



ARTHUR RAMOS PACHECO

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE NOVA
PETRÓPOLIS**

Porto Alegre/Rio Grande do Sul

2019

ARTHUR RAMOS PACHECO

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE NOVA
PETRÓPOLIS**

Monografia apresentada à
Universidade Federal do Rio Grande
do Sul como parte das exigências
para a obtenção do título de
Bacharel em Geologia

Orientador: Prof. Dr. Pedro Antonio Roehe Reginato
Supervisor: Prof. Msc Alex Bortolon de Matos

Porto Alegre/Rio Grande do Sul

2019

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Geociências
Departamento de Mineralogia e Petrologia
Curso de Graduação em Geologia

A comissão examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**Caracterização Hidrogeológica do Município de Nova Petrópolis**”, elaborado por “**Arthur Ramos Pacheco**”, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Alfonso Risso

Profa. Dra. Maria Lidia Vignol

Prof. Dr. Nelson Lisboa

Porto Alegre, dezembro de 2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pela união, amor e compreensão em todos os momentos da minha vida. Sempre me apoiaram e confiaram em mim, independente das minhas escolhas.

Ao melhor professor que já tive, Pedro Antonio Roehe Reginato. Valorizo muito a oportunidade de desenvolver esse trabalho juntamente com esse cara gente boa. Sempre prestativo e pronto pra ajudar (não é à toa que foi escolhido como Professor Homenageado).

Aos meus amigos de curso, que com certeza deixaram toda essa trajetória muito melhor. Sentirei saudade das risadas e do tempo que passei junto com vocês, até mesmo nos campos infindáveis, onde já não nos aguentávamos mais.

E, não menos importante, ao Instituto de Geociências e a todos os professores que passaram por essa caminhada e agregaram de alguma forma no meu crescimento.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo principal promover a caracterização hidrogeológica, hidroquímica e estrutural dos Sistemas Aquíferos Serra Geral e Guarani, no município de Nova Petrópolis, localizado na região NE do Estado do Rio Grande do Sul. Devido à expansão social e econômica, há um aumento nas perfurações de novos poços, o que em muitos casos acontecem em regiões pouco produtivas. Foi feito um levantamento bibliográfico da área de estudo, uma análise da geologia e hidrogeologia através de dados obtidos em campo, bem como a elaboração de um cadastro de poços da região com base em informações já existentes junto à CORSAN, CPRM (SIAGAS), Prefeitura Municipal de Nova Petrópolis e empresas de perfuração. Foram avaliados dados sobre as litologias onde estão localizados os aquíferos, cota do topo dessas unidades, bem como suas espessuras e continuidades. A interpretação das características hidroquímicas foi realizada com base no uso de planilhas do software Excel, bem como com o uso do programa QualiGraf. A avaliação de áreas com maior potencial foi realizada através da análise de dados de capacidade específica e vazão, levando em consideração as dimensões e orientações dos lineamentos. A captação da água na região provém, principalmente, do SASG, formado por aquíferos fraturados associados às rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. A capacidade específica dos poços em geral é baixa, com média de $0,36 \text{ m}^3/\text{h/m}$ e mediana $0,235 \text{ m}^3/\text{h/m}$. Suas águas foram classificadas em bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, com concentrações variáveis de cátions e ânions, bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas magnesianas. De acordo com os VMPs para ferro, manganês, fluoretos e nitratos, a maior parte das análises encontram-se aptas para o consumo humano. O Sistema Aquífero Guarani (SAG) ocorre em profundidade, sendo verificado através de perfis geológicos de poços tubulares. São aquíferos granulares que estão associados às rochas sedimentares da Formação Botucatu e encontram-se, na maior parte da região, confinados pelas rochas vulcânicas da Fm. Serra Geral. Embora não seja o principal aquífero explotado, suas águas podem ser uma importante alternativa de abastecimento na região. A capacidade específica é superior à do SASG, com média de $1,08 \text{ m}^3/\text{h/m}$ e mediana $0,613 \text{ m}^3/\text{h/m}$. Suas águas são bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, bicarbonatadas sódicas e sulfatadas ou cloretadas sódicas. Os VPMs das análises também apontam, em sua maioria, valores adequados para o consumo. Os locais mais produtivos têm uma correlação direta com lineamentos de grande porte que se interceptam, de orientações N40-50E, N50-60W e N40-50W, tanto para o SASG quanto para o SAG, e as futuras locações de poços devem ser feitas preferencialmente nessas regiões. A região leste do município apresenta relevo menos dissecado, favorecendo perfurações no aquífero poroso. A análise dos condicionantes geológicos e dos resultados obtidos pela integração dos dados mostra que os sistemas aquíferos estudados apresentam comportamentos diferenciados.

Palavras-Chave: Hidrogeologia, Hidroquímica, Água subterrânea, Sistema Aquífero Serra Geral, Sistema Aquífero Guarani.

ABSTRACT

The present study aimed to promoting the hydrogeological, hydrochemical and structural characterization of Serra Geral (SASG) and Guarani (SAG) groundwater systems, in the town of Nova Petrópolis, located in the northeast region of Rio Grande do Sul State. Due to social and economic expansion, there has been an increase on new wells perforations, that in many cases tend to happen in not very productive zones. A thoroughly bibliographic research about the area was done, as well as a study and analysis of geology and hydrogeology through data obtained from fieldwork. An elaboration of the region's wells registers was based on existing information from CORSAN, CPRM (SIAGAS), the municipal government of Nova Petrópolis and perforation companies databases. Data has been evaluated about the lithology where the groundwaters are situated, as well as the top quota of these units, and their thickness and continuities. The interpretation of hydrochemistry characteristics has been done on Excel's spreadsheets, and on Qualigraf softwares. The evaluation of areas with greater potential has been performed through data analysis of specific capacity and flow, taking into account the lineaments dimensions and directions. The water uptake in the region mainly originates from SASG, brought by fractured aquifers related to the volcanic rocks from the Serra Geral formation. Usually, the specific capacity of the wells is low, with a medium of $0,36 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ and median of $0,235 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. The waters were rated as calcium or magnesium bicarbonated, with variable concentration of cations and anions, calcium bicarbonated and magnesium bicarbonated. According to the maximum permitted values (MPVs) of iron, manganese, fluoride and nitrate analysis, this work proved that most of the water is considered suitable for human consumption. The Guarani Groundwater System occurs in greater depths, as it has been verified through geological profiles of piping wells. They are granular groundwaters that are related to sedimentary rocks of the Botucatu formation and occur, in most part of the region, confined by the volcanic rocks from Serra Geral formation. Even though it's not the main explored aquifer, it's water can be an important alternative to the regions supply. The SAG specific capacity is superior to SASG, with a medium of $1,08 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ and median of $0,613 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. It's Waters are calcium or magnesium bicarbonated, sodium and sulphate bicarbonated or sodium clorated. The analysis of MVPs also indicates, in most cases, values appropriate to consumption. The most productive areas have a direct relation with great sized lineaments that intersect each other, with directions N40-50E, N50-60W and N40-50W, to SASG and SAG, and the future locations of wells must be done preferably in these regions. The town's east region reports less dissected relief, and it promotes perforations in the porous groundwater. The analysis of geological determinants and results obtained through data integration show that both groundwater systems report distinctive conducts.

Key Words: Hydrogeology. Hydrochemistry. Underground Water. Serra Geral Groundwater System. Guarani Groundwater System.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo (em vermelho), seu posicionamento no Rio Grande do Sul (amarelo) e Brasil (verde). Fonte: produzida pelo autor, a partir de dados do IBGE (2014).....	16
Figura 2. Mapa geológico do Rio Grande do Sul com a Bacia do Paraná identificada em escala continental. Fonte: Modificado de Giardin (2010).....	18
Figura 3. Mapa Geológico da Bacia do Paraná com as seis supersequências em evidência. Fonte: Milani (1997).....	19
Figura 4. Mapa simplificado da distribuição das rochas básicas e ácidas no RS. Fonte: Roisenberg e Viero (2002).....	21
Figura 5. Mapa hidrogeológico de Nova Petrópolis e arredores. Fonte: Editado pelo autor a partir do mapa da CPRM (2005).....	22
Figura 6. Modelo conceitual de circulação de água subterrânea no Sistema Aquífero Fraturado Serra Geral. Fonte: Adaptado de Freitas et al., (2000).....	24
Quadro 1. Relação entre a potencialidade do sistema aquífero fraturado das regiões diferentes.....	26
Figura 7. Arcabouço estrutural e delimitação dos compartimentos.....	30
Figura 8. Perfil geológico construtivo de poço da CORSAN.....	36
Figura 9. Banco de dados de poços no SIAGAS (CPRM).....	36
Figura 10. Análise hidroquímica com o uso de sonda multiparâmetro.....	37
Figura 11. Exemplos de perfis de poços usados na elaboração das seções no município.....	38
Figura 12. Imagem MNT (SRTM), com tratamento de iluminação artificial e exagero vertical, utilizada para traçar os principais lineamentos.....	39
Figura 13. Sonda Multiparâmetro Eutech Instruments Oakton.....	41

Figura 14. Diagramas do software Qualigraf (FUNCEME, 2019).....	42
Quadro 2. Caracterização hidráulica de aquíferos (Diniz, 2012).....	44
Figura 15. Poços tubulares profundos na região de Nova Petrópolis.....	45
Figura 16. Situação dos poços identificados na Região.....	46
Figura 17. Poço sem tubulação de visita, hidrômetro e torneira para coleta de água.....	46
Figura 18. Poço comunitário sem torneira para coleta de água.....	47
Figura 19. Mapa Geológico da área de estudo segundo CPRM 2010.....	48
Figura 20. Afloramento de rocha vulcânica pertencente a fácies Gramado.....	49
Figura 21. Afloramento em corte de estrada apresentando rochas básicas fortemente vesiculadas e intemperizadas.....	50
Figura 22. Fácies Gramado em zona bastante vesicular com preenchimento de zeolita e grau de intemperismo alto.....	50
Figura 23. Basalto vesicular amigdalóide bastante alterado.....	51
Figura 24. Riodacito com aspecto maciço, baixo grau de faturamento e com fraturas esparsas cortando o pacote.....	52
Figura 25. Derrame riodacítico com planos horizontais de diferentes graus de intemperismo.....	52
Figura 26. Lineamentos identificados na região de Nova Petrópolis.....	53
Figura 27. Diagrama de roseta dos 240 lineamentos identificados.....	53
Figura 28. Contato do Arenito Botucatu com depósitos coluvionares. Presença de água indicando o favorecimento do fluxo no contato entre litologias.....	54
Figura 29. Espessa camada do arenito Botucatu em mina de produção de areia.....	54
Figura 30. Perfil construtivo de poços cadastrados na plataforma SIAGAS.....	55

Figura 31. Contato entre as litologias: intertrap de arenito da Formação Botucatu e basalto da Formação Serra Geral.....	56
Figura 32. Seção hidrogeológica 1 (SW-NE).....	57
Figura 33. Seção hidrogeológica 2 (NW-SE).....	57
Gráfico 1. Profundidades dos poços do SASG.....	58
Gráfico 2. Relação das entradas de água no SASG.....	59
Gráfico 3. Relação das profundidades das entradas de água no SASG.....	59
Gráfico 4. Relação dos intervalos de níveis estáticos no SASG.....	60
Gráfico 5. Capacidade específica dos poços no SASG.....	61
Gráfico 6. Vazões dos poços no SASG.....	61
Gráfico 7. Profundidades dos poços do SAG.....	62
Gráfico 8. Relação dos intervalos de níveis estáticos no SAG.....	63
Gráfico 9. Capacidade específica dos poços no SAG.....	64
Gráfico 10. Vazões dos poços no SAG.....	64
Figura 34. Diagrama de Piper utilizado para classificação das águas do SASG.....	66
Figura 35. Diagrama de Stiff utilizado para a identificação dos padrões das águas do SASG.....	68
Figura 36. Diagrama de Schoeller-Berkaloff utilizado para a identificação de tendências entre as águas do SASG.....	69
Gráfico 11. Distribuição das análises químicas do SASG.....	70
Gráfico 12. Distribuição das análises químicas do SAG.....	75
Figura 37. Diagrama de Piper utilizado para classificação das águas do SAG.....	72
Figura 38. Diagrama de Stiff utilizado para a identificação dos padrões das águas do SAG.....	73

Figura 39. Diagrama de Schoeller-Berkaloff utilizado para a identificação de tendências entre as águas do SAG.....74

Figura 40. Mapa de avaliação das áreas mais favoráveis à locação de novos poços no SASG.....76

Figura 41. Mapa de avaliação das áreas mais favoráveis à locação de novos poços no SAG.....77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores máximos, médios e mínimos e mediana das produtividades em $m^3/h/m$	31
Tabela 2 – Relação dos parâmetros hidroquímicos no SASG.	65
Tabela 3 – Relação dos parâmetros hidroquímicos no SAG.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DRH – Departamento de Recursos Hídricos

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ND – Nível Dinâmico

NE – Nível Estático

SAG – Sistema Aquífero Guarani

SASG – Sistema Aquífero Serra Geral

SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas da CPRM

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SEMA – Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission

STD – Sólidos Totais Dissolvidos

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UTM – Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Localização da área de estudo	15
2 OBJETIVOS E METAS.....	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3 ESTADO DA ARTE / REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 Contexto geológico	17
3.2 Contexto hidrogeológico	21
3.2.1 Sistema Aquífero Serra Geral (SASG).....	23
3.2.2.1 <i>Potencialidade do SAG</i>	29
3.3 Caracterização hidroquímica das águas subterrâneas.....	31
3.3.1 Hidroquímica do SASG.....	31
4 METODOLOGIA.....	35
4.1. Levantamento Bibliográfico.....	35
4.2. Cadastro de Poços.....	35
4.3 Caracterização Geológica e Morfoestrutural	37
4.4 Caracterização Hidrogeológica.....	40
4.5 Caracterização Hidroquímica.....	40
4.6 Avaliação da Potencialidade Hidrogeológica e de Áreas com Maior Produtividade de Poços.....	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
5.1 Recursos Hídricos Subterrâneos do Município de Nova Petrópolis....	45
5.2 Caracterização Geológica da Área de Estudo	47
5.2.2 Geologia da Formação Botucatu	53
5.3 Hidrogeologia do Município de Nova Petrópolis	56

5.3.1 Hidrogeologia do SASG no município de Nova Petrópolis.....	57
5.3.2 Hidrogeologia do SAG no município de Nova Petrópolis.....	62
5.4 Análise Hidroquímica e Avaliação da Qualidade da Água.....	64
5.4.1. Hidroquímica do SASG no município de Nova Petrópolis.....	65
5.4.1.1 <i>Avaliação da Qualidade da Água do SASG</i>	69
5.4.2 Hidroquímica do SAG no município de Nova Petrópolis.....	70
5.4.2.1. <i>Avaliação da Qualidade da Água do SAG</i>	74
5.5 Avaliação da Potencialidade Hidrogeológica e de Áreas com Maior Produtividade de Poços.....	75
6 CONCLUSÃO.....	79
7 REFERÊNCIAS.....	82
ANEXOS.....	86

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são essenciais para a sociedade, tanto para o consumo e abastecimento doméstico, quanto para o uso em atividades industriais, comerciais e agrícolas. O estudo hidrogeológico e hidroquímico de determinada área é importante para que se possa conhecer os tipos de aquíferos existentes e suas características, sejam elas quantitativas e/ou qualitativas. Com isso é possível determinar o melhor local para a perfuração de novos poços, na busca por água subterrânea.

Segundo dados do IBGE (2018), a população tende a aumentar nos próximos anos, fato que corrobora a necessidade de pesquisas com intuito de atender a demanda de água das cidades, principalmente nas que não têm fontes superficiais acessíveis. A qualidade dos recursos subterrâneos é variável e depende do tipo de aquífero, da vulnerabilidade do mesmo, bem como das características da geologia regional (Rebouças, 1988). Por isso, também é necessário realizar estudos sobre as características qualitativas das águas subterrâneas, pois dependendo das mesmas e de seu uso final, haverá, ou não, a restrição do uso dessas águas.

Na região de abrangência do Município de Nova Petrópolis (RS), há ocorrência dos Sistemas Aquíferos Serra Geral (SASG) e Guarani (SAG), os quais estão associados a formações geológicas com características diferentes. Segundo Reginato (2003), nessa região, o SASG é condicionado principalmente pela presença de estruturas tectônicas (fraturas) e pelas estruturas de resfriamento, fatores esses que favorecem a percolação de água nas rochas vulcânicas. O SAG possui características hidrogeológicas diferentes e está confinado pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (FSG). É caracterizado como um aquífero misto, onde a água subterrânea está preenchendo os poros de rochas sedimentares e espaços entre fraturas. Além disso, as águas do SAG podem apresentar diferentes tipos de características, dependendo do grau de confinamento e das condições de fluxo e recarga do aquífero. Assim, a análise hidroquímica é útil, pois com ela é possível conhecer as características da água no SAG na região do estudo e avaliar se a mesma pode ser utilizada no abastecimento da população.

Em função da importância de se desenvolver estudos para aprofundar e detalhar o conhecimento dos sistemas aquíferos existentes na região de Nova

Petrópolis, bem como em função da necessidade de atender a demanda de água no município, foi desenvolvido esse estudo. O objetivo principal foi o de realizar uma avaliação hidrogeológica dos dois sistemas aquíferos existentes, a fim de determinar as características hidrodinâmicas, hidroquímicas e as potencialidades dos mesmos.

Os resultados obtidos com esse estudo poderão ser utilizados pela CORSAN, bem como pelo estado (“Programa de Açudes e Poços”, da Secretaria de Obras e Habitação do estado do RS), na avaliação de locais para a perfuração de novos poços, visando atender o aumento da demanda gerada pelo abastecimento público urbano, bem como o abastecimento de comunidades rurais. Além disso, deve-se destacar que um melhor conhecimento da hidrogeologia do município facilitará buscas por água no SAG, que está localizado abaixo das rochas vulcânicas da FSG. Assim, esse aquífero, que está confinado na maior parte da área de estudo, pode ocorrer em diferentes profundidades, dependendo da compartimentação estrutural e geomorfológica da região. Como ele está compartimentado por estruturas, há regiões com menores espessuras de rochas vulcânicas, o que facilitaria a perfuração e captação de água desse sistema aquífero. Os estudos sobre o SAG são, na sua maioria, regionais, sendo que não há pesquisas detalhadas sobre o mesmo na região. Dessa forma, a avaliação sobre a possibilidade de captar água subterrânea desse sistema aquífero só será possível após um melhor entendimento de suas características hidrogeológicas.

1.1 Localização da área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Nova Petrópolis, situado na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, na latitude 29°22'33" e longitude 51°06'43". Sua área é de aproximadamente 291,250 km² e faz fronteira com os municípios de Vale Real, Feliz, Linha Nova, Picada Café, Santa Maria do Herval, Gramado e Caxias do Sul. De acordo com o Censo do IBGE de 2010, a cidade possui 21.156 habitantes (Figura 1).

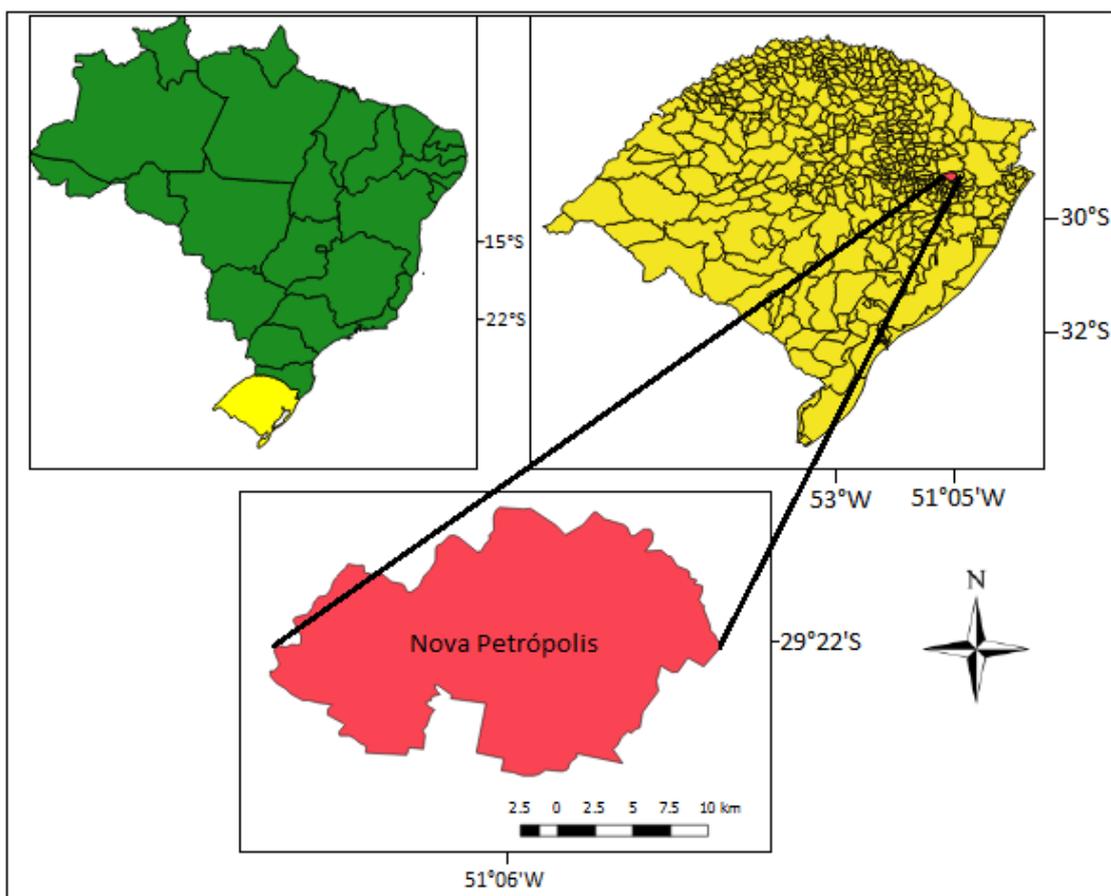


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo (em vermelho), seu posicionamento no Rio Grande do Sul (amarelo) e Brasil (verde). Fonte: produzida pelo autor, a partir de dados do IBGE (2014).

2 OBJETIVOS E METAS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo principal realizar uma avaliação hidrogeológica dos Sistemas Aquíferos Serra Geral e Guarani, no município de Nova Petrópolis, visando determinar as características hidrodinâmicas, hidroquímicas e a potencialidade dos aquíferos existentes nessa região.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar e analisar o uso da água subterrânea no município;
- Caracterizar os sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani no município;
- Avaliar as características hidroquímicas do SASG e SAG e identificar problemas de alteração na qualidade da água captada;
- Avaliar a potencialidade dos sistemas aquíferos e determinar áreas que apresentam maior produtividade dos poços.

3 ESTADO DA ARTE / REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Contexto geológico

A área de estudo está localizada sobre a Bacia do Paraná, que se encontra no centro-leste da América do Sul, sendo definida por ser uma bacia sedimentar intracratônica desenvolvida completamente sobre a placa sul-americana e preenchida por uma sucessão sedimentar-magmática de até 7,5 km de espessura, com idades geológicas que variam entre o Ordoviciano e o Cretáceo (Milani, 2004). Essa sucessão, segundo Zalán *et al.* (1990), foi governada por forte controle estrutural que a dividiu em três grupos de lineamentos, de acordo com suas orientações E-W, NW-SE, NE-SW. A Bacia do Paraná possui uma área de aproximadamente 1.500.000 km², incluindo porções territoriais do Brasil, onde engloba os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás (Figura 2). Suas dimensões vão além do território brasileiro, incluindo porções territoriais em países como Uruguai, Paraguai e Argentina (Melfi *et al.*, 1988; Milani, 2004).

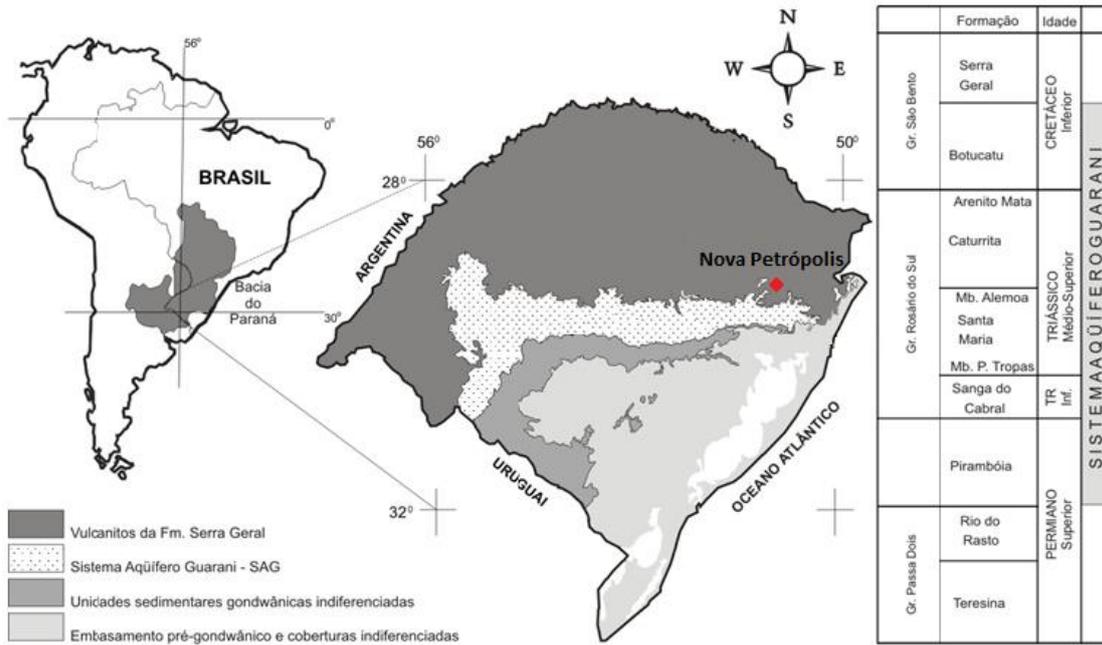


Figura 2. Mapa geológico do Rio Grande do Sul com a Bacia do Paraná identificada em escala continental. Fonte: Modificado de Giardin (2010).

Milani (1997) subdividiu a coluna estratigráfica da Bacia do Paraná em seis supersequências que representam intervalos temporais e são separadas por hiatus deposicionais significativos, causados por eventos erosivos. Em ordem cronológica e estratigráfica: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Triássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e, por fim, a supersequência Bauru (Neocretáceo).

A ilustração seguinte mostra de forma mais sucinta as seis supersequências da Bacia do Paraná (Figura 3).

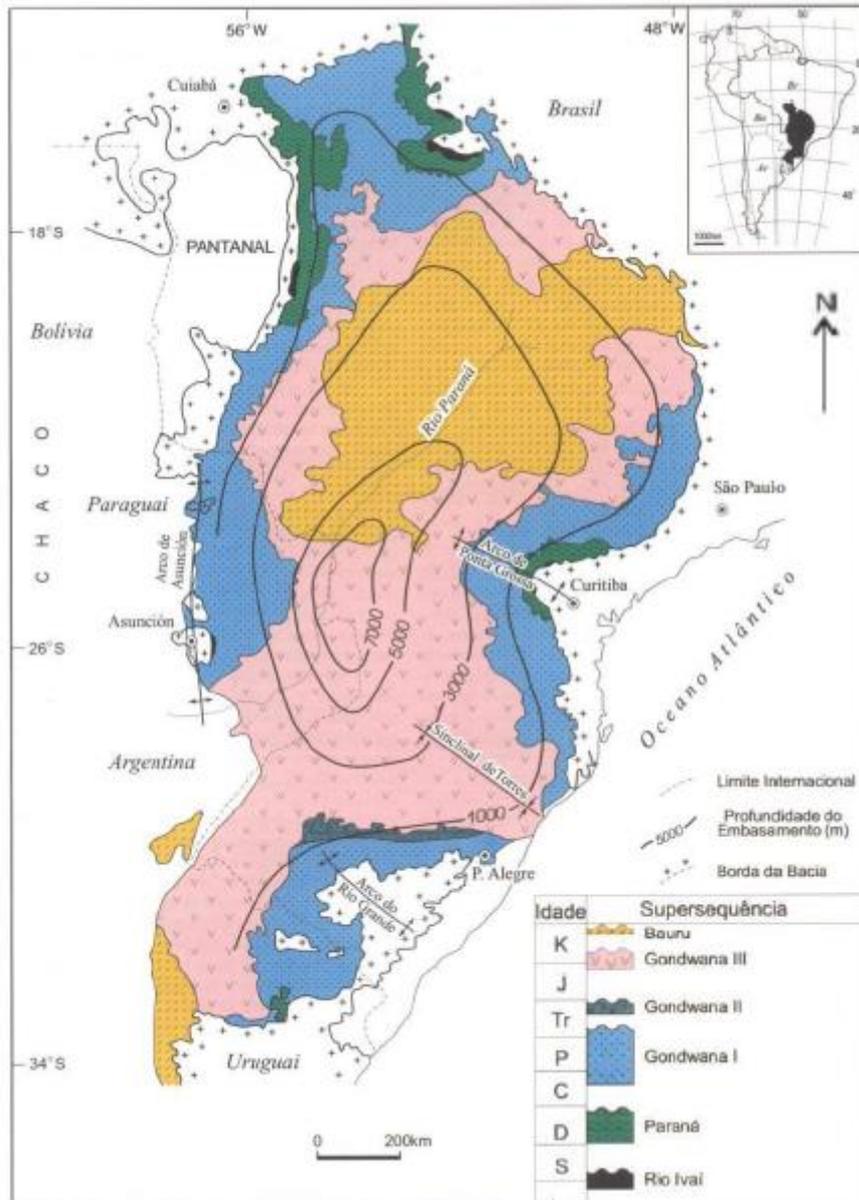


Figura 3. Mapa Geológico da Bacia do Paraná com as seis supersequências em evidência. Fonte: Milani (1997).

As Formações Botucatu e Serra Geral, enfoques do presente trabalho, fazem parte da supersequência Gondwana III, que foi depositada do Jurássico superior ao Cretáceo inferior e marca a ocorrência desses dois eventos, onde, segundo Milani (2007), sua porção basal representa pacotes de arenitos de granulometria fina a média, referentes à Formação Botucatu, e sua cobertura se caracteriza por derrames de lava, principalmente basaltos, que deram origem a Formação Serra Geral. Os pacotes de arenitos têm área superior a 1.000.000 km² e possuem um decréscimo de espessura na parte sul da Bacia do Paraná, chegando a ser ausente em algumas partes do Rio Grande do Sul, fato que indica uma ausência de sincronismos nos

campos de dunas (Milani, 2007). Os enormes volumes de lavas sobrepostos aos arenitos são frutos de uma reativação da plataforma continental, processo vinculado a ruptura do Gondwana e à formação do Atlântico Sul. Nesse evento, foram extravasados grandes volumes de lava em toda a Bacia, gerando em alguns lugares espessuras de rochas superiores a 2.000 m (Milani, 2007).

A Formação Serra Geral tem como litologias principais basaltos toleíticos, andesitos, riolitos e dacitos (Radam/Brasil, 1986; Roisenberg, 1990). Essa formação faz parte do grupo São Bento, sendo a mesma representada, na área de estudo, pelas Fácies Gramado e Palmas/Caxias, correspondendo a derrames básicos e ácidos, respectivamente. A primeira é caracterizada por rochas basálticas de textura granular fina a média, melanocráticas cinzas, estruturadas em derrames que possuem zonas vesiculares preenchidas por zeolitas, carbonatos, apofilitas e saponitas. Possuem estruturas de fluxo e *pahoehoe* comuns, com intercalações com os arenitos Botucatu, e têm uma idade estimada em $132,4 \pm 1,4$ Ma Ar-Ar (Wildner *et al.*, 2008). Já a fácies Palmas/Caxias é caracterizada pela ocorrência de rochas ácidas (riolitos, dacitos e riolitos), de coloração cinza clara, esverdeada e azulada, textura fanerítica fina e aspecto mosqueado, além de apresentar presenças de zonas com vidro vulcânico (Roisenberg & Viero, 2002; CPRM, 2010).

Ambas fácies foram identificadas na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, conforme pode ser observado na figura 4. Reginato (2003) identificou sequências vulcânicas básicas e ácidas, que estão dispostas em nove derrames principais, sendo que os níveis de vitrófiros são mais comuns nos derrames ácidos, enquanto as brechas ocorrem com mais frequência nos derrames de rochas básicas.

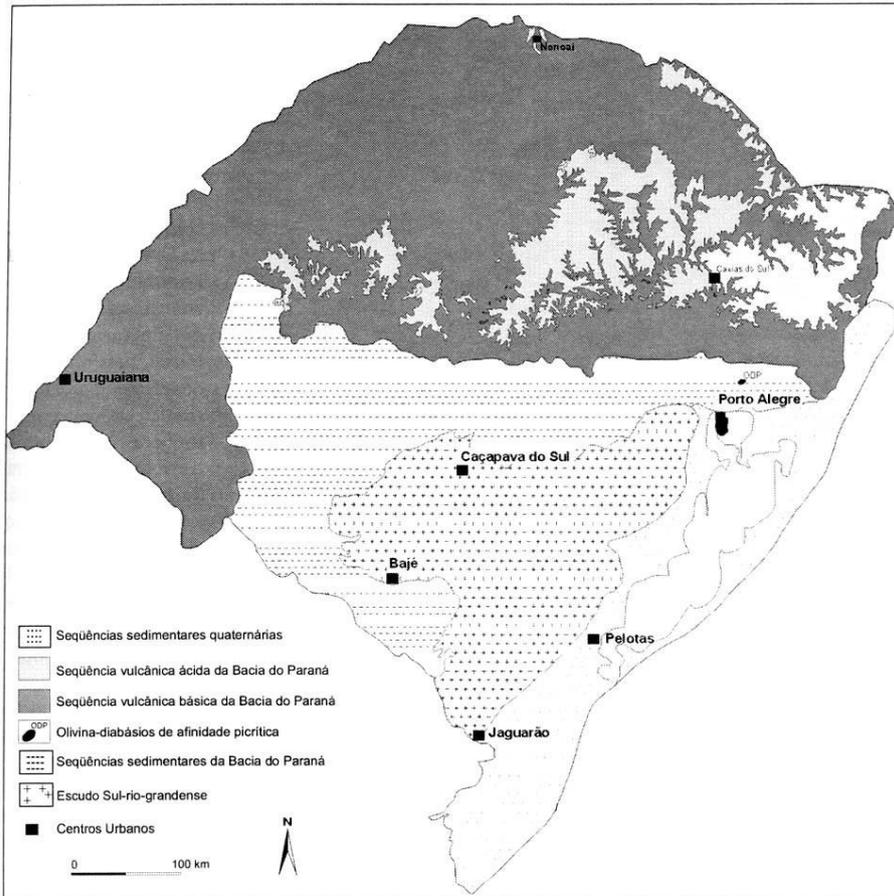


Figura 4. Mapa simplificado da distribuição das rochas básicas e ácidas no RS (Fonte: Roisenberg e Viero, 2002).

3.2 Contexto hidrogeológico

Os estudos hidrogeológicos no Rio Grande do Sul têm longa data, onde os principais autores sempre buscaram um melhor entendimento e a caracterização dos aquíferos do estado. Hausman (1960) já procurava, naquela época, separar as regiões devido suas semelhanças relacionadas à vazão e captação das águas subterrâneas, levando em consideração características geológicas, morfológicas e climáticas. Ele sistematizou a ocorrência dos aquíferos regionais e os classificou como Províncias Hidrogeológicas do Rio Grande do Sul.

Samberg (1980) analisou as formações aquíferas e o comportamento das águas subterrâneas que ocorrem nas quatro províncias litológicas do estado. Através de análises estatísticas com variáveis hidrodinâmicas e hidroquímicas que afetam as condições das águas subterrâneas, agrupou poços com características em comum em cada uma das províncias.

O primeiro mapa de províncias hidrogeológicas do RS em escala de 1:1.000.000 foi resultado do trabalho de Hausman (1995), em que o autor faz uma revisão de seus trabalhos anteriores e introduz modificações fundamentais, englobando um maior conhecimento científico e mais dados referentes a novos poços perfurados. Nesse trabalho, o autor caracteriza as províncias hidrogeológicas do estado e as divide em subprovíncias, utilizando critérios morfológicos e estratigráficos.

Na mesma linha de pesquisa, Lisboa *et al.* (2004) analisaram as características hidrogeológicas dos principais tipos de materiais que compõem as camadas litológicas, inconsolidados ou não, fornecendo subsídios para a primeira qualificação generalizada dos principais sistemas aquíferos.

O Projeto Hidrológico do Rio Grande do Sul foi realizado no ano de 2005, numa parceria entre a Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA-DRH) e a CPRM. O Mapa em escala 1:750.000 foi subdividido em seis grupos de aquíferos, que foram definidos de acordo com sua natureza e potencial hídrico, reunindo informações regionais e locais em toda extensão do Estado (Machado & Freitas, 2005). A ilustração a seguir mostra a hidrogeologia da região de estudo (Figura 4).

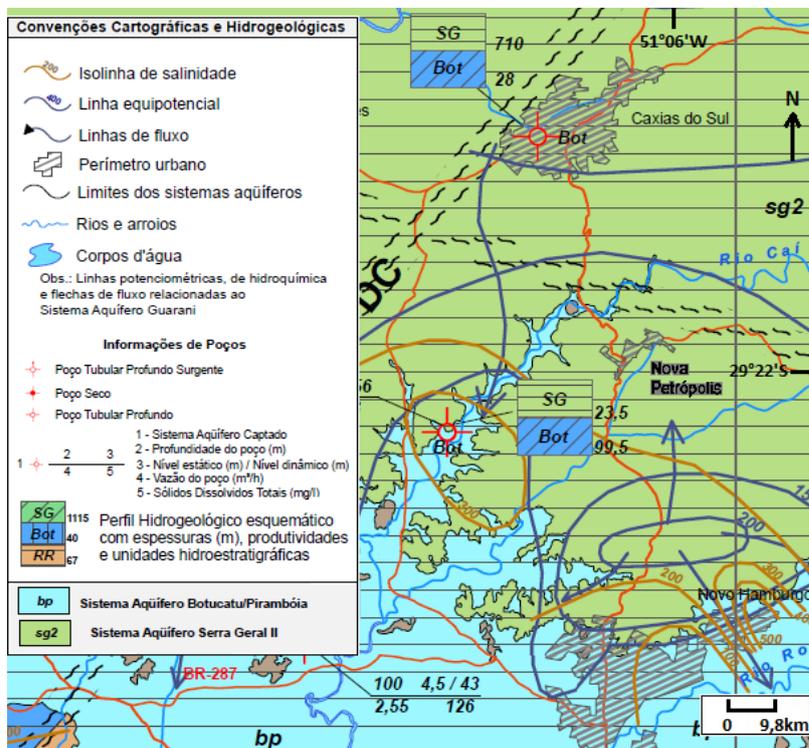


Figura 5. Mapa hidrogeológico de Nova Petrópolis e arredores. Fonte: Editado pelo autor a partir do mapa da CPRM (2005).

3.2.1 Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)

O Sistema Aquífero Serra Geral é constituído por aquíferos fraturados associados a estruturas presentes em rochas vulcânicas que formam os derrames da Bacia do Paraná. É caracterizado por ser um reservatório heterogêneo e anisotrópico devido as suas características de armazenamento, que estão associadas, em primeiro plano, às descontinuidades físicas da rocha, como fraturas, falhas e contatos interderrames (Rebouças, 1988) e, em segundo plano, com a estruturação primária da rocha (Reginato, 2003). Freitas *et al.* (2003) afirmam que esses aquíferos são fortemente condicionados por controles estruturais responsáveis pela geração de fraturas e falhas.

Segundo o mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010), o SASG pode ser dividido em três sistemas, de acordo com sua produtividade. O SASG I ocupa 27% da área do estado e ocorre no centro-oeste do Planalto Sul-Rio-Grandense. Composto por rochas basálticas fraturadas e amigdaloides, esse sistema aquífero é bastante heterogêneo e possui salinidade baixa, com média de 200mg/L. O SASG II, sistema presente na área de estudo, é representado por aquíferos fraturados associados a riolitos, riodacitos e basaltos (Machado *et al.*, 2005). Em geral, são aquíferos com capacidades específicas baixas, e os poços produtivos são fortemente relacionados com estruturas de orientação noroeste e nordeste (Dias, 2013). Possui salinidade média (<250mg/L), embora possa ser anômala quando influenciada por águas ascendentes do Sistema Aquífero Guarani. Também há a ocorrência do SASG III, localizado na região nordeste do estado, apresenta como característica uma litologia composta de basaltos e riodacitos. Esse sistema geralmente apresenta poços com vazões muito baixas ou secos e águas com baixa salinidade (CPRM, 2010).

A região do estudo situa-se, segundo o mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005), na região do Sistema Aquífero Serra Geral II (SASG II), que é descrita como “aquíferos com média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fraturas”. Segundo Reginato (2003), há dois tipos de aquíferos na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul: o livre ou freático e o fraturado. O primeiro é um aquífero granular encontrado no manto de alteração das rochas efusivas da Formação Serra Geral (FSG), e apresenta um comportamento

heterogêneo, onde é condicionado por características do clima, topografia, solo, composição e estruturação da rocha. O aquífero fraturado localiza-se nas rochas vulcânicas e é condicionado, principalmente, por estruturas tectônicas, estruturas de resfriamento das rochas, relevo e solo. A anisotropia do SASG foi constatada no trabalho de Reginato (2003), no qual o autor identificou poços tubulares perfurados na região, onde foram interceptadas até quatro fraturas, as quais são representadas pelas entradas de água.

A tectônica rúptil exerce papel extremamente importante, que determina o padrão de fluxo das águas subterrâneas. Do ponto de vista da geologia estrutural, um mesmo aquífero pode ter segmentos independentes, formando um sistema aquífero. Na área de estudo, verificou-se que o aspecto estrutural exerceu considerável influência no condicionamento hidrogeológico dos aquíferos analisados. Devido a isso, estudos detalhados das condições de formação das fraturas, suas principais direções de orientação, tamanho e espaçamento entre elas, bem como a maneira que os esforços tectônicos foram conduzidos, são muito importantes para o entendimento e bom aproveitamento do aquífero fraturado (Betiollo, 2006), (Figura 5).

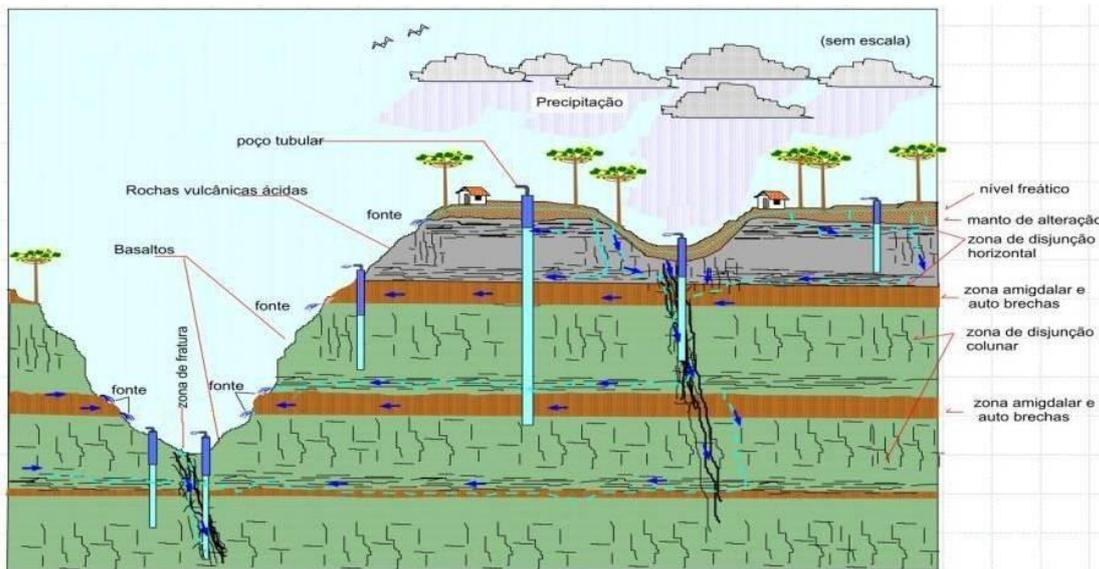


Figura 6. Modelo conceitual de circulação de água subterrânea no Sistema Aquífero Fraturado Serra Geral. Fonte: Adaptado de Freitas et al., (2000).

As vazões médias, como citado anteriormente, são relativamente baixas, com capacidades específicas entre 0,1 e 1,2 m³/h/m e valor médio de transmissividade de 0,493 m³/h. Reginato & Strieder (2004), em um estudo de caracterização do SASG na região nordeste do RS, constataram que, dentre 283 poços analisados, 72,1% apresentam vazões abaixo de 10 m³/h, 12,7% possuem vazões entre 10 e 15 m³/h, 5,9% com vazões entre 15 e 20 m³/h e 9,3% acima de 20 m³/h. O valor para a média da capacidade específica dos poços é de 0,3954 m³/h, com máximas de até 1,1663 m³/h/m, indicando uma produtividade suficiente para locação de poços.

Os poços mais produtivos são, na maioria, os que captam água do SAG. Os poços mais produtivos no SASG estão relacionados com estruturas tectônicas que fazem ascender água do SAG, ou seja, na verdade são áreas inseridas no potenciométrico do SAG e isto é comprovado pelas características hidroquímicas das águas subterrâneas (Betiollo, 2006).

3.2.1.1 Potencialidade do SASG

A análise da caracterização hidrogeológica e hidrodinâmica comprova a existência de comportamentos diferenciados do sistema aquífero fraturado dependendo da região analisada. Essa diferenciação está relacionada basicamente com os fatores condicionantes desse tipo de aquífero. Nesse caso dependendo das características do sistema estrutural (tipo de estrutura e orientação), da litologia (tipo de rocha e estruturas primárias associadas), do relevo (grau de dissecação) e dos solos (tipologia) haverá um comportamento hidrogeológico associado (Reginato, 2003). Segundo o mesmo autor, apesar de todas características favoráveis à percolação de água no SASG, as estruturas tectônicas são os principais condicionantes dos aquíferos fraturados, sendo que as estruturas primárias apresentam um grau de importância mais reduzido, visto que as condições de circulação e armazenamento de água são mais restritas.

Reginato & Strieder (2004), em seu trabalho sobre a potencialidade dos aquíferos fraturados da FSG na região nordeste do estado do RS, analisaram os dados de 690 poços tubulares, onde foram identificadas informações sobre a profundidade dos poços, posição do nível estático, número de entradas de água, vazão e os parâmetros de transmissividade e capacidade específica. Com a análise dos dados, observou-se regiões com diferentes comportamentos e potencialidades

(Quadro 1), onde o sistema aquífero fraturado é condicionado, principalmente, por estruturas representadas por lineamentos.

POTENCIALIDADES	REGIÕES
Alta	Farroupilha, Flores da Cunha, Antônio Prado e Bento Gonçalves
Média	Caxias do Sul e São Marcos
Baixa	Cotiporã, Monte Belo do Sul, Nova Pádua, Nova Roma do Sul e Veranópolis

Quadro 1. Relação entre a potencialidade do sistema aquífero fraturado e as diferentes regiões.

A comparação entre a ocorrência de entradas de água com a profundidade mostra que, no intervalo de profundidade entre 10 e 70 metros, há maior número de ocorrências, evidenciando a relação das entradas de água com o sistema estrutural e com as diferentes profundidades do sistema aquífero. Segundo os autores, essa anisotropia é devido ao fato de a circulação da água subterrânea ocorrer ao longo de estruturas tectônicas de diferentes portes e orientações que, quando conectadas, fazem com que a mesma seja difusa. Fernandes (2008) afirmou que essa mesma anisotropia está associada aos condicionantes destes aquíferos, como a tectônica, a topografia, a litologia, o manto inconsolidado e a profundidade do aquífero, os quais possuem influência direta na formação de aquíferos fraturados e na circulação da água subterrânea.

Em trabalho mais recente, Trevisan (2019) analisou dados de 51 poços tubulares localizados na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. O autor separou os mesmos em dois grupos: os que captam água de aquíferos fraturados associados às rochas vulcânicas da unidade Gramado e o grupo que capta água da unidade Palmas/Caxias. Foi visto que o primeiro grupo apresenta vazão média de 28,23 m³/h, enquanto o segundo grupo apresenta valores de vazão média na faixa de 18,34 m³/h. Assim, concluiu que os poços tubulares localizados na unidade Gramado possuem um valor de vazão 54% maior que os poços das unidades Palmas/Caxias.

Frenzel (2016) observou em seu estudo que a capacidade de produção de poços de captação utilizados para abastecimento no município de Garibaldi (localizado próximo de Nova Petrópolis) é variável, e por vezes poços produtivos apresentam vazão insuficiente para atender a demanda de água, também

consequência das condições anisotrópicas dos aquíferos fraturados que ocorrem na região. Nessa pesquisa, o autor identificou que os lineamentos associados a poços de melhor produção situam-se nos intervalos de orientação N60-90E e N60-90W, seguidos dos intervalos N30-60W e N30-60E.

Também próximo à área de estudo, na região de Carlos Barbosa, Dias (2013) gerou gráficos de curvas de rebaixamento e tempo com a utilização de dados de bombeamento. Os resultados gerados e os cálculos hidrogeológicos com as informações dos testes de vazões de poços confirmaram, em geral, valores baixos para capacidade específica (Q/s), vazão (Q) e transmissividade (T). Apesar de baixa produtividade, foi constatado que os poços com maior capacidade de produção (vazões entre 10 e 50 m^3/h) estão associados com lineamentos com direções principais N60-80E, N30-50W e N0-10W.

3.2.2 Sistema Aquífero Guarani (SAG)

Considerado como um dos maiores mananciais de água subterrânea do mundo (Rocha, 1996 apud Freitas *et al.*, 2003), o Sistema Aquífero Guarani abrange partes territoriais da Argentina, Uruguai, Paraguai e, em sua maior totalidade, do Brasil. Possui cerca de 1.200.000 km^2 e, segundo (Machado, 2006), tem constituição complexa e heterogênea, pois não se trata de um único aquífero, mas sim de um sistema mais complexo. O SAG é um aquífero misto, constituído de formações sedimentares compostas em geral por rochas areno-argilosas que foram depositadas entre o Triássico e o Cretáceo. A concentração maior de sedimentos arenosos na sua formação faz com que a eficiência hidráulica seja maior, caracterizando bons aquíferos, como é o caso da Formação Botucatu (Freitas, Caye & Machado, 2003).

Sua maior parte concentra-se no subsolo do centro-sudoeste brasileiro, região onde se encontra a maior parte dos seus 45.000 km^3 de volume, chegando a ter profundidades superiores a 1.000 m (CPRM, 2012). Ocupa aproximadamente 60% do Rio Grande do Sul, onde aflora somente 10%, sendo o restante coberto pelos derrames de rochas vulcânicas da FSG. No estado, o SAG engloba as unidades hidroestratigráficas Botucatu, Guará, Arenito Mata, Caturrita, Alemoa, Passo das Tropas, Sanga do Cabral e Pirambóia. A unidade Botucatu é a que tem a maior

distribuição de área confinante, possui alto potencial para exploração de água e possui vazões altas, muitas delas superiores a 50 m³/h (CPRM, 2010).

A recarga do SAG através dos basaltos do Aquífero Serra Geral deve ocorrer por meio de fluxo vertical, ao longo de fraturas que seccionem os basaltos Serra Geral e atinjam os arenitos Botucatu. A porção central de cada derrame, constituída de basalto denso, contém abundantes fraturas verticais, geradas por resfriamento (Fernandes *et al.*, 2012).

A Unidade Hidroestratigráfica Botucatu possui uma espessura média de 300 metros, 10 a 20% de porosidade efetiva, condutividade hidráulica de 10⁻⁴ a 10⁻⁵ m/s, transmissividade média de 10⁻³ m²/s e coeficiente de armazenamento de 10⁻³ a 10⁻⁶ (Kimmelman, Rebouças e Santiago, 1989). Essas características hidrogeológicas evidenciam que esse aquífero tem potencial para ser utilizado em situações onde necessita-se mais demanda, seja para necessidades populacionais com um volume maior de água captada, ou até mesmo para uso em indústrias locais.

No nordeste do Rio Grande do Sul, o SAG é caracterizado por aquíferos granulares, que variam de livres a confinados e ocorrem associados a rochas sedimentares pertencentes a diferentes formações geológicas, com destaque, nessa região, para os arenitos da Formação Botucatu (Bortolon *et al.*, 2018). Os mesmos autores afirmam que o sistema aquífero nessa região é heterogêneo e apresenta-se compartimentado, sendo que essas características influenciam na produtividade e no fluxo da água subterrânea.

No geral, o SAG apresenta características hidrodinâmicas de um aquífero poroso, entretanto o seu comportamento hidráulico pode ser afetado por diversos fatores tectônicos desenvolvidos nas unidades aquíferas. Segundo Betiollo (2006), a tectônica pode determinar padrões de fluxos das águas subterrâneas e produzir modelos complexos, que caracterizam o chamado sistema aquífero. Essas fraturas profundas, além de determinarem os fluxos preferenciais de água, podem interceptar litologias distintas, ocasionando misturas de águas de aquíferos quimicamente distintos. Na região de Nova Petrópolis, o SAG encontra-se, na maior parte da área, confinado a diferentes profundidades pelas rochas vulcânicas da FSG.

Apesar do grande volume de água desse reservatório natural, Heine (2004), usando dados de poços instalados no SAG em Ivoti, cidade próxima a Nova Petrópolis, observou em seu trabalho uma depleção de até 53 metros na água subterrânea, devido à retirada de cerca de 14.000.000 m³ de água num período de

dez anos, projetando riscos para suprir a demanda na região. Ainda, o autor afirma que, caso continuem os cenários de desequilíbrio e superexploração identificados, os riscos à sustentabilidade do sistema são evidentes, podendo vir a inviabilizar a utilização futura das captações subterrâneas.

3.2.2.1 Potencialidade do SAG

Diferentes fatores concorrem e trazem influência nas características hidrogeológicas de um aquífero poroso. As rochas sedimentares primam por porosidade e permeabilidade primária maiores que as rochas ígneas e metamórficas, à exceção de argilitos e siltitos, que constituem aquitardos e aquicludes. Os ambientes deposicionais e, em menor escala, a estrutura interna das camadas e sua disposição espacial são fatores controladores do fluxo hidráulico e muitas vezes demonstram variações significativas entre a permeabilidade horizontal e a permeabilidade vertical da rocha, mesmo em pacotes sedimentares relativamente homogêneos (Davis, 1969).

Além do fluxo de água em decorrência dos aspectos primários do SAG como permeabilidade e interconexão entre os poros, a porosidade secundária é bastante significativa para definir sua potencialidade. A tectônica rúptil no aquífero granular consolidado exerce papel extremamente importante, podendo criar fraturas e falhas capazes de direcionar fluxos preferenciais da água subterrânea.

Christ (2019), após um estudo na região da escarpa basáltica nordeste do Rio Grande do Sul, identificou, com base em dados de lineamentos e geomorfológicos, a ocorrência de diferentes compartimentos hidrogeológicos. Concluiu que a produtividade dos poços está associada a blocos e, por isso, a região possui locais com produtividades diferentes.

Machado (2006) já havia afirmado, em pesquisa anterior, que o Sistema Aquífero Guarani compreende um ambiente geológico heterogêneo, o que torna difícil a compreensão dos fenômenos de fluxo de suas águas na grande área onde ocorre. Mencionou também que a unidade hidroestratigráfica Botucatu tem uma ampla distribuição em toda a área de ocorrência do SAG no estado, e os poços perfurados nessa unidade apresentam uma potencialidade muito variável, com poços secos em

camadas quase impermeáveis, que isolam outras camadas aquíferas de boa permeabilidade e poços de ótima vazão.

Através da análise de lineamentos morfoestruturais em diferentes escalas e das informações de 276 poços tubulares, Bortolon *et al.* (2018) avaliaram a compartimentação do SAG na Escarpa da Serra Geral no nordeste do RS. Com a elaboração de um modelo conceitual, os autores promoveram a delimitação de compartimentos hidrogeológicos com base na identificação de três lineamentos com mais de 50 km de comprimento, encaixados em vales, correspondentes a grandes rios (Rio dos Sinos, Rio Caí e Rio Taquari). Os compartimentos formados pelos limites desses lineamentos foram denominados de CP1, CP2, CP3 e CP4 (Figura 7).

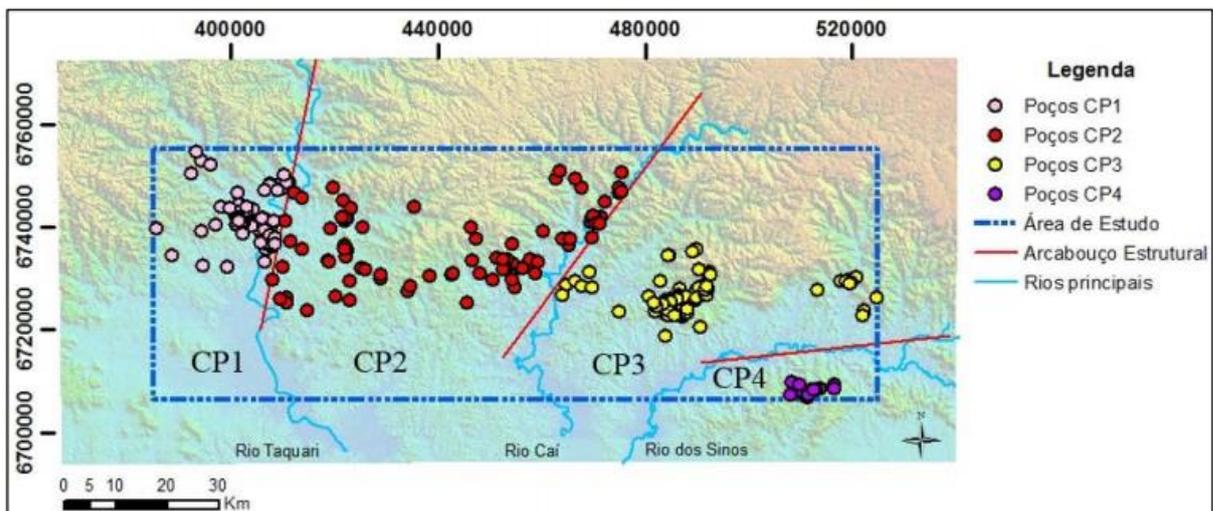


Figura 7. Arcabouço estrutural e delimitação dos compartimentos.

Foi observado que as variações na cota do topo do SAG apresentam relação com o relevo da região, e o fluxo da água subterrânea segue acompanhando o topo do SAG, das regiões mais altas em direção aos limites dos compartimentos. Na maior parte dos poços analisados (56%), localizados principalmente nos compartimentos CP3 e CP4, as capacidades específicas são menores que $1 \text{ m}^3/\text{h/m}$, e as maiores vazões localizam-se nos compartimentos CP1 e CP2, com presença de vazões superiores a $4 \text{ m}^3/\text{h/m}$ (Tabela 1). Esses valores mais elevados estão relacionados a poços localizados, principalmente, nas áreas próximas das grandes estruturas.

Tabela 1. Valores máximos, médios e mínimos e mediana das produtividades em $\text{m}^3/\text{h/m}$.

	CP1	CP2	CP3	CP4
Máximo	9,73	7,66	1,95	0,25
Médio	1,77	1,42	0,42	0,20
Mediana	1,32	0,67	0,23	0,20
Mínimo	0,04	0,11	0,01	0,15

3.3 Caracterização hidroquímica das águas subterrâneas

Caracterizações hidroquímicas das águas subterrâneas são essenciais para avaliação de suas características, classificação dos diferentes tipos de águas, bem como análise da qualidade. De acordo com a concentração de elementos químicos presentes dissolvidos na água, é possível dividi-las em grupos, com a utilização de *softwares* específicos para essa função. Após análises laboratoriais dessas amostras, os dados são plotados nos respectivos programas, onde são gerados gráficos e diagramas que as separam de acordo com suas características.

As águas podem ter diferentes assinaturas hidroquímicas, e isso depende de alguns fatores que proporcionam a ela características e qualidades variadas. Essa diferenciação depende do tipo de aquífero, da litologia, da recarga, do grau de confinamento, da vulnerabilidade, do uso e ocupação do solo na área de recarga e junto ao ponto de captação (CPRM, 2008). Além disso, a assinatura hidroquímica da água subterrânea é definida em função das características geológicas do aquífero, da solubilidade dos minerais constituintes da rocha aquífera, dos meios por onde a água percorra antes de atingir a zona saturada e do tempo de armazenamento (Mizuno, 2012).

3.3.1 Hidroquímica do SASG

As características físico-químicas das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral possuem variações condicionadas pelas características geológicas e hidrogeológicas da região, o que pode ser evidenciada através da caracterização hidroquímica (Reginato e Strieder, 2004). O sistema de fraturas tectônicas e estruturas

de resfriamento dos derrames das rochas vulcânicas são os condicionadores da circulação das águas subterrâneas nesses aquíferos e, por isso, essas águas podem apresentar características hidroquímicas variadas, dependendo do seu nível de profundidade e condicionamento. A circulação em diferentes níveis, associados a derrames vulcânicos com diferentes composições químicas, pode afetar as características hidroquímicas da água subterrânea. Nas regiões onde há menor espessura de rochas vulcânicas, somado com a existência de descontinuidades, há a possibilidade de conexão entre as águas que circulam no SASG e no SAG, fato que gera alterações no padrão químico característico das águas do SASG (Reginato, 2012).

Segundo Lisboa (1996), o SASG pode ser dividido em dois campos hidrogeoquímicos primários: o Campo das Águas Bicarbonatadas Cálcicas e Calcomagnesianas e o Campo das Águas Bicarbonatadas Sódicas. Há uma estratificação no aquífero marcada por uma variação nos teores de magnésio e cálcio, fortemente influenciada pela composição litológica da área. Reginato *et al.* (2012) caracteriza o SASG pela ocorrência de três tipos de águas: bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, bicarbonatadas sódicas e sulfatadas cálcicas ou magnesianas. O primeiro grupo de água tem sua origem associada aos elementos presentes nos minerais que formam as rochas vulcânicas ácidas (riodacitos) e básicas (basaltos). Os outros dois tipos têm ocorrência relacionada ao grau de confinamento e à existência de misturas de águas provocadas pela conexão do SAG com o SASG.

As águas minerais do SASG, no nordeste do RS, apresentam uma predominância do ânion HCO_3^- e dos cátions Ca^+ e Na^+ , e apresentam invariavelmente elementos raros, como por exemplo, zinco, lítio e estrôncio. O pH das águas é, em geral, neutro e bem equilibrado, mantendo-se próximo de 7. As concentrações de bicarbonato (HCO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}) condicionam a variação do pH na água (Boff *et al.*, 2006).

Bortolon *et al.* (2016) identificaram que as águas subterrâneas do SASG na região são, em geral, bicarbonatadas com concentração variável de cálcio, magnésio e sódio e baixa concentração de sulfatos e cloretos. Além disso, esses autores demonstraram que há uma relação da composição da água subterrânea com a profundidade de ocorrências das fraturas (entradas de água nos poços). Reginato (2012) sugere que a existência de conexão com o SAG e a diferença no grau de

confinamento dessas águas são responsáveis pelas mudanças na química das águas, proporcionando o aumento dos teores de sódio, cloretos e sulfatos. O autor também afirma que o aumento na concentração de carbonatos e bicarbonatos, que em geral são baixas, pode estar relacionado ao maior grau de confinamento ou à presença de minerais de carbonato que ocorrem preenchendo fraturas ou vesículas.

Reginato *et al.* (2010) afirmam que as águas do SASG são, principalmente, bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas. Essa característica reflete a composição química das rochas vulcânicas fraturadas que formam o sistema aquífero, sendo que a fonte original dos elementos cálcio, magnésio e sódio está associada à alteração dos silicatos presentes nessas rochas.

O município de Nova Petrópolis encontra-se localizada na porção NE do Rio Grande do Sul, região em que o SASG é dividido em dois aquíferos, onde um é denominado livre ou freático e outro fraturado. Apresentando características diferenciadas, o aquífero livre é caracterizado por armazenar águas bicarbonatadas cálcicas e magnesianas, baixos valores de condutividade, pequena concentração de sódio e teores elevados de ferro e manganês, além de apresentar alterações nos parâmetros turbidez e cor. Como se encontra sobre o manto de alteração, possui graus de vulnerabilidade médios a elevados, podendo apresentar variações na qualidade, principalmente quanto à contaminação bacteriológica. Já o aquífero fraturado possui águas subterrâneas com boa qualidade, na sua maioria bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, sendo que o principal problema referente à qualidade das águas está relacionado com a presença de ferro e manganês (Reginato, 2003).

3.3.2 Hidroquímica do SAG

Segundo (Gastmans *et al.*, 2005) as águas contidas no SAG são, principalmente, cálcicas nas regiões próximas à recarga, passando a sódicas com o aumento do grau de confinamento. Características magnesianas podem estar associadas a uma conectividade com o aquífero basáltico sotoposto ao SAG. A contribuição dos aquíferos pode ser percebida pela análise dos cátions maiores, já que as relações características entre os elementos para os sistemas aquíferos são distintas. Onde o nível piezométrico do sistema aquífero é superior à base do aquífero

basáltico, ocorre a mistura de águas e conseqüente alteração química, promovida pelo aporte de fluxos ascendentes, contendo minerais solubilizados das rochas vulcânicas. De modo contrário, em regiões onde o nível piezométrico do SAG é inferior à base do basalto, ocorre fluxo descendente, com as águas dos aquíferos fraturados migrando para as águas do SAG, ocasionando uma mistura de águas (Bittencourt *et al.* 2003; Corrêa, 2000).

No trabalho da CPRM (2012), as águas subterrâneas do Sistema Aquífero Botucatu/Guará são citadas como bicarbonatadas, principalmente onde o predomínio de cálcio e/ou magnésio está associado a áreas de recarga e/ou circulação recente e possuem valores mais baixos de pH e de STD, o que difere, em partes, das águas confinadas do SAG, onde o pouco fluxo e alto tempo de residência deixam as águas subterrâneas mais mineralizadas, com valores máximos de até 400 mg/L de sais dissolvidos. Na área aflorante, no aquífero livre, predominam as bicarbonatadas cálcicas, fracamente mineralizadas e com pH ácido.

Reginato *et al.* (2012) sugere que na região NE do Rio Grande do Sul o SAG é caracterizado pela ocorrência de três grupos principais de águas: bicarbonatadas sódicas, bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e sulfatadas ou cloretadas sódicas.

Segundo Giardin & Faccini (2011), as águas bicarbonatadas cálcicas, na mesma região, estão associadas ao aquífero Botucatu, enquanto que para Reginato *et al.* (2013), a variabilidade hidroquímica pode ter relação com o grau de confinamento provocado pelas variações nas espessuras do pacote de rochas vulcânicas, bem como pelos processos de recarga, visto que os autores, através de pesquisas na região, encontraram águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas em locais com menor confinamento, e as águas bicarbonatadas sódicas em locais com maior confinamento.

Matos *et al.* (2016), após estudos hidrogeológicos realizados na região de Nova Petrópolis e arredores, obtiveram dados hidroquímicos de poços tubulares locais. As águas foram classificadas como sendo sulfatadas sódicas (75% dos poços), bicarbonatada sódica, cloretada sódica e sulfatada cálcica (8% cada). Os autores também analisaram poços com valores de fluoretos e sulfatos acima dos máximos permitidos para potabilidade, o que indica a necessidade de um tratamento específico para o consumo humano. Rosa Filho *et al.* (1987) destacam que o ambiente desértico de deposição dos arenitos Botucatu/Pirambóia propiciou a deposição de precipitados salinos, incluindo sulfatos e, por isso, as águas do SAG apresentam maiores

concentrações desses elementos quando comparadas às do SASG.

Em geral, existe uma tendência de que alguns parâmetros como sódio, cloreto e sulfatos variem em função da profundidade em que se encontra o SAG, sendo que as características específicas de cada local podem influenciar com diferentes intensidades na formação das águas. De certa maneira, a relação entre as variáveis físicas e químicas, medidas em campo ou laboratório, e sua distribuição espacial deve refletir as reações químicas e misturas entre águas ocorridas dentro de uma unidade aquífera, desde a área de recarga, ao longo da passagem da água subterrânea pelas rochas constituintes do aquífero, até as zonas de descarga (Gastmans, 2017).

4 METODOLOGIA

Para a realização do presente trabalho, o mesmo foi dividido em etapas, sendo as atividades desenvolvidas em cada uma delas apresentadas abaixo.

4.1. Levantamento Bibliográfico

Esta etapa consistiu no levantamento de dados existentes na literatura, sustentados pela bibliografia regional e local, como teses, dissertações, projetos e relatórios de estudos. O compilado de informações a respeito da região de estudo e da hidrogeologia local favoreceu as demais etapas do trabalho, as quais são sustentadas pelos dados adquiridos.

4.2. Cadastro de Poços

Foi feita a identificação e coleta de dados de fontes de captação de água subterrânea existente na região de Nova Petrópolis, a fim de montar um inventário dos pontos de captação. As informações dos poços foram buscadas junto ao banco de dados da CORSAN (Figura 8), CPRM (SIAGAS) (Figura 9), Prefeitura Municipal de Nova Petrópolis e empresas de perfuração.

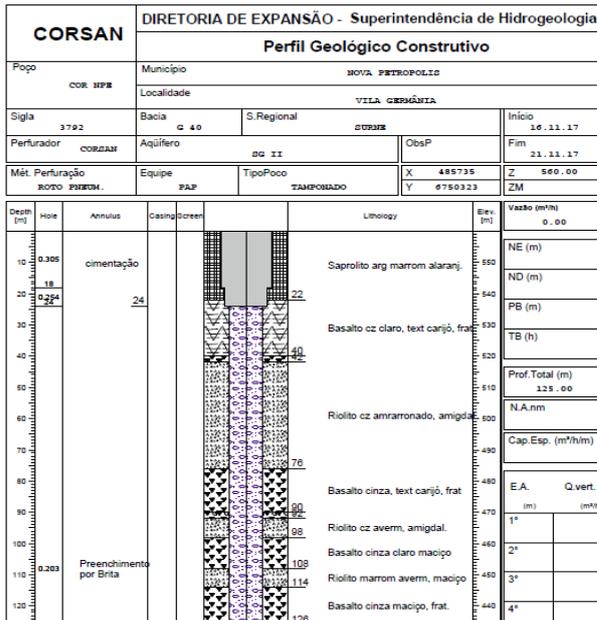


Figura 8. Perfil geológico construtivo de poço da Corsan.

← → ↻ 🔒 Não seguro | siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php 🔍 ☆

CPRM
Serviço Geológico do Brasil

Sua pesquisa retornou 80 registros

	Código do Ponto	UF	Município	Localidade
Home	4300002943	RS	Nova petropolis	LINHA IMPERIAL
Apresentação	4300006688	RS	Nova petropolis	SEDE
Visualizar Mapa	4300006689	RS	Nova petropolis	SEDE
Pesquisa	4300006690	RS	Nova petropolis	HOFFMAM E CIA LTDA
Créditos	4300006691	RS	Nova petropolis	RUA EMILIO REIMANN
Informações Complementares	4300006692	RS	Nova petropolis	BAIRRO PIA
	4300006693	RS	Nova petropolis	SEDE
	4300006731	RS	Nova petropolis	LINHA IMPERIAL
	4300006732	RS	Nova petropolis	SEDE
	4300006733	RS	Nova petropolis	LINHA ARARIPE
	4300006734	RS	Nova petropolis	LINHA ARARIPE
	4300006735	RS	Nova petropolis	BAIRRO PIA
	4300006736	RS	Nova petropolis	BAIRRO PIA
	4300006737	RS	Nova petropolis	BAIRRO PIA
	4300006738	RS	Nova petropolis	SEDE
	4300006739	RS	Nova petropolis	LINHA IMPERIAL
	4300006740	RS	Nova petropolis	LINHA ARARIPE
	4300006741	RS	Nova petropolis	LINHA ARARIPE
	4300006742	RS	Nova petropolis	LINHA ARARIPE
	4300006743	RS	Nova petropolis	LINHA GONCALVES DIAS
	4300006744	RS	Nova petropolis	LINHA BRASIL
	4300006745	RS	Nova petropolis	LINHA BRASIL
	4300006746	RS	Nova petropolis	LINHA BRASIL
	4300006747	RS	Nova petropolis	LINHA BRASIL
	4300006748	RS	Nova petropolis	LINHA BRASIL
	4300006749	RS	Nova petropolis	LINHA BRASIL
	4300006750	RS	Nova petropolis	LINHA BRASIL
	4300006751	RS	Nova petropolis	LINHA BRASIL

Figura 9. Banco de dados de poços no SIAGAS (CPRM).

Esses dados serviram para organizar um diagnóstico prévio da área e guiar o trabalho de campo, onde também foi possível obter informações de poços de captação ainda não cadastrados. As etapas de campo foram realizadas com o objetivo de identificar novos pontos de captação, bem como coletar dados sobre os mesmos (localização, características construtivas, situação do entorno, dados hidroquímicos e avaliação da possibilidade de coleta de amostras de água). Quando existente

tubulação de visita e torneira para coleta, foram feitas análises de pH e CE com uso de sonda multiparâmetros (Figura 10).



Figura 10. Análise hidroquímica com o uso de sonda multiparâmetro.

Os dados hidrogeológicos e litológicos obtidos foram organizados em planilhas com a utilização do software *Microsoft Excel*. Foram compiladas informações como: proprietário dos poços, localização UTM, aquífero principal captado no poço, profundidades e cotas com entrada de água, nível estático, vazões, capacidade específica, análises hidroquímicas, entre outras. Tais dados foram utilizados para avaliar as informações sobre as formas de captação, uso da água subterrânea e na identificação e caracterização dos aquíferos da região de Nova Petrópolis.

4.3 Caracterização Geológica e Morfoestrutural

A caracterização geológica foi feita com base em um estudo geológico da área, tendo como base os mapas geológicos existentes que foram identificados no levantamento bibliográfico, perfis dos poços tubulares perfurados na região, bem como de locais visitados nos dias de campo, onde foi realizada a identificação e descrição de afloramentos da Formação Botucatu e das rochas vulcânicas básicas e ácidas da Formação Serra Geral.

Com base na análise dos perfis geológicos disponibilizados pela CORSAN (A) e no site do SIAGAS (B) (Figura 11), foram avaliadas as litologias e derrames que

ocorrem em profundidade, o contato entre as rochas sedimentares da Formação Botucatu e das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, bem como suas continuidades e respectivas espessuras. Os dados dos poços foram utilizados na elaboração de perfis e seções geológicas, com intuito de ilustrar a geologia do município.

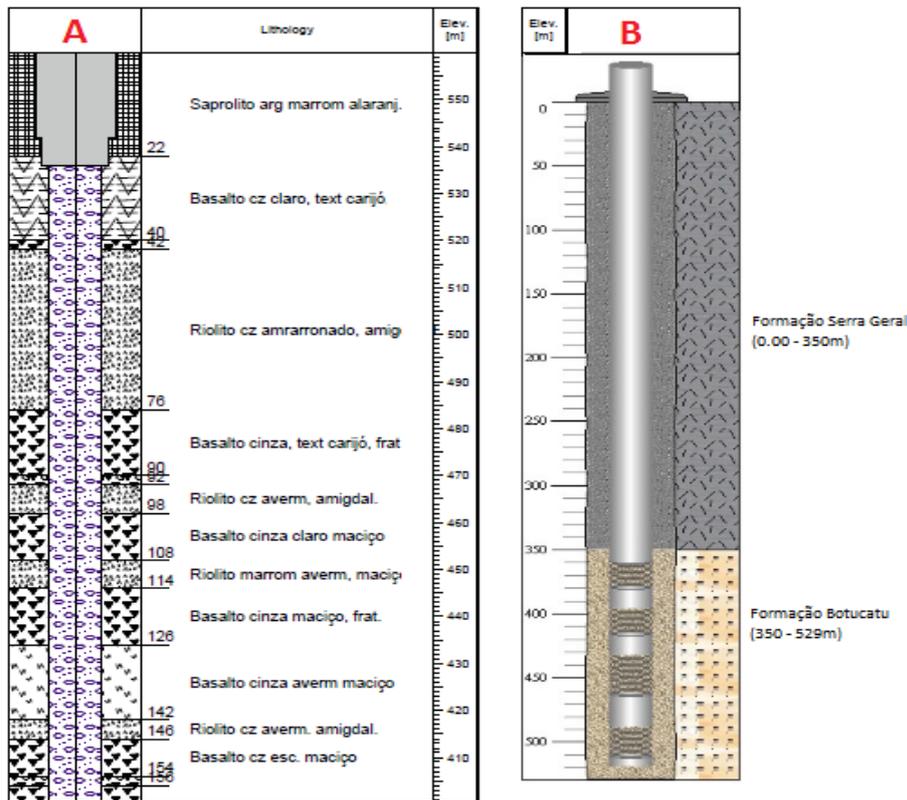


Figura 11. Exemplos de perfis de poços usados na elaboração das seções no município.

Em campo foi feita a identificação de contatos entre derrames e das principais litologias existentes e observação de estruturas para confirmação dos dados bibliográficos. Também foram descritas estruturas de resfriamento e feito o reconhecimento da região e dos poços cadastrados.

A caracterização morfoestrutural foi feita com o objetivo de identificar a ocorrência de estruturas lineares na região de estudo, as quais são as principais condicionantes de aquíferos fraturados. Foi feito um levantamento de lineamentos baseado na interpretação de imagens SRTM (Figura 12) e ASTER, em escala 1:250.000, visando identificar as principais orientações dos mesmos, suas frequências e seus comprimentos.

Nessas imagens foram aplicadas técnicas de iluminação artificial em diferentes azimutes (315° e 45°) com elevação de 45° e exagero vertical de 3 vezes. A identificação foi feita com base na avaliação de morfoestruturas associadas ao relevo (vales orientados e trechos lineares de rios).

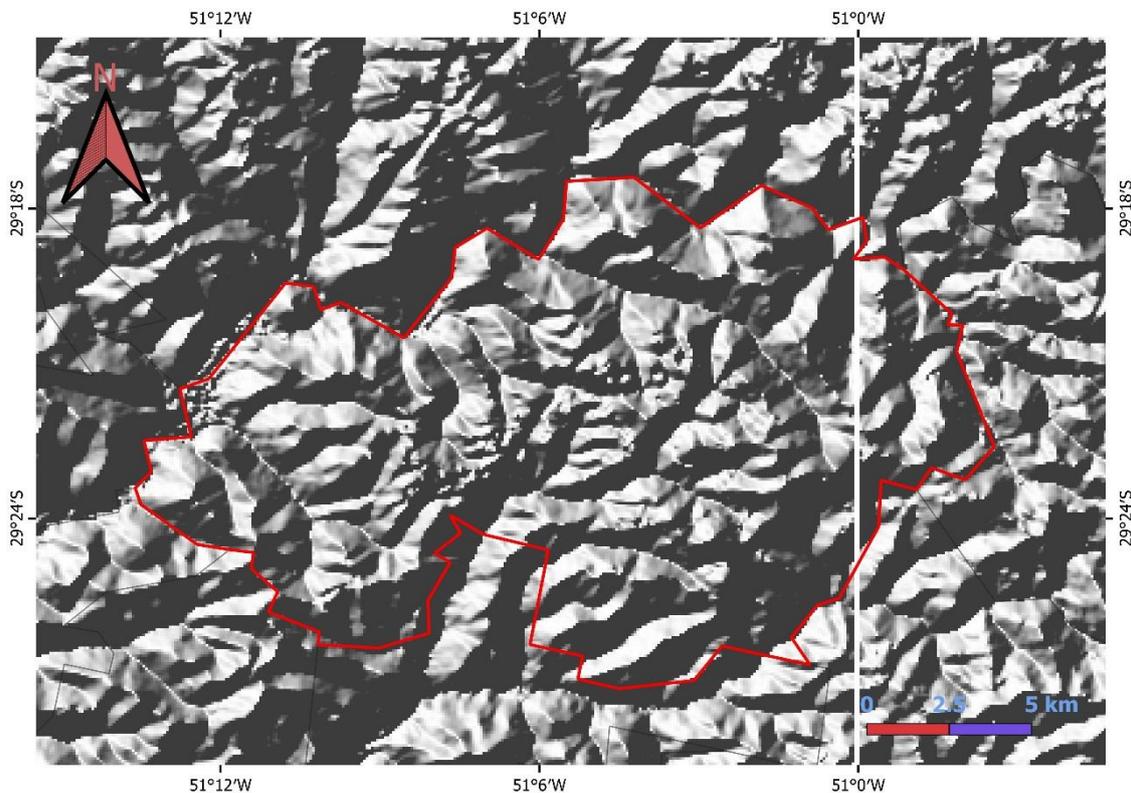


Figura 12. Imagem MNT (SRTM), com tratamento de iluminação artificial e exagero vertical, utilizada para traçar os principais lineamentos.

Além disso, foram observados aspectos estruturais em campo, onde foram feitas medidas de atitudes de planos de fratura nos afloramentos visitados com a utilização de uma bússola geológica *Brunton*. A escolha dos afloramentos descritos foi feita objetivando sempre preencher de forma homogênea o território de Nova Petrópolis, junto da utilização de um GPS de modelo *GarminTrex 10* para obter as coordenadas e cotas dos respectivos pontos.

Para a análise dos lineamentos e estruturas identificadas em campo e através de imagens SRTM, foi gerado um diagrama de roseta através do Software *Stereonet*, bem como mapas por meio do uso do Software *ArcMap*.

4.4 Caracterização Hidrogeológica

Através das informações obtidas com o levantamento de dados existentes, inventários de cadastros de pontos de captação e do Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005), foi realizada a caracterização hidrogeológica da região.

A identificação de propriedades hidrogeológicas, como nível estático, vazão, transmissividade, capacidade específica e outras foi feita com base na interpretação e análise estatística dos dados dos poços identificados. Essa etapa visou, também, a identificação do uso da água captada e do número total de poços.

A região do município abrange diferentes sistemas aquíferos (SASG e SAG) e a caracterização foi desenvolvida para ambos. Para o SASG foram avaliadas, além de todos parâmetros padrões, as profundidades das entradas de água. Através dos dados, foi possível correlacionar o controle estrutural com a produção dos 125 poços cadastrados, onde os parâmetros do aquífero foram cruzados e comparados com as propriedades estruturais e orientações preferenciais dos lineamentos. Dessa forma, se tornou possível avaliar a associação entre os poços e essas orientações, o que proporcionou uma melhor correlação de produtividade e parâmetros hidrogeológicos do aquífero, além de avaliar os tipos de estruturas que condicionam a ocorrência dos aquíferos fraturados na área de estudo.

Através da interpretação dos perfis geológicos dos 26 poços que captam água do SAG, foi realizada a identificação e caracterização hidrogeológica do aquífero. Foram avaliados dados sobre as litologias onde estão localizados os aquíferos, cota do topo dessas unidades (contato com as rochas vulcânicas), bem como sua espessura saturada e continuidade.

4.5 Caracterização Hidroquímica

Foi feita a avaliação de dados disponíveis e a elaboração de um banco de dados físico-químicos. Esses dados, em conjunto com as análises amostradas, foram utilizados para a identificação dos principais tipos de água subterrânea que estão associadas ao SASG. Através da análise e interpretação de relatórios de análises físico-químicas identificadas nas etapas de levantamento de dados e inventário de

poços, foi possível classificar as diferentes águas de acordo com suas propriedades hidroquímicas.

Durante os trabalhos de campo, na busca por novos pontos de captação, foram feitas as avaliações de parâmetros como pH, condutividade elétrica e STD com a utilização da sonda multiparâmetro TESTR 35 SERIES da Eutech Instruments Oakton (Figura 13).



Figura 13. Sonda Multiparâmetro Eutech Instruments Oakton.

O princípio de medição do pH utilizado pela sonda é o método do eletrodo de vidro, que possui alcance de pH 0 a 14 (potencial hidrogeniônico), resolução de 0,01 pH e precisão de 0,01 pH. Para condutividade o princípio utilizado é o método do eletrodo de corrente alternada, que possui resolução de 0,01 mS e precisão de $\pm 1\%$. Para os sólidos totais dissolvidos é utilizado o princípio da conversão de condutividade e possui alcance de 0 a 100 g/L, resolução de 0,1% e precisão $\pm 1\%$.

Durante os campos foram coletadas duas amostras de água subterrânea (Poços 29, 125), as quais foram enviadas para o laboratório de Análises de Águas do Centro de Ecologia da UFRGS, onde foram realizadas as análises dos seguintes elementos: cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloretos, alcalinidade, sulfato, ferro, manganês e fluoreto.

A interpretação das características hidroquímicas foi realizada com base no uso de planilhas do software Excel, bem como com o uso do programa QualiGraf (Mobus, 2002) (Figura 14), que foi utilizado na elaboração dos diagramas de Piper, Schoeller e Stiff.

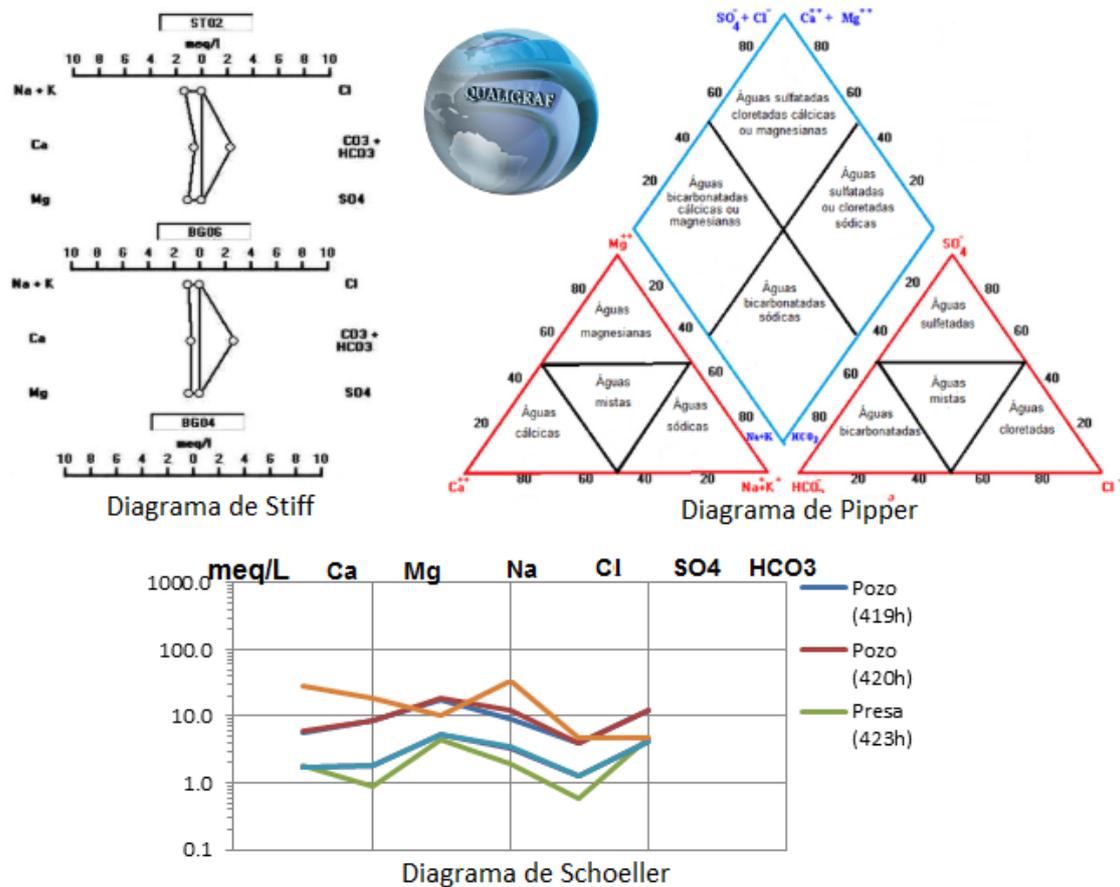


Figura 14. Diagramas do software Qualigraf (Funceme, 2019).

O Diagrama de Piper é utilizado para classificar e representar graficamente o tipo químico da água subterrânea, de acordo com os íons dominantes ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{+2} , Mg^{+2} , $\text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^{-1}$, SO_4^{-2} e Cl^-), cujas concentrações são expressas em meq/L. Esse diagrama possui dois triângulos que representam o campo dos cátions e outro dos ânions, e um losango ao centro, onde o vértice corresponde a 100% da concentração do íon. O cruzamento do prolongamento dos dois pontos (campo dos cátions e campo dos ânions) no campo dos resultados define sua posição e, com isso, a classificação da amostra de acordo com a sua composição química.

O Diagrama de Schoeller-Berkaloff é utilizado para se avaliar a tendência das águas e distinguir famílias a partir de um padrão químico. São representados graficamente os íons dominantes ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{+2} , Mg^{+2} , $\text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^{-1}$, SO_4^{-2} e Cl^-) em colunas verticais, onde são traçadas sequências de linhas unindo os pontos que representam os valores dos íons em meq/L. Os valores são exibidos em escala logarítmica, no intuito de facilitar a representação e observação da relação entre íons associados à inclinação das linhas.

Os Diagramas de Stiff, em função das figuras geométricas formadas, são muito úteis para a análise de dados distribuídos espacialmente. Famílias de diferentes tipos de água são detectadas de acordo com suas características hidroquímicas, sendo possível visualizar seis (6) diagramas simultaneamente, o que facilita a comparação entre as amostras.

4.6 Avaliação da Potencialidade Hidrogeológica e de Áreas com Maior Produtividade de Poços

O estudo do Potencial Hídrico foi realizado através da integração dos dados obtidos na caracterização geológica, hidrogeológica e avaliação hidroquímica. Visou, portanto, identificar regiões que apresentam maior potencial de produção e abundância de água subterrânea.

Para avaliar a produtividade dos diferentes aquíferos, é realizado uma análise dos dados, na qual os valores de capacidade específica, vazão, condutividade hidráulica e transmissividade podem ser utilizados. Quanto mais alta for a transmissividade, maior será a capacidade específica e mais produtivo será o aquífero (Diniz *et al.*, 2012).

Baseando-se em valores estabelecidos por Struckmeir & Margat (1995), Diniz (2012) propõe os seguintes intervalos dos coeficientes hidráulicos para classificação de aquíferos (Quadro 2), onde as siglas referentes às classes, entre parênteses, relacionam-se com a produtividade a que pertence cada uma delas.

Q/s (m ³ /h/m)*	T (m ² /s)	K(m/s)	VAZÃO (m ³ /h)	PRODUTIVIDADE (**)	CLASSE
≥ 4,0	≥ 10 ⁻⁰²	≥ 10 ⁻⁰⁴	≥ 100	Muito Alta: Fornecimentos de água de importância regional (abastecimento de cidades e grandes irrigações). Aquíferos que se destaquem em âmbito nacional.	(1)
2,0 ≤ Q/s < 4,0	10 ⁻⁰³ ≤ T < 10 ⁻⁰²	10 ⁻⁰⁵ ≤ K < 10 ⁻⁰⁴	50 ≤ Q < 100	Alta: Características semelhantes à classe anterior, contudo situando-se dentro da média nacional de bons aquíferos.	(2)
1,0 < Q/s < 2,0	10 ⁻⁰⁴ ≤ T < 10 ⁻⁰³	10 ⁻⁰⁶ ≤ K < 10 ⁻⁰⁵	25 ≤ Q < 50	Moderada: Fornecimento de água para abastecimentos locais em pequenas comunidades, irrigação em áreas restritas.	(3)
0,4 ≤ Q/s < 1,0	10 ⁻⁰⁵ ≤ T < 10 ⁻⁰⁴	10 ⁻⁰⁷ ≤ K < 10 ⁻⁰⁶	10 ≤ Q < 25	Geralmente baixa, porém localmente moderada: Fornecimentos de água para suprir abastecimentos locais ou consumo privado.	(4)
0,04 ≤ Q/s < 0,4	10 ⁻⁰⁶ ≤ T < 10 ⁻⁰⁵	10 ⁻⁰⁸ ≤ K < 10 ⁻⁰⁷	1 ≤ Q < 10	Geralmente muito baixa, porém localmente baixa: Fornecimentos contínuos dificilmente são garantidos.	(5)
< 0,04	< 10 ⁻⁰⁶	< 10 ⁻⁰⁸	< 1,0	Pouco Produtiva ou Não Aquífera: Fornecimentos insignificantes de água. Abastecimentos restritos ao uso de bombas manuais	(6)

Quadro 2. Caracterização hidráulica de aquíferos (Diniz, 2012)

A avaliação de áreas com maior potencial foi realizada através da análise de dados de capacidade específica e vazão. Para o SASG, foi feita a correlação entre os lineamentos e a capacidade específica, visando identificar orientações que estão mais correlacionadas com poços que apresentam maior capacidade de produção. Também foram gerados mapas de distribuição de capacidade específica para avaliar a ocorrência de áreas onde há ocorrência de poços mais produtivos. Nessas áreas foram avaliadas a orientação dos lineamentos, bem como as características geomorfológicas, visando com isso caracterizar as áreas com maior produtividade. Para o SAG foi feita a avaliação de áreas com ocorrência de poços com maior capacidade de produção, por meio da geração de mapas de distribuição de capacidade específica. Também foram avaliadas as profundidades de ocorrência do topo do SAG, visando com isso identificar, além das áreas mais produtivas, regiões onde o SAG pode ser mais facilmente interceptado pela perfuração de novos poços. Esses resultados servirão para a realização de estudos que visem a locação de novos poços na área do município.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Recursos Hídricos Subterrâneos do Município de Nova Petrópolis

Com base nas informações obtidas nos levantamentos realizados e na análise do banco de dados foram identificados 125 poços tubulares profundos (Figura 15), dos quais 100 captam água do SASG e 25 do SAG. Esses poços são utilizados para uso individual e coletivo, abastecendo comunidades, e também no desenvolvimento de atividades industriais, comerciais e agropecuárias.

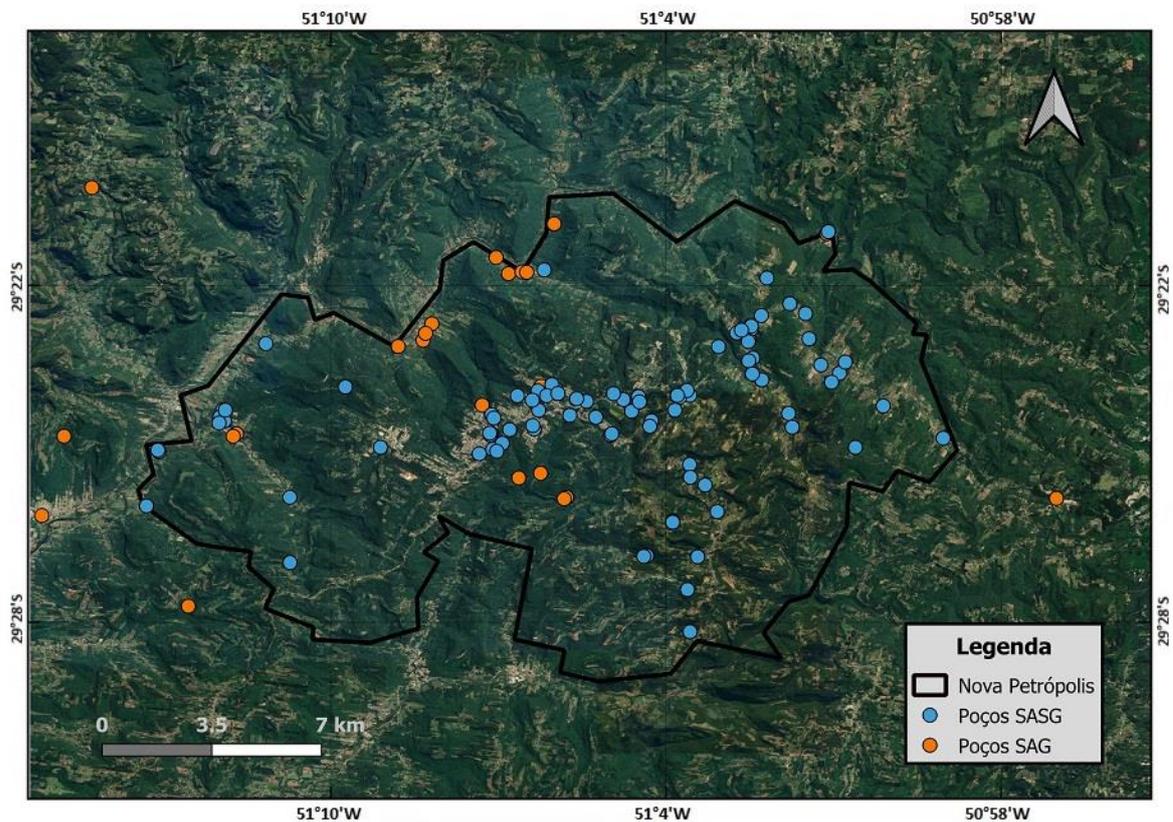


Figura 15. Poços tubulares profundos na região de Nova Petrópolis.

Conforme a figura abaixo (Figura 16), 53% dos poços cadastrados no banco de dados estão em pleno funcionamento, 30% estão parados, abandonados ou não-instalados, e 17% não possuem informações de uso.

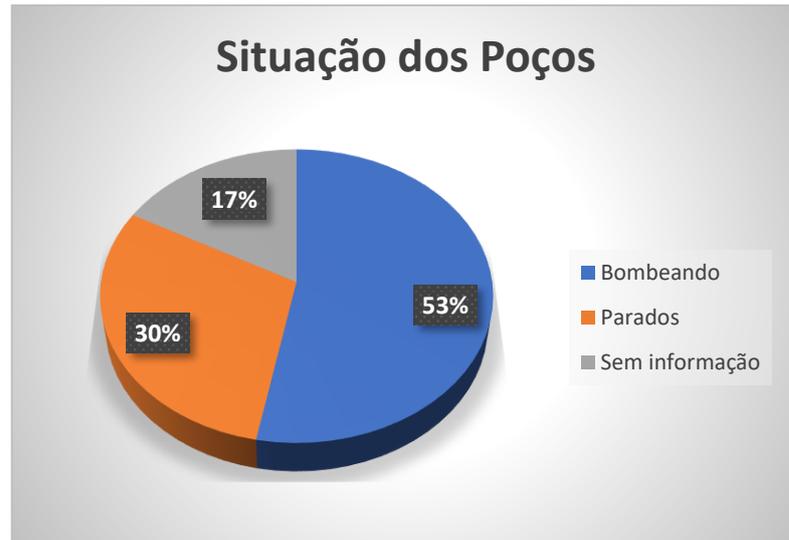


Figura 16. Situação dos poços identificados na região.

A maioria dos poços está instalada de forma incorreta (Figura 17, Figura 18), discordantes da NBR 12244 da ABNT (2006), e uma pequena parcela possui torneira para coleta de água.



Figura 17. Poço sem tubulação de visita, hidrômetro e torneira para coleta de água.



Figura 18. Poço comunitário sem torneira para coleta de água.

5.2 Caracterização Geológica da Área de Estudo

O Município de Nova Petrópolis localiza-se na porção NE do estado do Rio Grande do Sul, onde há ocorrência de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e rochas sedimentares da Formação Botucatu.

Na Figura 19 é apresentado o mapa geológico do município. Salienta-se, pela análise do mapa, que na superfície há ocorrência de rochas vulcânicas ácidas e básicas da Formação Serra Geral, representadas, respectivamente, pela Fácies Gramado e Fácies Palmas/Caxias. As rochas sedimentares da Fm. Botucatu ocorrem, quase que em sua totalidade, recobertas pelas rochas da Fm. Serra Geral, sendo identificadas em perfis geológicos de poços e em afloramentos visitados.

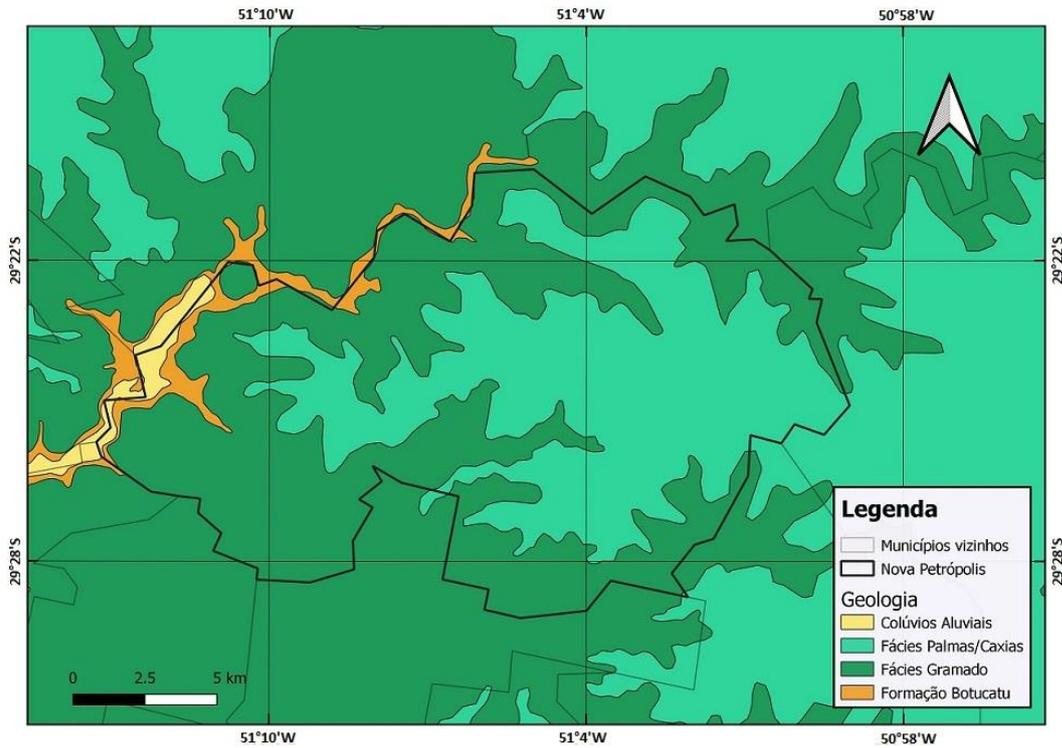


Figura 19. Mapa Geológico da área de estudo segundo CPRM (2010).

5.2.1 Geologia da Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral é representada por derrames tabulares de rocha vulcânica básicas e ácidas, com texturas que variam desde maciças a vesiculares.

As rochas pertencentes aos derrames básicos, representados pela Fácies Gramado, possuem cor cinza escura quando sãs, e tom avermelhado quando alteradas, característico de quase todos afloramentos descritos, em que a rocha se encontra em estado elevado de intemperismo. São caracterizadas por basaltos de coloração escura dispostos em mais de um derrame de lava, textura afanítica e pela presença de disjunções e estruturas tectônicas (fraturas e zonas de fraturas) como estruturas predominantes (Figura 20).



Figura 20. Afloramento de rocha vulcânica pertencente a fácies Gramado.

Camadas com alta concentração de amígdalas e vesículas de tamanhos centimétricos foram observadas com frequência. No contato entre derrames, foi possível identificar a ocorrência de locais com brechas vulcânicas e fragmentos de basalto vesicular e amigdalóide preenchidos por zeólita e bastante intemperizados, indicando zonas de topo de derrames (Figuras 21, 22 e 23). Os contatos são irregulares e geralmente apresentam circulação de água.



Figura 21. Afloramento em corte de estrada apresentando rochas básicas fortemente vesiculadas e intemperizadas.



Figura 22. Fácies Gramado em zona bastante vesicular com preenchimento de zeolita e grau de intemperismo alto.



Figura 23. Basalto vesicular amigdalóide bastante alterado.

Em altitudes mais elevadas, acima de 510 metros, foram encontradas rochas vulcânicas ácidas. As rochas de composição riodacítica possuem coloração cinza e textura afanítica ou fanerítica fina. Os afloramentos encontrados são predominantemente maciços e apresentam poucas fraturas (em geral não preenchidas), sendo elas verticais a subverticais que cortam o pacote (Figura 24).



Figura 24. Riodacito com aspecto maciço, baixo grau de fraturamento e com fraturas esparsas cortando o pacote.

Na altitude de 625 metros foi descrito um derrame riódacítico bastante alterado, vesiculado e amigdalóide. Observa-se a ocorrência de planos horizontais com diferentes graus de intemperismo separando as camadas, nos quais há ocorrência de circulação de água. (Figura 25).



Figura 25. Derrame riódacítico com planos horizontais de diferentes graus de intemperismo.

Através da obtenção de medidas em campo e da interpretação de imagens SRTM e ASTER foram identificados 240 lineamentos (Figura 26), dos quais foram obtidos dados de orientações preferenciais.

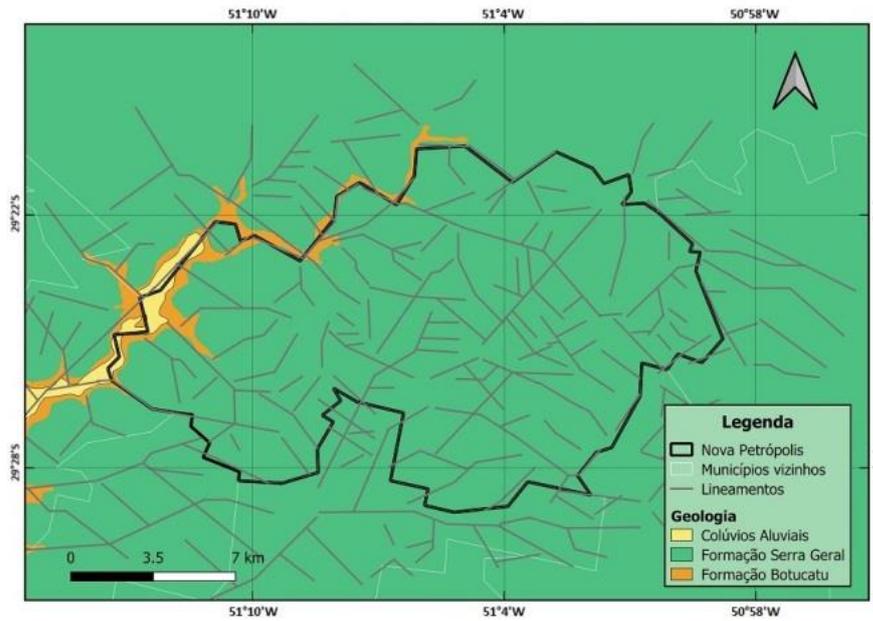


Figura 26. Lineamentos identificados na região de Nova Petrópolis

Com a análise do diagrama de roseta (Figura 27), constatou-se que as orientações dos lineamentos se concentram em dois quadrantes principais, sendo eles NW (N50-60W, N40-50W, N60-70W, N80-90W, N70-80E) e NE (N40-50E, N30-40E, N50-60E, N60-70E, N70-80E).

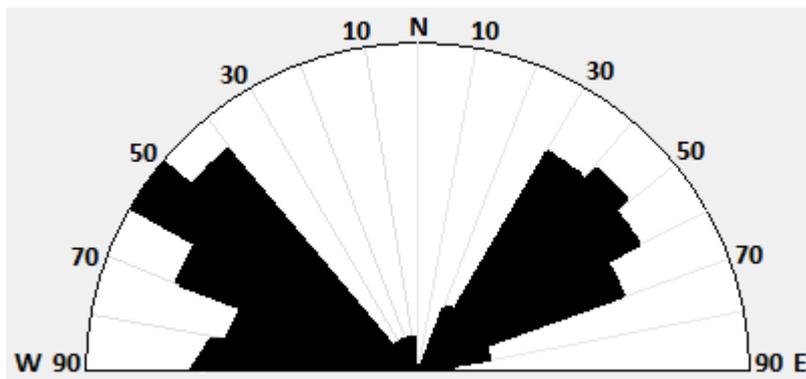


Figura 27. Diagrama de roseta dos 240 lineamentos identificados.

5.2.2 Geologia da Formação Botucatu

As rochas sedimentares da Formação Botucatu no município são quase totalmente recobertas pelos derrames da Formação Serra Geral, sendo constituídas,

predominantemente, por arenitos quartzo feldspáticos de granulometria fina a média, bem selecionados, de coloração bege avermelhada e com estratificação cruzada acanalada de diferentes portes, podendo ser encontrado em camadas espessas (Figuras 28 e 29).



Figura 28. Contato do Arenito Botucatu com depósitos coluvionares. Presença de água indicando o favorecimento do fluxo no contato entre litologias.



Figura 29. Espessa camada do arenito Botucatu em mina de produção de areia.

A Figura 30 mostra o perfil construtivo e geológico de três poços perfurados no município e cadastrados no banco de dados do SIAGAS, onde é possível observar a

Formação Botucatu sotoposta às rochas vulcânicas e a profundidade de ocorrência dos arenitos.

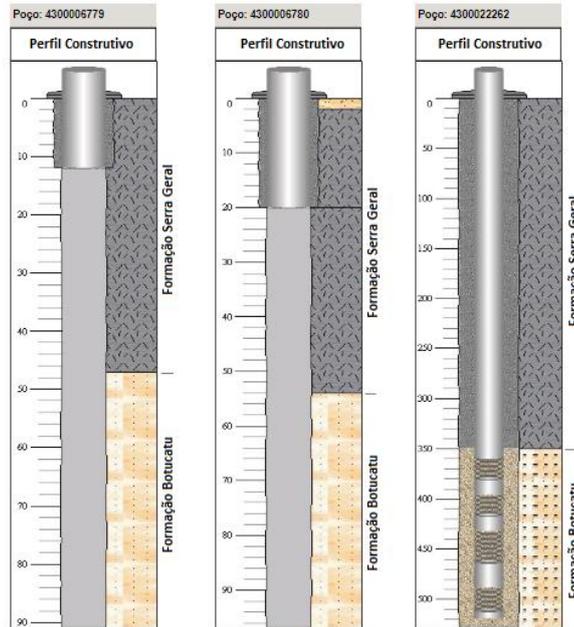


Figura 30. Perfil construtivo de poços cadastrados na plataforma SIAGAS

O contato entre as rochas vulcânicas da FSG com as rochas sedimentares pôde ser observado em campo, em afloramentos de corte de estrada e nos domínios de uma mina de arenito para produção de areia, como mostra a Figura 31.



Figura 31. Contato entre as litologias: intertrap de arenito da Formação Botucatu e basalto da Formação Serra Geral.

5.3 Hidrogeologia do Município de Nova Petrópolis

De acordo com a CPRM (2010), em Nova Petrópolis encontramos dois sistemas aquíferos: o Serra Geral e o Guarani. A análise dos dados dos poços tubulares e dos ensaios de bombeamento permitiu a caracterização hidrogeológica de ambos na região. No manto de alteração existente sobre as rochas do SASG pode ocorrer a formação de um aquífero granular livre (freático) em locais com solos permeáveis e porosidade adequada. Não foram obtidos nem apresentados dados de poços referentes a esse tipo de aquífero.

Com o auxílio de poços locados no município, foram desenhadas duas seções hidrogeológicas esquemáticas com o objetivo de mostrar a ocorrência dos dois sistemas aquíferos presentes na região (Figuras 32 e 33).

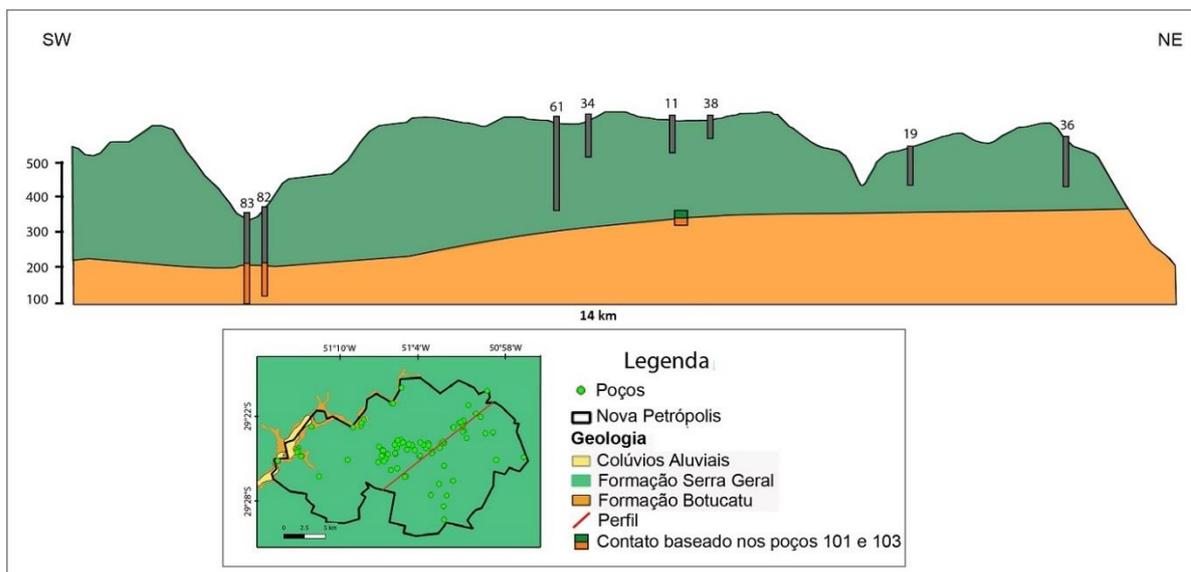


Figura 32. Seção hidrogeológica 1 (SW-NE).

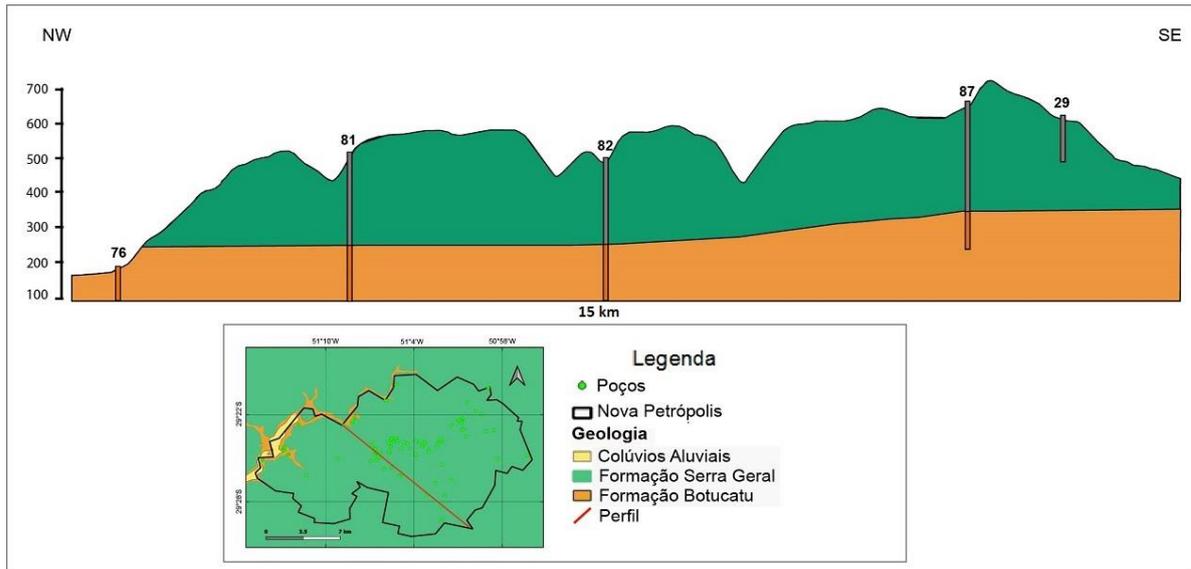


Figura 33. Seção hidrogeológica 2 (NW-SE).

Nas regiões SW e NW do município, como verificado nos dois perfis, o SAG encontra-se mais profundo, com cotas mais baixas. Nas porções NE e SE, o sistema aquífero se apresenta em altitudes mais elevadas, e o pacote de rochas vulcânicas tende a ser menos espesso.

A possibilidade de compartimentação do SAG, como observado por Bortolon *et al.* (2018), não foi levada em consideração nos perfis elaborados, visto a baixa quantidade de dados disponíveis para a região. Essa informação nos atenta à possibilidade de lineamentos de grande porte serem resultados de possíveis compartimentações, pois há grande variação de espessura para o topo do SAG nas regiões analisadas.

5.3.1 Hidrogeologia do SASG no município de Nova Petrópolis

O SASG é caracterizado pela ocorrência de aquíferos fraturados que estão associados às estruturas presentes nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. É predominante na área do município e possui espessura muito variada. Para esse sistema, foram identificados 100 poços, sendo todos tubulares profundos.

A profundidade da maioria dos poços está situada no intervalo entre 50 e 100 m e 100 a 150 m, representando 26% e 34%, respectivamente, como mostra o Gráfico

1. A média da profundidade dos mesmos é 138 m, mediana 120 m, com profundidade mínima de 42 m e máxima 350 m. Profundidades inferiores a 50 m são pouco expressivas, representando apenas 3% do total.

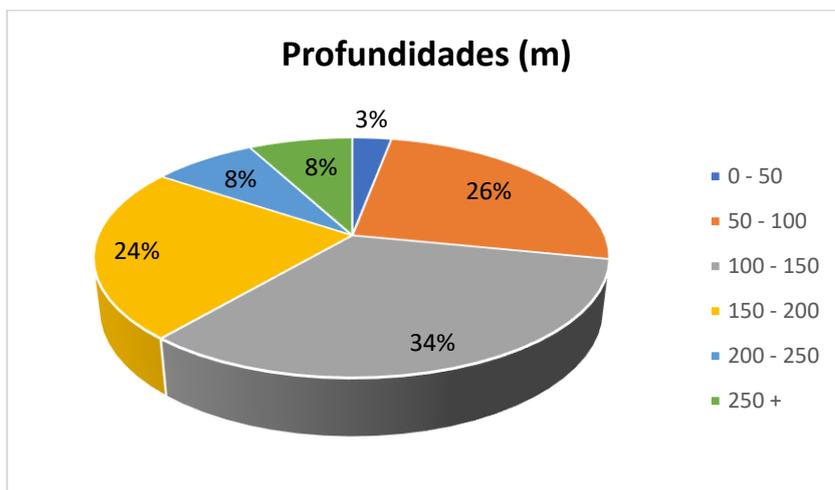


Gráfico 1. Profundidades dos poços do SASG.

Com relação às entradas de água, é possível observar que a maioria dos poços apresenta apenas duas, o que representa 66% do total. Poços com uma entrada representam 14% e com três ou mais, 20%, sendo que o máximo de entradas de água em um poço cadastrado corresponde a seis. Os dados detalhados estão ilustrados no Gráfico 2.

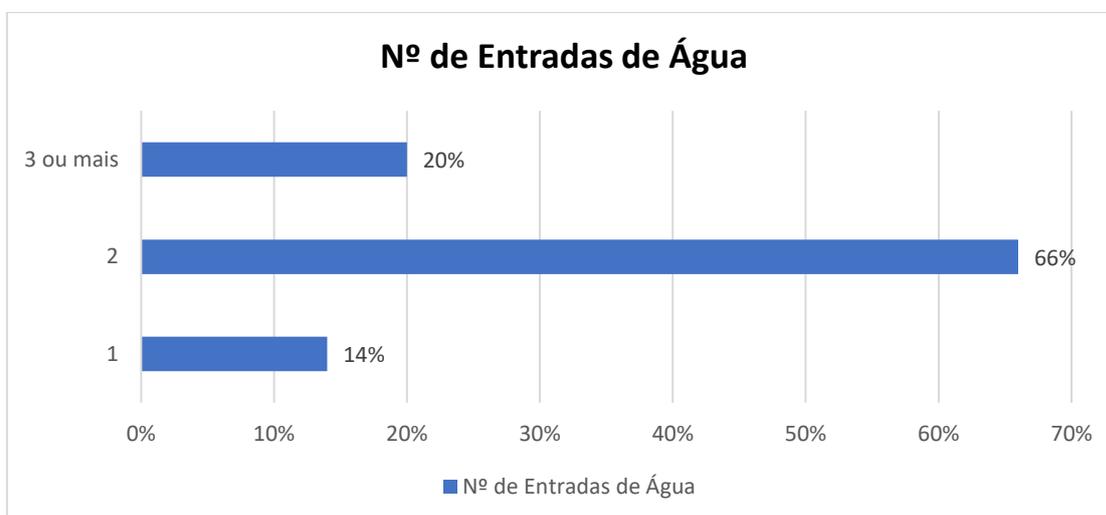


Gráfico 2. Relação das entradas de água no SASG.

O Gráfico 3 mostra que as profundidades mais significativas de entradas de água correspondem aos intervalos de 25 a 75 m (67%). Isso demonstra que a circulação de água subterrânea é mais comum nessa profundidade. Apenas 4% das entradas de água catalogadas situam-se em profundidades maiores que 150 m, o que constata que a pressão exercida pelo maciço rochoso tende a diminuir a ocorrência de fraturas abertas em maiores profundidades.

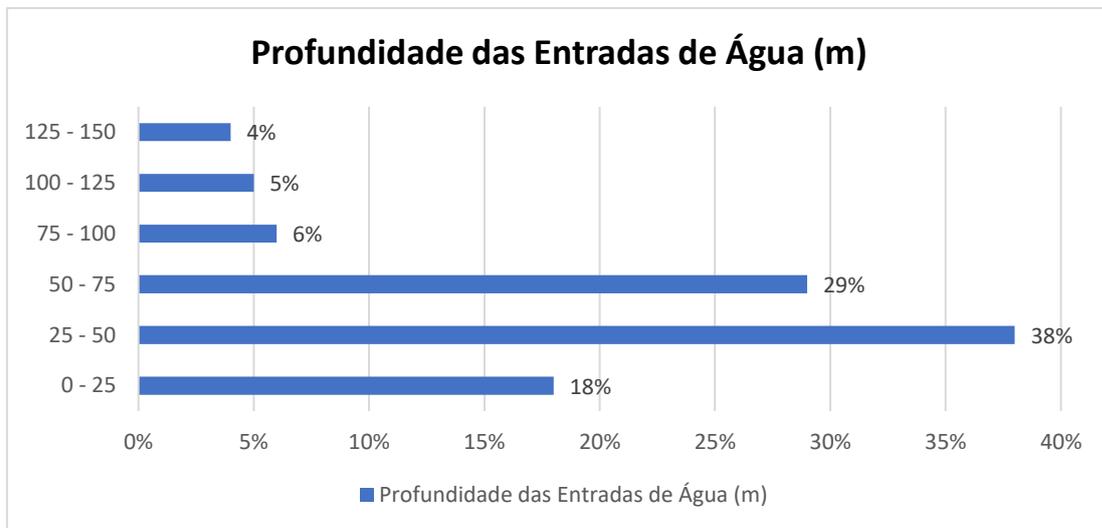


Gráfico 3. Relação das profundidades das entradas de água no SASG.

Além das fraturas observadas nos perfis construtivos dos poços, é importante salientar que outras estruturas também são significativas para a circulação de água em profundidade, como zonas vesiculares e amigdalóide e de brechas vulcânicas. Contatos entre camadas e derrames, como observados em campo, também têm grande potencial para entradas de água.

Quanto ao nível estático, podemos verificar, com a análise do Gráfico 4, que o nível da água se apresenta bastante heterogêneo. Há grandes variações, sendo que a média se encontra nos 18,5 m e mediana 13,62 m, com máxima em 70,3 m e mínima em 1 m. A maioria das medidas apresenta-se nos intervalos de 0 a 20 m (75%), acima das fraturas mais produtoras, indicando que as águas se encontram sob pressão.

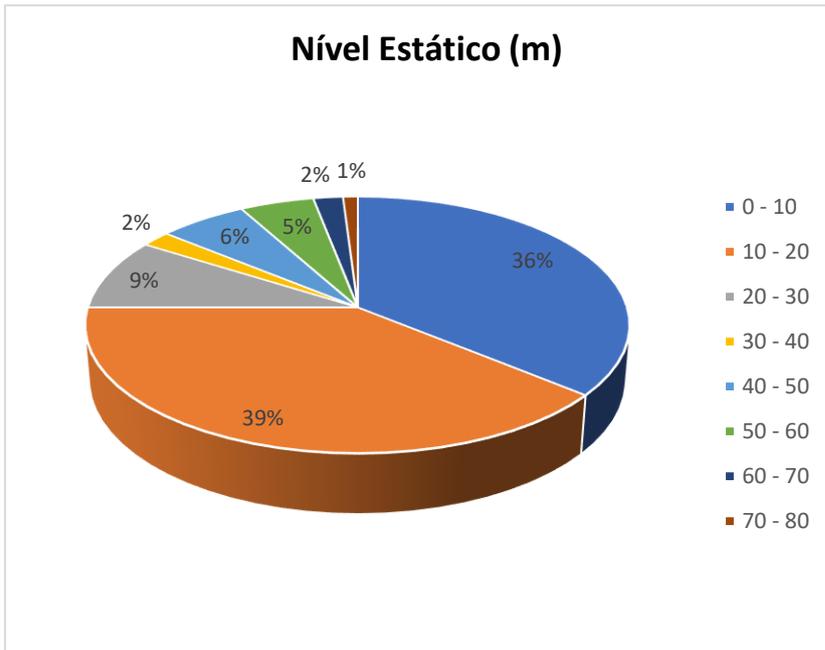


Gráfico 4. Relação dos intervalos de níveis estáticos no SASG.

Os testes de bombeando não são uniformizados com relação ao tempo, sendo executados em diferentes períodos, e, por isso, para a análise da capacidade específica, foram utilizados os valores referentes aos ensaios de 24 horas.

A capacidade específica dos poços apresenta uma média de $0,36 \text{ m}^3/\text{h/m}$ e mediana $0,235 \text{ m}^3/\text{h/m}$, com máxima de $1,06 \text{ m}^3/\text{h/m}$ e valor mínimo de $0,03 \text{ m}^3/\text{h/m}$. Em 78% dos poços a capacidade específica está entre $0,03 \text{ m}^3/\text{h/m}$ e $0,5 \text{ m}^3/\text{h/m}$. Para valores maiores, temos que 11% possuem valores entre $0,5 \text{ m}^3/\text{h/m}$ e $1 \text{ m}^3/\text{h/m}$, e 11% valores maiores que $1 \text{ m}^3/\text{h/m}$. Esses resultados estão de acordo com Machado & Freitas (2005), em que os autores descrevem o SASG II com capacidades específicas inferiores a $0,5 \text{ m}^3/\text{h/m}$.

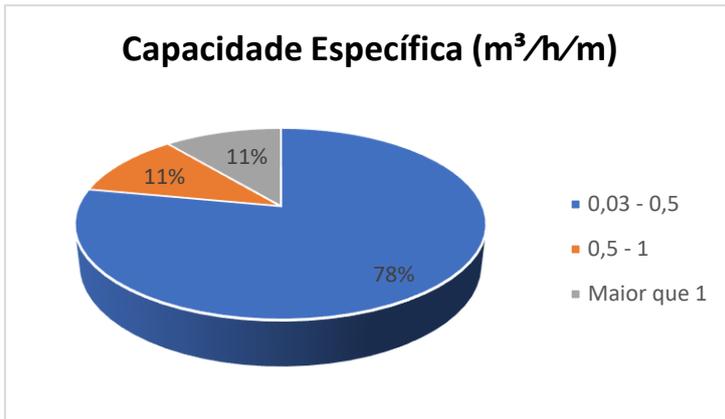


Gráfico 5. Capacidade específica dos poços no SASG.

As vazões dos poços variam de 1 m³/h a 27,8 m³/h, apresentando uma média de 6,8 m³/h e mediana 5,77 m³/h. Essa variação indica que, apesar da tendência de uma baixa potencialidade hidrogeológica no SASG, é possível encontrar poços com melhores vazões na região. De acordo com o Gráfico 6, 44% dos poços produzem até 5 m³/h, 37% apresentam vazões de 5 m³/h a 10m³/h, 16% de 10 m³/h a 20 m³/h, e valores maiores que 20 m³/h são representados por 3% dos poços.

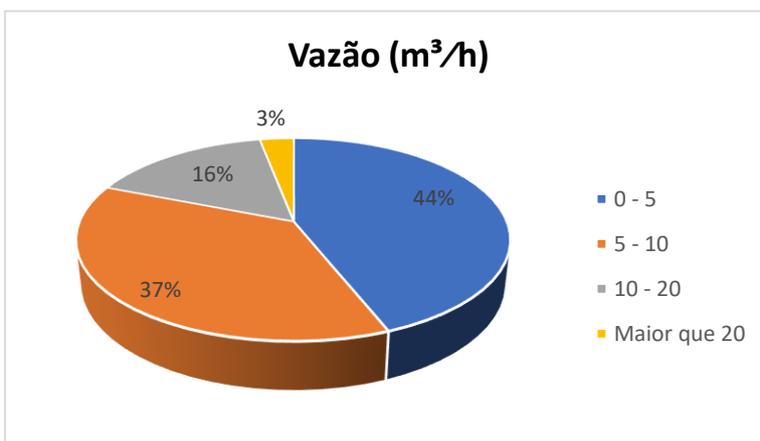


Gráfico 6. Vazões dos poços no SASG.

Na classificação de Diniz (2012), esses coeficientes hidráulicos para o SASG indicam uma produtividade classificada em “Geralmente muito baixa, porém localmente baixa”.

5.3.2 Hidrogeologia do SAG no município de Nova Petrópolis

O SAG é constituído por diferentes unidades hidroestratigráficas, sendo que a Botucatu abrange todo perímetro do município, e encontra-se quase totalmente confinada pelas rochas da Formação Serra Geral. Trata-se de um aquífero granular associado às rochas sedimentares da Formação Botucatu, na qual a circulação de água se dá através dos poros formados entre os grãos e pelas fraturas que cortam os pacotes de rocha. Para a caracterização hidrogeológica do SAG foram analisados 25 poços de captação.

A maioria dos poços tubulares tem profundidades inferiores a 100 m, representando 37%, como mostra o Gráfico 7. A profundidade média é 294 m, mediana 156, com mínima de 52 m e máxima 1000 m. Profundidades entre o intervalo 300-400 m são pouco significativas, representando apenas 4% do total. Os poços mais profundos estão locados em regiões onde o pacote de rochas da FSG é mais espesso, enquanto que os poços mais rasos estão locados em regiões de altitude mais baixa, geralmente próximos a rios e drenagens, bem como em áreas de afloramento das rochas sedimentares.

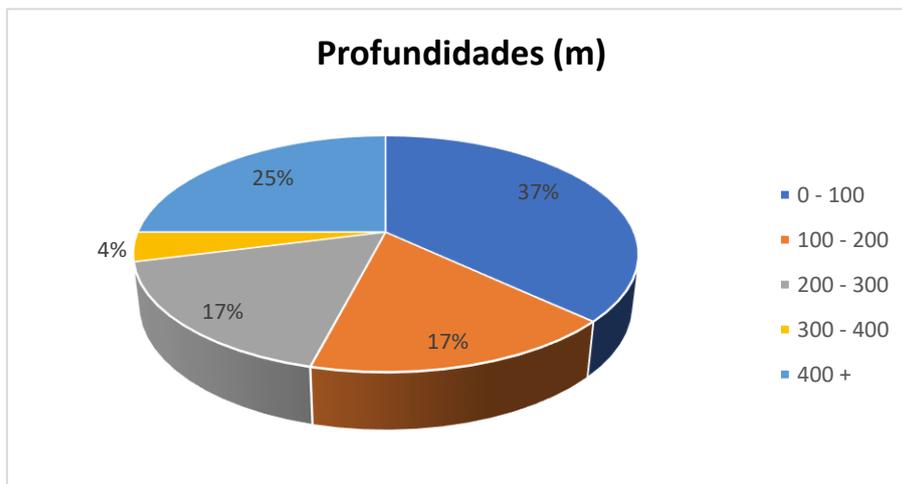


Gráfico 7. Profundidades dos poços do SAG

Quanto ao nível estático, podemos verificar, com a análise do Gráfico 8, que o nível da água se apresenta bastante heterogêneo. Há grandes variações, sendo que a média se encontra nos 107,6 m e mediana 14,1 m, com NE máximo em 560 m e mínimo em 0,14 m. A maioria das medidas é baixa, entre o intervalo de 10 a 20 m. Há também uma parcela significativa (20%) de poços com níveis estáticos maiores que

200 m, que estão correlacionados a poços mais profundos, onde o SAG se apresenta confinado.

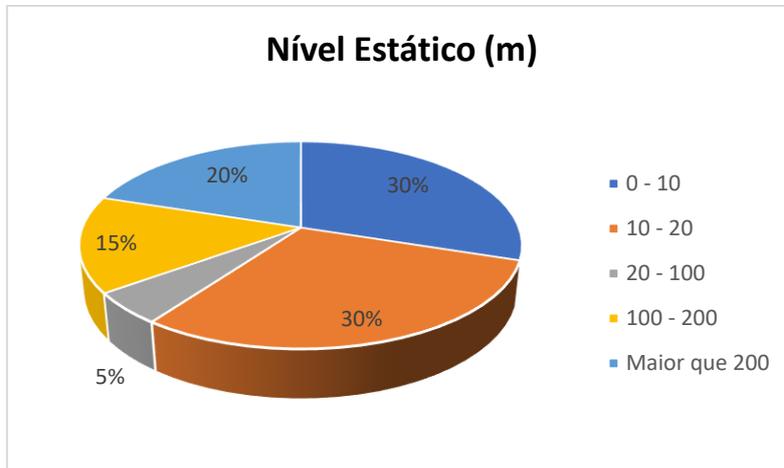


Gráfico 8. Relação dos intervalos de níveis estáticos no SAG.

A capacidade específica dos poços apresenta uma média de $1,08 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e mediana $0,613 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, com máxima de $4,17 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e valor mínimo de $0,17 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Em 50% dos poços a capacidade específica está entre $0,17 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Para valores maiores, 30% entre $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e 20% com valores maiores que $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. O intervalo de variação da capacidade específica do SAG é grande, como observado por Machado (2006), entretanto, fica clara a predominância de valores maiores em relação ao SASG.

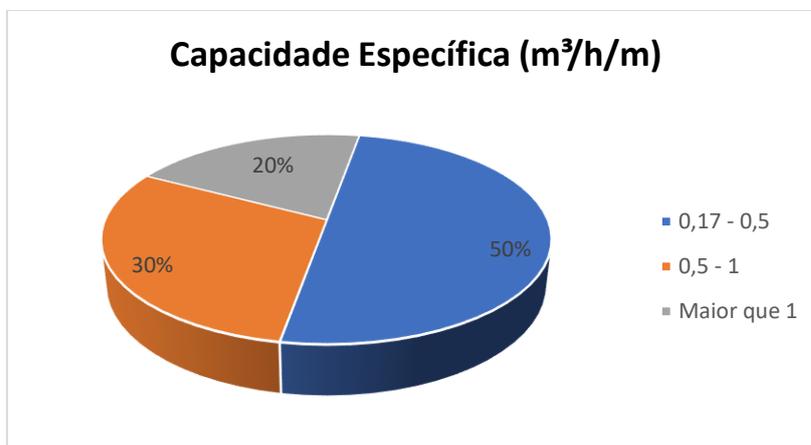


Gráfico 9. Capacidade específica dos poços no SAG.

As vazões dos poços variam de 0,7 m³/h a 70 m³/h, apresentando uma média de 15,5 m³/h e mediana 13,5 m³/h. Essa variação indica que, apesar da tendência de uma mais alta potencialidade do SAG em relação ao SASG, há poços com vazões bastante baixas, que podem ser explicadas em função da ocorrência de anisotropia do aquífero, bem como do tipo e projeto dos poços. De acordo com o Gráfico 10, 19% dos poços produzem até 5 m³/h, 24% apresentam vazões de 5 m³/h a 10m³/h, 28% de 10 m³/h a 20 m³/h, e valores maiores que 20 m³/h são representados por 29% dos poços.

De acordo com a caracterização hidráulica de Diniz (2012), os coeficientes hidráulicos para o SAG indicam uma produtividade classificada em “Geralmente baixa, porém localmente moderada” até valores considerados “Moderados”.

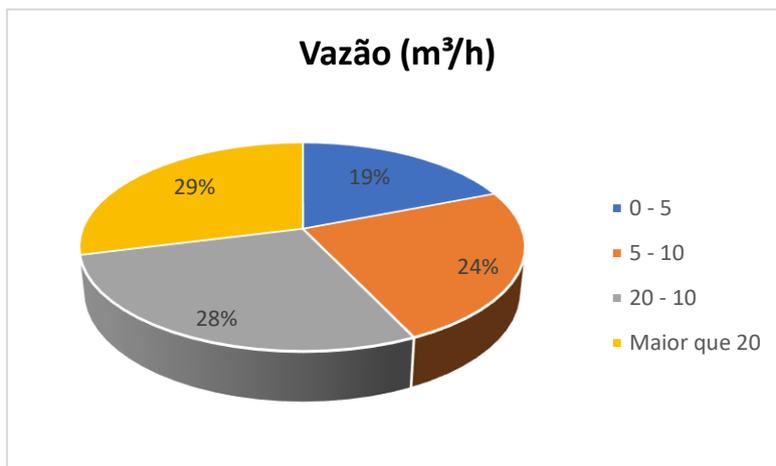


Gráfico 10. Vazões dos poços no SAG.

5.4 Análise Hidroquímica e Avaliação da Qualidade da Água

Através da análise dos dados físico-químicos dos poços cadastrados no banco de dados, foi realizada uma caracterização hidroquímica do município de Nova Petrópolis. Dados físico-químicos de pontos medidos em campo com o uso de sonda multiparâmetro também foram utilizados.

5.4.1. Hidroquímica do SASG no município de Nova Petrópolis

Na Tabela 2 são apresentados os dados estatísticos dos parâmetros de condutividade elétrica (CE), potencial hidrogeniônico (pH) e temperatura das análises físico-químicas relativas aos poços que captam água do SASG.

Tabela 2. Relação dos parâmetros hidroquímicos no SASG.

	Condutividade	pH	Temperatura
Nº de poços	58	65	48
Média	222,14	7,16	20,26
Mediana	215	7,15	20
Valor máx.	490	8,84	24
Valor mín.	69	5,94	18
Desv. Padrão	81,94	0,55	1,31

Foram obtidos 58 dados relativos à condutividade elétrica (CE) dentre os poços catalogados. A CE está relacionada à quantidade de sais dissolvidos na água sob forma de íons. A média dos valores encontrada foi de 222,14 $\mu\text{S/cm}$, mediana de 215 $\mu\text{S/cm}$, enquanto que o valor máximo foi de 490 $\mu\text{S/cm}$ e o mínimo de 69 $\mu\text{S/cm}$, com desvio padrão de 81,94 $\mu\text{S/cm}$. Os valores baixos de CE indicam baixa mineralização, que podem estar relacionados ao baixo tempo de residência das águas no aquífero, rápida circulação da água subterrânea e proximidade com áreas de recarga.

Os valores de pH foram analisados com base na informação de 65 poços, sendo que a média encontrada é igual a 7,16 e mediana 7,15. Os valores variam de 5,94 a 8,84, com desvio padrão igual a 0,55. Esses valores mais elevados em algumas amostras podem estar relacionados às entradas de água mais profundas, as quais tendem a possuir um tempo de residência maior no aquífero, contribuindo positivamente com os processos de mineralização das águas. Valores maiores também podem estar relacionados a ocorrência de minerais de carbonato que preenchem amígdalas e fraturas, bem como com a ocorrência de mistura de águas do SAG com o SASG.

Quanto à temperatura, foram utilizadas informações de 48 poços. A média de temperatura das águas captadas é de 20,26 °C e mediana 20 °C, com valor máximo de 24 °C, correspondentes a poços com entradas de água mais profundas, e valor mínimo de 18 °C. O desvio padrão dos valores obtidos é de 1,31 °C.

A avaliação da classificação das águas subterrâneas do SASG foi realizada com base na análise das amostras provenientes de 20 poços tubulares. Conforme ilustrado no diagrama de Piper (Figura 34).

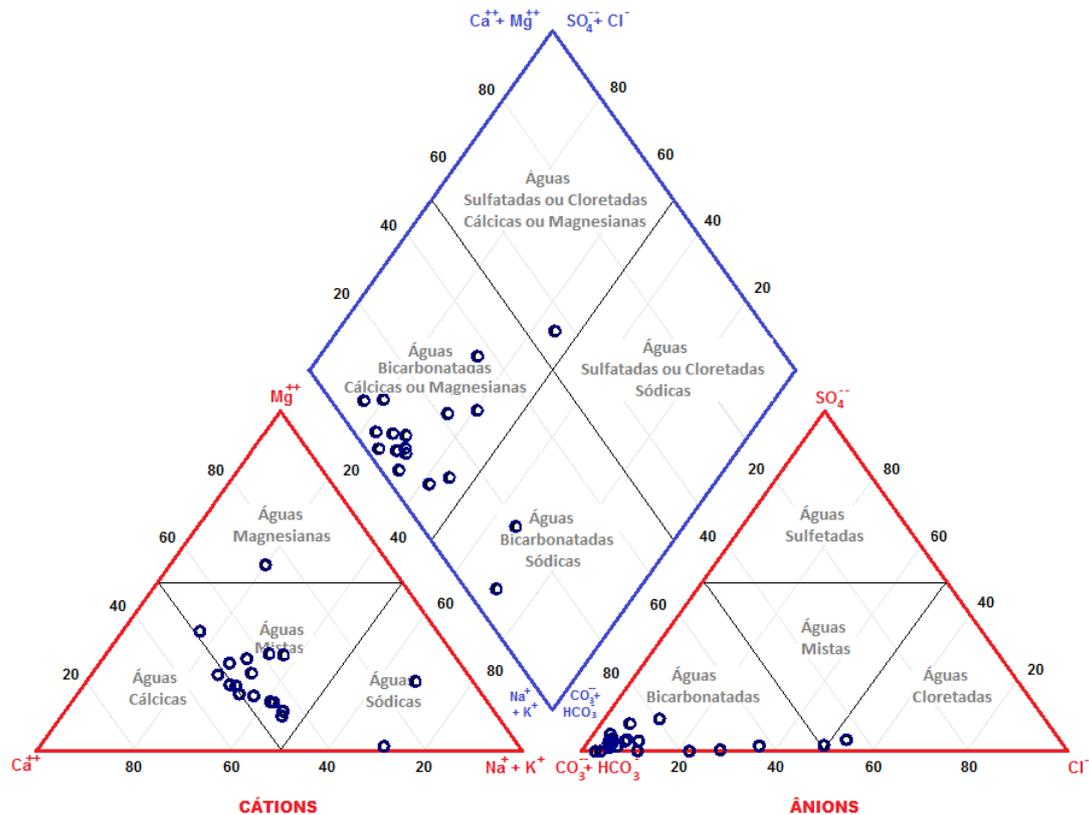


Figura 34. Diagrama de Piper utilizado para classificação das águas do SASG.

As águas são classificadas, em geral, como bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, sendo que a maior parte se encontra no grupo das bicarbonatadas mistas (apresentam variações nas concentrações em entre Ca, Mg e Na), com menor ocorrência de águas bicarbonatadas cálcicas (3 amostras) e 1 amostra bicarbonatada magnesianas. Em menor proporção ocorrem águas do tipo bicarbonatadas sódicas e águas cloretadas cálcicas ou magnesianas. As águas classificadas no grupo de maior abrangência relacionam-se com a composição mineralógica da Fm. Serra Geral, e estão de acordo com o que foi identificado por Reginato *et al.* (2010), em que os autores afirmam que as águas do SASG para a região são, principalmente, bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas. Essa característica reflete a composição química das rochas vulcânicas fraturadas que formam o sistema aquífero, sendo que

a fonte original dos elementos cálcio, magnésio e sódio está associada à alteração dos silicatos presentes nessas rochas. As águas bicarbonatadas sódicas estão associadas a poços com entradas de água mais profundas, as quais têm essa característica pela dissolução de carbonatos.

A amostra de água cloretada cálcica ou magnésiana refere-se ao poço 58 e está em desacordo com as características do SASG, visto que o cloreto não é comum no sistema aquífero.

Na Figura 35 é apresentado o diagrama de Stiff, onde padrões geométricos das amostras analisadas são observados. As geometrias das amostras são típicas do aquífero fraturado, apresentando concentrações variadas de bicarbonatos, cálcio, magnésio e sódio. O diagrama da amostra 80 é indicativo de uma água com baixa mineralização, visto que as concentrações de todos os elementos são baixas. A geometria das amostras 86, 87 e 100 é parecida, e o que difere é o aumento de bicarbonato, cálcio e sódio, indicando maior mineralização na última, possivelmente associada a um maior tempo de residência. A amostra 29 contém concentrações de bicarbonato e magnésio com valores significativamente maiores que o restante das outras. Essas entre as águas analisadas podem ser explicadas em função da circulação e tempo de residência das águas subterrâneas, bem como pelo contato com os minerais que preenchem fraturas e amígdalas.

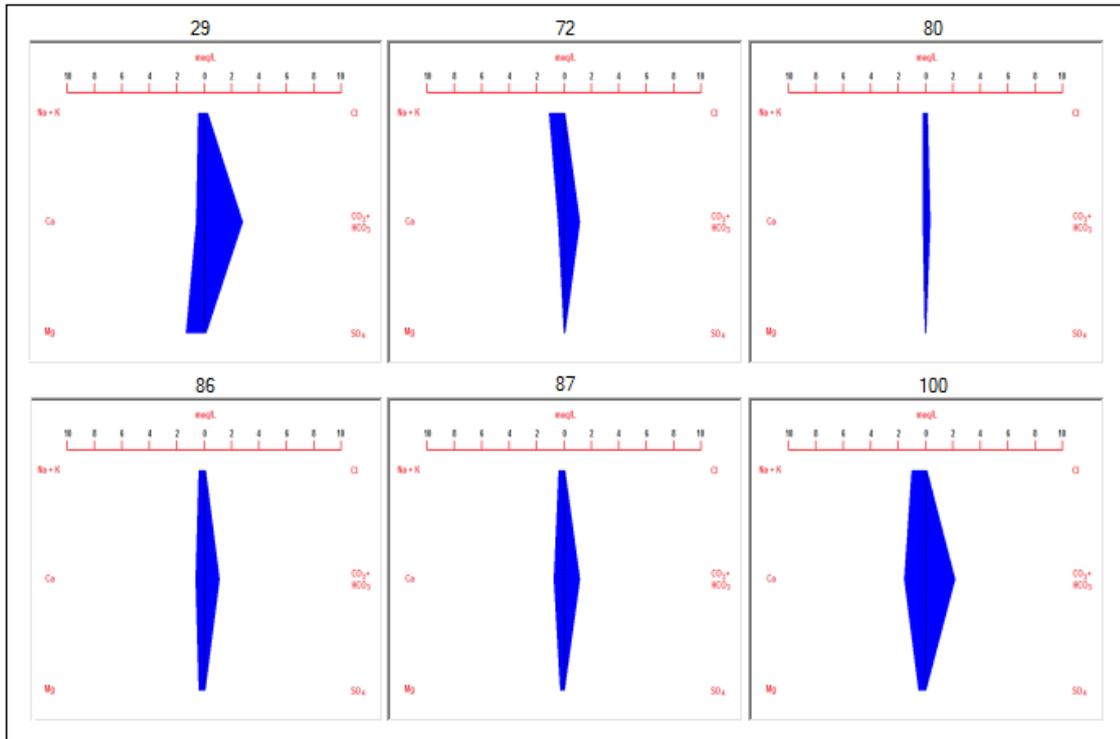


Figura 35. Diagrama de Stiff utilizado para a identificação dos padrões das águas do SASG.

De acordo com o diagrama de Schoeller-Berkaloff (Figura 36), é possível verificar uma tendência composicional semelhante na maioria das amostras de água, as quais foram agrupadas, em geral, na mesma família. Há análises apresentando comportamentos diferentes e que são separadas das demais, como no caso dos valores anômalos de Cl e SO₄.

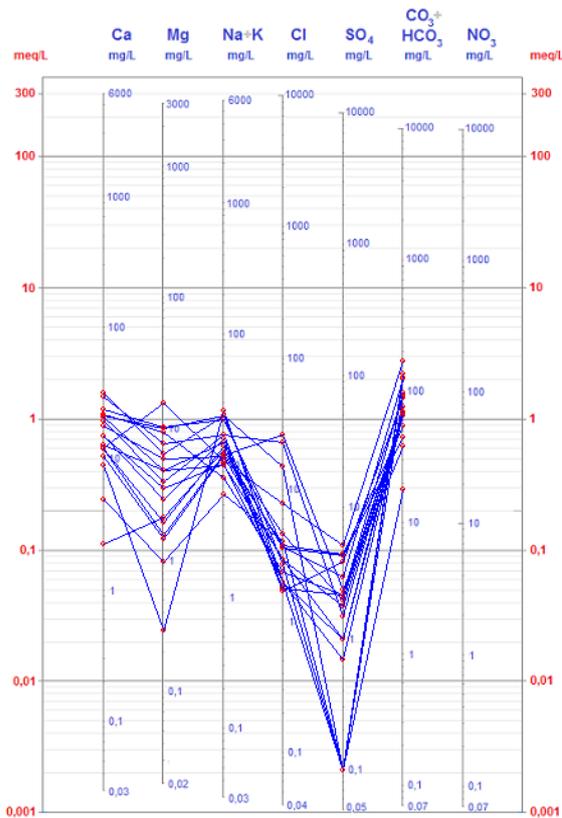


Figura 36. Diagrama de Schoeller-Berkaloff utilizado para a identificação de tendências entre as águas do SASG.

5.4.1.1 Avaliação da Qualidade da Água do SASG

Para identificação dos padrões de potabilidade das águas subterrâneas do município de Nova Petrópolis, foram utilizados os valores de referência definidos na Portaria nº 5, de 28 de setembro de 2017, que se refere às normas e padrões de Potabilidade da Água destinado ao Consumo Humano, observadas em todo o território nacional.

Para análise da qualidade da água, foram avaliadas as concentrações dos parâmetros Nitrato (NO₃⁻), Ferro (Fe), Fluoretos (F⁻) e Manganês (Mn). A Portaria de referência define os valores máximos permitidos (VMP) de nitrato e ferro como 10 mg/L e 0,3 mg/L, respectivamente. O VMP de fluoretos é 1,5 mg/L e o de manganês, 0,1 mg/L. O Gráfico 11 apresenta o número de análises hidroquímicas de poços com informações disponíveis para cada um dos parâmetros utilizados para avaliação da qualidade da água.

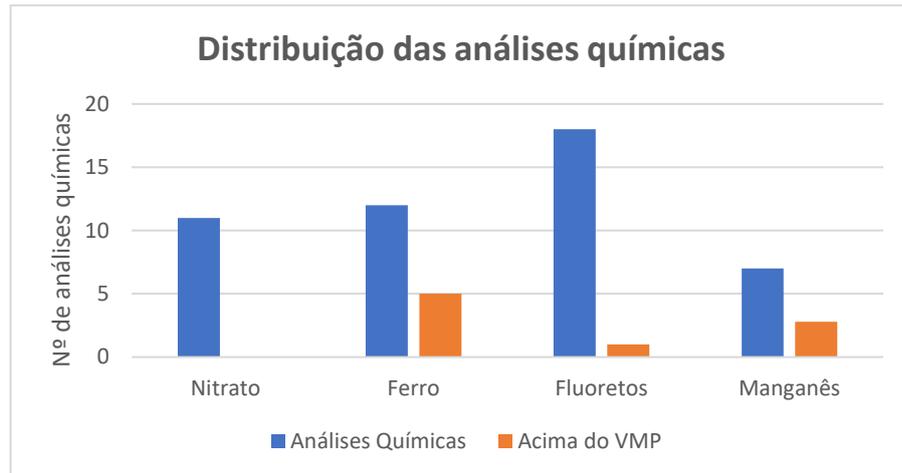


Gráfico 11. Distribuição das análises químicas do SASG

Dos 11 poços com informações sobre o teor de nitrato, todos apresentaram valores dentro do padrão estabelecido pela Portaria nº 5, com valores bem abaixo do máximo permitido (média 1,0 mg/L e mediana 0,83 mg/L). Dos 12 valores para ferro, 5 apresentam concentrações mais altas que 0,3 mg/L. Para fluoreto, das 13 análises, apenas a referente ao poço 72 apresentou valor acima de 1,5 mg/L, com concentração de 3,6 mg/L. O poço se localiza em cota de 632 m e tem 114 m de profundidade, não sendo possível determinar com certeza a causa do valor anômalo, pois não há perfil construtivo.

Valores fora da potabilidade são mais expressivos nas análises de manganês, onde duas das 7 amostras apresentam resultados acima de 0,1 mg/L, representadas pelos poços 88 e 100, com concentrações de 0,1 mg/L e 0,34 mg/L, respectivamente. Segundo Hausman (1995), esses valores altos de manganês nas águas subterrâneas são comuns nos aquíferos fraturados do SASG, originados da reação de intemperismo dos minerais ferro-magnesianos das rochas vulcânicas.

5.4.2 Hidroquímica do SAG no município de Nova Petrópolis

Na Tabela 3 são apresentados os dados estatísticos dos parâmetros de condutividade elétrica (CE), potencial hidrogeniônico (pH) e temperatura das análises físico-químicas relativas aos poços que captam água do SAG.

Tabela 3. Relação dos parâmetros hidroquímicos no SAG.

	Condutividade	pH	Temperatura
Nº de poços	17	18	12
Média	274,18	7,61	20,69
Mediana	249	7,55	21
Valor máx.	546	9,4	22
Valor mín.	99	5,87	17
Desv. Padrão	109,9	0,92	1,38

Foram obtidos 17 dados relativos à CE dentre os poços catalogados. A média dos valores encontrada é 274,18 $\mu\text{S/cm}$, mediana 249 $\mu\text{S/cm}$, enquanto que o valor máximo é de 546 $\mu\text{S/cm}$ e o mínimo 99 $\mu\text{S/cm}$, com desvio padrão de 109,9 $\mu\text{S/cm}$. Esses valores maiores em relação ao SASG podem estar relacionados ao maior tempo de residência da água subterrânea, bem como com o fluxo de água em maiores profundidades, fatores que favorecem a concentração de partículas dissolvidas.

Os valores de pH foram analisados com base na informação de 18 poços, sendo que a média encontrada é igual a 7,61 e mediana 7,55. Os valores variam de 5,87 a 9,4, com desvio padrão igual a 0,92. Esses valores mais elevados em alguns estão relacionados com maiores profundidades, onde o tempo de circulação das águas é maior. Os arenitos podem ter cimentos carbonáticos, que também tendem a aumentar os valores de pH.

Quanto à temperatura, foram utilizadas informações de 12 poços. O valor médio das águas captadas é de 20,69 $^{\circ}\text{C}$, com mediana 21 $^{\circ}\text{C}$. O valor máximo é 22 $^{\circ}\text{C}$ e o mínimo 17 $^{\circ}\text{C}$. O desvio padrão dos valores obtidos é de 1,38 $^{\circ}\text{C}$.

A avaliação da classificação das águas subterrâneas do SAG foi realizada com base na análise das amostras provenientes de 9 poços tubulares. Conforme ilustrado no diagrama de Piper (Figura 37), as águas são classificadas, em ordem de relevância, em: bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, bicarbonatadas sódicas e sulfatadas ou cloretadas sódicas.

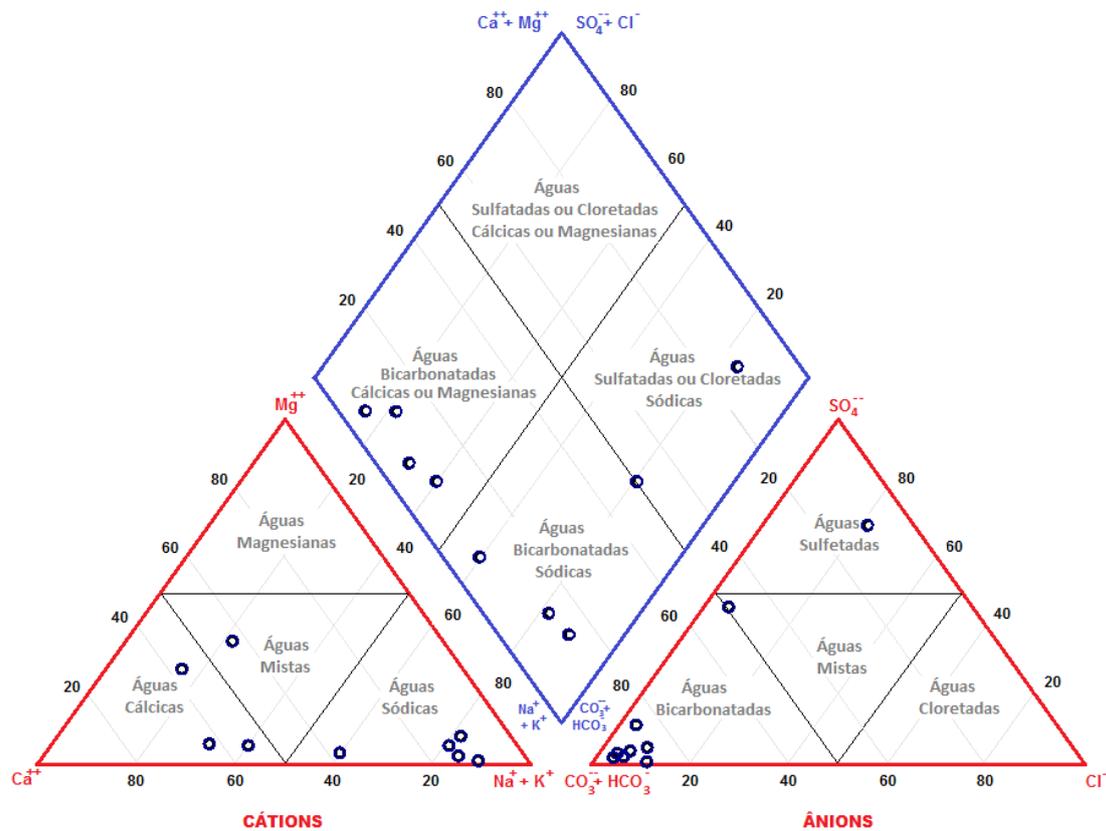


Figura 37. Diagrama de Piper utilizado para classificação das águas do SAG.

Observa-se a presença de três amostras cálcicas e uma amostra mista ($\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$) nas águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas. Esse tipo de água é típico do SAG em regiões próximas à recarga ou com baixo grau de confinamento, bem como do SASG, e sua ocorrência também pode estar relacionada à mistura de águas entre os dois sistemas aquíferos, que pode ser originada nos poços que interceptam os dois aquíferos.

Os dois outros grupos, correspondentes às bicarbonatadas sódicas e sulfatadas ou cloretadas sódicas, correspondem a padrões típicos do aquífero confinado, relacionados a poços mais profundos (até 722 m) e com maior grau de confinamento, como reconhecido por Matos *et al.* (2016), na região. Essa variabilidade hidroquímica pode ter relação com o grau de confinamento provocado pelas variações nas espessuras do pacote de rochas vulcânicas, bem como pelas condições de fluxo e circulação da água subterrânea e tempo de residência.

O diagrama de Stiff é apresentado na Figura 38, onde padrões geométricos das amostras analisadas podem ser observados. As geometrias das amostras são, em

geral, mais diversificadas que as do SASG, apresentando valores de maior concentração para sódio e sulfatos. As análises 106 e 112 possuem um comportamento bastante parecido, diferenciadas basicamente pela concentração de bicarbonatos. As análises 103, 111 e 118 também possuem formatos semelhantes, onde a amostra 17, referente a um poço de 529 m e com 350 m de espessura do pacote de rochas vulcânicas, difere-se das demais pelas concentrações maiores de Na + K. A amostra 102 também é respectiva de poço profundo, confinado por camada espessa de rochas e com 1000 m de profundidade. Apresenta um comportamento diferente das demais por conter concentrações maiores de SO_4 .

Essas variações podem ser explicadas em função do confinamento do SAG e do tempo residência das águas subterrâneas. As análises com concentrações maiores de carbonato (poços 106 e 112) são relacionadas às características do SAG na região livre, onde suas geometrias mostram uma tendência bicarbonatada.

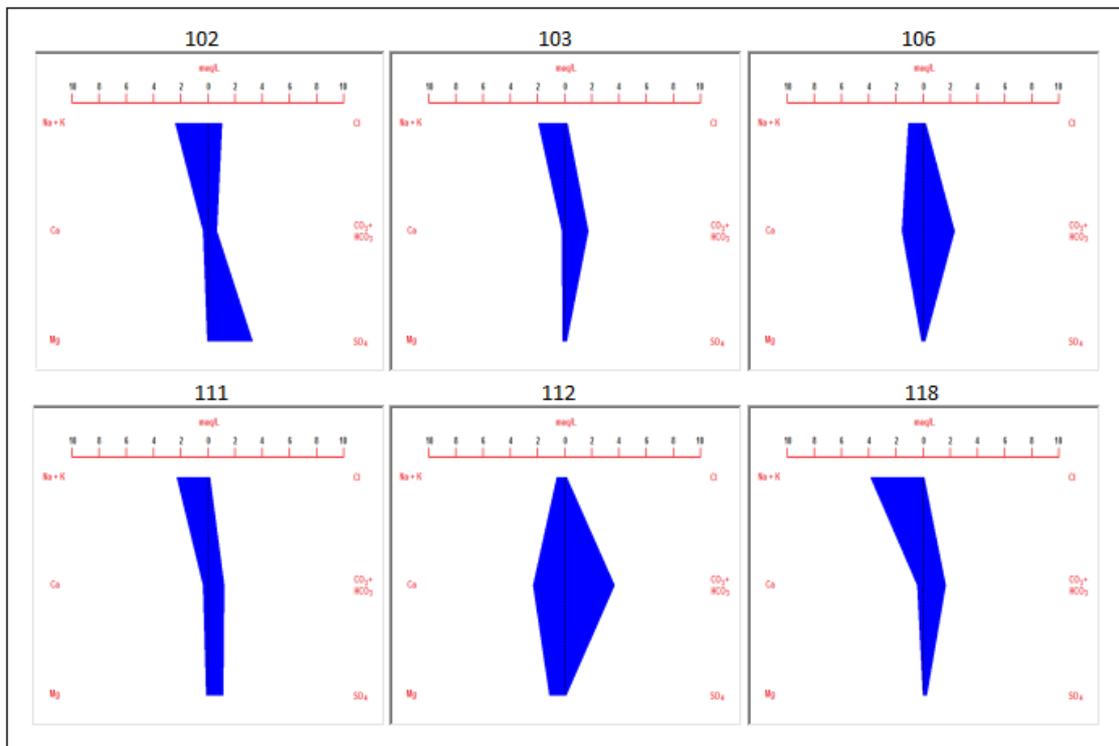


Figura 38. Diagrama de Stiff utilizado para a identificação dos padrões das águas do SAG.

De acordo com o diagrama de Schoeller-Berkaloff (Figura 39), é possível verificar uma tendência composicional semelhante nas amostras de água, as quais foram agrupadas, quase que em sua totalidade, na mesma família. Há análises com valores de concentrações anômalas de sulfatos e cloretos, que estão relacionadas a poços mais profundos, bem como amostras com valores altos de magnésio, os quais também foram identificados nos outros tipos de diagramas. Os valores mais altos de magnésio podem ser explicados por intrusões de rochas básicas nos arenitos, que foram analisadas nos perfis dos poços.

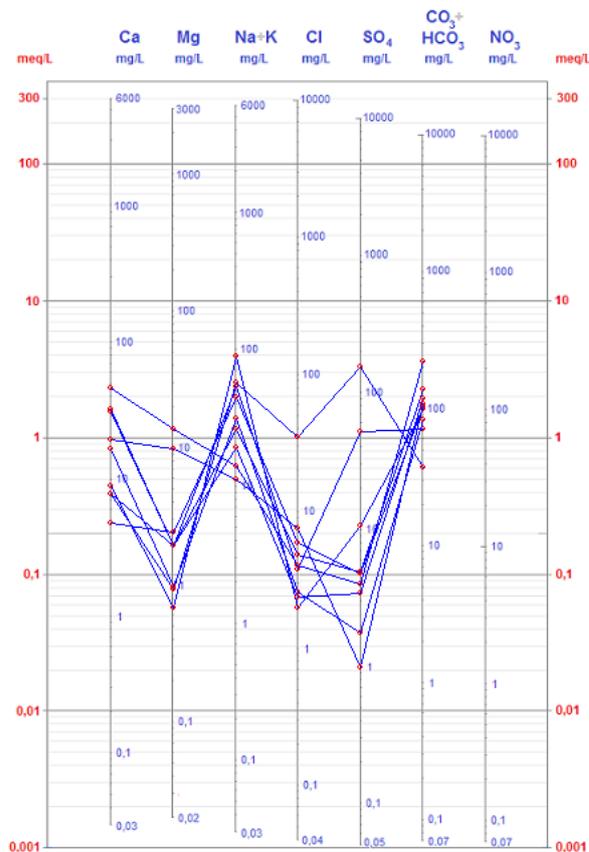


Figura 39. Diagrama de Schoeller-Berkaloff utilizado para a identificação de tendências entre as águas do SAG.

5.4.2.1. Avaliação da Qualidade da Água do SAG

Os valores de referência para potabilidade da água do SAG também foram analisados levando em consideração a Portaria nº 5, de 28 de setembro de 2017. Para análise da qualidade da água, foram avaliadas as concentrações dos parâmetros

Nitrato (NO_3^-), Ferro (Fe), Fluoretos (F^-) e Manganês (Mn), usando como referência os mesmos valores.

De acordo com o Gráfico 12, onde é possível observar a quantidade de poços avaliados e os que apresentaram valores fora do padrão de potabilidade nas análises hidroquímicas do SAG. Foi observado que dos 9 poços com informações sobre o teor de nitrato, todos apresentaram valores bastante abaixo do padrão estabelecido pela Portaria nº 5, com máximo de 1,11 mg/L, assim como os valores de ferro, onde as 4 análises também se encontram abaixo do VMP, com máxima de 0,15 mg/L. Para fluoreto, das 8 análises, duas apresentaram valores acima dos 1,5 mg/L, com concentrações de 3,1 mg/L e 4 mg/L, correspondentes a poços profundos no SAG. No caso do elemento manganês, dos 5 valores obtidos, apenas o poço 12, com profundidade de 156 m e localizado próximo à drenagem na região oeste do município, se encontra acima do VMP, com concentração de 0,95 mg/L.

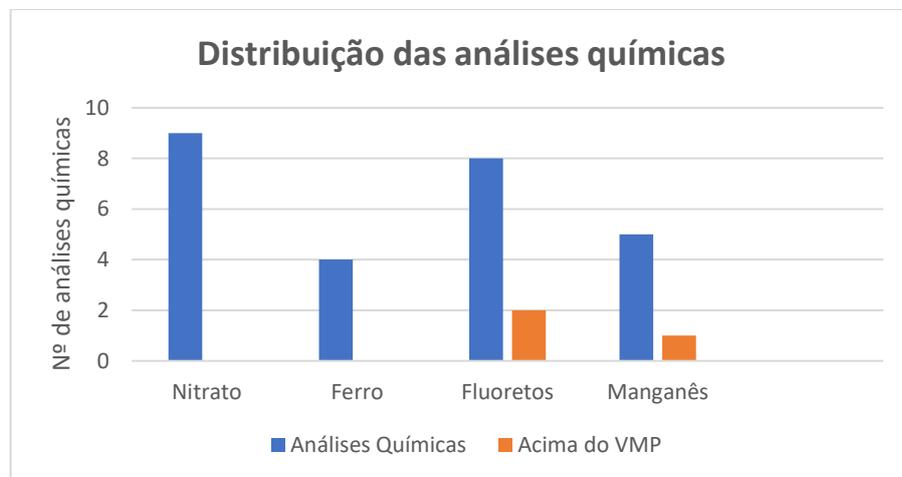


Gráfico 12. Distribuição das análises químicas do SAG.

5.5 Avaliação da Potencialidade Hidrogeológica e de Áreas com Maior Produtividade de Poços

De acordo com a classificação de Diniz (2012), o intervalo de coeficientes hidráulicos mais representativo para o SASG é classificado como "Geralmente muito baixa, porém localmente baixa". Para o SAG, a classificação se enquadra em "Geralmente baixa, porém localmente moderada". As áreas de menor cobertura de

rochas vulcânicas e associadas a vales mais profundos, no setor oeste do município, tendem a apresentar diferentes capacidades de produção. Essa diferença de potencialidade pode ser influenciada pela proximidade das rochas sedimentares e pelo aumento do fraturamento das rochas vulcânicas.

Os locais onde se encontram poços de maior produtividade têm uma correlação direta com lineamentos de grande porte de orientação N40-50E, N50-60W e N40-50W, tanto para o SASG quanto para o SAG. Observa-se que a interceptação de lineamentos NW e NE favorece a interconexão da água subterrânea das diferentes estruturas.

Há poucos poços que captam água do SAG, na região, além de não haver informações sobre o setor leste do município, fatores que dificultam uma correlação precisa com a profundidade do topo do sistema aquífero e dos locais com maior produtividade. De acordo com os perfis elaborados com os dados mais representativos, o setor leste tende a apresentar uma menor espessura de rochas vulcânicas, favorecendo perfurações profundas que interceptam o aquífero poroso.

A partir da verificação estatística dos dados de capacidade específica e vazão e da correlação desses parâmetros com as orientações preferenciais de lineamentos, bem como o porte e o cruzamento dessas estruturas, foram elaborados mapas com a definição de locais destacados onde há ocorrência de maior produtividade dos poços, bem como de estruturas mais favoráveis à realização de estudos de detalhe para a locação de novos poços (Figuras 40 e 41).

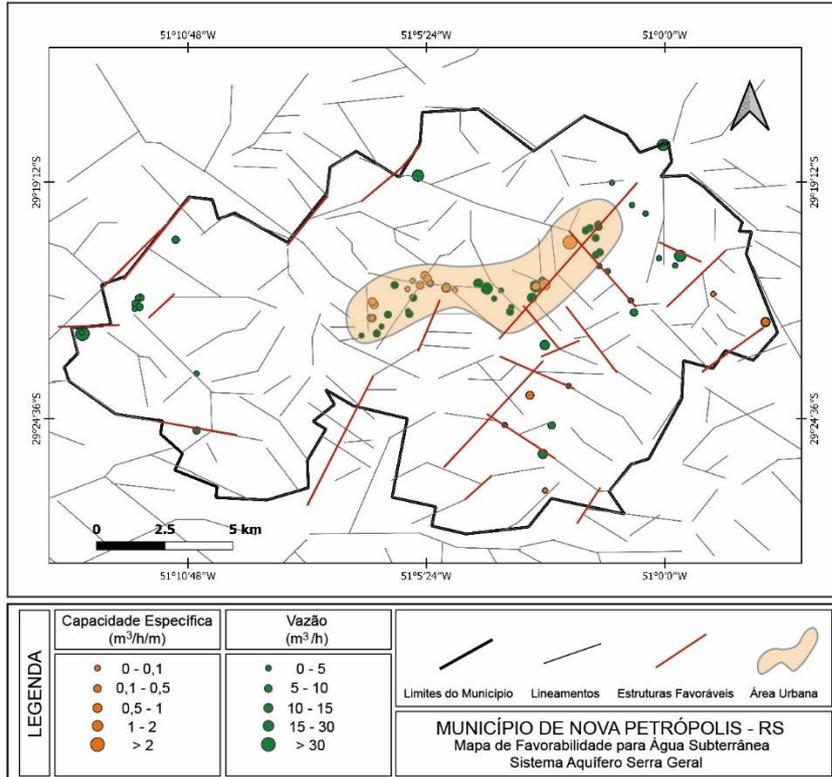


Figura 40. Mapa de avaliação das áreas mais favoráveis à locação de novos poços no SASG.

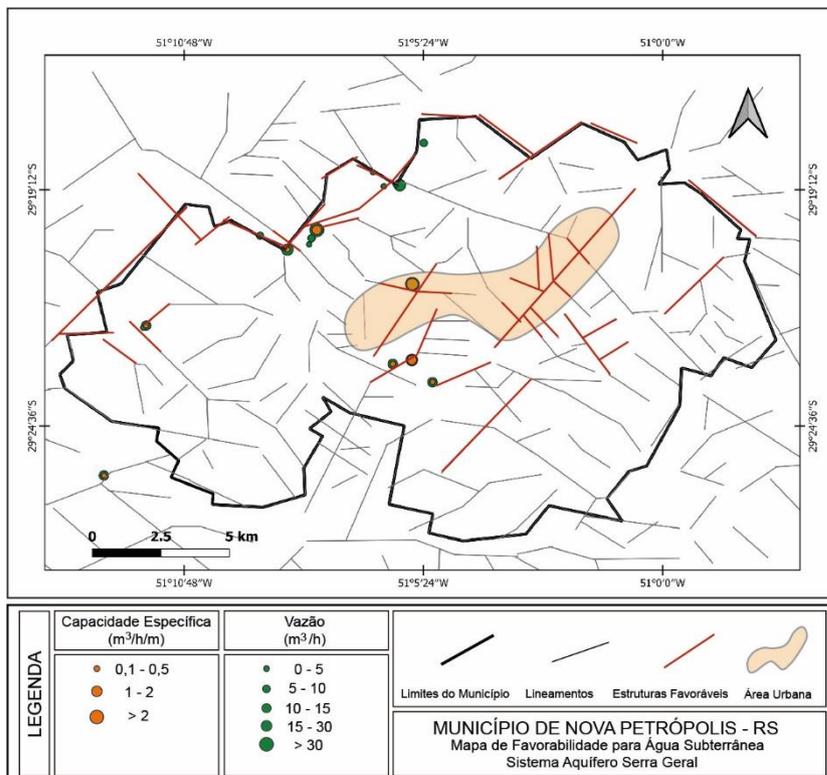


Figura 41. Mapa de avaliação das áreas mais favoráveis à locação de novos poços no SAG.

O maior potencial hídrico dos poços na zona central do município está associado aos lineamentos de maiores dimensões, tanto para o SASG quanto para o SAG. As regiões demarcadas como mais favoráveis estão associadas próximas às drenagens, onde o SAG encontra-se aflorante, bem como em locais próximos a lineamentos maiores e com interceptação de estruturas de orientações N40-50E, N50-60W e N40-50W. A região leste apresenta relevo menos dissecado, favorecendo o encontro do SAG em superfície, bem como a parte nordeste, em que o Rio Caí delimita o perímetro do município.

Na área urbana do município, local onde já existe uma grande quantidade de poços, novas perfurações devem ser realizadas com cautela após estudos de detalhe sobre a possibilidade de ocorrência de interferência entre poços e problemas de superexploração. Estruturas produtivas localizadas próximas à margem do Rio Caí estão relacionados a poços com grande potencial hídrico, que apresentam vazões, em geral, acima de 15 m³/h.

Conforme observado em campo e nas análises dos perfis construtivos dos poços, é importante levar em conta os locais de contato entre camadas e derrames de rocha, zonas alteradas, zonas de brecha e regiões com abundância de amígdalas e vesículas. Essas características tendem a favorecer o fluxo de água do poço, assim como regiões onde o relevo é menos dissecado, uma vez que a recarga por infiltração acontece com maior facilidade.

Um levantamento geofísico com o método de caminhamento elétrico foi pela Corsan (2016), com intuito de encontrar um local suscetível à perfuração de novos poços. A área escolhida para a pesquisa faz parte do Bairro Germânia, na porção oeste de Nova Petrópolis. O critério da instalação foi definido com base na continuidade de dois lineamentos geológicos, os quais não foram destacados no mapa como potencialmente produtivos. As perfurações tiveram como resultados poços secos. Estudos de eletrorresistividade para a avaliação das fraturas são válidos próximos às regiões demarcadas, visto que também podem ser úteis para uma melhor delimitação do topo do SAG na região.

6 CONCLUSÃO

Constatou-se que, no município de Nova Petrópolis, o abastecimento de água é feito, quase que em sua totalidade, com uso de água subterrânea dos Sistemas Aquíferos Serra Geral (SASG) e Guarani (SAG). A captação de água é utilizada, principalmente, para abastecimento doméstico e comunitário, contudo também foram identificados usos distintos, como para atividades industriais e comerciais.

A caracterização geológica do município constatou que, em altitudes acima de 510 m, há predominância de rochas de composição riodacítica, enquanto que, em afloramentos localizados em altitudes mais baixas, as rochas possuem composição basáltica. Esse pacote espesso de rochas vulcânicas corresponde ao SASG e é constituído por aquíferos fraturados heterogêneos associados a estruturas presentes, como descontinuidades físicas, fraturas e falhas. O SAG é um aquífero poroso, está associado às rochas sedimentares da Fm. Botucatu e encontra-se, quase que em sua totalidade, confinado pelas rochas vulcânicas da Fm. Serra Geral. A profundidade de captação desse sistema aquífero é bastante distinta na área do município, podendo ser encontrados poços instalados em área aflorante, nas regiões oeste, noroeste e norte do município, próximo ao Rio Caí. Também em locais onde o mesmo se encontra confinado em grandes profundidades, na região mais central.

Através dos dados obtidos na etapa de campo e da interpretação de imagens SRTM e ASTER, constatou-se que as orientações dos lineamentos se concentram em dois quadrantes principais, sendo eles NW, especialmente nos intervalos N50-60W, N40-50W, e NE, onde os principais intervalos correspondem a N40-50E e N30-40E.

O SASG na região é captado por poços tubulares que apresentam, em sua maioria, profundidades inferiores a 150 m, apresentando, em geral, duas entradas de água localizadas em profundidades inferiores a 75 m. O NE está localizado próximo à superfície, indicando que as águas se encontram sob pressão nas fraturas. Já as capacidades específicas são, em geral, baixas, inferiores a $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, sendo que os poços com valores mais elevados para esse parâmetro e para vazão estão relacionados a estruturas de grande porte.

As águas subterrâneas do SASG apresentam valores médios de CE e pH de 222,14 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 7,16, respectivamente. São classificadas, em sua maioria, como águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas. Há ocorrência de águas bicarbonatadas sódicas, bem como de maiores valores de CE e pH, sendo que essas

ocorrências podem estar relacionadas com os diferentes tempos de residência das águas, proximidades de área de recarga ou até com misturas com o SAG.

A maioria dos poços do SAG possuem profundidades inferiores a 100 m, que estão geralmente locados em regiões de altitudes baixas, próximos a rios, drenagens e afloramentos de rochas sedimentares. Quanto ao nível estático, a maioria das medidas é baixa, entre o intervalo de 10 a 20 m. Os poços instalados no SAG confinado possuem valores mais altos, que chegam até 560,5 m. A capacidade específica dos poços apresenta uma média de 1,08 m³/h/m e são significativamente mais produtivos quando em comparação ao SASG.

As análises hidroquímicas do SAG indicam valores médios de 274,18 µS/cm para CE. Essa média mais alta em relação ao SASG pode estar relacionada com o maior tempo de residência da água subterrânea, visto que o aquífero se encontra confinado na maior parte da região. Para pH a média encontrada também é mais alta, com valor igual a 7,61. As águas são classificadas, em sua maioria, em bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas (poços localizados próximos à recarga ou em áreas com baixo grau de confinamento), ocorrendo com menor predominância águas bicarbonatadas sódicas e sulfatadas ou cloretadas sódicas (poços mais profundos que captam água de aquíferos confinados).

A potabilidade da maioria das águas analisadas nos dois sistemas aquíferos se encontra dentro dos padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde. No entanto, há alguns poços que apresentam problemas com relação à ocorrência de ferro, manganês e fluoreto.

Com base nos dados dos poços já instalados na região de Nova Petrópolis e arredores, foram definidas áreas de maior produtividade. Os lineamentos mais produtivos têm orientação N40-50E, N50-60W e N40-50W, e tendem a possuir correlação direta de produtividade com estruturas de maior porte que se interceptam.

Estudos mais detalhados acerca dos parâmetros hidrogeológicos e hidroquímicos da região são recomendados para perfurações futuras, visto a necessidade de suprir a demanda que aumenta juntamente com o desenvolvimento do município. Com a perfuração de novos poços profundos, o mapeamento dos contatos dos dois sistemas aquíferos poderá ser realizado com maior detalhamento, favorecendo futuras captações do aquífero confinado.

7 REFERÊNCIAS

Betiollo, L. M. 2006. *Caracterização estrutural, hidrogeológica e hidroquímica dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

Boff, F. E. et al. 2017. *Caracterização Hidroquímica das Águas Minerais da Serra do Nordeste Gaúcho*. In: XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo.

Bortolon et al. 2016. *Análise preliminar das características hidrogeoquímicas do Sistema Aquífero Guarani na região nordeste do Rio Grande do Sul*. Revista Águas Subterrâneas.

Bortolon et al. 2018. *Compartimentação hidrogeológica do Sistema Aquífero Guarani na escarpa da serra geral no nordeste do RS*. Revista Águas Subterrâneas.

Christ, R. S. 2019. *Compartimentação Hidrogeológica do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e Sistema Aquífero Guarani (SAG): Um estudo na região da escarpa basáltica nordeste do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Unisinos. São Leopoldo.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2005. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. Volume 3: edição revisada e ampliada. CPRM, 835p.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2008. MME. *Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Sul*. In: Programa geologia do Brasil. Mapas estaduais 1:750.000-SIG. Formato em DVD.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2010. *Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul: Programa Geologia do Brasil*. Porto Alegre.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2012. *Recursos Hídricos Subterrâneos: Levantamento de Recursos Hídricos Subterrâneos. Sistema Aquífero*

Guarani no Estado do Rio Grande do Sul.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2018. *Sistema de Informações de Águas Subterrâneas*. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/index.php>>. Acesso em: 5 out. 2018.

Davis, S. N. 1969. Porosity and permeability of natural materials. *In: Flow through porous media*. New York: Academic Press, p. 54-89.

Dias. 2013. *Caracterização Estrutural e Hidrogeológica do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na região de Carlos Barbosa (RS)*. Trabalho de Conclusão de Curso, Programa Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Diniz, J. A. O. *et al.* 2012. *Metodologia para elaboração de mapas hidrogeológicos*. Pesquisadores em Geociências do Serviço Geológico do Brasil - SUREG - RE. Afogados, Recife.

Fernandes, A. J. 2008. Aquíferos Fraturados: *Uma Revisão dos Condicionantes Geológicos e dos Métodos de Investigação*. Revista do Instituto Geológico. São Paulo.

Fernandes, A. J. *et al.*, 2012. *Análise de fraturas dos basaltos do Aquífero Serra Geral e o potencial de recarga regional do Sistema Aquífero Guarani*. Instituto Geológico - SMA. São Paulo.

Freitas, M. A. &, Caye, B. R., Machado, J. L. F. 2003. Projeto Oeste de Santa Catarina: *Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do Estado de Santa Catarina*. Porto Alegre: CPRM/SDM-SC/SDA-SC/EPAGRI, 110p.

Frenzel, M. G. 2016. *Avaliação Hidrogeológica do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na região de Garibaldi, RS*. Trabalho de Conclusão de Curso, Programa Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Funceme. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Qualigraf. 2019. Disponível em <<http://www3.funceme.br/qualigraf>> Acessado em: 21 abr. 2019.

Gastmans, D. 2005. *Avaliação da Hidrogeologia e Hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Estado de Mato Grosso do Sul*. Revista Águas Subterrâneas.

Giardin, A; Faccini, U. F. 2011. Identificação de Células de Fluxo Local no Aquífero Botucatu: *Estudo de Caso no Vale do Rio Taquari, RS, Brasil*. Águas Subterrâneas. Revista Águas Subterrâneas, v. 25, n. 1, p. 15-28.

Hausman, A. 1960. Estudo das possibilidades de água subterrânea do Rio Grande do Sul. *In: BOLETIM DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA*, v. 1, p. 31-41.

Hausman, A. 1995. Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul, RS. Estudos Tecnológicos: *Acta Geológica Leopoldensia*, Série Mapas. n. 2, p. 1-127.

Heine, C. A. 2004. *Avaliação preliminar da sustentabilidade do Sistema Aquífero Guarani no Município de Ivoti - RS*. Revista Águas Subterrâneas.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2014. Disponível em: <<http://ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=downloads>>. Acessado em: 3 out. 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2018. Disponível em: <<http://ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 out. 2018.

Kimmelman & Silva, A. A., Rebouças, A. C., Santiago, M. M. F., 1989. *C Analysis of groundwater from the Botucatu aquifer system in Brazil, Radiocarbon*. v. 31, n. 3, p. 926-33.

Lisboa, N.A. 1996. *Fácies, estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos, em unidades hidrogeológicas do sistema aquífero Serra Geral, na bacia do Paraná, Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 135p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do

Rio Grande do Sul.

Lisboa, N. A.; Dani, N.; Remus, M. V. & Castro, J. 2004. Síntese da Ocorrência Geológica das Águas Subterrâneas do Rio Grande do Sul. *In Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.*

Machado, J.L.F., Freitas, M.A, 2005. *Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul.* Companhia de Pesquisa de recursos Minerais (CPRM).

Machado, P.A.L., Malheiros, 2006. *Direito Ambiental Brasileiro.* 14 ed.

Matos, A. B. *et al.* 2016. *Análise preliminar das características hidrogeoquímicas do Sistema Aquífero Guarani na região nordeste do Rio Grande do Sul.* Revista Águas Subterrâneas.

Melfi, A.J.; Piccirillo, E. M.; Nardy, A.J.R. 1988. Geological and magmatic aspects of the Parana Basin: an introduction. *In: Piccirillo E.M. e Melfi, A.J. 1988. The Mesozoic Flood Volcanism of the Parana Basin: petrogenetic and geophysical aspects.* São Paulo, USP, p. 1-14.

Milani, E. J. 1997. *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental.* Porto Alegre. 2 v. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Milani, E. J. 2004. *Comentários sobre a origem e a evolução tectônica da Bacia do Paraná.* *In: Mantesso & Neto, Bartorelli, A. Geologia do Continente Sul-Americano: a evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.* São Paulo.

Milani, E.J., Melo, J.H.G., Souza, P.A., Fernandes, L.A., França, A.B. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v. 15, n. 2, p. 265-287.

Mizuno, M. G. M. 2012. *Hidroquímica das águas subterrâneas do Distrito Federal.* Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências - IG, Universidade de Brasília -

UNB. Brasília.

Mobus, FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. 2002. Qualigraf. Disponível em: <<http://www3.funceme.br/qualigraf/mi/midia/show/3>> Acessado em: 18 out. 2018.

RADAM/BRASIL. 1986. Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguiana e SI.22 Lagoa Mirim: *Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso Potencial da Terra*. Levantamento de Recursos Naturais, v. 33. 1986. Rio de Janeiro, IBGE 796p.

Rebouças, A. C. 1988. Groundwater in Brazil. *Episodes*, v. 11, p. 209-214.

Reginato, P.A.R. & Strieder, A. J. 1999. Integração De Dados Na Prospecção De Aquíferos Fraturados Em Parte Da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (Rio Grande Do Sul). *In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA, V GISBRASIL, 99., 1999, Salvador. Anais CD-ROM.*

Reginato, P.A.R. 2003. *Integração de Dados para Prospecção de Aquíferos Fraturados em Trecho da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (RS)*. Porto Alegre, 254p. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Reginato, P.A.R.; Strieder, A.J. 2004. Caracterização Hidrogeológica e Potencialidades Dos Aquíferos Fraturados da Formação Serra Geral na Região Nordeste Do Estado Do Rio Grande Do Sul. *In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, ABAS, 2004. Anais CD-ROM.*

Reginato, P.A.R., Strieder, A.J. 2006. Caracterização Estrutural dos Aquíferos Fraturados da Formação Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geociências*. 36(1):13-22.

Reginato, P.A.R. *et al.* 2010. *Caracterização hidrogeológica e hidroquímica do*

aquífero livre localizado no manto de alteração da Formação Serra Geral, na bacia hidrográfica Taquari-Antas, região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Revista Ambiente & Água.

Reginato, P. A. R. *et al.* 2012. *Caracterização hidrogeológica e hidroquímica do aquífero livre do manto de alteração da Formação Serra Geral, na bacia hidrográfica Taquari-Antas, região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Ambi-Água, v. 7, n. 2, p. 143-162.*

Reginato, P.A.R. *et al.* 2013. *Hidrogeologia e hidroquímica dos aquíferos fraturados associados às rochas vulcânicas ácidas no Município de Carlos Barbosa (RS). Revista Ambiente & Água.*

Roisenberg, A. 1990. *Petrologia e Geoquímica do Vulcanismo Ácido Mesozóico da Província Meridional da Bacia do Paraná.* Porto Alegre, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Roisenberg, A.; Viero, A.P. 2002. O Vulcanismo Mesozoico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. *In: Holz, M.; De Ros, L.F. (Edit.). Geologia do Rio Grande do Sul.* Porto Alegre: CIGO/UFRGS. Porto Alegre, 444p.

Rosa Filho, E. F. *et al.* 1987. Contribuição ao estudo das águas subterrâneas nos basaltos no Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências.*

Samberg, J.R.D. 1980. *Estudo Hidrogeológico nas Províncias Geomorfológicas do Rio Grande do Sul.* Tese de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Struckermeir, W. F. & Margat, J. 1995. Hydrogeological maps: *a guide and a standard legend.* IAH. International Contributions to Hydrogeology. Vol 17-1995. International Association of Hydrogeologists.

Trevisan, C.; Reginato, Pedro A. R. 2019. Análise e Caracterização Hidrogeológica

das Unidades Vulcânicas Gramado e Palmas/Caxias (RS). *In.* XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS. Bento Gonçalves.

Wildner, W.; Ramgrab, G. E.; Lopes, R.C.; 2008. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM.

Zalan, P.V.; Wolff, S.; Conceição, J.C.J., Marques, A.; Astolfi, M.A.M.; Vieira, I.S.; Appi, V.T.; Zanotto, O.A. 1990. Bacia do Paraná. *In:* Raja Gabaglia, G.P. & Milani, E.J. (Coords.) Origem e Evolução das Bacias Sedimentares. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, p. 135-168.

ANEXOS

Anexo A - Banco de dados Hidrogeológicos

Código	Situação do Poço	Sistema Aquíf.	UTMs	UTMe	Cota Topo	Cota Base	Prof. Final	Nível Est.	Cota NE	Capac. Esp.	Vazão
1	Bombeando	SASG	6752243	495609	610	550	60	2	608	0,725	5,8
2		SASG	6753050	500388	563	446	117	6,3	556,7		1,2
3	Parado	SASG	6750831	489276	564	486	78	1	563	0,41	2
4	Bombeando	SASG	6752489	491311	565	435	130	5	560	0,267	4
5	Bombeando	SASG	6751401	489352	525	419	106	5,6	519,4	0,125	3,7
6	Parado	SASG	6748160	478270	55	-97,4	152,4	5	50		
7	Seco	SASG	6750775	493079	623	563	60				
8	Seco	SASG	6750827	493119	624	467	157				
9	Parado	SASG	6752192	493971	669	567	102				
10	Seco	SASG	6754300	497500	540	430	110				
11	Seco	SASG	6750252	489320	602	442	180				
12	Bombeando	SASG	6752628	491204	571	456	115	8	563	0,235	8
13	Bombeando	SASG	6752399	490760	520	360	160	1	519	0,032	4,2
14	Bombeando	SASG	6751688	490786	562	417	145	24	538		6,8
15	Bombeando	SASG	6752167	495279	612	532	80	3	609	0,39	15,2
16	Seco	SASG	6753457	500571	544	489,5	54,5	2,1	541,9		17
17	Bombeando	SASG	6753354	499793	535	425	110	26,9	508,1		1,7

18	Parado	SASG	6756541	498069	532	435	97	18,8	513,2		3
19	Bombeando	SASG	6754674	497576	531	431	100	18,6	512,4		7
20	Bombeando	SASG	6752806	497909	516	336	180	58,9	457,1		1,8
21	Seco	SASG	6750330	500895	770	470	300				
22	Bombeando	SASG	6754760	497531	541	421	120	28,9	512,1		1,7
23	Bombeando	SASG	6754211	497475	544	434	110	17,6	526,4		5,1
24	Bombeando	SASG	6754527	497105	529	419	110	21,9	507,1		8,2
25	Bombeando	SASG	6753607	497620	546	473	73	10,4	535,6		7
26	Bombeando	SASG	6753506	497488	533	439	94	16,4	516,6		5,3
27	Bombeando	SASG	6754777	497568	543	455	88	12,8	530,2		6
28	Bombeando	SASG	6754630	497258	529	436	93	13,6	515,4		6
29	Bombeando	SASG	6758130	499944	196	14	182	26,6	169,4		18,08
30	Bombeando	SASG	6755238	499301	539	490	49	4,60	534,4		1,2
31	Bombeando	SASG	6746315	495860	620	500	120	14,8	605,2		10
32	Bombeando	SASG	6747971	496484	618	498	120	21,7	596,3		3,2
33	Bombeando	SASG	6745110	495536	613	475	138	19,9	593,1		12
34	Bombeando	SASG	6743566	495619	390	284	106	16	374	0,035	2,4
35	Bombeando	SASG	6749699	495604	617	505	112	10,5	606,5		12
36	Seco	SASG	6746351	494234	467	229	238				
37	Seco	SASG	6747627	495055	621	511	110	18,9	602,1		2,1
38	Bombeando	SASG	6751302	494384	597	517	80	15,4	581,6		1,5
39	Bombeando	SASG	6751652	493750	689	602	87	9,7	679,3		4
40	Bombeando	SASG	6755600	498803	549	429	120	17,6	531,4		4
41	Bombeando	SASG	6751997	494003	664	472	192	47,6	616,4		3,2
42	Bombeando	SASG	6752417	495518	611	569	42	0,7	610,3		6,5
43	Bombeando	SASG	6752058	490578	579	371	208	92	487	0,05	2,6
44	Bombeando	SASG	6751681	480697	690	603	87	12,1	677,9		4,8

45	Bombeando	SASG	6751427	480607	700	590	110	16,9	683,1		7,5
46	Bombeando	SASG	6751287	480750	740	628	112	13,2	726,8		10
47	Bombeando	SASG	6750156	478661	690	607	83	2,3	687,7		34
48	Bombeando	SASG	6754122	482071	720	675	45	1,3	718,7		5,8
49	Bombeando	SASG	6750209	478628	650	575	75	42	608		2,8
50	Bombeando	SASG	6748484	482844	627	497	130	20,7	606,3		5
51	Bombeando	SASG	6751207	480580	720	590	130	22,4	697,6		2,6
52	Bombeando	SASG	6751002	490642	591	485	106	12,8	578,2		6,2
53	Bombeando	SASG	6751127	490596	585	485	100	9,5	575,5		3,8
54	Bombeando	SASG	6750976	489857	581	479	102	2,6	578,4		10
55	Bombeando	SASG	6750475	489624	588	516	72	9,2	578,8		1
56	Bombeando	SASG	6750090	488889	581	486	95	11,7	569,3		4,2
57	Seco	SASG	6750183	489447	547	427	120	8,9	538,1		6
58		SASG	6754025	496523	537	417	120	54,1	482,9	2,801	5,77
59	Seco	SASG	6748950	496097	635	455	180				
60	Bombeando	SASG	6752222	490103	584	404	180				8
61	Bombeando	SASG	6750667	503698	546	396	150				9
62	Seco	SASG	6752721	500132	648	492	156				
63	Bombeando	SASG	6751848	501782	547	349	198			0,041	3
64	Bombeando	SASG	6746090	482854	357	147	210				9,5
65	Seco	SASG	6752535	484610	569	329	240				
66	Bombeando	SASG	6756835	490954	114	18	96				20
67	Bombeando	SASG	6751576	498762	555	345	210				4
68	Bombeando	SASG	6753023	497605	512	284	228				2
69	Seco	SASG	6754314	499414	531						
70	Seco	SASG	6749232	495627	589	421	168				
71	Bombeando	SASG	6751680	480781	81	9	72	8,64	72,36		9,5

72	Bombeando	SASG	6747582	495062	632	518	114	41,24	590,76	0,147	6,5
73	Seco	SASG	6755166	497891	535	385	150				
74	Bombeando	SASG	6758241	500032	334	174	160	57,81	276,19		4,5
75	Bombeando	SASG	6751071	498878	574	454	120	7,71	566,29		7
76	Bombeando	SASG	6752236	495212	621	549	72	10	611		10
77	Bombeando	SASG	6746329	494141	468	232	236	17,8	450,2		1,6
78	Parado	SASG	6750323	485735	560	368	192				
79		SASG	6751523	489284	515	410	105	10,74	504,26	0,394	1,85
80		SASG	6751401	489352	525	419	106	6,76	518,24	0,125	1,68
81	Parado	SASG	6752222	491039	570	402	168	37,05	532,95	0,33	7,4
82	Parado	SASG					174				5
83	Parado	SASG	6752303	491399	559	443	116	70,34	488,66	0,08	8,5
84	Parado	SASG	6750831	489276	564	486	78	1	563	0,041	2
85	Seco	SASG	6750667	503698	550	400	150	30,4	519,6	0,304	10,64
86		SASG	6751104	494332	620	362	258	45,79	574,21		6
87	Parado	SASG	6752016	492310	575	419	156	11,34	563,66	0,076	-
88	Bombeando	SASG	6752112	491995	574	504	70	16	558	0,278	12,5
89	Seco	SASG	6750779	489239	573	261	312				
90	Seco	SASG	6751433	492608	611	299	312				
91	Seco	SASG	6750847	489224	572	494	78				5,3
92	Seco	SASG					150				
93	Seco	SASG					150				
94	Seco	SASG	6751502	491778	532	182	350				
95		SASG	6750323	485735	560	368	192				
96		SASG	6752082	493486	616	358	258	14,93	601,07		27,8
97		SASG	6752297	493171	617	356	261	13,62	603,38		10,63
98		SASG			560	498,4	61,6			0,016	0,8

99		SASG					93				
100		SASG	6751694	495134	553	292	261	2,91	550,09		15

Código	Situação do Poço	Sistema Aquíf.	UTMs	UTMe	Cota Topo	Cota Base	Prof. Final	Prof. Topo Aq. Poroso	Cota Topo Aq. Poroso	Nível Est.	Cota NE	Capac. Esp.	Vazão
101		SAG	6748456	507311	747	-253	1000	717	30	560,5	186,5		24
102		SAG	6744700	514384	506	-194	700	505	1	318,8	187,2	4,1756	23,3
103		SAG	6752570	490864	549	-173	722	478	71	421,4	127,6	2,2171	16,85
104		SAG	6744484	479612	194	89	105	91	103	32	162	0,405	15
105		SAG	6750714	475632	299	26	273	190	109	208,6	90,4	0,439	5
106		SAG	6750811	481140	66	-4	70	3,5	62,5	2,68	63,3	0,342	12,1
107	Parado	SAG	6750722	481033	81	-11	70			12,3	68,7		3,5
108	Bombeando	SAG	6757289	489421	117	65	52			11,5	105,5		3,5
109		SAG	6758528	491272	109	56	53			13,5	95,5		6,5
110	Bombeando	SAG	6754248	487090	760	657	103			18,5	741,5		5
111	Bombeando	SAG	6754026	486297	85	-150	234	12	73	0,14	84,86	0,286	30
112	Bombeando	SAG	6754857	487370	70	-86	156	54	16	4,2	65,8	0,788	70
113	Bombeando	SAG	6754504	487173	103	23	80			7,5	95,5		9
114	Bombeando	SAG	6756699	489817	121	56	65			7,6	113,4		0,7
115		SAG	6747799	474931	48	-52	100	80	-32	8	40	1	15
116	Bombeando	SAG	6756765	490249	106	9	97	54	52	14,6	91,4		4,5
117		SAG	6751874	488982	527	-2	529	350	177				
118	Seco	SAG	6749375	490846	335	83	252	126	209	174,45	160,55	0,959	25
119	Seco	SAG	6748491	491678	324	114	210	110	214				
120	Bombeando	SAG	6748438	491600	324	84	240	110	214	180,7	143,3	0,365	13,5
121	Seco	SAG	6749204	490150	343	25	318	174	169	144	199	0,168	15
122		SAG	6775747	482587	730	-26	756	730	0				
123		SAG	6759835	476503	560	-214	774	660	-100				
124	Bombeando	SAG	6756750	490397	106	15	91	47	59	11,6	94,4		20

46	SASG	222	7,32	21,5															
47	SASG	490	6,76	22															
48	SASG	315	7,54	21															
49	SASG	329	7,5	21															
50	SASG	270	7,17	22															
51	SASG	241	7,9	21															
52	SASG	281	6,87	19															
53	SASG	264	7,87	19															
54	SASG	224	7,86	19															
55	SASG	209	7,15	18															
56	SASG	225	6,66	19															
57	SASG	147	5,94	20,5															
58	SASG	159	7,62		167	93,67	114,18	0,285		10,3	21,7	23	1	0,05	0,023	15,24	0,73		1,26
59	SASG																		
60	SASG																		
61	SASG																		
62	SASG																		
63	SASG	221	8	20	153	98	120			9,7	22	7,9		0,08		2,36	0,1	2,18	1,61
64	SASG																		
65	SASG																		
66	SASG																		
67	SASG																		
68	SASG																		
69	SASG																		
70	SASG																		
71	SASG																		
72	SASG		8,4		116	68	76		0,03	0,3	9	26	0,1			2	3,6		

73	SASG																		
74	SASG																		
75	SASG																		
76	SASG	169	7,6		127	77	94		0,05	6	18	11	0,7			3	0,5		
77	SASG																		
78	SASG																		
79	SASG		6,7		121	45	54,9	2		2,2	2,3	13				3,6	0,7	4,3	0,5
80	SASG	73	6,3		63	18	22			1	5	4	2	0,496		4,1	0,2		1,82
81	SASG	122,7	6,6		117	70	85	0,15		2	12	14				4,6	0,4	2	1,79
82	SASG																		
83	SASG	230	7,6		142	125	152		0,023	4	24	22				3,7	0,7	3	0,2
84	SASG		6,5		106,7	40	49			10,5	1,7			0,4		23	0,3	1,2	
85	SASG	255	7,6		159	136	166	0,3	0,06	8	30	17					1,4		
86	SASG	148,1	8		134	66	80	0,39		5	13	10				3	0,374	1,8	0,83
87	SASG	134,2	7,1		122,4	68	83	0,1		3,6	15,2	10	0,3			2	0,4	0,7	
88	SASG	190	6,54	19	20	50,44	50,44	0,56	0,11	10,39	7,21					3,67	0,23		
89	SASG																		
90	SASG																		
91	SASG																		
92	SASG																		
93	SASG																		
94	SASG																		
95	SASG																		
96	SASG	189,2	7,5		136	89	109			5	21	15			0,16	1,7	0,502	3,9	0,013
97	SASG	165,3	8,2		127	69	84			3	15	16				1,8	1,19	2,2	0,27
98	SASG		6,9				85	0,1		4,1	19,5			0,5		23	0,5	1,5	
99	SASG		6,9			38	46,3	0,1		1,5	10,5	12,1		4		26,5	0,5	2,4	

100	SASG	270	7,3		180	129	158	1,3	0,343	6,6	32	24	0,22		0,069	2,71	1		0,08
101	SAG																		
102	SAG	546	9,4		286	37,2	8,5	0,027	< 0,021	0,96	7,9	55	2	0,01	0,147	35,1	3,06	155,5	< 0,2
103	SAG	204	8,6		88	104,2	110,2	< 0,001	< 0,001	2,48	4,9	45	< 0,01	0,01	0,066	5,9	0,27	4,9	0,32
104	SAG	290	7,6	20															
105	SAG																		
106	SAG	289	8,1	20		138,2		0,15	0,001		31,5	25,71	0,72	0,2	0,152	4,86	0,2	5	0,37
107	SAG	235	7,85	22															
108	SAG	249	6,52	21															
109	SAG	99	5,87	20															
110	SAG	150	6,51	22															
111	SAG		8,9	20	198	71	50			2	8	53				3,8	3,99	52,1	0,22
112	SAG	378	7,5	17	244	181	221		0,95	14	47					4,1	0,21	4,1	0,72
113	SAG	237	6,95	22															
114	SAG	239	7,21	21															
115	SAG	377	7,2	21															
116	SAG	367	7,38	22															
117	SAG																		
118	SAG	218	8,4		151	100	115			0,7	9	90				2	0,248	10,8	0,35
119	SAG											21							
120	SAG	163	8,2		136	83	101			1	17					2,6	0,122	1,8	0,5
121	SAG	249	8,1		180	120	146			2	33	19				2,4	0,091	3,5	0,83
122	SAG																		
123	SAG																		
124	SAG	405	6,64	21															
125	SAG					110		<0,037	<0,006	10,1	19,7	11	0,29			7,5		<1	1,11

Porto Alegre, 28 de agosto de 2019.

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 119/2019-Ág

Requisição n°:	024/2019
----------------	----------

Dados do Cliente			
Cliente	Pedro Antônio Roehe Reginato (Projeto HIDROFRAT) - Arthur Ramos Pacheco		
Endereço	UFRGS/IPH - Av. Bento Gonçalves, 9500.		
Dados da Amostra			
Tipo de Amostra	Água subterrânea		
Identificação da amostra	C1		
Data do Recebimento	05/08/2019		
Data da Coleta	01/08/2019	Hora da Coleta	8h e 16h.
Responsável pela coleta	Pedro Antônio Roehe Reginato		
Local da Coleta	Nova Petrópolis - RS.		

ENSAIOS REALIZADOS					
Parâmetro	Unidade	Resultado	Limites	Metodologia	REF.
Alcalinidade	mgCaCO ₃ /L	110	1,00 LD	Volumetria de neutralização	6
❖ Cálcio*	mg/L	19,7	0,003 LDM	EAA/Chama Ar- Acetileno	1
Cloretos	mgCl ⁻ /L	7,50	1,00 LD	Volumetria de precipitação	7
❖ Ferro*	mg/L	ND	0,037 LDM	EAA/Chama Ar- Acetileno	1
❖ Magnésio*	mg/L	10,1	0,007 LDM	EAA/Chama Ar- Acetileno	1
❖ Manganês*	Mg/L	ND	0,006 LDM	EAA/Chama Ar- Acetileno	1
Nitrato	mgNO ₃ ⁻ -N/L	1,11	0,200 LD	Espectrofotometria UV	1
❖ Potássio*	mg/L	0,290	0,110 LDM	EAA/Chama Ar- Acetileno	1
❖ Sódio*	mg/L	11,0	0,052 LDM	EAA/Chama Ar- Acetileno	1
Sulfato	mgSO ₄ ²⁻ /L	ND	1,00 LD	Turbidimetria	1

LEGENDA: LD = Limite de detecção. LDM = Limite de detecção do Método.
REF.= Referência. ND = Não detectado = ND< LDM.
EAA = Espectrometria de Absorção Atômica. EEA=Espectrometria de Emissão Atômica.

❖ **MÉTODO DE DIGESTÃO:** Digestão com ácido nítrico em sistema aberto.

Referência

1	Standard Methods 21 ST
5	NBR 12621/1992
6	NBR 13736/1996
7	NBR 13797/1997



Antônio César de Amorim Borges
Químico Industrial – CRQ-V: 05201454

Porto Alegre, 28 de agosto de 2019.

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 120/2019-Ág

Requisição n°:	024/2019
----------------	----------

Dados do Cliente			
Cliente	Pedro Antônio Roehe Reginato (Projeto HIDROFRAT) - Arthur Ramos Pacheco		
Endereço	UFRGS/IPH - Av. Bento Gonçalves, 9500.		
Dados da Amostra			
Tipo de Amostra	Água subterrânea		
Identificação da amostra	C2		
Data do Recebimento	05/08/2019		
Data da Coleta	01/08/2019	Hora da Coleta	8h e 16h.
Responsável pela coleta	Pedro Antônio Roehe Reginato		
Local da Coleta	Nova Petrópolis - RS.		

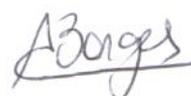
ENSAIOS REALIZADOS					
Parâmetro	Unidade	Resultado	Limites	Metodologia	REF.
Alcalinidade	mgCaCO ₃ /L	170	1,00 LD	Volumetria de neutralização	6
❖ Cálcio*	mg/L	12,4	0,003 LDM	EAA/Chama Ar- Acetileno	1
Cloretos	mgCl ⁻ /L	8,00	1,00 LD	Volumetria de precipitação	7
❖ Ferro*	mg/L	ND	0,037 LDM	EAA/Chama Ar- Acetileno	1
❖ Magnésio*	mg/L	16,2	0,007 LDM	EAA/Chama Ar- Acetileno	1
❖ Manganês*	Mg/L	ND	0,006 LDM	EAA/Chama Ar- Acetileno	1
Nitrato	mgNO ₃ ⁻ -N/L	2,60	0,200 LD	Espectrofotometria UV	1
❖ Potássio*	mg/L	0,252	0,110 LDM	EAA/Chama Ar- Acetileno	1
❖ Sódio*	mg/L	10,5	0,052 LDM	EAA/Chama Ar- Acetileno	1
Sulfato	mgSO ₄ ²⁻ /L	5,21	1,00 LD	Turbidimetria	1

LEGENDA: LD = Limite de detecção. LDM = Limite de detecção do Método.
REF.= Referência. ND = Não detectado = ND < LDM.
EAA = Espectrometria de Absorção Atômica. EEA=Espectrometria de Emissão Atômica.

❖ **MÉTODO DE DIGESTÃO:** Digestão com ácido nítrico em sistema aberto.

Referência

1	Standard Methods 21 ST
5	NBR 12621/1992
6	NBR 13736/1996
7	NBR 13797/1997


Antônio César de Amorim Borges
Químico Industrial – CRQ-V: 05201454