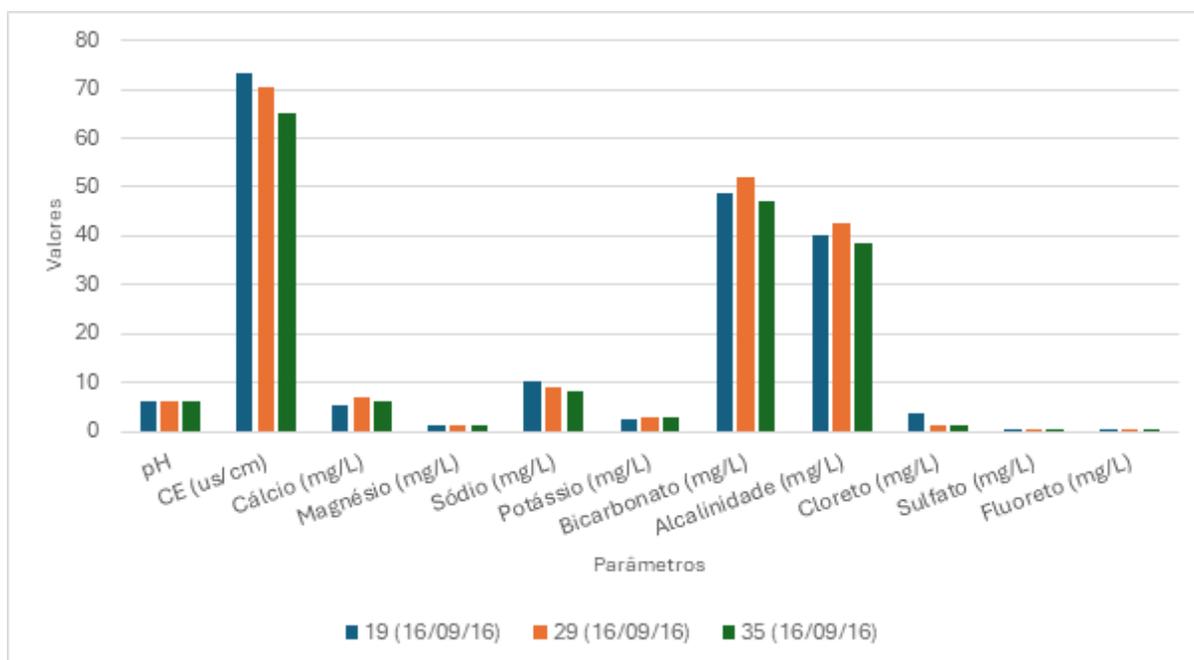


Figura 20 - Gráfico dos parâmetros físicos - químicos do poço Secretaria de Agricultura, para amostragem por Low Flow na data de 16/09/2016.

A avaliação dos resultados da segunda campanha demonstra a ocorrência de um aumento significativo nos valores dos diferentes parâmetros, que pode estar associado a mudanças temporais da composição da água, como já foi discutido anteriormente. Na análise dos resultados com a profundidade se observa que o pH passou à alcalino, do nível mais superficial aos 29 m de profundidade, e houve uma pequena diminuição no pH na profundidade de 35 m.

A CE apresenta um comportamento semelhante de diminuição dos valores

com o aumento da profundidade, embora apresente resultados três vezes mais elevados dos que os observados na primeira campanha. Os parâmetros Cálcio, Magnésio e Sulfato tendem a apresentar um pequeno aumento das concentrações na profundidade de 29m, com diminuição na profundidade de 35 m. Já para os parâmetros Sódio, Potássio e Bicarbonato há uma pequena diminuição na profundidade de 29 m com pequena diminuição ou tendência de estabilização para a profundidade de 35m. De modo geral, a coleta realizada na data de 29/03/2019, há pouca variação significativa dos valores entre as profundidades que foram realizadas as amostragens, em nenhum parâmetro específico houve discrepâncias entre as concentrações dos cátions e ânions. Há variações consideráveis entre as duas datas de amostragem porém indicando variações temporais.

Os gráficos das figuras 20 e 21 exemplificam os valores obtidos dos parâmetros analisados, observa - se que a Condutividade Elétrica aumentou consideravelmente da primeira campanha de amostragem na data de amostragem, até a campanha subsequente, assim como o Cálcio que há elevação importante na última análise.

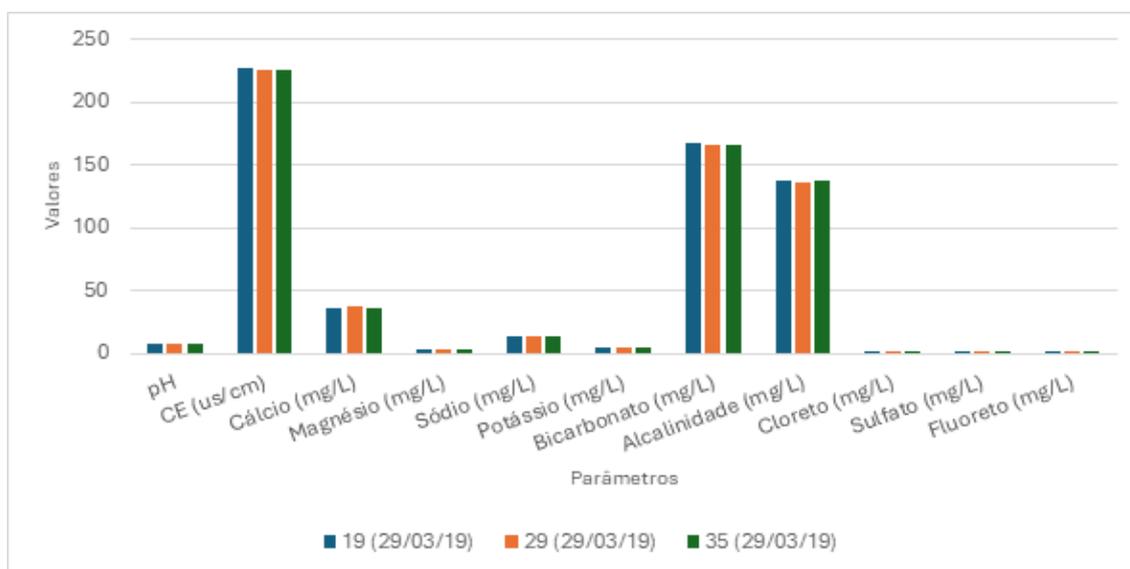


Figura 21 - Gráfico dos parâmetros físico - químicos para amostragem de 29/03/2019.

Os gráficos unitários de Condutividade Elétrica e pH para a data de 16/09/2016 (Figura 22), representando as variações com a profundidade por data de amostragem pelo método Low Flow. O pH em relação a profundidade cai

moderadamente na primeira amostragem, enquanto que a Condutividade Elétrica também há redução dos valores. Alcalinidade Total e Bicarbonato apresentaram nas concentrações estáveis para a primeira campanha.

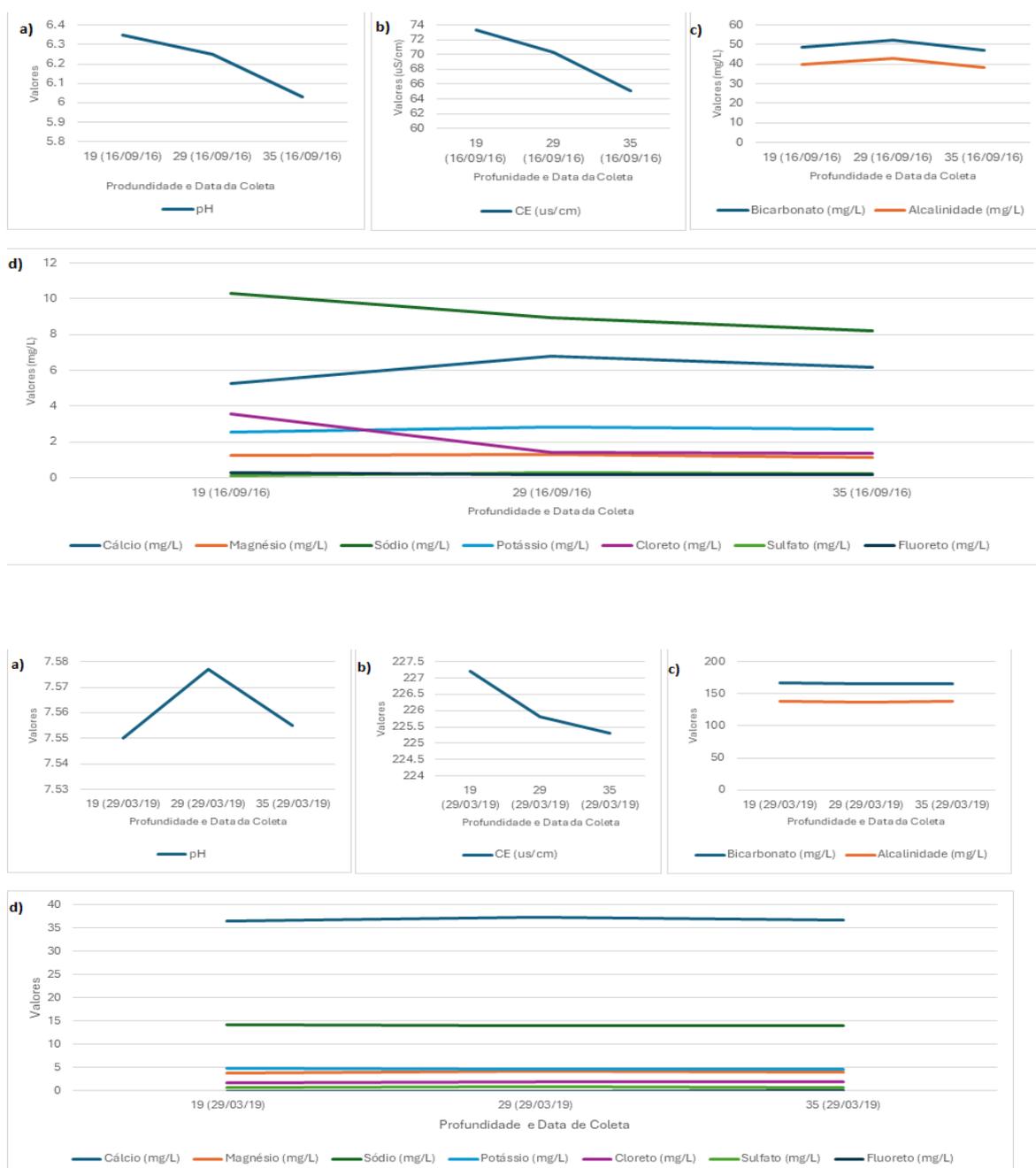


Figura 22 - Relação dos parâmetros físico - químicos poço Secretaria de Agricultura.

Para a análise química referente a primeira campanha de amostragem na data de (29/10/2016) no poço Cerro do Jarau (Tabela 21) indica variações discretas

nas concentrações químicas dos parâmetros em função da profundidade da amostragem. A coleta realizada a 51 metros apresenta concentrações mais baixas de Bicarbonato, Alcalinidade total e Condutividade Elétrica quando comparada às coletas a 75 metros e 89 metros.

Tabela 21 - Dados dos parâmetros físico-químicos das coletas por Low Flow realizadas para o poço Cerro do Jarau, RS.

CERRO DO JARAU						
Data	29/10/2016			15/03/2019		
Profundidade filtros (m)	51.00	75.00	89.00	51.00	75.00	89.00
Cálcio (mg/L)	1,67	1,62	1,70	1,55	1,53	53,10
Magnésio (mg/L)	0,68	0,68	0,73	0,73	0,73	5,60
Sódio (mg/L)	2,92	1,95	2,13	4,54	2,19	2,93
Potássio (mg/L)	4,54	4,47	4,55	3,79	3,89	5,94
CE (μ S/cm)	24,5	24,7	25,2	29,7	29,9	260,90
pH	5,82	5,86	5,97	5,72	5,63	6,84
Bicarbonato (mg/L)	17,6	18,10	18,00	10,2	11,61	140,31
Alcalinidade Total (mg/L)	14,32	14,80	14,70	8,27	9,40	115,1
Fluoreto (mg/L)	0,09	0,09	0,08	0,1	0,08	0,18
Cloreto (mg/L)	0,78	0,78	0,81	0,87	0,26	1,01
Sulfato (mg/L)	0,17	0,14	0,15	0,21	0,06	0,01

Por outro lado, observa-se um pequeno decréscimo na concentração de Sulfato nessa profundidade a amostragem a 75 metros, as concentrações dos parâmetros não apresentam diferenças significativas em relação às outras profundidades, exceto por pequenas variações de Cálcio, Potássio e Sulfato. A 89 metros, há um aumento discreto nas concentrações de Cálcio, Magnésio, Sódio,

Potássio, Cloreto e pH, além da Condutividade Elétrica. No entanto, de maneira geral, as variações dos parâmetros analisados durante esta campanha são mínimas.

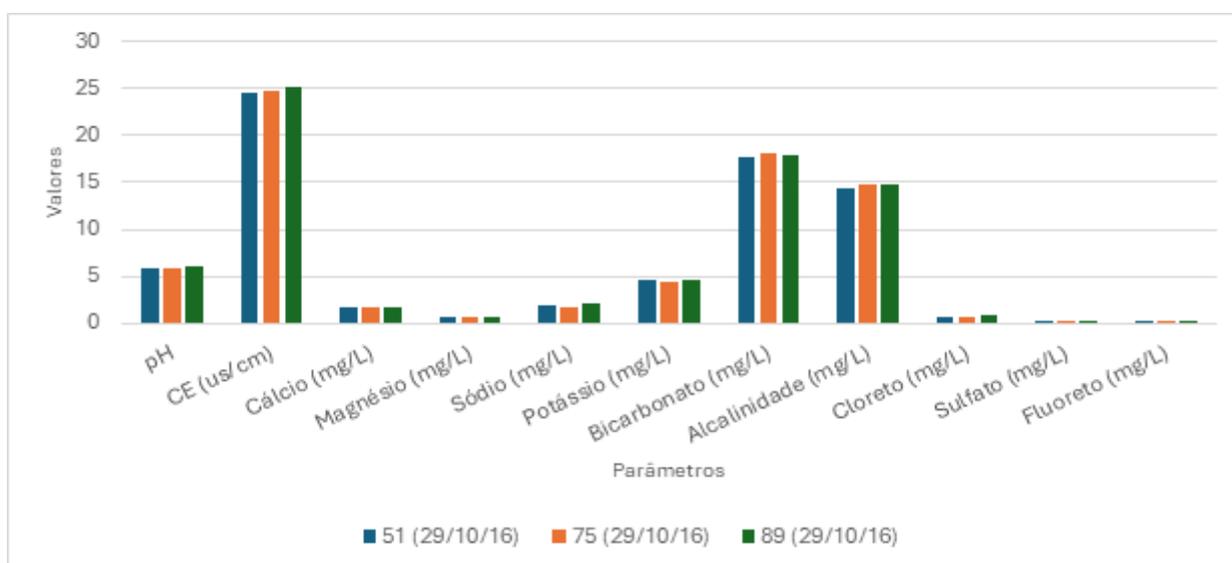


Figura 23 - Gráfico dos parâmetros físicos - químicos do poço Cerro do Jarau , para amostragem por Low Flow na data de 29/10/2016.

Em relação a segunda amostragem, campanha de amostragem para o poço Cerro do Jarau, observaram-se diferenças significativas nas concentrações dos parâmetros químicos em função das profundidades das seções filtrantes, especialmente nas amostras de maior profundidade. A coleta a 50 metros apresentou concentrações mais altas de Sódio e Sulfato em comparação com as outras profundidades, mas registrou as menores concentrações de Cálcio, Potássio, Bicarbonato, Alcalinidade Total e Condutividade Elétrica. A amostra coletada a 75 metros apresentou poucas variações em relação à coleta a 50 metros, com as menores concentrações dos parâmetros Sódio, Fluoreto e Cloreto entre as três profundidades analisadas.

Por outro lado, a coleta a 89 metros se destacou significativamente mais altas de Cálcio, Magnésio, Bicarbonato e Alcalinidade Total, o que está relacionado ao aumento da concentração de HCO_3^- nesta profundidade, outro parâmetro que evidenciou variações foi a Condutividade Elétrica, que aumentou consideravelmente. As concentrações de Cálcio foram aproximadamente 35 vezes superiores às obtidas nas coletas das profundidades menores, enquanto o Magnésio foi cerca de 8 vezes

maior, Bicarbonato, Alcalinidade e Condutividade Elétrica apresentaram valores aproximadamente 10 vezes maiores, e o pH da água aumentou para 6,84, também refletindo um aumento significativo em relação às amostras de menor profundidade (Figura 25.).

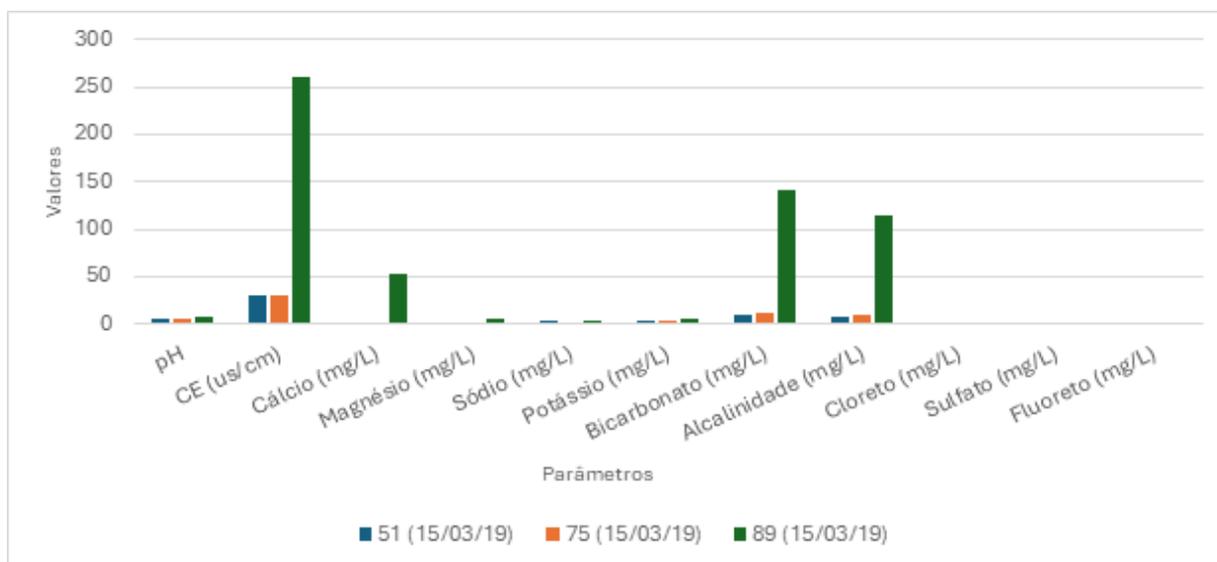


Figura 24 - Gráfico dos parâmetros físicos - químicos do poço Cerro do Jarau , para amostragem por Low Flow na data de 15/03/2019.

De acordo com o perfil geológico do poço Jarau, observa-se uma variação litológica ao longo de sua extensão. Na parte mais rasa, há a presença de Arenito Fino, seguido por uma camada de granulometria mais fina, composta por Siltitos, com aproximadamente 18 metros de espessura. A partir daí, há uma intercalação de Arenito Fino e Siltito, e nas zonas mais profundas, um extenso pacote de Arenitos Finos, com variações de tonalidade. As seções filtrantes localizadas a 51 metros e 75 metros interceptam camadas de Arenito Fino, e as concentrações químicas obtidas nessas profundidades apresentam pouca variação entre si. No entanto, a seção a 89 metros, apesar de também estar situada em camadas de Arenitos Finos, se destaca por apresentar variações significativas nas concentrações dos parâmetros químicos analisados.

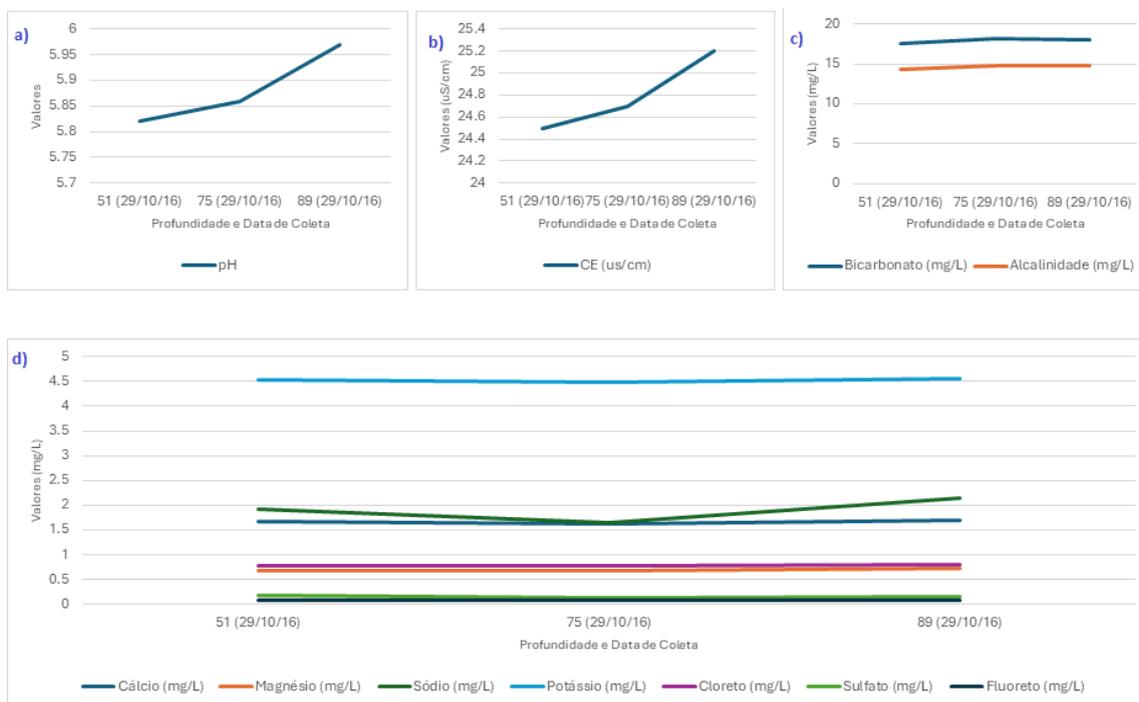


Figura 25 - Relação dos parâmetros físicos - químicos do em relação a data de 29/10/2016, poço Cerro do Jarau.

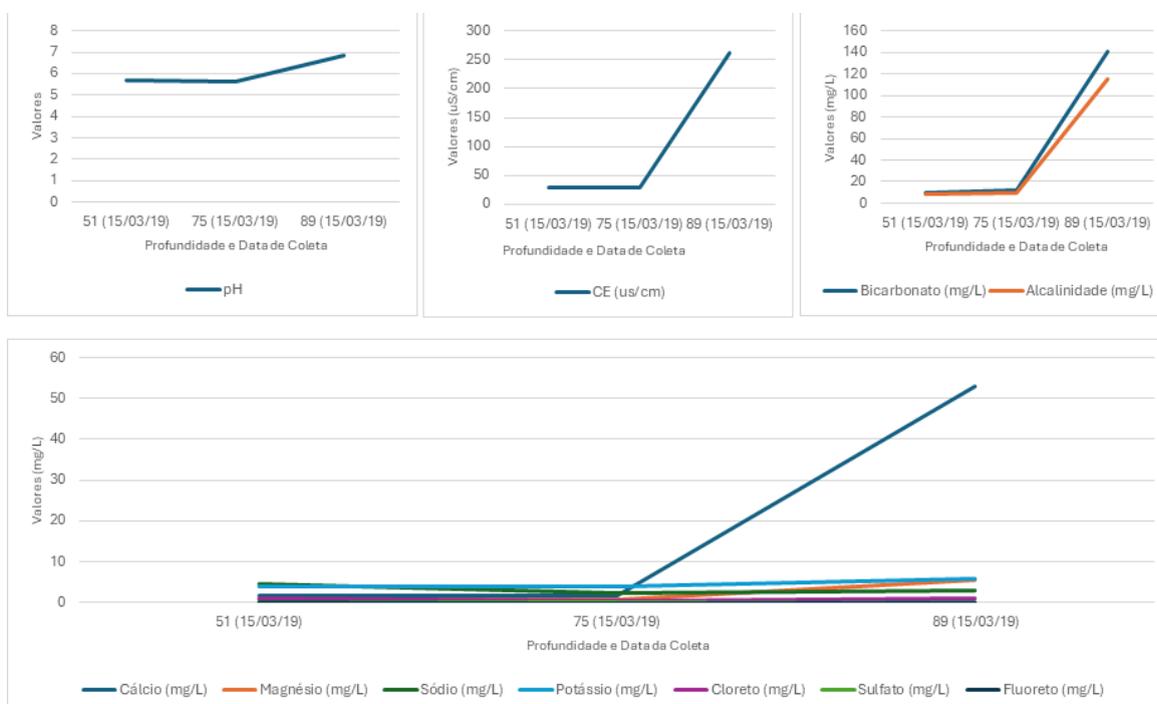


Figura 26 - Relação dos parâmetros físicos - químicos do em relação a data de 15/03/2019, poço Cerro do Jarau.

O poço ETA Rosário (Tabela 22) passou por duas campanhas de amostragem utilizando o método *Low Flow* para avaliar as variações verticais na composição química das águas. A primeira campanha foi realizada em 21/10/2016, com coletas em três profundidades distintas: 16m, 42m e 74m. A análise da amostra coletada a 16 metros revelou concentrações elevadas de Cálcio, Magnésio, Sódio, Cloreto e Sulfato, além de valores de pH e Condutividade Elétrica significativamente mais altos em relação às outras profundidades de amostragem.

Tabela 22 - Dados dos parâmetros físico-químicos das coletas por *Low Flow* realizadas para o poço ETA Rosário, RS. Fonte: (CPRM, 2024).

ETA ROSÁRIO						
Data	21/10/2016			27/03/2019		
Profundidade filtros (m)	16.00	42.00	74.00	16.00	42.00	74.00
Cálcio (mg/L)	48,34	4,42	5,38	45,90	4,91	6,25
Magnésio (mg/L)	12,63	1,54	1,66	14,00	1,76	1,96
Sódio (mg/L)	34,50	4,72	5,49	41,70	4,91	6,37
Potássio (mg/L)	2,63	2,39	2,41	4,15	2,17	2,30
CE (μ S/cm)	313,00	38,70	45,00	385,20	47,30	58,5
pH	7,45	5,92	5,94	7,42	5,86	5,94
Bicarbonato (mg/L)	-	-	-	250,10	32,18	40,60
Alcalinidade Total (mg/L)	-	-	-	205,80	26,32	32,80
Fluoreto (mg/L)	0,3	0,07	0,07	0,3	0,7	0,80
Cloreto (mg/L)	16,96	0,64	0,67	19,36	0,71	0,70
Sulfato (mg/L)	7,68	0,17	0,15	9,58	0,22	0,22

A concentração de Cálcio nesta profundidade foi de 8 a 11 vezes maiores do que nas zonas mais profundas, enquanto Magnésio e Sódio apresentaram concentrações cerca de 7 vezes superiores. O Cloreto teve uma concentração 27 vezes maior, e o Sulfato apresentou uma concentração 45 vezes superior às obtidas

nas outras profundidades de coleta. Em relação ao pH, a amostra coletada a 16 metros apresentou um valor de 7,45, indicando águas alcalinas.

No entanto, nas coletas realizadas em profundidades maiores, observou-se uma queda no pH, que se estabilizou em níveis semelhantes nas análises subsequentes. Quanto à condutividade elétrica, os valores registrados foram significativamente mais altos em comparação às outras duas amostras, aproximadamente 10 vezes maiores do que nas coletas das camadas mais profundas.

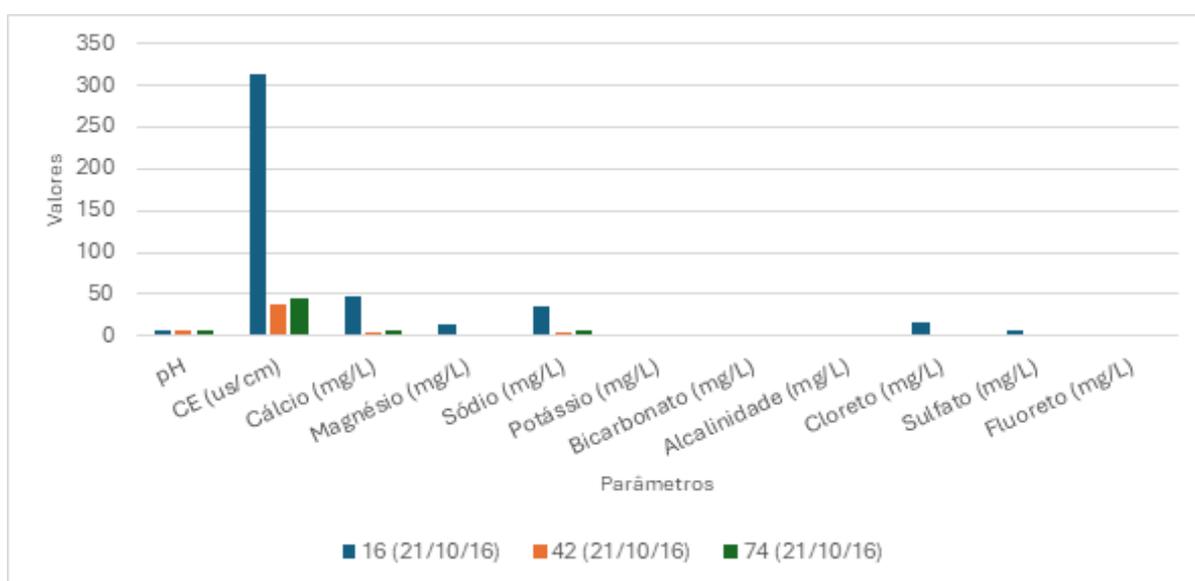


Figura 27 - Gráfico dos parâmetros físicos - químicos do poço ETA Rosário, para amostragem por Low Flow na data de 21/10/2016.

Em relação a segunda campanha de amostragem (Figura 30) com data realizada em 27/03/2019, o nível de profundidade de 16 metros apresentou novamente valores dos parâmetros físico - químicos superiores em relação às demais profundidades. Os valores obtidos de Bicarbonato são apenas para a segunda análise, enquanto os parâmetros, Cálcio, Cloreto, Sódio, Magnésio, Sulfato além da Condutividade Elétrica e do pH são amplamente superiores aos valores encontrados nas amostragens de zonas mais profundas. Em comparação com a primeira campanha de amostragem na mesma profundidade há oscilações dos parâmetros com tendência de aumento dos valores de concentração dos cátions Cálcio, Magnésio, Potássio além dos ânions Cloreto e Sulfato.

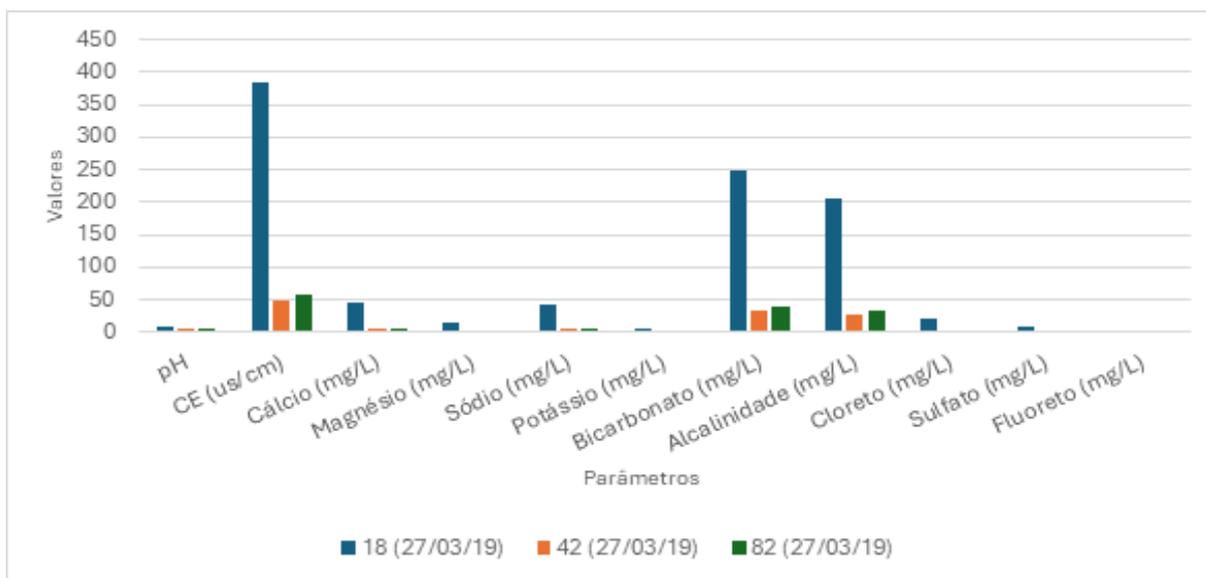


Figura 28 - Gráfico dos parâmetros físico-químicos, ETA Rosário em 27/03/2019.

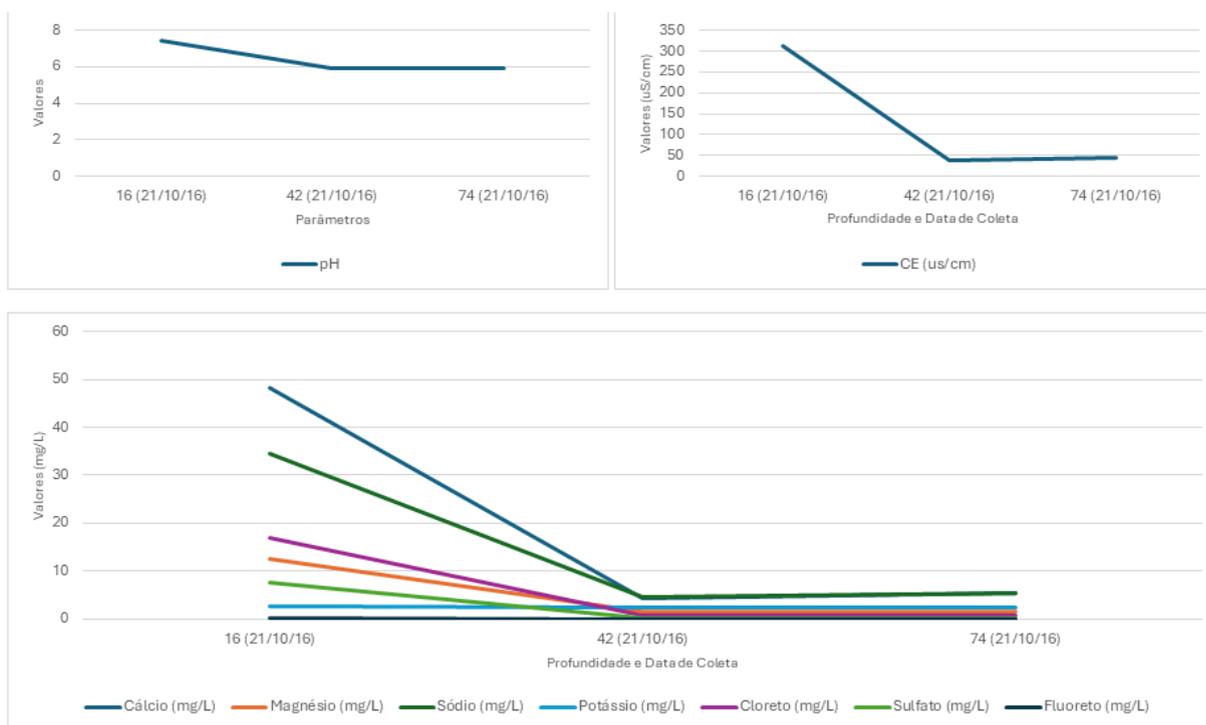


Figura 29 - Gráfico da análise por Low Flow referente a 21/10/2016 poço ETA Rosário.

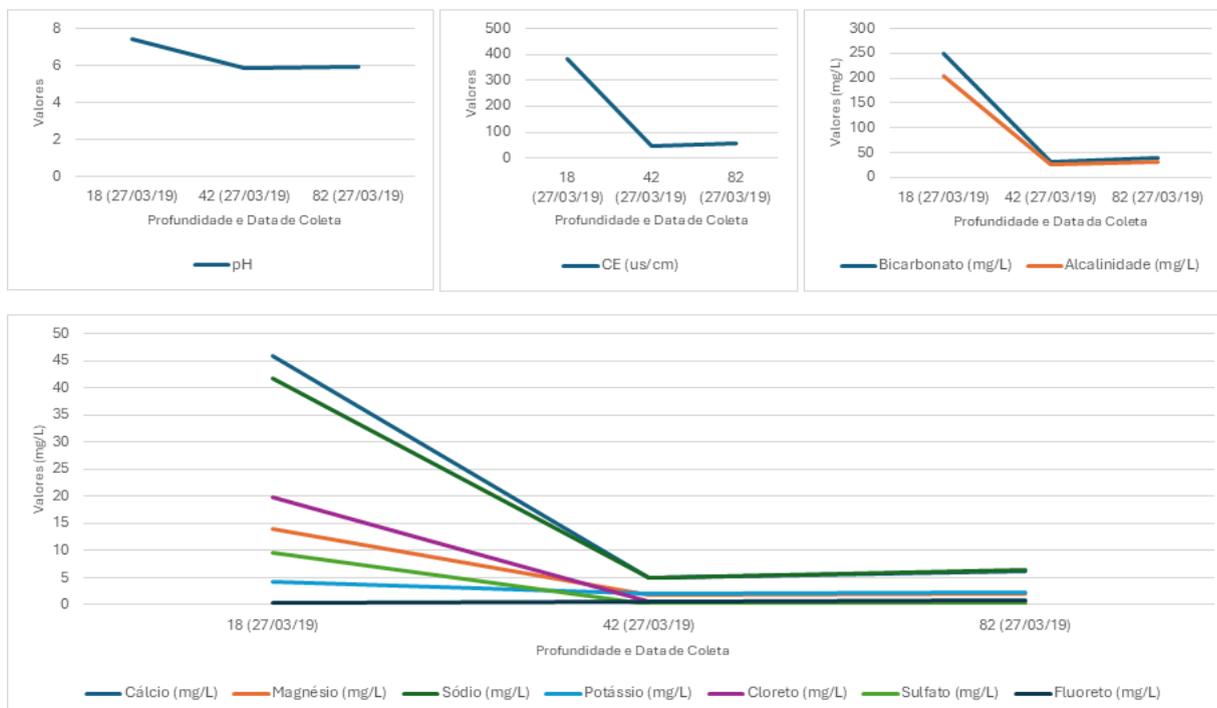


Figura 30 - Gráfico da análise por Low Flow referente a data de 27/03/2019 poço ETA Rosário.

De acordo com o perfil fornecido pela RIMAS, ETA Rosário apresenta um espesso pacote de Arenito Argiloso Avermelhado que acompanha a profundidade total do poço de aproximadamente 100 metros sem variações litológicas ou intercalações de porções mais finas ou grossas logo, a amostragem realizada na segunda seção filtrante há 16 metros indica valores de concentrações superiores às zonas mais profundas do poço. O poço ETA Rosário está localizado dentro da área urbana do município de Rosário do Sul, estudos avançados envolvendo isotopia vem sendo importantes atualmente e permitiram investigar as possíveis causas dos valores elevados na parte mais rasa do aquífero e sua relação com o tempo de residência das águas, ou possíveis causas antrópicas de contaminação. A relação da distância ao curso principal de água que abastece o município, o Rio Santa Maria, também pode haver influência significativa de contaminação. Os estudos de isotopia em aquíferos envolvem a aplicação de técnicas isotópicas para investigar a origem, movimento, interação e idade da água subterrânea. O uso de isótopos está

relacionado à análise de elementos químicos e suas variantes (isótopos), que possuem o mesmo número de prótons, mas diferentes números de nêutrons, permitindo a identificação de fontes e processos geológicos associados à água subterrânea. Os isótopos estáveis são usados para estudar a origem e a história da água subterrânea. As diferenças na razão de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (Oxigênio) e $^2\text{H}/^1\text{H}$ (Deutério) ajudam a identificar o ciclo hidrológico da água, como a evaporação, condensação e precipitação, além de indicar a interação com o ambiente e o clima. A água que se infiltra no solo e forma o aquífero pode ter uma assinatura isotópica que reflete a região e a estação em que foi recarregada.

Usado para datar águas subterrâneas, ajudando a estimar a idade da água e entender a dinâmica de renovação do aquífero. A radiação do carbono-14 se desintegra ao longo do tempo, permitindo medir a quantidade restante para estimar a idade da água subterrânea. Kuhn, (2023) através do monitoramento das análises das amostras de água subterrânea coletadas no Sistema Aquífero Guarani (SAG) para determinação de suas idades através de isótopos de gases nobres (^4He e ^{81}Kr), ^{14}C e ^3H (trítio) onde é importante fonte de estudo sob os poços da RIMAS.

7 - CONCLUSÃO

A partir do desenvolvimento dos dados estatísticos de composição da água subterrânea dos quatro poços de monitoramento selecionados da rede RIMAS que utilizam o método de bombeamento por *Low Flow*, foram encontradas variações temporais nos poços ETA Rosário, Cerro do Jarau e Secretaria de Agricultura, enquanto o poço Saicã apresenta as menores oscilações em relação às datas de amostragem. O poço ETA Rosário apresenta as maiores variações temporais significativas em comparação aos poços Cerro do Jarau, Secretaria de Agricultura e Saicã. Observa - se variações dos parâmetros, Bicarbonato, Cálcio, Cloreto, Magnésio e Sódio em relação às datas de amostragem. O tipo de água encontrado do poço caracteriza - se como Mista Carbonatada. A condutividade Elétrica do poço apresentou oscilações de queda e subida durante as datas análises, o valor médio de condutividade do poço foi de 295,05 $\mu\text{S}/\text{cm}$ enquanto, o pH médio determinado de 7,26 indicando águas neutras a alcalinas, o grau de mineralização do poço é moderado.

O poço Saicã apresentou as menores variações temporais significativas em relação aos parâmetros físicos químicos analisados, indicando um comportamento padrão hidroquímico de composição das águas. O tipo de água do poço foi classificado como Sódica Bicarbonatada. A Condutividade Elétrica possui valores aproximados e moderados, com média de 522,28 uS/cm e todas as amostragens com valores superiores a 486,00 uS/cm enquanto, o pH médio encontrado foi de 9,02 indicando águas alcalinas.

O poço Secretaria de Agricultura possui variações temporais dos parâmetros Cálcio, Cloreto, Bicarbonato e Magnésio com oscilações de queda e subida. A média de CE encontrada do poço foi de 213,96 uS/cm , onde também houve variações importantes nos valores de CE determinados. O pH das águas do poço apresenta - se com média de 7,35 indicando águas levemente alcalinas a neutras, o tipo de água foi classificado como Cálcica Bicarbonatada.

O poço Cerro do Jarau possui variações temporais significativas principalmente de Bicarbonato, Cálcio e Magnésio, com quedas e subidas das concentrações em relação às análises. O pH médio foi de 6,57 indicando águas levemente ácidas, enquanto a Condutividade Elétrica média encontrada foi de

48,25 uS/cm. As águas encontradas são do tipo Cálcica Bicarbonatada e o grau de mineralização é baixo, as águas do poço são de boa qualidade visto que, a resposta ao comportamento do pH e da CE indica que as águas do poços possuem menor tempo de residência, ou seja a resposta a recarga subterrânea exerce influência nas medições dos valores encontrados.

As variações verticais foram determinadas nos poços ETA Rosário e Cerro do Jarau. O poço ETA Rosário possui variações verticais na profundidade de 16 metros, visto que as concentrações obtidas são superiores às concentrações dos parâmetros em zonas mais profundas. Os valores de concentração dos parâmetros físico - químicos, como pH, Condutividade Elétrica, Sódio, Cálcio, Magnésio além de Cloreto, Sulfato e Fluoreto, indicam possíveis problemas de contaminação, onde o poço ETA Rosário está localizado dentro da área urbana do município de Rosário do Sul.

Cerro do Jarau possui variação vertical significativa de Cálcio na profundidade de 89 metros, em relação às duas datas de amostragem distintas, na primeira data analisada, percebe - se concentração pequena do parâmetro, enquanto na coleta posterior a concentração eleva -se consideravelmente para 53,10 mg/L. A variação vertical da zona mais profunda do poço evidencia a necessidade de novas campanhas de amostragem de *Low Flow* para compreender as possíveis causas da concentração elevada a 89 metros da última campanha.

Cabe destacar a importância do monitoramento contínuo do Sistema Aquífero Guarani (SAG), no estado do Rio Grande do Sul, através da RIMAS. A necessidade do desenvolvimento de novas campanhas que utilizam o método *Low Flow* serão essenciais para obtenção de novos dados de amostragem para compreensão do comportamento hidroquímico cada vez mais preciso das águas nos poços da rede. A RIMAS apresenta dados relativamente jovens de monitoramento a partir do início do projeto no ano de 2010, todavia os estudos de monitoramento dos principais aquíferos do estado pela rede, já alavancaram a importância e a compreensão dos dados de qualidade da água que está associada com o desenvolvimento cada vez mais adequado da gestão dos recursos hídricos, a fim de proporcionar segurança para o consumo da população, bem como o seu uso.

8 - REFERÊNCIAS

BRASIL, ANA. **Situação da Água no Mundo**. Brasília: ANA, 2024.

BRASIL, **PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021 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.**

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande** do Sul. Porto Alegre, Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial, escala 1:750.000. 2005.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº. 396, de 03 de abril de 2008. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.** Brasília, 2008.

FEITOSA, F.A.C.; FILHO, J.M. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 3a ed. 2008. 835p.

GASTMANS, D. **Hidrogeologia e Hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani na Porção Ocidental da Bacia Sedimentar do Paraná**. . Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007. 238p.

GENARO, D.T.; MOURÃO, M.A.; LIMA, J.B.; OLIVEIRA, E.M; SILVA, J.C.; PEIXINHO, F.C. A INTEGRAÇÃO DA REDE DE MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (RIMAS) E O SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (SIAGAS) – SIRS. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Bento Gonçalves, 7p. 2019.

80

GLESSON, T., Befus, K., Jasechko, S. *et al.* **The global volume and distribution of modern groundwater**. *Nature Geoscience* 9, 161–167 (2016).

<https://doi.org/10.1038/ngeo2590>

GOFFERMANN, M. **Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica das Águas Subterrâneas da Região de São Gabriel, RS.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. 130p.

HANSEN, M.A.F.; FENSTERSEIFER, C.H. MOREIRA, C.A.; GUADAGNIN, F.; LIMA, J.P.R. **Geology and Hydrogeochemical Analysis of Groundwater in the Pardo River Watershed, Southern Brazil: A case study.** *Caminhos de Geografia Uberlândia* v.25, n. 101 Outubro/2024.

KUHN, I. A. **Análise e identificação de fatores condicionantes de fluxo e recarga no Sistema Aquífero Guarani na região Oeste do Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023. 130p.

KUHN, I. A.; ROISENBERG, A. **Combining lead isotopes and cluster analysis to distinguish the Guarani and Serra Geral Aquifer Systems and contaminated waters in a highly industrialized area in Southern Brazil.** *Journal of Environmental Radioactivity*, v. 177, p. 24–31, out. 2017.

KUHN, I.A.; TROIAN, G.C.; GOFFERMANN, M.; FREITAS, M.A. **REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NO RIO GRANDE DO SUL. 2016.**

MILANI, E; MELO, J; SOUZA, P; FERNANDES, L; FRANÇA, A. **Bacia do Paraná.** *Boletim de Geociências - Petrobras*. 15. 265-287, 2007.

MACHADO, J.L.F. **Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigrafico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Geologia Sedimentar, Universidade do Vale do Rio do Sinos. São Leopoldo, 254 p. 2005.

MOBUS, G. **QUALIGRAF – Programa para análise da qualidade da água.**

Fortaleza, FUNCENE – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos.

Software-CD. 2002.

TEIXEIRA, G.V. **Estudo Hidrogeoquímico das águas Subterrâneas dos Aquíferos Juro - Cretáceos do Oeste do Rio Grande do Sul.** Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 220 p. 2014.

TEIXEIRA, G. V.; & VIERO, A. P. **Evolução hidrogeoquímica dos aquíferos mesozóicos da porção sul da Bacia do Paraná no oeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.** *Águas Subterrâneas*, 31(1),36–51.2007.

QUAGGIO, C. S. et al. *Águas Subterrâneas*, v. 32, n.3, p. 283-294, 2018.

REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S.; SCHNEIDER, V. E. *Águas Subterrâneas (2013)* 27(1): 65-78.

REGINATO, P. A. R.; AHLERT, SICLÉRIO; SCHNEIDER, V. E. **Caracterização hidroquímica do sistema aquífero serra geral na região nordeste do rio grande do sul.** v. 1, n. 27, p. 65–78, 2013.

SIMON, F.W. **Estimativa de Recarga do Aquífero Guarani na Bacia do Rio Ibicuí (RS), com base na aplicação do método de variações de nível de água.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 69 p. 2014.

SIMON, F. W. REGINATO, P. A. R. KIRCHHEIM, R. E., & TROIAN, G. C. (2017).

Estimativa de recarga do sistema aquífero guarani por meio da aplicação do método

da variação da superfície livre na bacia do Rio Ibicuí-RS. *Águas Subterrâneas*, 31(2),12–29. <https://doi.org/10.14295/ras.v31i2.28631>.

