



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

CASSIANO FRACCANABBIA TREVISAN

**AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL NOS
MUNICÍPIOS DE PARAÍ E NOVA ARAÇÁ - RS**

Porto Alegre, 2021

CASSIANO FRACCANABBIA TREVISAN

**AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL NOS
MUNICÍPIOS DE PARAÍ E NOVA ARAÇÁ – RS**

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

Orientador: Prof. Dr. Pedro Antonio Roehe Reginato

PORTO ALEGRE

2021

CIP - Catalogação na Publicação

Trevisan, Cassiano Fraccanabbia
Avaliação Hidrogeológica do Sistema Aquífero Serra
Geral nos Municípios de Parai e Nova Araçá - RS /
Cassiano Fraccanabbia Trevisan. -- 2021.
98 f.
Orientador: Pedro Antonio Roehe Reginato.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,
BR-RS, 2021.

1. Hidrogeologia. 2. Hidroquímica. 3. Sistema
Aquífero Serra Geral. 4. Água Subterrânea. 5.
Potencialidade. I. Reginato, Pedro Antonio Roehe,
orient. II. Título.

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

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **Avaliação Hidrogeológica do Sistema Aquífero Serra Geral nos municípios de Paraí e Nova Araçá – RS** elaborado por **Cassiano Fraccanabbia Trevisan**, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Franciéle Schwanck Carlos

Prof. Dr. Tiago Vargas

Dra. Raquel Barros Binotto

Dedico este trabalho aos que tem sede,
seja de água, seja de mudança.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a minha família. À minha mãe Marciliana por sempre acreditar, ao meu pai Jeremias pelos conselhos e ao meu irmão Murilo pelo companheirismo. Com o apoio deles pude ter a certeza de que nunca estaria sozinho.

Agradeço, com muita saudade, aos meus amigos, pois na maior parte do tempo em que este trabalho foi elaborado estávamos longe em decorrência da pandemia a COVID-19. Obrigado pela aventura de pedalar o desconhecido, praticamente sem rumo: Max, Mona, Will, Vini e Joani. Obrigado pelos momentos de puro privilégio ao lado de vocês durante os mapeamentos, período áureo da geologia, Drago, Rossano e Douglas. Um agradecimento especial ao Gui, meu grande amigo desde o antigo milênio, que sempre esteve com o coração aberto nessa roda-gigante que é a vida. À querida Laura por me mostrar o caminho de como ser uma pessoa melhor. Obrigado, ainda, Céh, Maiki, Gabi, Petracco, Souza, Serginho, Bruni, Jaque, Simy, Jepeto e tantos outros. Sou grato pelos inúmeros momentos de confraternização no nosso querido diretório acadêmico, o CAEG, lugar de belas discussões e outras um tanto sem sentido, onde as amizades verdadeiras foram forjadas em rocha.

Sou grato ao Prof. Dr. Pedro Antonio Reginato por ser o excelente mestre que me abriu os caminhos da hidrogeologia, me deu a oportunidade de trabalhar com águas subterrâneas e acreditou no meu trabalho de conclusão, sempre paciente e incrivelmente prestativo. Forte abraço.

Ao Oberdan Camati, da secretaria de saúde de Paraí, pelo apoio no trabalho de campo e pós-campo. Ao Jarson, motorista que nos levou ao campo com segurança e bom humor. Aos geólogos da CORSAN, Marcio André Klein e Maiquel Kochhman Lunkes. À CORSAN pelos dados concedidos.

À UFRGS, que foi minha segunda casa durante a graduação, e ao Instituto de Geociências pela infraestrutura.

Por fim, agradeço o privilégio humano da possibilidade de expansão da consciência.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo hidrogeológico e hidroquímico do Sistema Aquífero Serra Geral, aquífero fraturado associado às rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, na área que abrange os municípios de Paraí e Nova Araçá, região nordeste do Rio Grande do Sul. Os municípios tem seu abastecimento de água realizado exclusivamente através da captação de águas subterrâneas provindas do Sistema Aquífero Serra Geral. Este recurso é de suma importância pois é utilizado no abastecimento público e doméstico, na indústria, comércio e agropecuária. Com o aumento contínuo dos indicadores socioeconômicos, aumenta também a demanda pelo consumo de água, e em consequência disto há uma necessidade de perfuração de novos poços que supram tal demanda. Para evitar que se furem poços pouco produtivos é importante desenvolver estudos mais detalhados sobre a hidrogeologia local, que subsidiem a tomada de decisão e auxiliem a locação em áreas mais favoráveis à captação de água subterrânea. Para que este estudo fosse realizado, foi feito um levantamento bibliográfico acerca da área de estudo, inventário e cadastramento de pontos de captação através do levantamento de informações já existentes junto à Companhia Riograndense de Saneamento, Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, Prefeituras Municipais e empresas de perfuração. Foi feita uma avaliação geológica, através da identificação das formações rochosas, estruturas dos derrames, estruturação tectônica e geomorfologia, tanto em campo como na análise de perfis de poços tubulares, bem como a confecção de um mapa de lineamentos. A avaliação hidrogeológica se deu através da análise de nível estático, vazão, capacidade específica, transmissividade, profundidade dos poços e entradas de água. A avaliação hidroquímica foi realizada através da construção de gráficos, tabelas e diagramas e sua posterior interpretação, sendo que foram analisados dados físico-químicos, íons presentes nas águas e valores de potabilidade. A etapa de avaliação do potencial hidrogeológico foi realizada correlacionando a orientação dos lineamentos com os dados de vazão e capacidade específica dos poços. A maioria dos poços têm profundidades entre 100 e 150 m, sendo que o nível estático apresenta profundidades de até 10m na maioria das vezes. A vazão dos poços

apresenta uma média de 11,16 m³/h. A capacidade específica é geralmente baixa, com médias de 0,68 m³/h/m. As entradas de água têm profundidade média de 62 m. As águas foram classificadas como bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas. O valor médio de pH fica em 7,56. A condutividade elétrica sofre grande variação, com valor mínimo de 74,7 µS/cm e máximo de 351 µS/cm. Alguns valores de fluoreto, ferro e manganês estão acima dos valores máximos permitidos, tanto para consumo humano como para dessedentação animal, porém a água no geral é de boa qualidade. Poços com boa produção estão associados principalmente a lineamentos de direção N40-90W, sendo que poços futuros devem ser locados preferencialmente nesta orientação e em áreas de relevo menos dissecado. Recomenda-se que mais estudos sejam realizados acerca do SASG na região.

Palavras-chave: Hidrogeologia, hidroquímica, Sistema Aquífero Serra Geral, água subterrânea, captação de água subterrânea, potencialidade.

ABSTRACT

The objective of this work was to carry out a hydrogeological and hydrochemical study of the Serra Geral Aquifer System, a fractured aquifer associated with volcanic rocks of the Serra Geral Formation, in the area covering the municipalities of Parai and Nova Araçá, northeastern region of Rio Grande do Sul. The municipalities' water supply comes exclusively from groundwater drawn from the Serra Geral Aquifer System. This resource is extremely important because it is used for public and domestic water supply, industry, commerce and agriculture and cattle-raising. With the continuous increase in socioeconomic indicators, the demand for water consumption also increases, and as a result there is a need to drill new wells to supply this demand. In order to avoid drilling unproductive wells, it is important to develop more detailed studies on the local hydrogeology, to support the decision making process and to help locating the most favorable areas for groundwater extraction. For this study to be accomplished, a bibliographical survey was done about the study area, inventory and registration of captation points through the survey of existing information with the Companhia Riograndense de Saneamento, Information System of Underground Waters, Municipalities and drilling companies. A geological evaluation was done, through the identification of rock formations, structures, tectonic structuring and geomorphology, both in the field and in the analysis of tube well profiles, as well as the making of a lineament map. The hydrogeological evaluation was done through the analysis of static level, flow, specific capacity, transmissivity, well depth and water inflow. The hydrochemical evaluation was carried out through the construction of graphs, tables and diagrams and their subsequent interpretation, and physical-chemical data, ions present in the water and potability values were analyzed. The stage of the evaluation of the hydrogeological potential was carried out by correlating the orientation of the lineaments with the flow data and specific capacity of the wells. Most of the wells have depths between 100 and 150m, and the static level presents depths of up to 10m most of the time. The average flow rate of the wells is 11.16 m³/h. The specific capacity is generally low, averaging 0.68 m³/h/m. The water intakes have average depth of 62 m. The waters have been classified as calcium bicarbonate or

magnesium bicarbonate. The average pH value is 7.56. The electrical conductivity varies greatly, with minimum value of 74.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and maximum value of 351 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Some values of fluoride, iron and manganese are above the maximum allowed values, both for human and animal consumption, but the water in general is of good quality. Wells with good production are associated mainly with N40-90W lineaments, and future wells should be located preferentially in this direction and in areas of less dissected relief. It is recommended that further studies be conducted on the SASG in the region.

Keywords: Hydrogeology, hydrochemistry, Serra Geral Aquifer System, groundwater, groundwater extraction, potential.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização dos municípios de Paraí e Nova Araçá, em escala regional, estadual e nacional.	18
Figura 2: Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná (Milani, 2004).	22
Figura 3: Seção colunar de um derrame da Unidade Vulcânica Palmas (Nardy 2008).	25
Figura 4: Províncias hidrogeológicas da Formação Serra Geral (adaptado de Lisboa, 1996)	27
Figura 5: Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (modificado de Machado & Freitas, 2005)	28
Figura 6: Modelo conceitual de circulação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral (adaptado de Freitas et al., 2000)	29
Figura 7: Modelo conceitual de interação de águas do SAG e do SASG (Retirado de Matos, 2020)	33
Figura 8: Perfil geológico construtivo de poço da CORSAN.	39
Figura 9: Banco de dados de poços da plataforma SIAGAS (CPRM).....	40
Figura 10: Ponto de captação de água subterrânea	40
Figura 11: Perfil analisado em corte de estrada.	42
Figura 12: Aferição de parâmetros com sonda.....	44
Figura 13: Acondicionamento das amostras.	45
Figura 14: Relatório de ensaio.	46
Figura 15: Poço com sistema de cloração instalado.	52
Figura 16: Poço padrão CORSAN segundo NBR 12444 da ABNT (2006).....	53
Figura 17: Poço construído de forma irregular.	53
Figura 18: Poço cacimba.....	54
Figura 19: Caixa de armazenamento junto ao pé da encosta.	54
Figura 20: Perfil de poço tubular profundo, alcançando o SAG.....	55
Figura 21: Mapa geológico com a localização dos afloramentos descritos.	56
Figura 22: Afloramento de diferentes derrames ácidos com zonas de base, núcleo e topo delimitadas.	58
Figura 23: Afloramento com dois diferentes pacotes de derrames ácidos. Zona de contato demarcada.....	59

Figura 24: Afloramento de zona de núcleo de derrame ácido, com disjunção tabular e fraturas cortando o pacote de rochas.....	59
Figura 25: Zona de contato entre topo e base de derrame ácido, com presença de amígdalas e vesículas no topo e porções vítreas na base.	60
Figura 26: Zona de topo de derrame ácido, com alta concentração de amígdalas preenchidas por sílica e calcita.	61
Figura 27: Derrame de rochas básicas da Unidade Vulcânica Gramado, aflorando em leito de rio.....	62
Figura 28: Perfil construtivo de poço tubular	63
Figura 29: Diagrama de roseta com as 33 atitudes dos planos de fraturas medidas em campo.....	65
Figura 30: Mapa de lineamentos.	66
Figura 31: Diagrama de rosetas das direções dos lineamentos identificados.	66
Figura 32: Mapa de densidade de lineamentos.....	68
Figura 33: Diagrama de Piper, usado para classificar as águas.	81
Figura 34: Diagrama de Schoeller-Berkaloff, identificando tendência entre as águas.	82
Figura 35: Diagramas de Stiff para águas pouco mineralizadas.	83
Figura 36: Diagramas de Stiff para águas bicarbonatadas calcomagnesianas.	83
Figura 37: Diagramas de Stiff para águas bicarbonatadas sódicas.	84
Figura 38: Mapa de capacidades específicas e lineamentos favoráveis.....	87
Figura 39: Diagrama de rosetas das orientações de lineamentos favoráveis.	88
Figura 40: Mapa com as áreas sugeridas para locação de novos poços.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização hidráulica de aquíferos (Diniz,2012).....	35
Tabela 2: Caracterização hidráulica de aquíferos (modificado de Diniz, 2012)	48
Tabela 3: Número de famílias atendidas por poços comunitários.	52
Tabela 4: Altitude de contatos entre derrames.....	64
Tabela 5: Distribuição estatística dos dados catalogados para os poços do SASG.	69
Tabela 6: Análise estatística dos dados físico-químicos.	76
Tabela 7: Análise estatística dos íons dominantes.....	80
Tabela 8: Valores máximos encontrados para cloro, fluoretos, ferro, manganês, sódio, nitrato e sulfato comparados aos valores máximos permitidos para consumo humano e dessedentação animal.....	85

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Porcentagem de poços que possuem informações sobre a situação.	49
Gráfico 2: Situação dos poços identificados.....	50
Gráfico 3: Tipos de uso das águas subterrâneas.	51
Gráfico 4: Histograma da quantidade de lineamentos dentro de intervalo de comprimento.....	67
Gráfico 5: Relação da quantidade de poços de acordo com suas as profundidades.	70
Gráfico 6: Quantidade de poços em relação às profundidades de entradas de água.	71
Gráfico 7: Número de entradas de água por poço.	72
Gráfico 8: Número médio de entradas de água por profundidade.....	72
Gráfico 9: Porcentagem de poços distribuídos em intervalos de nível estático.	73
Gráfico 10: Distribuição da quantidade de poços em relação às suas vazões.....	74
Gráfico 11: Quantidade de poços de acordo com as capacidades específicas.....	75
Gráfico 12: Porcentagem dos poços distribuídos pela transmissividade.....	75
Gráfico 13: Relação da quantidade de poços e seu pH.	77
Gráfico 14: Relação da quantidade de poços e temperatura da água.	78
Gráfico 15: Condutividade elétrica dos poços.	79
Gráfico 16: Quantidade de poços e intervalo de sólidos totais dissolvidos.	80
Gráfico 17: Gráfico de classificação USSL para irrigação.	85

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Caracterização do Problema	16
1.2 Localização.....	17
1.3 Hipótese	18
1.4 Justificativa	19
1.5 Objetivos.....	20
2 ESTADO DA ARTE	21
2.1 Geologia Regional.....	21
2.2 Hidrogeologia Regional	26
2.3 Hidroquímica Regional	30
2.4 Potencialidade.....	34
3 METODOLOGIA	37
3.1 Levantamento de Dados.....	37
3.2 Inventário e Cadastramento de Pontos de Captação	37
3.3 Avaliação Geológica	41
3.4 Avaliação Hidrogeológica	43
3.5 Avaliação Hidroquímica	43
3.6 Avaliação do Potencial Hidrogeológico.....	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
4.1 Água Subterrânea nos Municípios de Paraí e Nova Araçá.....	49
4.2 Geologia dos municípios de Paraí e Nova Araçá	56
4.3 Hidrogeologia dos municípios de Paraí e Nova Araçá	69
4.4 Hidroquímica dos Municípios de Paraí e Nova Araçá.....	76
4.5 Avaliação do Potencial Hidrogeológico.....	86
5 CONCLUSÕES	91
6 REFERÊNCIAS.....	94

1 INTRODUÇÃO

1.1 Caracterização do Problema

A água subterrânea é um recurso hídrico que ocorre em subsuperfície preenchendo poros ou vazios intergranulares de rochas sedimentares ou fraturas, falhas, juntas e fissuras presentes em rochas cristalinas. Em termos de desenvolvimento socioeconômico, as águas subterrâneas são fundamentais pois representam um bem estratégico, que deve ter sua disponibilidade atual e futura assegurada e, para isso deve ser racionalmente explorada. De tal modo, para que sua utilização seja realizada de modo coerente, estudos devem ser desenvolvidos a fim de alcançar um conhecimento cada vez mais robusto, entendendo de forma mais clara a hidrodinâmica deste recurso. Estes estudos possibilitam uma gestão pública mais eficaz deste recurso que é indispensável em nossa sociedade.

Na área de estudo, com o crescimento populacional e desenvolvimento econômico, existe um aumento na demanda de recursos hídricos subterrâneos, o que acaba gerando a necessidade de perfuração de novos poços ao longo dos anos, seja para uso imediato ou para reserva. No Brasil, a utilização destes recursos acaba sendo realizada sem que estudos acerca das propriedades hidrogeológicas dos aquíferos sejam realizados, impossibilitando a elaboração de políticas públicas e projetos conservativos pertinentes ao tema (FEITOSA et al., 2008). A falta de informações detalhadas é uma realidade quando se trata, além de outros, do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) no nordeste do Rio Grande do Sul. A partir disso faz-se necessário ter um melhor conhecimento sobre este aquífero, quais são seus condicionantes, suas características hidrodinâmicas, hidroquímicas e também sua potencialidade.

Na região dos municípios de Paraí e Nova Araçá (RS) a captação dos recursos hídricos necessários para atender a demanda da população é realizada exclusivamente por meio de poços tubulares, que são abastecidos pelo (SASG) e eventualmente pelo Sistema Aquífero Guarani (SAG). O SASG é um aquífero fraturado, heterogêneo e anisotrópico (REBOUÇAS,1978). Possui condicionantes

tais como tectônica, litologia, relevo e tipos de solo, sendo que as estruturas tectônicas (porosidade secundária) expressam maior importância em relação às estruturas primárias (litologia), exercendo condição principal em aquíferos fraturados (REGINATO, 2003). Ao SASG estão associadas duas unidades vulcânicas: Unidade Vulcânica Gramado e Unidade Vulcânica Palmas/Caxias (REGINATO et al., 2015). O SAG, apesar de não ser amplamente explorado na região, eventualmente abastece poços profundos. É um aquífero granular e na região do estudo encontra-se confinado.

O trabalho baseia-se na realização de um estudo hidrogeológico e hidroquímico, com enfoque na avaliação da potencialidade do Sistema Aquífero Serra Geral para a determinação de áreas mais favoráveis à locação de poços tubulares, ou seja, definir regiões que apresentem boas condições de circulação de água e favorecendo a exploração deste recurso. Para tanto, será avaliado o uso da água na região, parâmetros geológicos, hidrogeológicos, hidrodinâmicos, hidroquímicos e qualidade da água.

Como o trabalho visa determinar locais que favoreçam a locação de poços tubulares e consequente exploração dos recursos hídricos subterrâneos, a fim de auxiliar os municípios na questão do aumento da demanda de abastecimento, os resultados do mesmo poderão ser utilizados pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) através da Superintendência Regional Nordeste (SURNE) na avaliação de locais para a perfuração de novos poços.

1.2 Localização

Os municípios de Paraí e Nova Araçá se localizam na região nordeste do Rio Grande do Sul, na Região Hidrográfica Guaíba, que engloba a Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, que por sua vez abrange a Unidade de Gestão Carreiro (Plano de Bacia do Rio Taquari-Antas, 2012). Os municípios fazem fronteira com São Domingos do Sul, Casca, Serafina Correa, Nova Bassano, Nova Prata, Guabiju e São Jorge. A área territorial de Paraí é de 121,745 Km² e sua população é estimada em 7.727 habitantes. Nova Araçá possui um território de 75,514 Km² e 4.826

habitantes (IBGE, 2020). As principais vias de acesso a partir da capital do estado, Porto Alegre, são a BR-470 via BR-116 e a BR-386 via BR-290. A figura 1 ilustra a localização dos municípios.

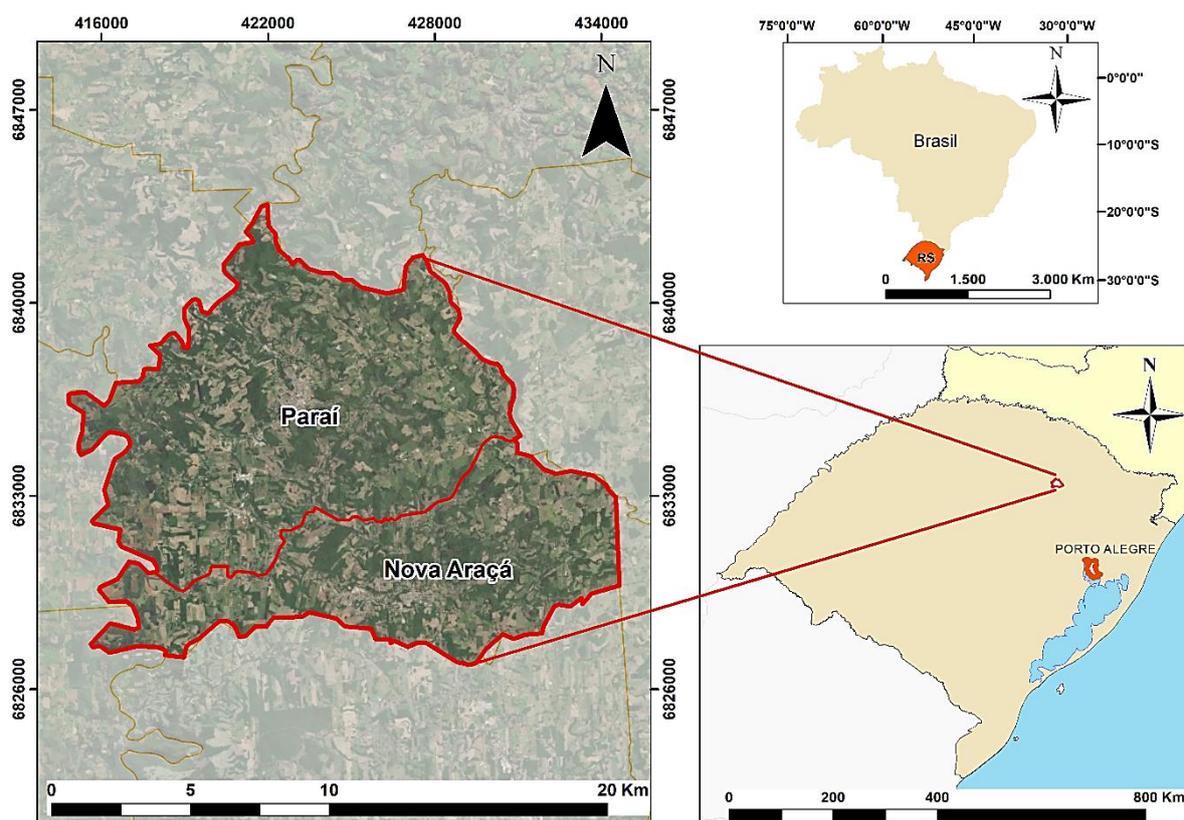


Figura 1: Localização dos municípios de Parai e Nova Araçá, em escala regional, estadual e nacional.

1.3 Hipótese

Para o atual trabalho, pode-se levantar uma hipótese tendo como base trabalhos já publicados, como Reginato (2003), Reginato & Strieder (2006) e Bortolin (2014). Como aquíferos fraturados são diretamente condicionados por sua estruturação tectônica, além de outros fatores, a locação de poços neste tipo de aquífero busca sempre associar feições morfoestruturais com produtividade de poços. Então, a hipótese que pode ser levantada é de que poços mais produtivos

geralmente estão relacionados com lineamentos de direção NW-SE, sendo estas as áreas mais favoráveis à locação de novos poços.

1.4 Justificativa

A realização deste estudo se justifica pelo fato de que o abastecimento de água dos municípios de Paraí e Nova Araçá é realizado exclusivamente por recursos subterrâneos e a demanda por tal recurso tende a aumentar com o passar do tempo. Em 2006 os cadastros centrais de empresas dos municípios contavam com 629 unidades locais, já em 2018 eram 810 unidades. A população somada dos municípios em 2010 era de 10.813 habitantes, subindo para 12.553 na estimativa do censo de 2020. O número de economias, ou seja, o número de casas abastecidas por água em 2008 era de 3.208 para ambos os municípios, e em 2017 eram 4.932 (IBGE, 2008, 2017). Desta forma, se faz necessário um estudo hidrogeológico quantitativo e qualitativo, a fim de avaliar a produtividade e potencialidade, além da composição e qualidade do sistema aquífero presente na região buscando assim identificar locais mais favoráveis à locação e perfuração de novos poços, com a devida quantidade e qualidade. Poços locados e perfurados em qualquer local, sem seguir critérios hidrogeológicos, podem vir a apresentar baixa vazão ou até mesmo nenhuma vazão, além de problemas de potabilidade, podendo acarretar problemas à saúde da população. Assim, com a realização deste estudo será possível avaliar as estruturas condicionantes deste aquífero fraturado, tornando possível a determinação de regiões propícias à locação de novos poços.

Além disso, destaca-se a importância que os resultados tem para a CORSAN, pois a mesma tem interesse no desenvolvimento de estudos deste teor para a região visto que necessita, a cada ano, perfurar novos poços para atender a população. Ou seja, o estudo também tem apelo socioeconômico, buscando garantir, de forma fácil e segura, uma água subterrânea de qualidade.

1.5 Objetivos

O objetivo geral deste projeto é o de realizar um estudo hidrogeológico e hidroquímico do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na área que abrange os municípios de Parai e Nova Araçá, localizados na Região Nordeste do Rio Grande do Sul.

Os objetivos específicos são:

- Avaliação do uso dos recursos hídricos subterrâneos nos municípios;
- Determinação dos parâmetros hidrogeológicos e hidrodinâmicos dos aquíferos existentes na região;
- Avaliação das características hidroquímicas e da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos;
- Avaliação da potencialidade do SASG e determinação de locais mais favoráveis à locação de novos poços.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Geologia Regional

A área abrangida por este estudo encontra-se sobre as formações rochosas da Bacia do Paraná, em sua porção Sul. As porções da bacia abrangem os territórios do Brasil meridional, Paraguai oriental, nordeste da Argentina e Uruguai setentrional (figura 2), somando assim uma área de aproximadamente 1.500.000 Km² (MILANI et al., 2007). Ainda segundo Milani et al. (2007), a bacia é de formato ovalado, tendo seu eixo maior na direção N-S. A Bacia do Paraná é uma bacia intracratônica típica, e sua vasta área de sedimentação engloba um registro estratigráfico que vai do Neoordoviciano ao Neocretáceo (MILANI; RAMOS, 1998). O pacote vulcano-sedimentar que constitui o registro estratigráfico da Bacia do Paraná possui uma espessura máxima em torno dos 7 Km, registrada no depocentro da mesma, onde geograficamente se encontra a calha do Rio Paraná (MILANI et al., 2007). Neste pacote rochoso, Milani (1997) reconheceu seis Supersequências, que representam o registro remanescente de sucessivas fases de acumulação sedimentar intercaladas à períodos de erosão. São elas: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). O arcabouço registra um intervalo de tempo entre 450 a 65 Ma (MILANI; RAMOS, 1998) e encontra-se concentrado em hiatos separando as Supersequências (FROZZA, 2018).

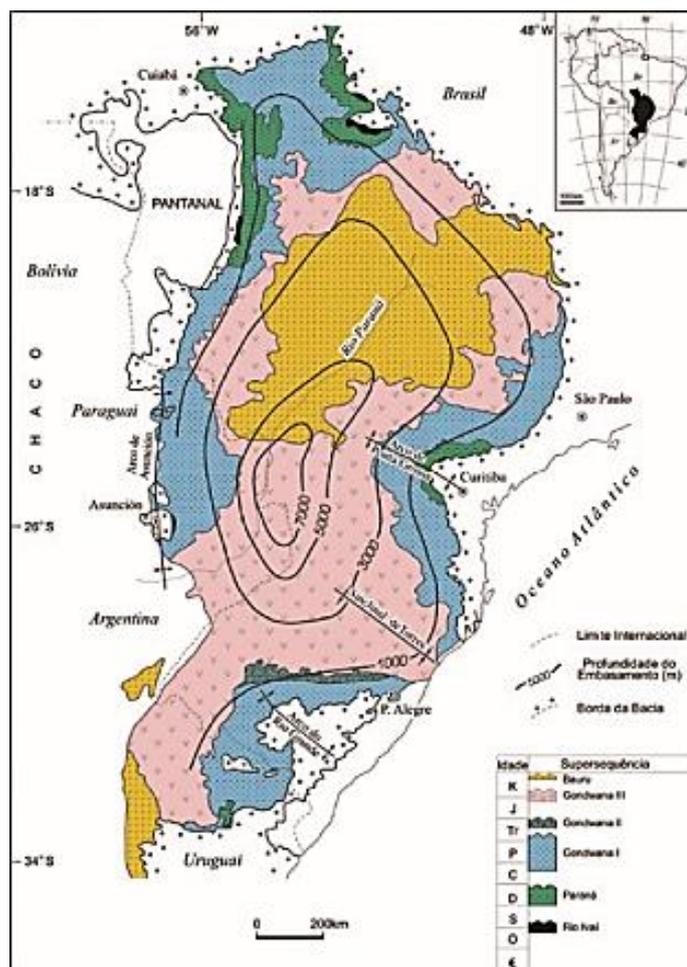


Figura 2: Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná (Milani, 2004).

Inseridas na Supersequência Gondwana III, também conhecida como “Sequência Jurássica-Eocretácica”, estão a Formação Botucatu e a Formação Serra Geral (MILANI et al., 2007).

Inicialmente descrita como Gres de Botucatu por Gonzaga de Campos (1889), a Formação Botucatu ocupa porções dos estados de Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Goiás e seus pacotes possuem espessuras que vão desde alguns poucos metros até 100m (BETIOLLO, 2006). De acordo com Bigarella et al (1961), Faccini (1989) e Scherer (1998) a deposição dos arenitos da Formação Botucatu teve seu início entre os períodos Jurássico e Cretáceo, tendo como sentido de transporte das areias e migração de dunas para nordeste, em um ambiente extremamente árido (MILANI, 1997). Lentes de arenito interderrames (intertraps) foram geradas pela deposição de areias sobre as rochas

vulcânicas que foram recobertas por novos derrames de lavas do vulcanismo da Formação Serra Geral (BETIOLLO, 2006). A Formação Botucatu é quase que totalmente constituída em sua área de ocorrência por arenitos médios a finos de elevada esfericidade e aspecto fosco, róseos, que exibem estratificação cruzada tangencial, de médio a grande porte. Tal assinatura faciológica é característica, e possibilita o pronto reconhecimento do “deserto Botucatu” (MILANI et al., 2007). No Rio Grande do Sul as associações faciológicas que configuram a Formação Botucatu são três: arenitos grossos a conglomeráticos, ocorrendo na forma de lentes descontínuas com espessura máxima de 1m relacionados a depósitos de lençóis de areia e fluxos torrenciais; arenitos com estratos cruzados interpretados como sendo migração de dunas crescentes simples a localmente compostas; e arenitos com estratos cruzados, vinculados à migração de dunas lineares complexas (SCHERER, 1998).

Sobrepostas às rochas da Formação Botucatu estão as rochas da Formação Serra Geral. Inicialmente denominadas de “Eruptivas Serra Geral” por White (1908) e Formação Serra Geral por Gordon (1947), estas têm origem no intenso vulcanismo fissural, de idade Eocretácea, relacionado aos eventos de desagregação do paleocontinente Gondwana que geraram a Província Magmática Paraná-Etendeka (RIOS, 2017). A porção localizada na América do Sul é conhecida como Província Magmática do Paraná e abrange áreas do centro-oeste, sudeste e sul brasileiros, além de partes do Uruguai, Argentina e Paraguai, com uma área em torno de 1.000.000 Km² (RIOS, 2017). Este evento, na Bacia do Paraná, é marcado por uma espessa cobertura de lavas com intrincada rede de diques e variados níveis de soleiras intrudidas seguindo os planos estratificados dos sedimentos paleozóicos (MILANI et al., 2007). Os derrames do tipo pahoehoe, com forte presença de amígdalas nas partes superior e inferior e núcleo maciço são maioria (Waichel et al., 2006) e possuem espessura entre 10 e 80 m, podendo se estender por até 100 km (HARTMANN, 2014). Os derrames do tipo aa, em que a lava possui crosta superior composta por fragmentos angulosos e núcleo maciço, são raros (Hartmann et al., 2010) e não passam dos 20 km de extensão (HARTMANN, 2014). Segundo Melfi (1988) a sucessão de derrames que fazem parte da Formação Serra Geral tem composição predominantemente basáltica (toleítica) com espessura máxima de 1.700 m. Para este trabalho serão usados os conceitos de Formação Serra Geral,

apesar de Rosseti et al. (2018) classificar como Grupo Serra Geral de acordo com o código estratigráfico.

Em termos petrológicos, de maneira generalizada, a formação é constituída por basaltos toleíticos e andesitos basálticos, com ocorrência subordinada de riolitos e riolacitos (PEATE et al., 1992). Segundo Melfi (1988), em torno de 90% do registro dos derrames é composto por basaltos toleíticos, 7% por andesitos toleíticos e 3% por riolacitos e riolitos. De acordo com Hartmann (2014) em termos gerais, existe uma tendência na distribuição das rochas vulcânicas da Província Magmática Paraná de acordo com o teor de titânio: as rochas alto-Ti ($\text{TiO}_2 > 2\%$) se encontram na porção norte da província, enquanto que as baixo-Ti ($\text{TiO}_2 < 2\%$) ficam na porção sul. Para as rochas basálticas são reconhecidos seis tipos de magmas de acordo com a abundância de elementos maiores, menores e traço, sendo que os elementos com alta densidade de carga são mais relevantes pois, a priori, são imóveis nos processos de alteração hidrotermal e intemperismo (PEATE et al., 1992). Os tipos Pitanga, Paranapanema e Urubici pertencem ao grupo com alto teor de titânio, enquanto que os tipos Gramado, Esmeralda e Ribeira são os baixo-titânio. Bellieni et al. (1984, 1986) e Mantovani et al. (1985) designaram dois tipos de magmas para as rochas ácidas: tipo Palmas e tipo Chapecó. As diferenças entre eles também são atribuídas às características geoquímicas associadas aos teores de titânio, sendo que as ácidas tipo Palmas são vinculadas aos magmas baixo-Ti (BELLIENI et al., 1986; PICCIRILLO & MELFI, 1988; NARDY, 1995).

Ocorrem ainda importantes volumes de rochas intrusivas toleíticas, além dos derrames, ocorrendo como soleiras e diques. As soleiras tem seus principais afloramento na porção nordeste da Bacia do Paraná. Os diques estão aglutinados em três principais enxames: enxame do Arco da Ponta Grossa (direção NW), da Serra do Mar (direção NE) e de Florianópolis (direção NNE) (FROZZA, 2018). Segundo Almeida et al., 2012, os enxames de diques ocorrem em geometria radial, que pode ser interpretada como uma junção tríplice (COUTINHO, 2008).

Na região dos municípios de Paraí e Nova Araçá, há a ocorrência de duas unidades vulcânicas associadas com a Formação Serra Geral: Gramado e Palmas/Caxias (MACHADO, 2005). A unidade vulcânica Gramado (basal) é formada por basaltos cinza escuros, castanhos ou marrons, de textura fanerítica muito fina a afanítica, formando derrames inferiores a 30m de espessura. A estrutura destes

derrames, da base para o topo, é composta por zonas maciças, zona central com disjunção colunar e topo marcado pela ocorrência de rochas vesiculares a amigdalóides. A unidade vulcânica Palmas/Caxias (topo) é caracteristicamente composta por rochas ácidas (riolitos e riodacitos) com cores que vão desde o cinza claro até tons mais esverdeados e azulados, de textura fanerítica fina e aspecto mosqueado. Os derrames apresentados por estas rochas tem espessuras médias de 50 m e são estruturados, da base para o topo, por uma zona vítrea (vitrófiros), uma zona central marcada por disjunção horizontal ou tabular e uma zona de topo vesicular a amigdalóide (figura 3). Entre os derrames das duas unidades vulcânicas pode ocorrer camadas de brechas vulcânicas (ROISENBERG & VIERO, 2002).

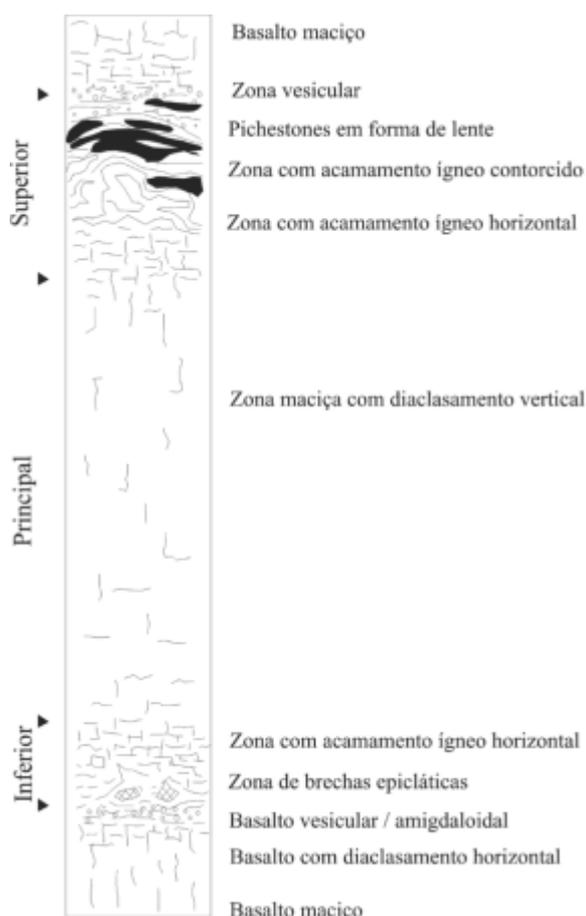
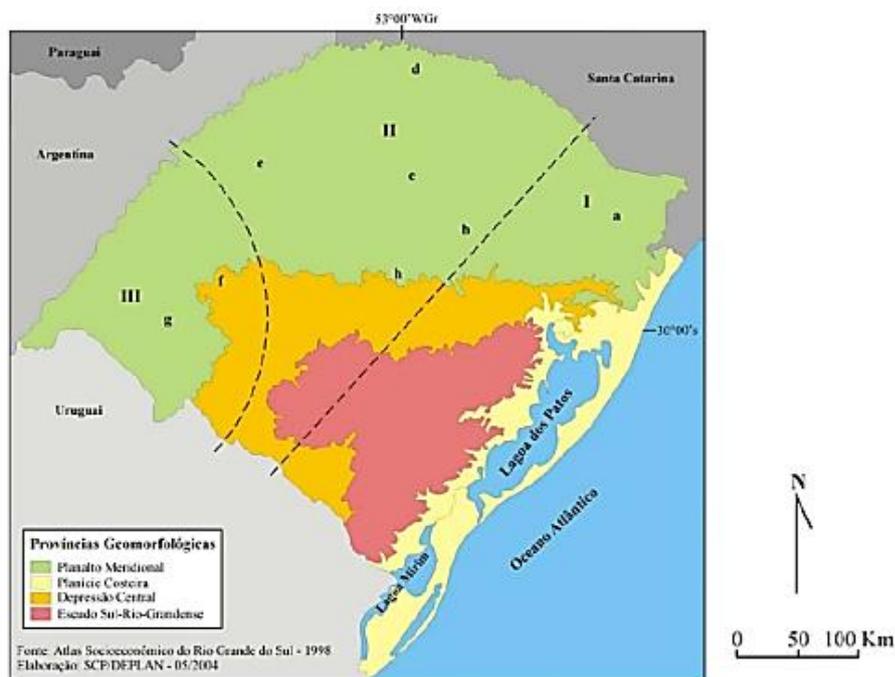


Figura 3: Seção colunar de um derrame da Unidade Vulcânica Palmas (Nardy 2008).

2.2 Hidrogeologia Regional

Hausman (1960), foi pioneiro na hidrogeologia do Rio Grande do Sul, com trabalhos regionais e que culminaram no Mapa de Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Conforme Hausman (1995) a área de estudo se insere na província hidrogeológica “Província Basáltica” e de acordo com Lisboa (1993 e 1996), na Unidade Morfotectônica Fachada Atlântica. Ainda segundo o mesmo autor, a unidade morfotectônica é dividida nas unidades hidrogeológicas Ácidas Aplainadas e Ácidas Dissecadas (figura 4). Para as Ácidas Aplainadas, onde ficam os municípios de Paraí e Nova Araçá, o autor a descreve pela presença de rochas ígneas vulcânicas ácidas associadas a um relevo pouco dissecado e a um manto de alteração de espessura média, variando de 6 a 12 m. A orientação principal dos lineamentos é à NE, sendo os mesmos de pequeno a médio porte. Tal unidade apresenta um bom potencial com relação a presença de aquíferos fraturados. As Ácidas Dissecadas têm como características um relevo com alto grau de dissecção e solos poucos espessos, além de lineamentos de pequeno a médio porte que tornam a área potencialmente fraca para a ocorrência de aquíferos fraturados (REGINATO; STRIEDER, 2004).

De acordo com o Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (Machado & Freitas, 2005) (figura 5), a área de estudo está inserida no contexto do Sistema Aquífero Serra Geral II (sg2). Este sistema aquífero ocupa a parte oeste do estado, os limites das rochas vulcânicas com o Rio Uruguai e as litologias gondwanicas, além da extensa área nordeste do planalto associada aos derrames da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral. A capacidade específica deste sistema aquífero é inferior a $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, entretanto, excepcionalmente em áreas mais fraturadas ou com arenitos na base do sistema, podem ser encontrados valores superiores a $2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. A salinidade apresenta valores baixos, geralmente inferiores a 250 mg/l.



Unidades Morfo-tectônicas	Unidades Hidrogeológicas	Regiões Litológicas
I - Fachada Atlântica	a - ácidas aplainadas b - ácidas dissecadas	A - Efusivas Ácidas
II - Abóboda Central	e - básicas mamelonadas d - básicas densamente dissecadas c - básicas dissecadas	B - Efusivas Básicas
III - Abóboda Oeste	f - arenitos circundesnudados g - básicas aplainadas h - escarpadas	C - Efusivas Básicas - Arenitos

Figura 4: Províncias hidrogeológicas da Formação Serra Geral (adaptado de Lisboa, 1996)

Segundo Rebouças (1978), a condutividade hidráulica do Sistema Aquífero Serra Geral tem características variáveis, complexas e de difícil avaliação, pois o mesmo constitui-se em um aquífero heterogêneo e anisotrópico. A anisotropia do SASG vem do fato de que estas rochas, originalmente impermeáveis, sofreram processos tectônicos e de resfriamento, adquirindo porosidade secundária (fraturas). A porosidade permite a existência de circulação e armazenamento de água em sua estrutura (FRAGA, 1987). A análise de fluxos de água subterrânea em estruturas verticais e horizontais realizada por Lastoria et. al. (2006) concluiu que as principais estruturas e feições condicionantes de fluxo e armazenamento no SASG, estão associadas às juntas e ao sistema de diaclaseamento horizontal e no contato entre os derrames. Entretanto, segundo Rebouças e Fraga (1988), as condições originais de fluxo podem ser alteradas por falhas, diques e sills de diabásio. Neste contexto,

as falhas possuem grande importância para a recarga e circulação de água subterrânea nas rochas formadoras do aquífero. As condições de armazenamento e circulação da água no SASG é representada, na figura 6, pelo modelo proposto por Freitas et al., (2000).

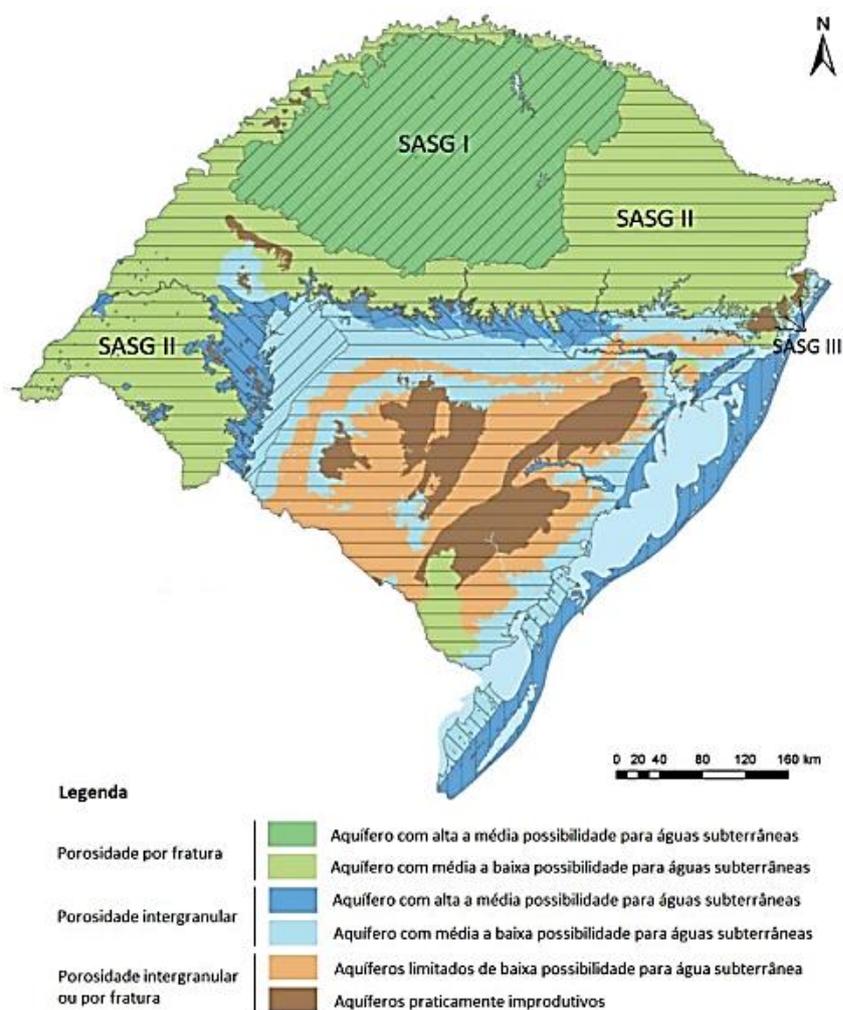


Figura 5: Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (modificado de Machado & Freitas, 2005)

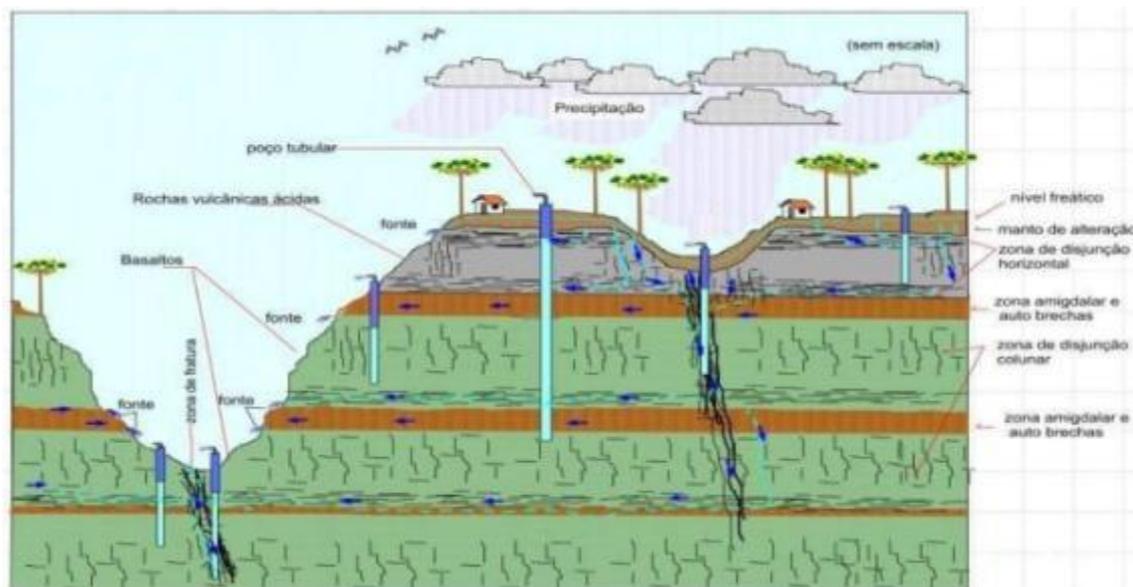


Figura 6: Modelo conceitual de circulação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral (adaptado de Freitas et al., 2000)

Bortolin (2018), utilizou dados de 216 poços tubulares localizados em áreas próximas à deste estudo e constatou que a profundidade média dos mesmos é de 94m, e apresentam nível estático médio de 11 m. Em torno de 69% dos poços apresenta NE abaixo dos 10m, tendo vazões inferiores a 10 m³/h (71%). Ainda, Reginato e Strieder (2004), ao realizar estudo com 283 poços na bacia hidrográfica Taquari-Antas, área que engloba a região de estudo, verificaram que 72% possuem vazões de até 10 m³/h, 12% contém vazões entre 10 e 15 m³/h, 6% possuem entre 15 e 20 m³/h e 9% apresentam vazões maiores que 20 m³/h. A média dos valores encontrados para a capacidade específica ficou em 0,3954 m³/h/m tendo como valor mínimo 0,106 m³/h/m e valor máximo 1,1663 m³/h/m. Os autores também verificaram uma profundidade média de poços produtivos em 110 m, sendo que a maior parte deles possui somente uma entrada de água. Bortolin et al. (2014), ao avaliar 137 poços na mesma bacia, para poços com até 3 entradas de água, encontrou vazões inferiores a 20 m³/h.

Pacheco (2019), analisou 100 poços na região de Nova Petrópolis e concluiu que, a média dos valores para a capacidade específica é de 0,36 m³/h/m, com máximo de 1,06 m³/h/m e mínimo de 0,03 m³/h/m. Já as vazões estão entre 1 e 27,8 m³/h e apresentam uma média de 6,8 m³/h/m. Para a região de Garibaldi, Frenzel

(2017), analisou dados de 87 poços e encontrou valores médios de capacidade específica mais elevados, ficando em torno de $0,920 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, com um valor máximo de $8,718 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e mínimo de $0,006 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Os valores médios encontrados para a vazão, na análise de 140 poços, estão na faixa dos $13,956 \text{ m}^3/\text{h}$.

Elsenbruch (2017) realizou um trabalho na região dos municípios de Serafina Corrêa e Casca, que são cidades situadas imediatamente à oeste e à noroeste da área deste estudo e pode confirmar a heterogeneidade hidráulica do aquífero fraturado, observando que poços locados em áreas próximas apresentam valores de capacidade específica discrepantes. Ainda segundo a autora, as descontinuidades laterais, como juntas e zonas de contato entre derrames, são as principais condicionantes para a circulação de água subterrânea. Também constatou que, apesar de zonas vesiculares serem consideradas boas zonas para acumulação e circulação de água, as vesículas não são conectadas e/ou estão preenchidas por minerais secundários, que acabam por dificultar a circulação de água nestas rochas. Pode ainda perceber que as fraturas tectônicas (porosidade secundária) têm papel essencial na permeabilidade do aquífero, pois influenciam na circulação vertical da água presente no aquífero. A análise de lineamentos não mostrou uma boa correlação com a produtividade dos poços, porém pode perceber que os maiores valores de capacidade específica tendem a estar relacionados com lineamentos de direção NW.

2.3 Hidroquímica Regional

As águas do SASG possuem variada composição química em razão de sua circulação se dar em diferentes níveis, associados aos derrames vulcânicos de diferentes composições (rochas ácidas e básicas), apresentando então, características químicas distintas (REGINATO et al., 2013). Lisboa (1996) divide o Sistema Aquífero Serra Geral em dois campos hidrogeoquímicos primários: águas bicarbonatadas cálcicas e calcomagnesianas e águas bicarbonatadas sódicas.

Reginato (2009), através de estudo hidroquímico realizado na região nordeste do Rio Grande do Sul, observou que as águas do sistema podem ser classificadas

em três campos principais: águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas (80,1%); águas bicarbonatadas sódicas (18,4%) e águas sulfatadas cálcicas ou magnesianas (1,4%). Com relação à análise dos cátions Reginato (2003), verificou que as águas subterrâneas da região se dispõem em três campos principais: águas cálcicas (62%); águas mistas (37,6%) e águas sódicas (18,4%). Essas águas, ainda de acordo com o autor, apresentam valores de condutividade entre 44 e 498 uS/cm e pH entre 5,8 e 9,9. Segundo Reginato (2009), há um controle litoquímico das águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, já que estas têm características químicas associadas aos processos de intemperismo atuantes sobre as rochas vulcânicas da região. Para os campos das águas bicarbonatadas sódicas e sulfatadas cálcicas ou magnesianas os condicionantes são geotectônicos e morfotectônicos, sendo responsáveis pela ligação e mistura das águas dos diferentes sistemas aquíferos (SAG e SASG).

Segundo Boff et al., (2006), as águas minerais do SASG no nordeste do RS apresentam um predomínio do ânion HCO_3^- e dos cátions Ca^+ e Na^+ e apresentam sistematicamente elementos raros, como por exemplo lítio, estrôncio e zinco. O pH das águas geralmente é neutro e mantém-se bem equilibrado próximo de 7. As condicionantes da variação do pH das águas são as concentrações de bicarbonato (HCO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}). Reginato (2012) indica que a existência de conexão entre o SAG e o SASG e a diferença no grau de confinamento das águas circulantes, são fatores responsáveis nas diferenças químicas entre as águas. Ainda segundo o autor, a concentração de carbonatos e bicarbonatos, em geral baixas, pode ter relação a um maior grau de confinamento ou à presença minerais carbonáticos preenchendo fraturas ou amígdalas.

Freitas et al., (2016) realizou uma análise da condutividade elétrica da água de 7.620 poços instalados no SASG e identificou valores mínimos de 10,21 uS/cm e máximos de 7.130 uS/cm, com valores médios em 192,56uS/cm. Tais valores se concentram entre 117,35 e 378,35 uS/cm, sendo que valores acima ou abaixo destes são considerados anômalos.

Segundo Bortolin et al. (2016), a depender da profundidade das entradas de água dos poços instalados no SASG, relacionados às rochas ácidas, as características hidroquímicas do sistema aquífero podem apresentar variações. Foram encontradas pelos autores, concentrações médias de cálcio de 13,71 mg/L,

bicarbonato variando de 5,49 a 97,6 mg/L, pH ácido (4,89 a 6,67), STD de 64 a 161 mg/L, sódio de 4,81 a 15,74 mg/L, sulfato menor que 4 mg/L, potássio entre 0,92 e 7,13 mg/L, CE de 98 a 200 uS/cm com as águas sendo classificadas como bicarbonatadas cálcicas-magnesianas. Ainda de acordo com os autores, por efeito de uma circulação mais acelerada, poços com entradas de água menos profundas apresentam menores concentrações nos íons analisados, bem como águas mais ácidas. Em poços com entradas de água mais profundas, as águas apresentam concentrações maiores nos íons, devido a um maior tempo de residência.

Hausman (1995) salienta que apesar da qualidade e potabilidade da água subterrânea da região serem boas, a presença de ferro, manganês e flúor é um problema que pode comprometer tais atributos. De maneira geral, existem pontos em que a água encontrada apresenta um excesso de ferro e manganês. Isto é originado pela decomposição, através do intemperismo, das rochas vulcânicas portadoras de minerais ferro-magnesianos, que ao fornecer estes elementos ao solo estão contribuindo para o enriquecimento destes nas águas. O flúor também pode ter origem nas rochas vulcânicas, bem como pode ser fruto do longo tempo de residência da água associada à recarga ascendente em condições de confinamento, levando ao enriquecimento em fluoreto (NARDY, 2008). Nanni (2008), menciona que as concentrações anômalas de flúor podem ter relações com recarga ascendente.

Em trabalho mais recente, Matos (2020), destaca que diversos autores sugerem que a presença de águas do SASG classificadas como bicarbonatadas sódicas, sulfatadas sódicas, sulfatadas ou cloretadas sódicas, ricas em cloreto, sulfato e sódio têm influência de águas de unidades hidroestratigráficas sotopostas, formadoras do SAG e pré-SAG, levando em conta a grande quantidade de estruturas que possivelmente permitem a conexão com aquíferos mais profundos. O autor salienta que a mistura de águas entre o SASG e o SAG ocorre em diferentes proporções devido a diversos fatores, como: características físicas das fraturas, profundidade e quantidade das fraturas, tempo de residência das águas, volume de contribuição de cada um dos sistemas aquíferos e variabilidade hidroquímica. O autor separou as águas do SASG em quatro grupos, sendo que os grupos C1-SASG e C2-SASG apresentam características típicas para este sistema aquífero: águas pouco mineralizadas e relacionadas principalmente com os íons bicarbonato, cálcio e magnésio. Para o SAG, também dividido em quatro grupos, C3-SAG e C4-SAG

são compostos por águas típicas de alto confinamento, com altos valores de condutividade elétrica, sódio, cloreto e sulfato, sendo que o grupo C3-SAG apresenta maiores concentrações de bicarbonato. Os parâmetros principais que indicam misturas entre as águas do SAG e do SASG são o sódio, cloreto, fluoreto, sulfato e a condutividade elétrica, sendo que existe uma alta probabilidade da ocorrência de interações das águas do SAG nos poços dos grupos C3-SASG e C4-SASG. O autor ainda propõe um modelo conceitual de interações entre o SAG e o SASG que visa retratar a dinâmica do fluxo de água subterrânea entre os aquíferos, representada pelo grupo C4-SAG (água com teores elevados de sódio, sulfato, cloreto e condutividade elétrica) (figura 7), indicando que em regiões de relevo mais aplainado e vales mais abertos, os valores para os principais parâmetros das águas do SAG tem sua proporção reduzida.

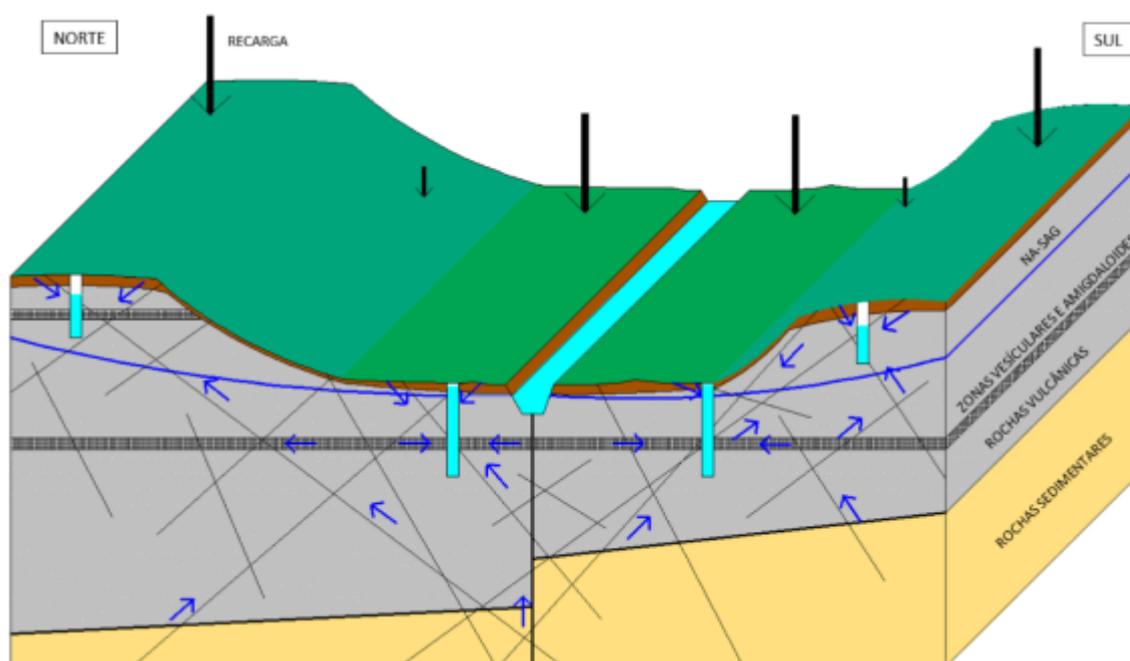


Figura 7: Modelo conceitual de interação de águas do SAG e do SASG (Retirado de Matos, 2020)

2.4 Potencialidade

O sistema aquífero fraturado, a depender da região, se comporta de diferentes maneiras pois, existem fatores que condicionam a circulação de água nestes aquíferos. Neste caso os condicionantes são as características do sistema estrutural (tipo de estrutura e orientação), da litologia (tipo de rocha e estruturas primárias associadas), relevo (grau de dissecação) e dos solos (tipologia). Assim, a depender destes condicionantes, haverá um comportamento hidrogeológico relacionado (REGINATO, 2003). O autor ainda salienta que o grau de importância das estruturas tectônicas (porosidade secundária) é mais expressivo em relação às estruturas primárias, sendo então os principais condicionantes de aquíferos fraturados.

Segundo Diniz et al. (2006) a avaliação da produtividade dos diferentes aquíferos é estimada através da permeabilidade, geologia (tipo litológico) e hidrogeologia (valores de condutividade hidráulica). Também se utilizam valores de vazão específica, que é resposta da transmissividade hidráulica do meio, tendo em vista a relação direta entre transmissividade, capacidade específica e produção do aquífero. Podem ser usados valores de recarga para representar uma aproximação do limite máximo desta produtividade. Diniz (2012), baseando-se em valores estabelecidos por Struckmeir & Margat (1995), propõe os intervalos de valores dos coeficientes hidráulicos de diferentes parâmetros que podem ser utilizados para a classificação de aquíferos dispostos na tabela 1.

Freitas et. al. (2012) avaliaram o comportamento hidrogeológico do SASG no noroeste do Rio Grande do Sul e separaram o sistema aquífero, em termos de potencial hidrogeológico, em quatro zonas, com características geológicas, estruturais e geomorfológicas bem definidas e diferentes entre si. A zona muito boa é a que apresenta as melhores vazões, podendo chegar à valores de até 80m³/m quando os poços tubulares forem locados segundo o critério estrutural. Na zona boa, considerada pelos autores uma área transicional em termos de comportamento hidrogeológico, são previstos valores médios de vazão entre 5 e 50 m³/h quando os poços interceptam fraturas, de preferência, de direção NW. A zona regular, que foi considerada uma zona potencialmente ruim para captação de água subterrânea, tende a ter vazões na ordem de 5 m³/m. A zona pobre, especialmente dispersa em

pequenas regiões, é uma área potencialmente ruim e com expectativa de vazões de até 2 m³/m, sendo que os autores não recomendam a perfuração de poços tubulares profundos.

Tabela 1: Caracterização hidráulica de aquíferos (Diniz,2012).

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)

A análise de caracterização hidrogeológica e hidrodinâmica, de acordo com Reginato e Strieder (2004), atesta que dependendo da região analisada, o sistema aquífero fraturado em questão (SASG) apresenta comportamentos diferenciados. Ainda segundo os autores, após análise de dados de 690 poços tubulares, onde foram identificadas informações sobre a profundidade, nível estático, número de entradas de água, vazão, transmissividade e capacidade específica, observou-se que o Sistema Aquífero Serra Geral possui comportamentos e potencialidades diferentes a depender da região. Também, constatou que o sistema é condicionado, principalmente, por estruturas representadas por lineamentos, de diferentes portes. Outro ponto observado por Bettiello (2006), evidencia que o controle da vazão específica tem relação com lineamentos de médio porte (10 a 100 km) de direção dominante NW.

Trevisan (2019), através da análise de 51 poços tubulares instalados no nordeste do Rio Grande do Sul, pode separar os mesmos em dois grupos de acordo com a unidade vulcânica e assim verificar as diferenças entre as vazões. Constatou que os poços que captam água da unidade vulcânica Gramado apresentam vazão média de 28,23 m³/h, enquanto os poços da unidade vulcânica Palmas/Caxias apresentam valores na faixa dos 18,34 m³/h. Pode concluir então que os poços tubulares instalados na unidade vulcânica Gramado possuem uma vazão até 54% maior que os poços da unidade vulcânica Palmas/Caxias.

Lisboa & Reginato (2021) avaliaram locais para perfuração de poços tubulares no SASG no Rio Grande do Sul, através da análise de fatores condicionantes e uso de técnicas de sensoriamento remoto. Nesta avaliação, puderam delimitar os locais mais favoráveis para a locação dos poços definindo como os fatores mais importantes o microclima, os solos e a vegetação, a geologia e a geomorfologia. A região dos municípios de Paraí e Nova Araçá está inserida na Área Aquífera Planalto dos Campos Gerais (Lisboa, 1996) e segundo os autores, de modo geral, a área apresenta boas condições de armazenamento nos lineamentos de médio porte e nas intersecções dos mesmos, bem como, baixas condições em lineamentos de pequeno porte e nulas fora dos lineamentos. O trabalho demonstrou então, que existe de fato uma relação entre o alto potencial de armazenamento no SASG associado aos lineamentos e que setores mais afastados destes, o potencial tende a ser baixo.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste projeto foram executadas uma série de atividades, agrupadas em diferentes etapas, buscando alcançar os objetivos propostos.

3.1 Levantamento de Dados

A etapa de levantamento de dados consistiu na coleta de dados e das informações que já existem sobre a região.

A revisão bibliográfica foi realizada através de informações contidas em publicações acadêmicas, artigos científicos, projetos, teses, dissertações, relatórios, mapas, capítulos de livros e enfim, todo tipo de publicação que continha os dados necessários para a elaboração deste tipo de trabalho.

A partir do material de apoio buscaram-se as informações necessárias para o início do trabalho. Foram pesquisados dados buscando o aprofundamento gradual no conhecimento sobre a geologia regional e local, a hidrogeologia e suas características principais, bem como sobre a parte hidroquímica do SASG na região. Este procedimento é básico, mas de suma importância para adquirir dados necessários para todo o desenvolvimento do projeto. Aqui tomou-se o cuidado de extrair somente informações que fossem pertinentes e que estivessem adequadas ao tema proposto pelo trabalho.

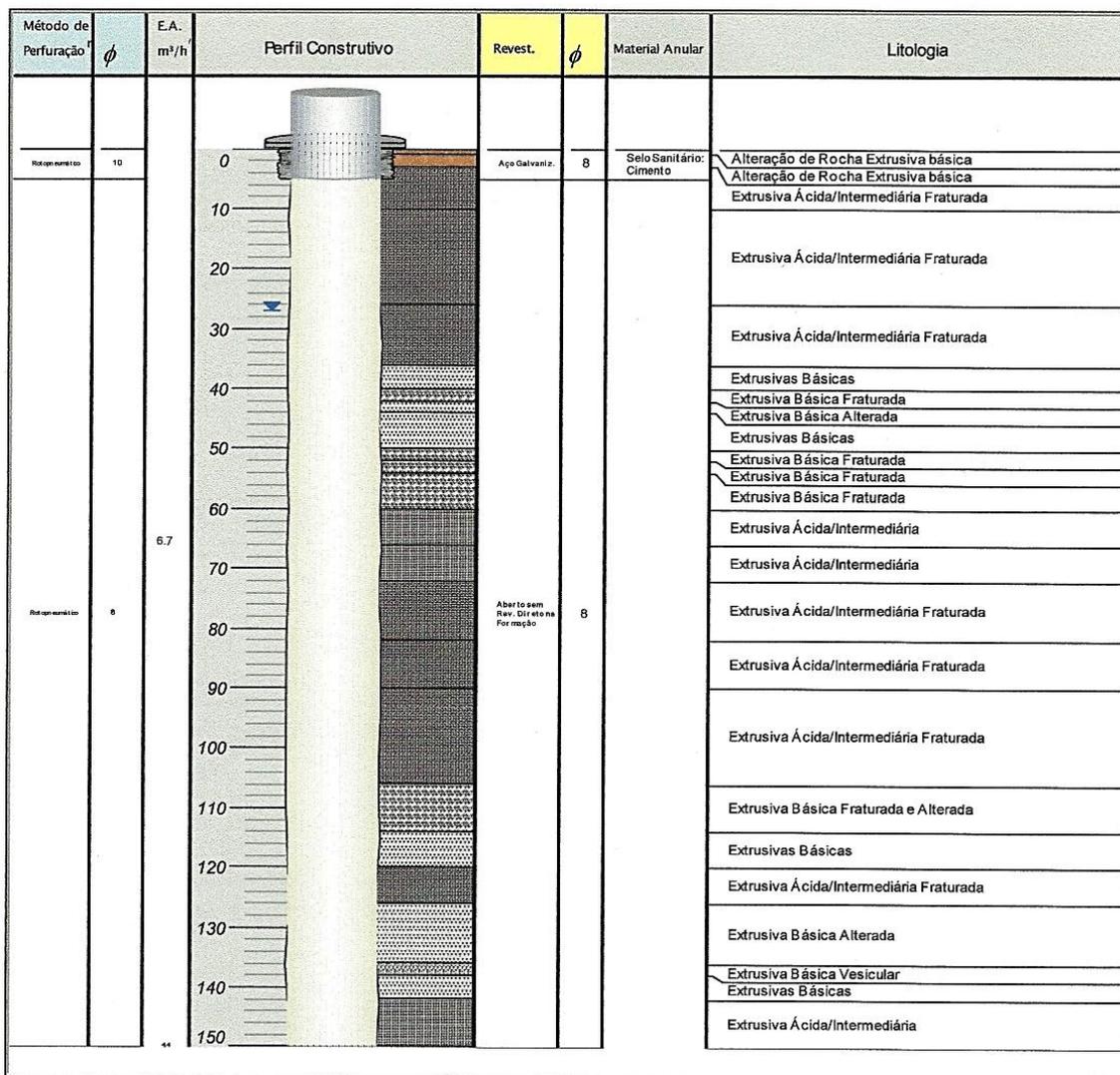
3.2 Inventário e Cadastramento de Pontos de Captação

Nesta etapa buscou-se as informações necessárias para construir um banco de dados, que foi utilizado na execução do trabalho.

Inicialmente foram identificadas fontes de captação de água subterrânea presentes na região do estudo através de bancos de dados da CORSAN (figura 8), SIAGAS/CPRM (figura 9) e junto das prefeituras municipais. Os dados disponibilizados pela CORSAN foram obtidos através de boletins de teste de perfuração, fichas cadastrais e de outorga, ensaios de bombeamento e relatório de análises físico-químicas. Estes documentos possuem dados de localização, perfil construtivo, informações sobre a captação e características físico-químicas da água subterrânea. No banco de dados da plataforma online SIAGAS/CPRM, foram coletadas informações sobre entradas de água, alguns parâmetros químicos e a verificação da existência de perfil construtivo para os poços. As prefeituras disponibilizaram dados gerais para os poços existentes no município, como número de famílias atendidas e os principais usos da água. Estas informações foram utilizadas durante todas as etapas do projeto pois constituem a base do mesmo.

Um trabalho de campo, afim de identificar e catalogar pontos de captação que possivelmente não estavam cadastrados ou não tinham sido identificados até o momento, foi executado entre os dias 03 a 05 de março de 2020. Para o trabalho foram confeccionados mapas que auxiliaram no deslocamento através das estradas municipais, principalmente na zona rural. O cadastramento de novos pontos inicialmente foi executado por meio de visita as famílias e comunidades na zona rural dos municípios e próximo as zonas urbanas. Novos pontos eram registrados em caderneta de campo com dados construtivos, de localização e características físico-químicas da água. Para registrar os dados de localização se fez uso do GPS de Navegação Garmin Etrex anotando as coordenadas UTM e cota. Dados construtivos, como forma de captação e diâmetro do revestimento dos poços também foram cadastrados, juntamente, com um levantamento fotográfico. Durante dois turnos um funcionário responsável pela vigilância sanitária do município de Paraí, acompanhou o trabalho de campo indicando poços de difícil localização. A figura 10 ilustra um ponto de captação.

MUNICÍPIO	NOVA ARAÇÁ	Coordenadas UTM	Coordenadas
LOCALIDADE	SEDE	X 425370	-51.76
Endereço Regional	Final da Rua Andrade Neves	Y 6829473	-28.66
Bacia	SURNE	Z 555 m	SH.22-V-B-V-2
Código	Taquarí-Antas	ZR 555.17 m	M.C./Fuso: 51 / 22 J
Perfurador	G-40	Data (Inic.-Fim)	CREA CORSAN nº
Proprietário	CORSAN	23/07/1988	17865
Aquífero	CORSAN	24/07/1988	ART Obra nº
	Sist. Aquíf. Serra Geral II		4386865



Projeto Operacional	Vazão (m³/h)		Vazão (m³/dia)	N.E.(m)	N.D.(m)	Prof.Bomba (m)	Tempo Máx.Bomb. (h)
		20		320	27.05	77	90
Profundidade Total	150	m	Situação ATIVO		Data 10/03/1994		
Profundidade Útil	150	m	Serviço		Márcio André Klein		
Cap. Específica	0.3233	m³/h/m			Responsável Técnico		
Restrições					CREA 81585		

Figura 8: Perfil geológico construtivo de poço da CORSAN.

CPRM
Serviço Geológico do Brasil

Home
Apresentação
Visualizar Mapa
Pesquisa
Créditos
Informações Complementares

Superior Esquerdo: Latitude 1, Longitude 1
Inferior Direito: Latitude 2, Longitude 2

Região: Sul, Estado: Rio Grande do Sul, Município: Parai

Campos: Selecionar, Condições: Remover, Campo, Orçamento, Valor, Conexão

Sua pesquisa retornou 60 registros

Código do Ponto	UF	Município	Localidade
4100212047	RS	Parai	LINHA CAPOEIRINHA
4300013879	RS	Parai	POÇO 6549 PR2
4100213080	RS	Parai	RUA INDEPENDÊNCIA - SEDE
4300013881	RS	Parai	POÇO 6893 PR5
4100213082	RS	Parai	POÇO 61266 PR8
4300013883	RS	Parai	POÇO 62543 PR11 2 KM SUL SEDE
4100213884	RS	Parai	COR PR16 DISTRITO INDUSTRIAL
4300013885	RS	Parai	RS-324, KM-31
4100213886	RS	Parai	POÇO 6946 PR6

Figura 9: Banco de dados de poços da plataforma SIAGAS (CPRM).

As informações obtidas na etapa inicial de inventário foram cruzadas com as informações obtidas no trabalho de campo (cadastramento de novos pontos de captação) e também organizadas em planilha Excel. Foram geradas tabelas de dados hidrogeológicos e hidroquímicos do SASG onde os arquivos foram gerenciados de forma a facilitar a organização do trabalho.



Figura 10: Ponto de captação de água subterrânea

3.3 Avaliação Geológica

A avaliação da geologia buscou compreender o contexto litológico e estrutural da região por meio da análise e confecção de mapas e perfis bem como interpretações de campo.

A execução deste tipo de avaliação começou a partir da identificação das características litológicas presentes em trabalhos feitos sobre a região e em mapas geológicos e segue com trabalho de campo e pós-campo para o tratamento dos dados. Para a região de estudo, inicialmente foi usado o Mapa Geológico do Rio Grande do Sul (Machado, 2005) juntamente com trabalhos publicados. Os perfis de poços existentes na plataforma SIAGAS/CPRM e nos documentos da CORSAN também foram analisados nesta parte do trabalho. De mesma importância foi o trabalho de campo, que buscou através da descrição de afloramentos, informações acerca da litologia e estruturação dos derrames.

Os dados buscados na literatura fazem parte da avaliação geológica e são informações gerais dos municípios abrangidos neste estudo, tais como localização, formações rochosas e estruturação tectônica, geomorfologia, etc. A análise de perfis de poços auxilia na avaliação das unidades em subsuperfície e a correlação entre litologia e estruturação dos derrames, como zonas brechadas, zonas vesiculares ou amigdalóides, espessura das camadas, contatos entre derrames e etc. No trabalho de campo foram verificadas as diferentes litologias existentes e sua estruturação. Também foram identificadas fraturas e as mesmas tiveram suas atitudes medidas utilizando uma bússola Brunton e tomadas em mão esquerda (DIREÇÃO; MERGULHO) e com estas informações um diagrama de rosetas foi gerado. Também foram feitos registros fotográficos. O levantamento foi realizado ao longo de estradas principais e secundárias dos municípios avaliando afloramentos presentes em cortes de estrada, áreas escavadas, pedreiras, etc (figura 11). As informações como localização, litologia e estruturação dos derrames foram anotadas em caderneta especial para o campo. Com base na compilação das informações da literatura e do trabalho de campo foi possível caracterizar a geologia da área.



Figura 11: Perfil analisado em corte de estrada.

Nesta etapa também foi realizado um levantamento dos lineamentos da região pois estas estruturas são de grande interesse quando se trata de aquíferos fraturados. Mapas de lineamentos e de densidade de lineamentos foram produzidos através do *software* ArcMap 10.5, a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE) da área. Os documentos *rasters* foram gerados com base em imagens do sensor *PALSAR* (*Phased Arraytype L-band Synthetic Aperture Radar*) do satélite *ALOS* (*Advanced Land Observing Satellite*) lançado pela Agência Espacial Japonesa JAXA e obtidas através do site <https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS>. Os dados possuem resolução espacial de 12,5 m. Para o traçado dos lineamentos as imagens foram iluminadas artificialmente nos azimutes (45° e 315°) para anular possíveis lineamentos positivos e facilitar a visualização das feições lineares. Os traçados foram feitos tendo como base feições lineares morfoestruturais negativas, ou seja, vales e trechos de rios. Ainda através do mesmo *software*, foi gerado um mapa de densidade de lineamentos aplicando a ferramenta *Line Density*. As informações de orientação foram utilizadas na confecção de um diagrama de rosetas através do *software* Stereonet, com os dados extraídos pela ferramenta *Azimuth Finder* que foi importada ao ArcMap 10.5.

3.4 Avaliação Hidrogeológica

Essa avaliação teve como meta analisar o contexto hidrogeológico e descrever as principais características dos aquíferos da região através da análise das informações sobre os pontos de captação obtidas nas etapas de cadastramento e inventário de pontos de captação.

Com os dados de nível estático, vazão, transmissividade, capacidade específica, quantidade e profundidade das entradas de água armazenados no banco de dados foi realizada uma interpretação e análise estatística. A análise estatística consiste na confecção de gráficos, no *software* Excel 2009, a partir da obtenção dos valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão dos parâmetros mencionados. As informações geradas foram utilizadas na identificação e avaliação destas características hidrogeológicas.

O controle geológico e estrutural dos aquíferos foi avaliado através de correlações entre profundidades de entradas de água e respectiva litologia e estruturação, já identificadas nos perfis dos poços.

3.5 Avaliação Hidroquímica

A avaliação hidroquímica permitiu identificar e analisar os padrões hidroquímicos do SASG e do SAG na área do estudo tomando como base as informações levantadas.

Nesta etapa foram utilizados os dados de pH, condutividade elétrica, temperatura e sólidos totais dissolvidos existentes no banco de dados e que foram coletados no trabalho de campo, bem como os parâmetros sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloretos, sulfatos, alcalinidade, carbonatos, bicarbonatos, ferro, manganês, fluoretos e nitrato que foram obtidos em relatórios de análises físico-químicas existentes (coletas realizadas entre 1995 e 2014) e armazenadas no banco de dados. Os dados de campo (pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e temperatura) foram obtidos com o emprego da sonda multiparâmetro TESTR 35

Séries da Eutech Instruments Oakton (figura 12). Além disso, foram selecionados três poços onde foram feitas as coletas de amostras de água subterrânea. A coleta das amostras foi realizada na saída da tubulação edutora, sendo que a água foi acondicionada em frascos fornecidos pelo laboratório. Após a coleta os frascos foram acondicionados em caixas térmicas (figura 13), refrigerados com uso de gelo e encaminhados para o laboratório de análises físico-químicas do Centro de Ecologia do Instituto de Biociências da UFRGS. Os parâmetros analisados nesse laboratório foram alcalinidade, cálcio, cloretos, dureza, ferro, fluoreto, magnésio, manganês, potássio, sódio e sulfato. Na figura 14 pode-se observar os limites de detecção e as metodologias utilizadas nos respectivos ensaios.



Figura 12: Aferição de parâmetros com sonda.



Figura 13: Acondicionamento das amostras.

Os dados físico-químicos foram submetidos a uma análise estatística e utilizados na elaboração de gráficos (com uso do *software* Excel 2009), visando com isso promover uma caracterização hidroquímica dos aquíferos. Além disso, os parâmetros sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloretos, sulfatos, carbonatos e bicarbonatos foram utilizados na confecção de diagramas (Piper, Stiff e Schoeller – Berkaloff), com uso do *software* Qualigraf (Mobus, 2002). Esses gráficos foram utilizados na identificação dos principais tipos e padrões hidroquímicos da água subterrânea associados aos sistemas aquíferos.

Porto Alegre, 11 de junho de 2020.

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 006/2020-GERAL

Requisição n°:	008/2020.
----------------	-----------

Dados do Cliente			
Cliente	Pedro Antônio Roehe Reginato/Cassiano Trevisan (Trabalho de Conclusão).		
Endereço	UFRGS/IPH - Av. Bento Gonçalves, 9500.		
Dados da Amostra			
Tipo de Amostra	Água subterrânea.		
Identificação da amostra	PAR1.		
Data do Recebimento	05/03/2020.		
Data da Coleta	05/03/2020.	Hora da Coleta	08h00min.
Responsável pela coleta	Pedro Antônio Roehe Reginato.		
Local da Coleta	PARAI - RS.		

ENSAIOS REALIZADOS					
Parâmetro	Unidade	Resultado	Limites	Metodologia	REF.
Alcalinidade	mgCaCO ₃ /L	98	1,00 LD	Volumetria de neutralização	6
♠ Cálcio	mg/L	14,9	0,003 LDM	EAA/Chama Ar- Acetileno	1
Cloretos	mgCl ⁻ /L	3,00	1,00 LD	Volumetria de precipitação	7
Dureza	mgCaCO ₃ /L	69	2,00LD	Complexometria com EDTA	5
♠ Ferro	mg/L	1,15	0,037 LDM	EAA/Chama Ar- Acetileno	1
Fluoreto	mgF ⁻ /L	0,14	0,10 LD	Eletrodo de Ion Seletivo	1
♠ Magnésio*	mg/L	4,32	0,007 LDM	EAA/Chama Ar- Acetileno	1
♠ Manganês	mg/L	ND	0,006 LDM	EAA/Chama Ar- Acetileno	1
♠ Potássio	mg/L	0,620	0,110 LDM	EAA/Chama Ar- Acetileno	1
♠ Sódio*	mg/L	22,9	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

*Sem Cadastro FEPAM
Cadastro FEPAM N°: 03030/2014

Av. Bento Gonçalves, 9500 - Agronomia - Caixa Postal 15007 - CEP: 91.501-970 - Porto Alegre - RS
Fone: (51) 3308-6762 - Fax: (51) 3308-7307 - e-mail: ceneco@ufrgs.br - Home Page: www.ecologia.ufrgs.br
Relatório de Ensaio 006 - 20 - Cassiano Trevisan - Pedro A.R.Reginato(1/1)

Figura 14: Relatório de ensaio.

O diagrama de Piper é utilizado para a classificação e representação gráfica do tipo químico da água subterrânea, baseado nos íons dominantes (Na⁺+K⁺, Ca⁺²,

Mg⁺², CO₃⁻²+HCO₃⁻¹, SO₄⁻² e Cl⁻) e tem suas concentrações expressas em meq/L. O diagrama é composto por dois triângulos na base, um representa o campo dos cátions e outro representa o campo dos ânions, e um losango ao centro. Quando as amostras são plotadas nos triângulos e tem seus pontos prolongados para o losango central, o cruzamento do prolongamento define a amostra de acordo com sua composição química. O diagrama de Stiff é utilizado para detectar famílias ou grupos de diferentes tipos de água, com base em suas características hidroquímicas. O diagrama é composto por quatro eixos horizontais paralelos que, a partir de um eixo central vertical, se estendem nas duas direções. À esquerda do eixo central são plotados os valores de concentração dos cátions em meq/L e à direita do eixo central são plotados os valores de concentração dos ânions, também em meq/L. Os pontos com os valores são conectados e resultam em um polígono que auxilia na análise da distribuição espacial dos dados. O diagrama de Schoeller – Berkaloff é utilizado na avaliação de tendência das águas e distinguir famílias a partir de um padrão químico. Nos diagramas de Schoeller – Berkaloff são traçadas sequências de linhas unindo pontos que representam os valores dos cátions e ânions (meq/L) utilizando escala logarítmica. A escala é útil na representação e observação da relação entre íons associados à inclinação das linhas, facilitando a distinção de padrões de águas.

Para avaliar a qualidade da água subterrânea os resultados das análises das amostras de água coletada foram comparados com os VMPs (valores máximos permitidos), definidos na Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008.

3.6 Avaliação do Potencial Hidrogeológico

Esta etapa foi realizada com base nas informações obtidas nas avaliações geológica e hidrogeológica e servindo para identificar locais que sejam mais favoráveis para a locação de poços produtivos.

Com base na análise da capacidade específica e vazão dos poços foi feita a avaliação da produtividade do SASG na região, de acordo com as diferentes classes que estão definidas na tabela 2.

Tabela 2: Caracterização hidráulica de aquíferos (modificado de Diniz, 2012).

Q/s (m³/h/m)	Q(m³/h)	PRODUTIVIDADE	CLASSE
≥ 4,0	≥ 100	Muito Alta	1
2,0 ≤ Q/s < 4,0	50 ≤ Q < 100	Alta	2
1,0 < Q/s < 2,0	25 ≤ Q < 50	Moderada	3
0,4 ≤ Q/s < 1,0	10 ≤ Q < 25	Geralmente baixa, porém localmente moderada	4
0,04 ≤ Q/s < 0,4	1 ≤ Q < 10	Geralmente muito baixa, porém localmente baixa	5
< 0,04	< 1,0	Pouco produtiva ou Não aquífera	6

A avaliação do potencial hidrogeológico foi executada através de uma análise, correlacionando os lineamentos previamente identificados e a localização dos poços com maiores capacidades específicas. Para isso os poços foram plotados no mapa de lineamento e através do *software* ArcMap 10.5 foram definidos quais deles estão dentro de uma distância de 200m dos lineamentos. Dessa maneira buscou-se definir orientações de lineamentos que estejam associados a poços produtivos, confeccionando também um diagrama de rosetas. Por fim foi gerado um mapa de capacidade específica e vazão, através do *software* ArcMap 10.5, que foi cruzado com o mapa de orientações preferenciais de lineamentos, identificando regiões e estruturas mais propícias para a exploração de água subterrânea. A avaliação do potencial hidrogeológico também observou nos perfis construtivos as entradas de água e estruturação interna dos derrames para analisar se as estruturas são condicionantes da produtividade. Ainda foram avaliadas as condições geomorfológicas (vales mais dissecados associados às maiores drenagens) pois tais condições também são fatores determinantes no potencial hidrogeológico do SASG.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Água Subterrânea nos Municípios de Paraí e Nova Araçá

Os municípios de Paraí e Nova Araçá são abastecidos exclusivamente através da captação de água subterrânea, demonstrando então a extrema importância da disponibilidade e qualidade deste recurso para o desenvolvimento da região. A CORSAN é responsável pelo abastecimento público urbano dos municípios e atualmente conta com 10 poços em operação e 3 poços em reserva técnica em Paraí, e 8 poços em operação e 2 em reserva técnica em Nova Araçá. O abastecimento da comunidade rural é realizado pelas prefeituras municipais e por associações comunitárias. Também existem poços particulares, para abastecimento doméstico, instalados em algumas localidades, visto que nem todas as residências possuem ligação à rede pública.

A análise quantitativa do uso dos recursos hídricos subterrâneos, realizada através da avaliação de um banco de dados, permitiu caracterizar a situação do uso dos recursos subterrâneos para os municípios estudados. No banco de dados final, estão catalogados 135 poços tubulares, sendo que 71% dos poços possuem informações sobre o uso dos recursos hídricos subterrâneos e os 29% restantes não carregam estas informações (gráfico 1).



Gráfico 1: Porcentagem de poços que possuem informações sobre a situação.

Dos poços cadastrados que possuem informações sobre a situação, 50% estão bombeando, 14% estão secos, 8% fechados, 12% estão como nulos, 8% estão abandonados, 6% atulhados e 2% parados (gráfico 2).

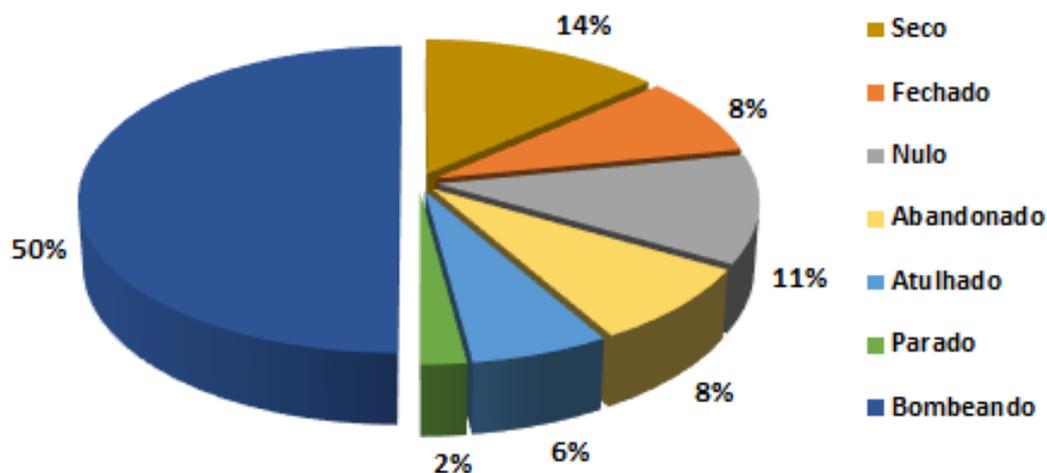


Gráfico 2: Situação dos poços identificados.

O uso dos recursos hídricos subterrâneos nos municípios estudados (gráfico 3) possui diferentes finalidades, que vão desde o abastecimento doméstico até o industrial, ou seja, as formas de uso de tal recurso são diversas e estão distribuídas entre diferentes setores. Para a classificação das formas de uso, dos poços em funcionamento, têm-se a informação de 88 poços. O setor agropecuário dos municípios é o que apresenta a maior porcentagem no uso dos recursos hídricos subterrâneos, somando 35% do total. Em seguida aparece o abastecimento doméstico, urbano, rural e por fim o uso industrial.

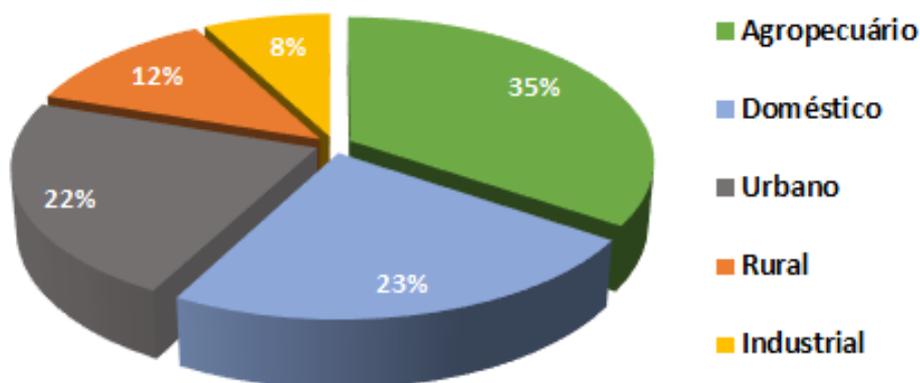


Gráfico 3: Tipos de uso das águas subterrâneas.

No interior do município de Paraí há poços comunitários instalados com a finalidade de abastecer várias famílias ao mesmo tempo e, são estes, os poços classificados como rurais. Aqui percebe-se a importância dos mesmos, pois um único poço tem a função de fornecer água para diversas famílias. Na tabela 3 estão os poços comunitários e o número de famílias que cada um atende, além da estimativa de pessoas atendidas. Analisando a tabela tem-se a informação de que o poço com maior número de famílias atendidas é o BARRA SECA PELEGRINI, que fornece água para 80 famílias. O poço com menor demanda é POVOADO SÃO LUIZ SEGALOTTO, com 6 famílias. A média de famílias atendidas por poço fica em torno de 25.

Durante o trabalho de campo foram observados diferentes tipos de estruturas adjacentes aos poços de captação. Na figura 15 é possível identificar um sistema de cloração já instalado na saída de água de um poço tubular. A figura 16 ilustra um poço padrão CORSAN, com painel de controle, identificação, laje de proteção sanitária, torneira para coleta de água e cercado, ou seja, seguindo especificações segundo a norma NBR 1244 da ABNT (2006). Já o poço da figura 17, apesar de já possuir sistema de cloração, está construído de forma irregular e pode apresentar problemas na qualidade de água.

Tabela 3: Número de famílias e pessoas atendidas por poços comunitários.

Poço	Número de Famílias Atendidas	Estimativa de Pessoas Atendidas
POVOADO ARROIO DOS MOREIRAS, SANTA TEREZINH	15	57
NOSSA SENHORA DA SAÚDE	19	73
BARRA SECA, PECATI	12	46
BARRA SECA, MORES	40	153
BARRA SECA, PELEGRINI	80	306
BARRA SECA, PERETI	22	84
POVOADO SÃO CAETANO, MINOZZO	10	38
POVOADO SÃO CAETANO, OLTRAMARI	27	103
POVOADO SÃO JOÃO BOSCO	24	91
POVOADO SÃO LUIZ, SEGALOTO	6	23
POVOADO SÃO MATEUS	27	103
POVOADO SÃO VALENTIN, FRACANABIA	9	34
SAGRADO CORAÇÃO DE JESUS, ARROIO DAS DIVISAS	46	176
SÃO VALENTIM, BORDIGNON	13	50



Figura 15: Poço com sistema de cloração instalado.



Figura 16: Poço padrão CORSAN segundo NBR 12444 da ABNT (2006).



Figura 17: Poço construído de forma irregular.

Além da captação através de poços tubulares, existem outras formas de captação de água na região, como por poços cacimba e fontes. A figura 18 ilustra um poço cacimba, que é uma forma de captação de água do aquífero granular livre que está localizado no manto de alteração. Na figura 19 observa-se uma caixa de armazenamento para fonte de encosta, instalada no sopé de um morro.



Figura 18: Poço cacimba.



Figura 19: Caixa de armazenamento junto ao pé da encosta.

Para o SAG há apenas 1 poço identificado na área do estudo, localizado em Nova Araçá. O poço pertence ao Frigorífico Agroaraçá Indústria de Alimentos Ltda, antigo Frigorífico Nicolini e é destinado ao abastecimento industrial. O poço tem uma profundidade de 825 m, sendo que o mesmo alcança o topo do SAG aos 747 m de profundidade, em uma altitude de -156 m (figura 20). Como há apenas este poço na área de estudo, o SAG não foi avaliado. Entretanto, se trata de um sistema aquífero importante e na busca de um maior conhecimento devem ser realizados estudos com dados de outros poços que ocorram além da área de estudo.

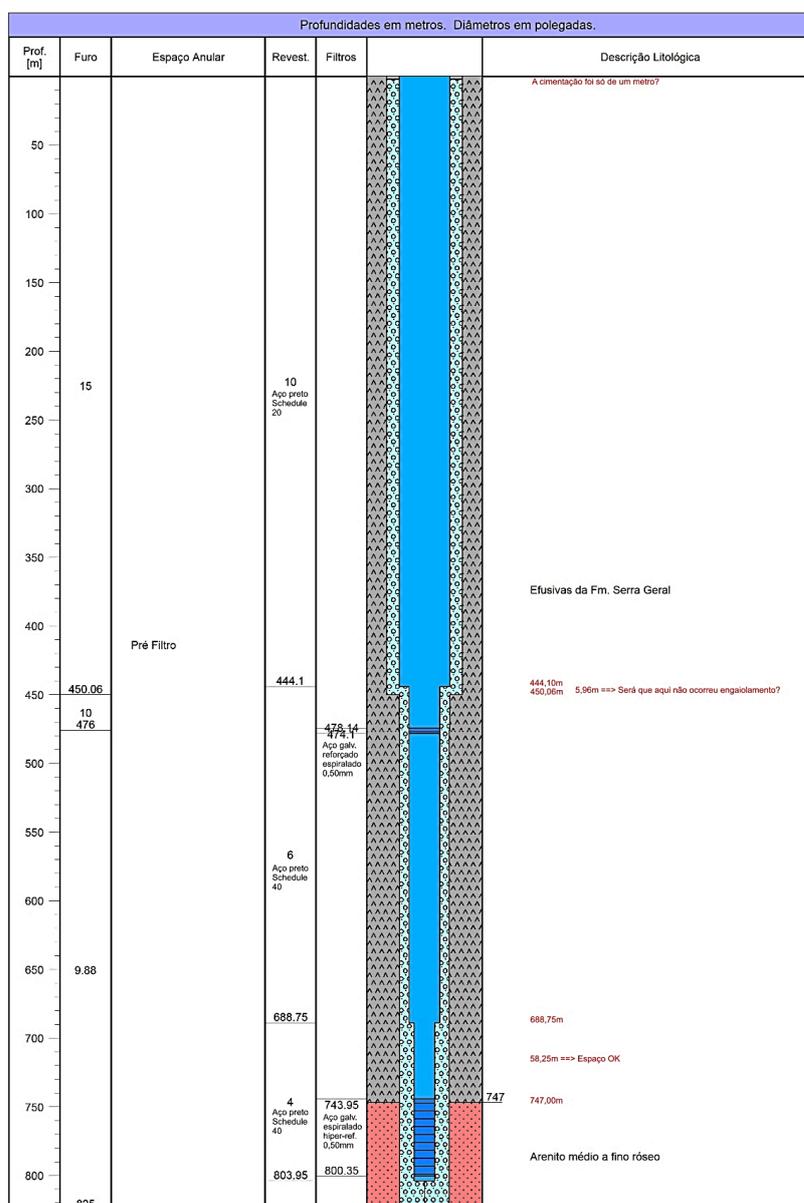


Figura 20: Perfil de poço tubular profundo, alcançando o SAG.

4.2 Geologia dos municípios de Paraí e Nova Araçá

Na região estudada há a ocorrência de duas unidades vulcânicas associadas com as rochas da Formação Serra Geral: Unidade Vulcânica Gramado e Unidade Vulcânica Palmas/Caxias (Machado, 2005). Ainda segundo o autor, Paraí e Nova Araçá estão inseridos predominantemente nos Riodacitos da Unidade Vulcânica Palmas/Caxias, que ocupam uma área de 179 Km² ou 91% do território de estudo. Os basaltos da Unidade Vulcânica Gramado ocorrem de modo subordinado na porção oeste e sudoeste, na calha dos afluentes do Rio Carreiro, bem como no próprio rio e ocupam uma área de 17 Km² ou 9% do território. A figura 21 ilustra as unidades existentes nos municípios bem como os afloramentos descritos.

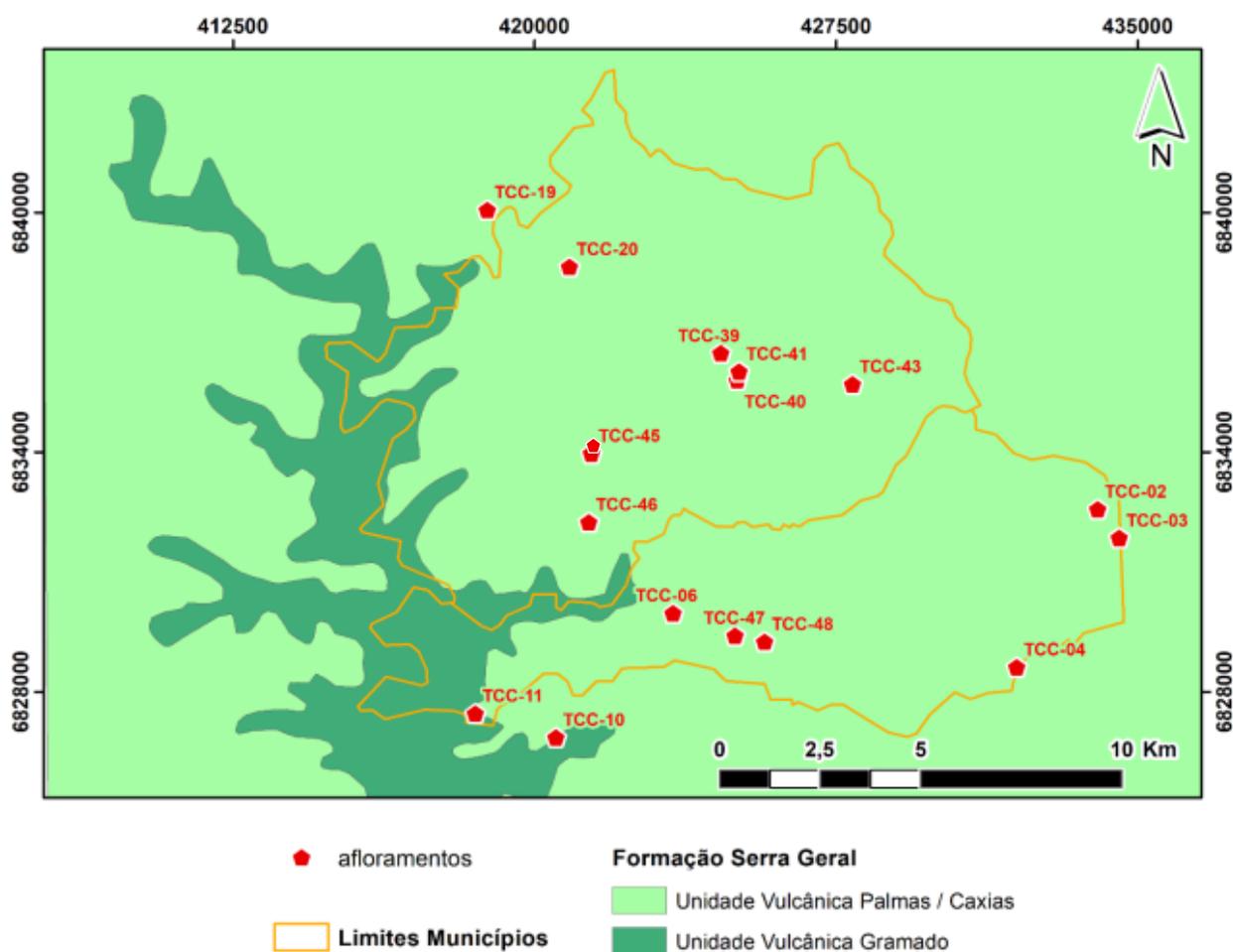


Figura 21: Mapa geológico com a localização dos afloramentos descritos.

Os basaltos da Unidade Vulcânica Gramado, segundo (MACHADO, 2005) são caracterizados por derrames basálticos granulares finos a médio, melanocráticos cinza, horizontes vesiculares preenchidos por zeolitas, carbonatos, apofilitas e saponita, estruturas de fluxo e pahoehoe comuns, intercalações com os arenitos Botucatu. Os riodacitos da Unidade Vulcânica Palmas/Caxias são caracterizados como derrames de composição intermediária a ácida, riodacitos a riolitos, mesocráticos, microgranulares a vitrofíricos, textura esferulítica comum, forte disjunção tabular no topo dos derrames e maciço na porção central, dobras de fluxo e autobrechas frequentes, vesículas preenchidas predominantemente por calcedônia e ágata.

Por meio de levantamento de campo, foram analisados 16 afloramentos através da descrição das litologias e medida das estruturas. Constatou-se que as principais litologias encontradas nos afloramentos são riolitos e riodacitos, microgranulares a vitrofíricos, apresentando frequentes zonas vesiculares e amigdalóides e brechas nas porções de topo de derrame, com zona central maciça, podendo apresentar disjunção tabular e porção vítrea na base. As porções amigdalóides e vesiculares por vezes aparecem orientadas e/ou cortadas por veios. As amígdalas são preenchidas predominantemente por quartzo, zeolita e calcita. As zonas centrais dos derrames também podem ser constituídas por disjunções colunares ou morfologia “em blocos”. Várias zonas de transição entre topo e base dos derrames ácidos foram descritas, sendo que estas são importantes estruturas de percolação de água. A litologia dos afloramentos descritos corresponde com a localização geográfica das Unidades Vulcânicas Palmas/Caxias e Gramado no Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, na escala de 1:750.000, de Wildner (2006).

A figura 22 apresenta um afloramento em escavo de obra, onde existem dois derrames ácidos. O derrame principal ocupa a maior parte do afloramento e é constituído de base, núcleo e topo. A base está em evidência na porção inferior direita da imagem, caracterizada por uma textura afanítica com porções vítreas, coloração cinza e sem uma estrutura bem definida. O núcleo do derrame principal ocupa a maior parte do afloramento, e possui um aspecto friável, coloração em tons de amarelo escuro, marrom e marrom escuro. O topo do derrame em questão aparece na porção superior direita da imagem e está parcialmente intemperizado e erodido. O derrame secundário, sotoposto ao principal, apresenta somente sua zona

de topo, aparecendo nas porções inferior direita e esquerda da imagem, sendo que na porção inferior esquerda tem seus limites marcados. Esta zona é caracterizada por ser homogênea, com aspecto friável, com alto grau de intemperismo, e coloração marrom escuro, além de apresentar umidade, indicando circulação de água pelo meio.



Figura 22: Afloramento de diferentes derrames ácidos com zonas de base, núcleo e topo delimitadas.

O afloramento, identificado na figura 23, consiste de uma parede de pedreira exibindo diferentes pacotes de derrame ácido. No contato entre os pacotes há crescimento de vegetação, o que indica a circulação de água. A rocha, de coloração cinza escuro, apresenta diversos planos de fraturas subverticais, bem como alguns planos de disjunção horizontal. Neste afloramento em específico, por conta da baixa presença de disjunções horizontais, a exploração comercial é realizada visando a produção de agregados (brita), diferentemente da maioria das outras pedreiras existentes na região que pela grande presença de disjunções horizontais, retira as rochas para comercialização de lajes para calçamento, pedras de alicerce e paralelepípedos.

O afloramento da figura 24 consiste em uma zona de núcleo de derrame ácido, com disjunção tabular bem marcada e algumas fraturas verticais e subverticais que cortam o pacote de rochas. A junção destas estruturas pode favorecer a circulação de água, quando as juntas se encontram abertas.



Figura 23: Afloramento com dois diferentes pacotes de derrames ácidos. Zona de contato demarcada.

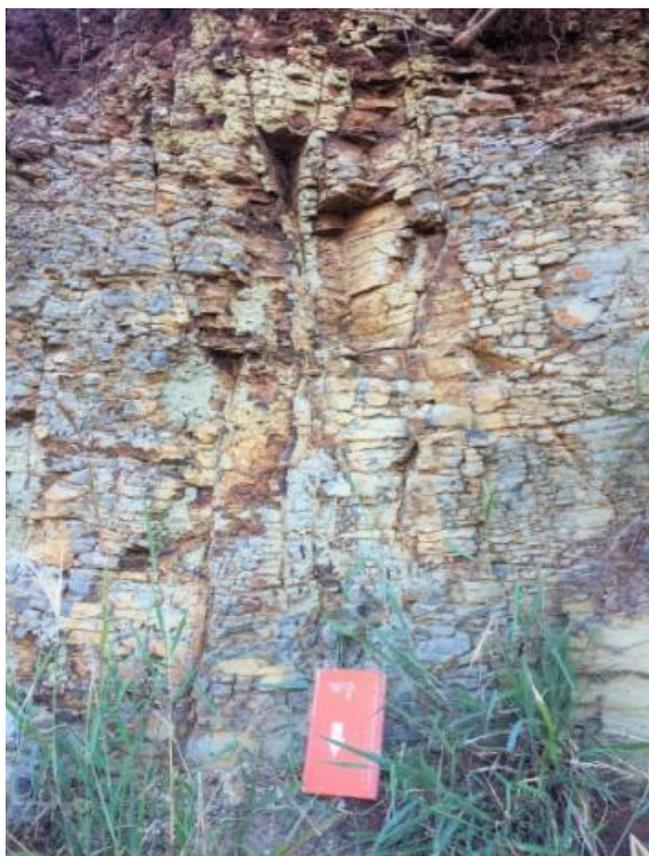


Figura 24: Afloramento de zona de núcleo de derrame ácido, com disjunção tabular e fraturas cortando o pacote de rochas.

Na figura 25 é possível identificar o contato irregular entre topo (sotoposto) e base (sobreposto) de derrame ácido. A zona de topo, por ter presença de amígdalas e vesículas, que favorece a circulação de fluidos, encontra-se parcialmente intemperizada e erodida. A zona de base é predominantemente maciça e constituída por algumas porções vítreas. A diferença de morfologia na zona de transição entre estes dois derrames cria uma região que favorece a circulação de água.



Figura 25: Zona de contato entre topo e base de derrame ácido, com presença de amígdalas e vesículas no topo e porções vítreas na base.

Em outro afloramento (figura 26), foi identificada uma zona de topo de derrame ácido, marcada pela alta concentração de amígdalas, que estão preenchidas por sílica e calcita, de coloração marrom a marrom escuro, de aspecto friável. Esta zona favorece a circulação de água.



Figura 26: Zona de topo de derrame ácido, com alta concentração de amigdalas preenchidas por sílica e calcita.

A figura 27 representa as rochas da Unidade Vulcânica Gramado, que estão pouco presentes na área de estudo, aflorando em cotas mais baixas e associadas ao leito dos corpos hídricos da região. A rocha aparece como um derrame basáltico, de coloração cinza escuro, na forma de lajeado no leito do Rio Carreiro.



Figura 27: Derrame de rochas básicas da Unidade Vulcânica Gramado, aflorando em leito de rio.

Através da avaliação de perfis de poços tubulares foi possível identificar diferentes características, tanto de litologia como de estruturação, das rochas que compõem a região. Os riódacitos descritos em perfis podem aparecer com cores rosadas, tons de cinza, castanho, laranja, marrom e avermelhados. Podem estar com diferentes graus de alteração e fraturamento, presença de amígdalas e/ou vesículas, brechadas ou serem homogêneos. Estas litologias também podem ter presença de mineralização de zeólita ou calcita. A figura 28 apresenta um exemplo de perfil construtivo.

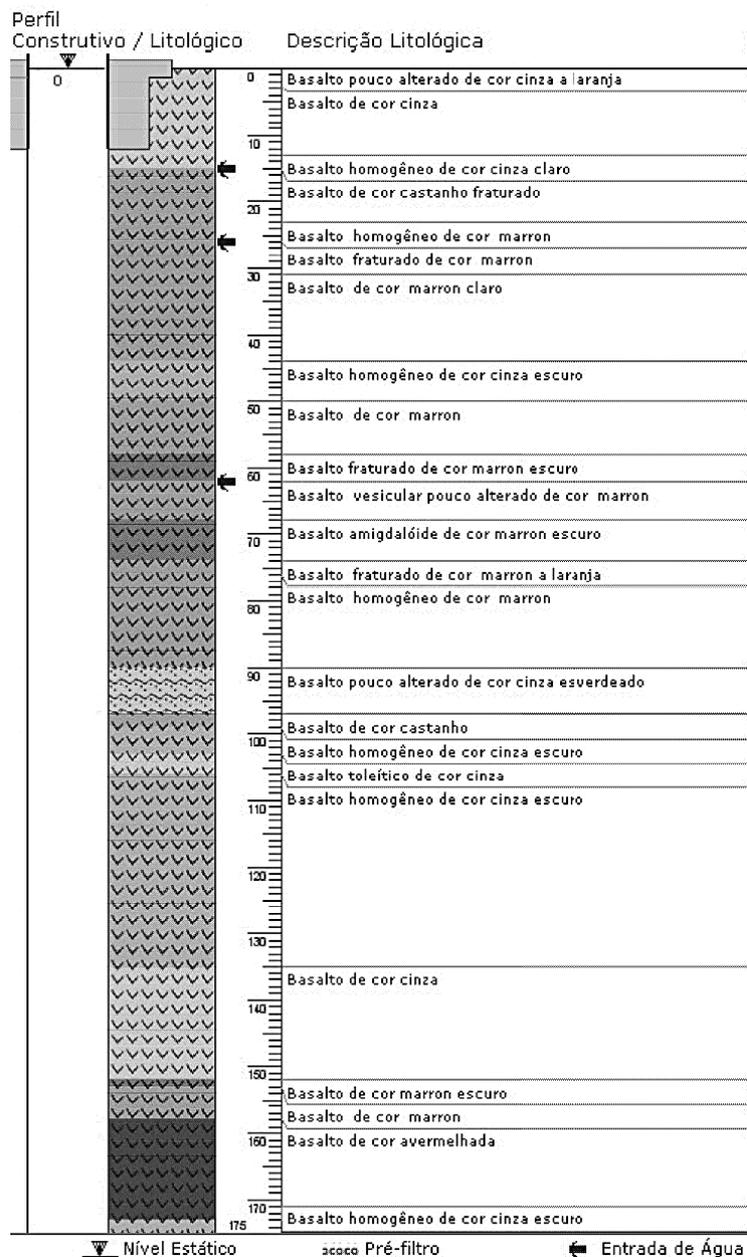


Figura 28: Perfil construtivo de poço tubular

Contatos litológicos são estruturas que podem estabelecer caminhos principais e propiciar a circulação de água em um aquífero. No caso deste trabalho, os contatos são entre diferentes pacotes de derrames de rochas vulcânicas ácidas, geralmente irregulares e por vezes apresentando umidade, o que indica fluxo hídrico por meio destes contatos. No levantamento de campo foram identificados 7 contatos entre os derrames, sendo que as altitudes dos mesmos estão apresentadas na

tabela 4. Estes contatos são entendidos como limites entre diferentes derrames ácidos. Para identificar os limites entre derrames foram levados em conta os parâmetros determinados por Self et al. (1997) de topo, núcleo e base de derrame. Sendo assim as porções amigdalóides e/ou vesiculares foram consideradas como topo de derrame. Um derrame é contabilizado entre o início de uma porção amigdalóide e/ou vesicular até o início da próxima.

Tabela 4: Altitude de contatos entre derrames.

Contato Entre Derrames (Pontos)	Altitude
06	529 metros
10	505 metros
39	724 metros
45	621 metros
46	552 metros
47	540 metros
48	565 metros

Por meio da realização de 33 medidas estruturais realizadas em campo, constatou-se que os planos de fraturas possuem orientação preferencial inseridos no quadrante NW, conforme figura 29. Os intervalos que apresentam maior frequência para NW são os N80-90W seguidos de N0-20W e N50-80W. Para o quadrante NE têm-se as orientações predominantes nos valores N30-40E e N70-80E. Os planos de fraturas são em sua maioria subverticais, com um mergulho médio de 81°, com valor máximo de 88° e valor mínimo de 67°.

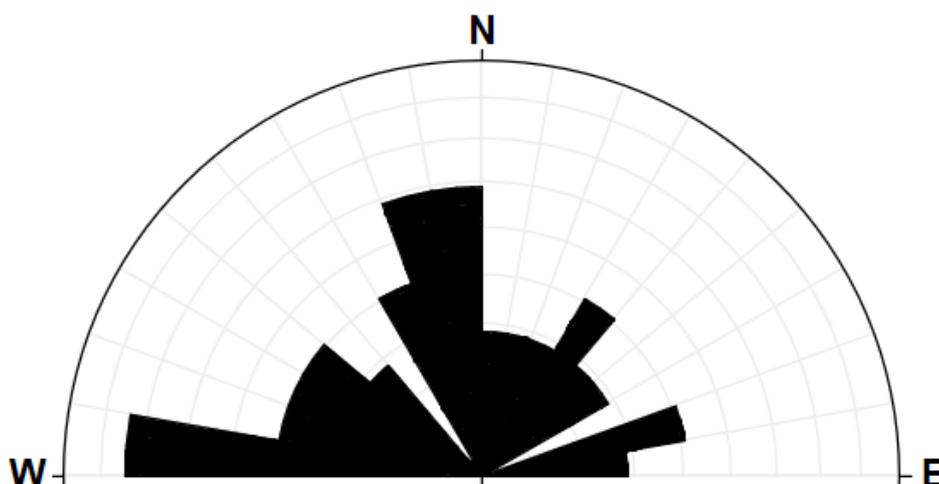


Figura 29: Diagrama de roseta com as 33 atitudes dos planos de fraturas medidas em campo.

A figura 30 apresenta o traçado dos lineamentos identificados na região, em escala 1:50.000. Foram identificados 919 lineamentos, com comprimentos variando de 147,4 m a 4039,6 m. Do total de lineamentos, 97,5% são de pequeno porte (< 2 km), 2,4% são de médio porte (2 a 4 km) e 0,1% são de grande porte (> 4 km). Os traçados foram realizados sobre um MDE, através de um *Hillshade* com sombreamento nos azimutes 045 e 315, no *software* ArcMap 10.5. Os lineamentos abrangem a área de forma bastante ampla e uniforme.

Através das informações obtidas pelo traçado dos lineamentos foi possível elaborar um diagrama de rosetas para os mesmos (figura 31). Constatou-se que os lineamentos se concentram principalmente na direção NNW-SSE seguidos de WNW-ESE, ou seja, a maioria dos lineamentos presentes na região apresentam esta direção. A família de azimutes predominantes em NNW tem orientação que prevalece em N0-10W. A família pertencente a WNW concentra-se em N80-70W. Porém ao considerar a geometria do diagrama de rosetas pode-se perceber que os lineamentos estão amplamente distribuídos nesta região, não existindo uma direção especialmente preponderante sobre as outras. Ao observar a direção principal dos lineamentos e a orientação principal dos planos de fraturas medidos em campo, constata-se que os dados possuem correlação ao estarem dispostos principalmente no quadrante NW.

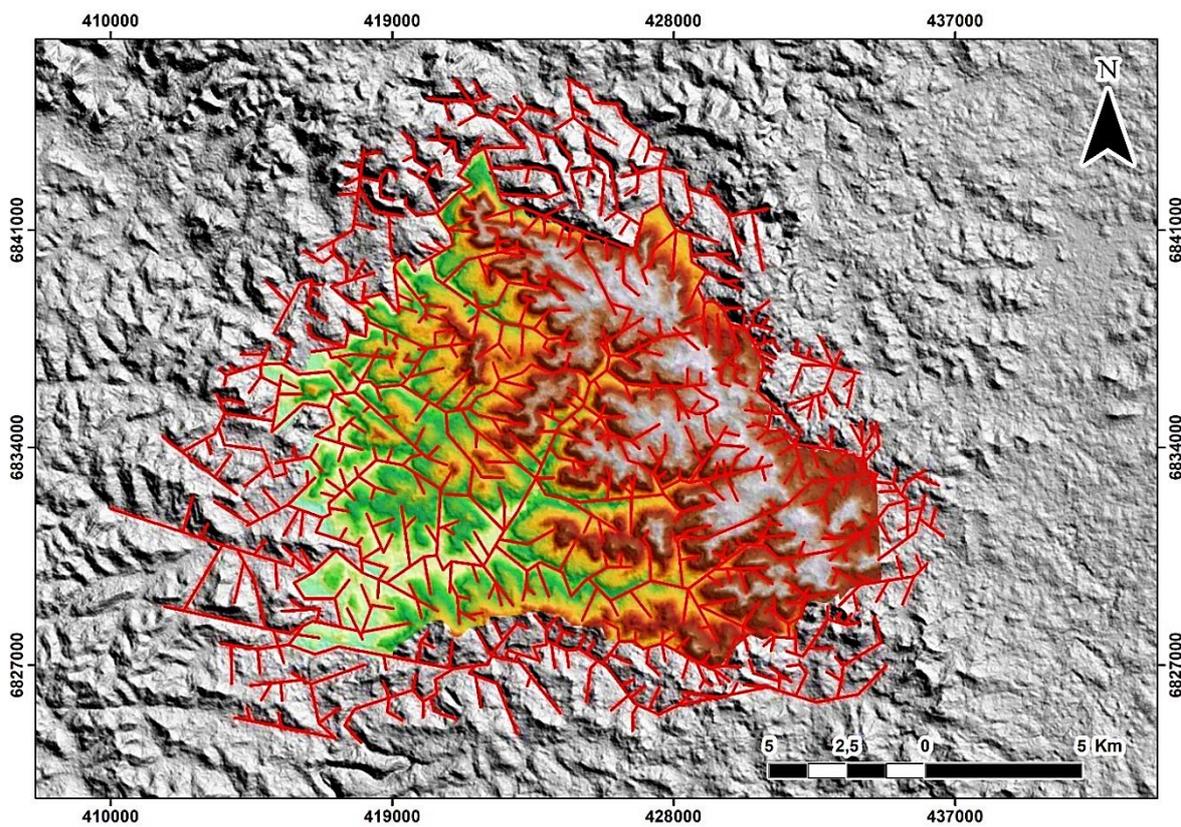


Figura 30: Mapa de lineamentos.

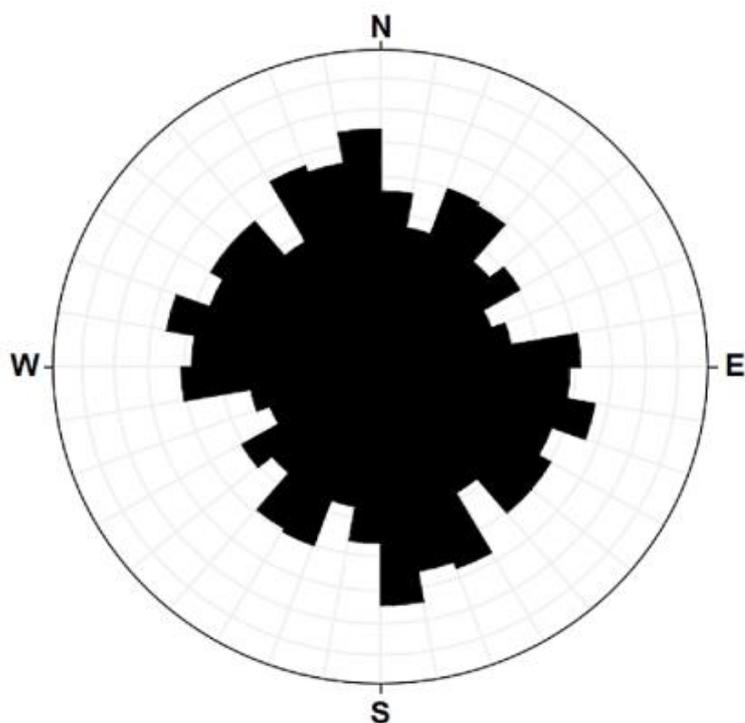


Figura 31: Diagrama de rosetas das direções dos lineamentos identificados.

O gráfico 4 mostra o histograma desenvolvido a partir dos valores de comprimento dos lineamentos identificados. É possível constatar que 62% dos lineamentos estão dentro do intervalo entre 250 e 750 m de comprimento, sendo que destes, 31% entre 250 e 500 m e outros 31% entre 500 e 750 m. Em seguida aparecem os lineamentos compreendidos ente 750 e 1000 m de extensão com 15% do total. Os lineamentos entre 1750 e 2000 m são os que aparecem com menor frequência, apenas 1%. Nota-se que 80% das estruturas apresentam comprimentos de até 1000 m, sendo que os de até 250 m aparecem em uma proporção bastante baixa.

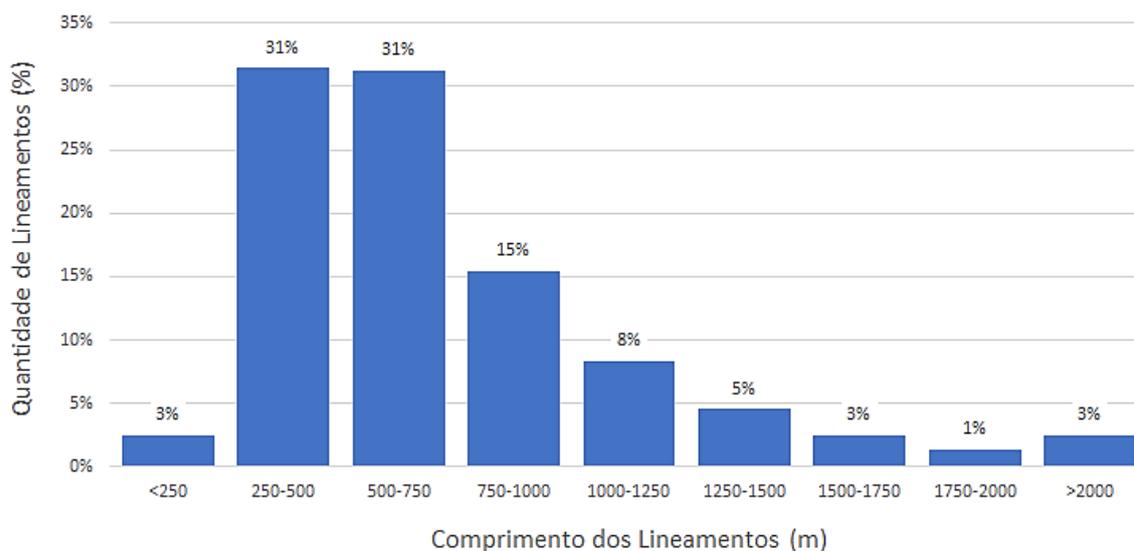


Gráfico 4: Histograma da quantidade de lineamentos dentro de intervalo de comprimento.

Para que fossem identificadas zonas onde exista uma significativa densidade de lineamento por Km², foi confeccionado um mapa de densidade de lineamentos (figura 31). Este mapa identifica regiões onde há maior concentração de estruturas lineares, auxiliando no reconhecimento de áreas com maior probabilidade de presença de estruturas que possivelmente estabeleçam fluxo hídrico subterrâneo. Ao mapa foram atribuídas três classes de densidade: baixa, média e alta densidade. Os valores atribuídos à baixa densidade estão entre 0 e 1,2 lineamentos por Km² e é

representada por tons de verde. Os valores de média densidade estão variando entre 1,2 e 2,4 lineamentos por Km² e variam de verde até laranja. Os valores entre 2,4 e 3,6 lineamentos por Km² são atribuídos à alta densidade e são representados por tons de vermelho. As regiões de alta densidade estão amplamente distribuídas na região de estudo, mas aparecem principalmente na borda leste da área.

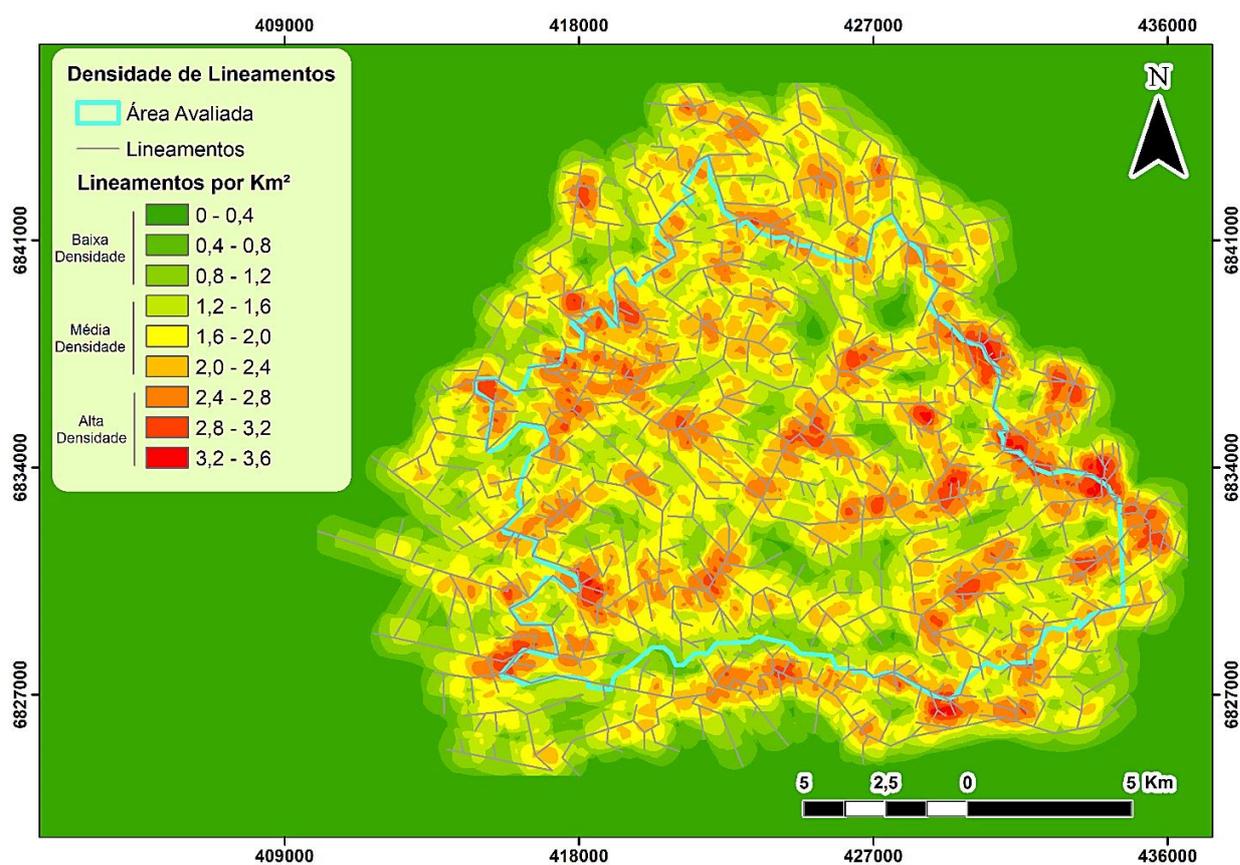


Figura 32: Mapa de densidade de lineamentos.

4.3 Hidrogeologia dos municípios de Paraí e Nova Araçá

Os municípios de Paraí e Nova Araçá estão localizados sobre as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, as quais abrigam o SASG. O SASG é um sistema aquífero fraturado heterogêneo e anisotrópico, que tem seu fluxo e armazenamento associados à juntas, diaclases, zonas amigdalóides e vesiculares, bem como por fraturas e falhas, sendo que as falhas e zonas de falhas desempenham importante papel na recarga do aquífero.

A avaliação hidrogeológica e hidrodinâmica do sistema aquífero na região, foi realizada por meio da análise de dados de 136 poços tubulares que captam água do SASG, armazenados no banco de dados. Os dados de profundidade dos poços, nível estático, vazão (Q), capacidade específica (q), profundidade das entradas de água e transmissividade (T) estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5: Distribuição estatística dos dados catalogados para os poços do SASG.

	Prof. dos Poços (m)	NE (m)	Q (m ³ /h)	q (m ³ /h/m)	Prof. E. A. (m)	T (m ² /h)
Nº de Poços	132	89	80	39	79	30
Média	144,28	21,74	11,16	0,68	62	0,38
Mediana	134	10,5	8,415	0,318	56	0,251
Valor Máximo	364	107	46,6	7,35	276	1,85
Valor Mínimo	27	0,4	1,12	0,021	3	0,027
Desvio Padrão	64,9501	25,1379	9,2749	1,3722	49,2627	0,3998

São 132 os poços que possuem informações acerca de suas respectivas profundidades, e os valores vão desde poços com 27 m até poços com 364 m. A média de profundidade é de 144,28 m e os valores apresentam um desvio padrão de 64,9501, o que indica uma grande variação na profundidade dos poços instalados na região. Poços de 50 até 150 m de profundidade são os que predominam, com 58% do total, sendo que 22% entre 50 e 100 m e os outros 36% entre 100 e 150 m. Percebe-se que os extremos, ou seja, poços pouco profundos e poços mais profundos representam uma pequena parcela de 7% do total. O gráfico 5 apresenta a distribuição dos poços em relação às suas profundidades.

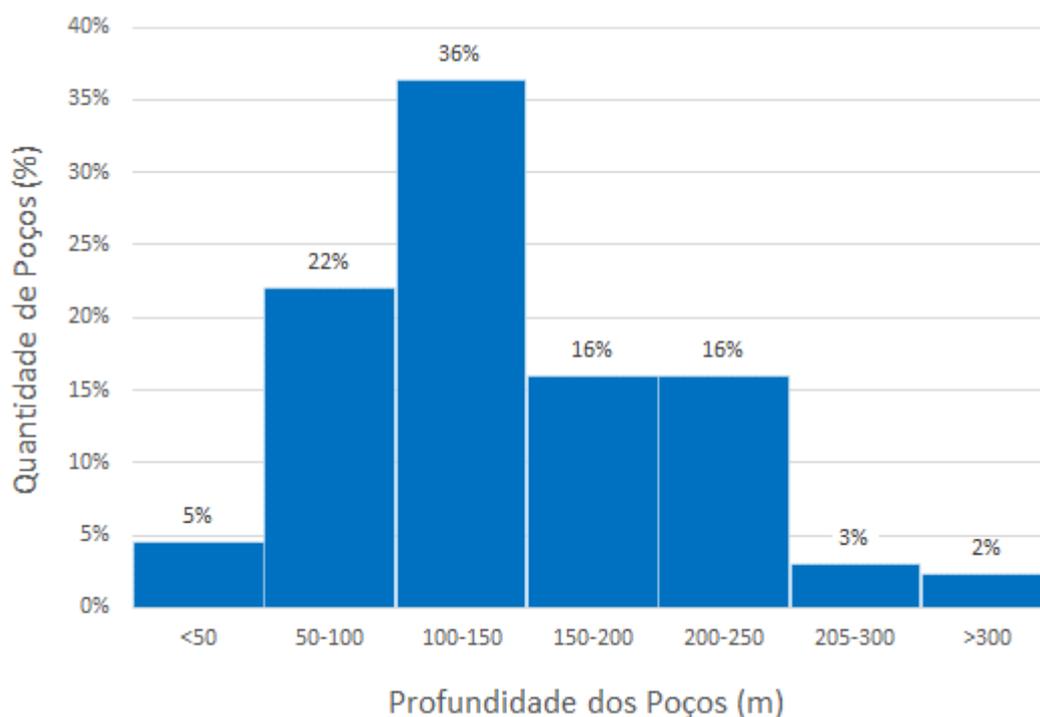


Gráfico 5: Relação da quantidade de poços de acordo com suas as profundidades.

No total foram verificadas 145 entradas de água, distribuídas entre 79 poços. Foi observada uma média de 62 m de profundidade, sendo que a menor encontrada foi de 3m e a entrada de água mais profunda está localizada em 276 m. O desvio padrão de 49,2627 é alto e traduz uma grande variação para esta informação. A grande maioria das entradas de água estão situadas em profundidades que não ultrapassam os 100 m, num total de 87%. É possível observar que predominam entradas de água consideradas rasas, de até 50 m e entradas abaixo dos 100 m tendem a diminuir. Isto se dá pelo fato da pressão exercida através das rochas sobre as estruturas, devido ao peso do maciço, aumentar e conseqüentemente fechar as fraturas em profundidades maiores. O gráfico 6 ilustra a relação entre os poços e as profundidades das entradas de água.

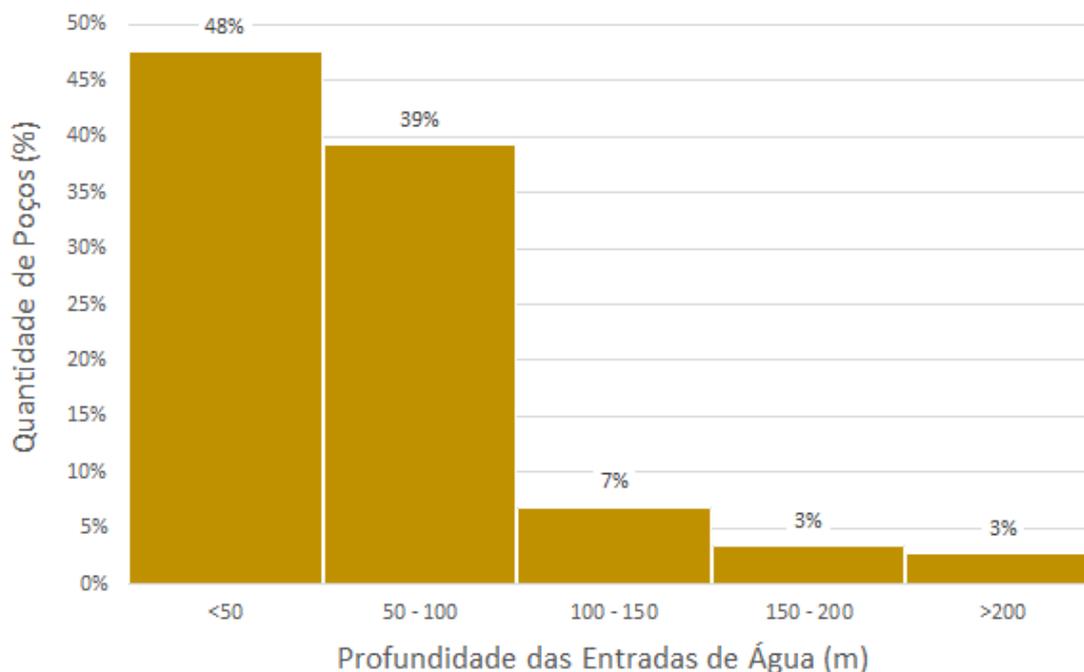


Gráfico 6: Quantidade de poços em relação às profundidades de entradas de água.

Além da profundidade de entradas de água, também foram avaliadas a quantidade de entradas de água por poço e a quantidade média de entradas de água por profundidade.

Para a quantidade de entradas de água por poços foram avaliados dados de 78 poços (gráfico 7). A maior parte dos poços possui uma entrada de água, o que representa 53% do total. Poços com duas entradas são 28%, com três entradas são 10% e poços com mais de quatro entradas são 9%, sendo que o poço com maior número de entradas de água possui 7.

Também foram avaliados 78 poços para a quantidade média de entradas de água por profundidade. Para entradas de água de até 50m a média é de 1,92 entradas. Entre 50 e 100 m são 1,02 entradas em média, entre 100 e 150 m são 0,32 entradas, entre 150 e 200 m são 0,1 e a média de entradas de água abaixo dos 200 m é de 0,05. Percebe-se que quanto mais profundas são as entradas de água mais raras elas se tornam. Isto se deve ao gradual aumento do peso das rochas em profundidade, que tende a fechar as estruturas, inibindo a percolação de água. Os dados são exibidos no gráfico 8.

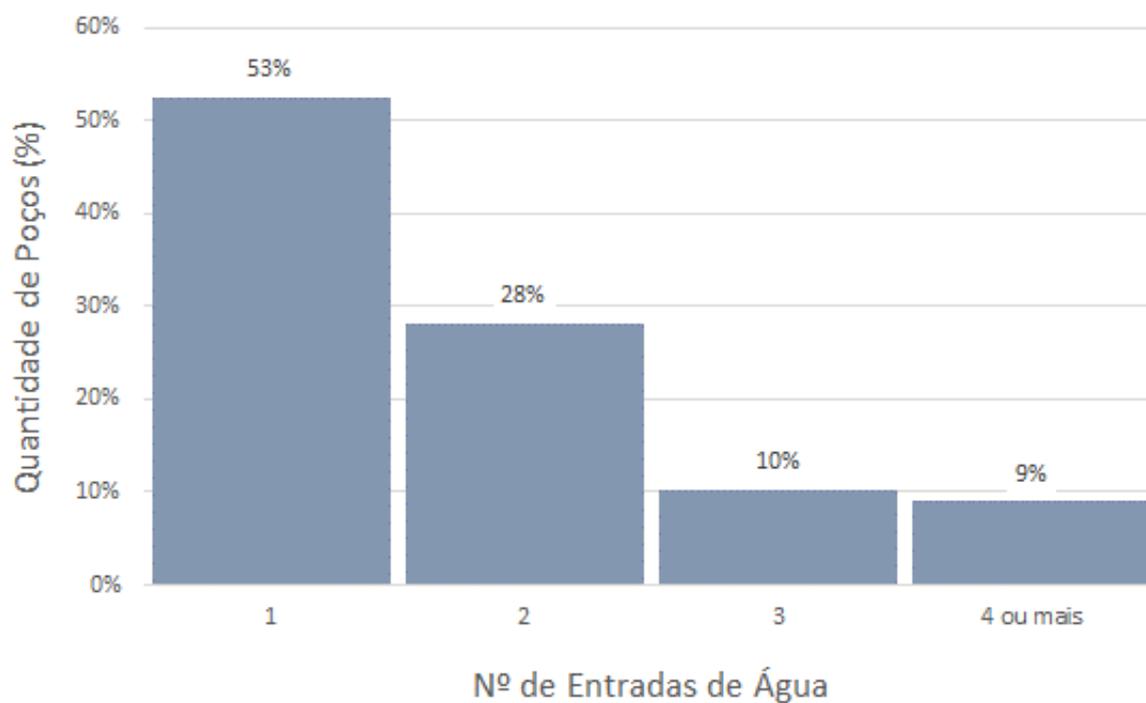


Gráfico 7: Número de entradas de água por poço.

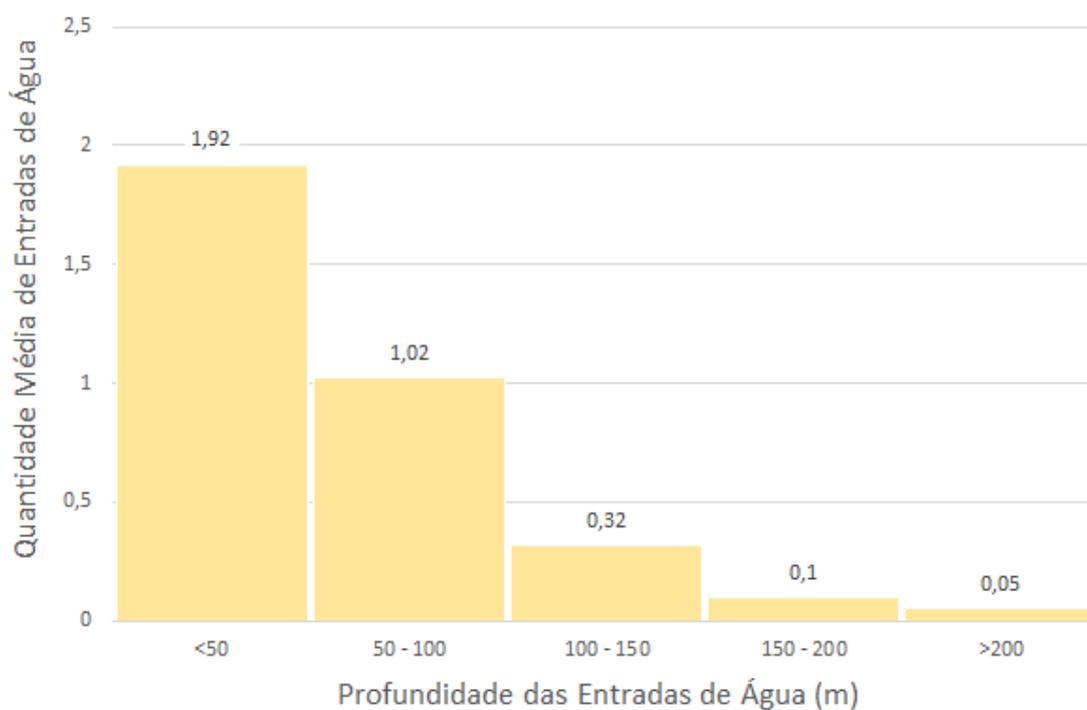


Gráfico 8: Número médio de entradas de água por profundidade.

Foram avaliados 89 dados de nível estático. Estes valores estão entre 0,4 m e 107 m de profundidade, tendo como média 21,24 m. O desvio padrão de 25,1379 demonstra uma variação considerável para os valores de NE. A maioria dos poços tem níveis estáticos de até 20 m, sendo que poços com NE de até 10 m são 46% e entre 10 e 20 m são 22%. Em seguida, com 9%, aparecem poços com NE mais profundos do que 70 m. O gráfico 9 apresenta os dados de forma mais detalhada. Os níveis estáticos próximos a superfície indicam que a água que circula através do sistema de fraturas está sob pressão, elevando o nível de água acima das entradas de água, ficando próximo da superfície.

A vazão dos 80 poços catalogados apresenta uma média de 11,16 m³/h, variando de 0,021 m³/h até 46,6 m³/h. O desvio padrão é de 9,2749. Mais da metade dos poços (65%) possui vazões de até 10 m³/h, sendo que destes, 25% apresentam vazões de até 5 m³/h e 40% de 5 a 10 m³/h. Tais resultados vão de encontro com os trabalhos de Bortolin (2018), Reginato e Strieder (2004) e Frenzel (2017). Os dados mostram que apesar da produtividade do SASG ser considerada baixa (Diniz, 2012), é possível que poços com boas vazões sejam encontrados na região. O gráfico 10 elucida os resultados.

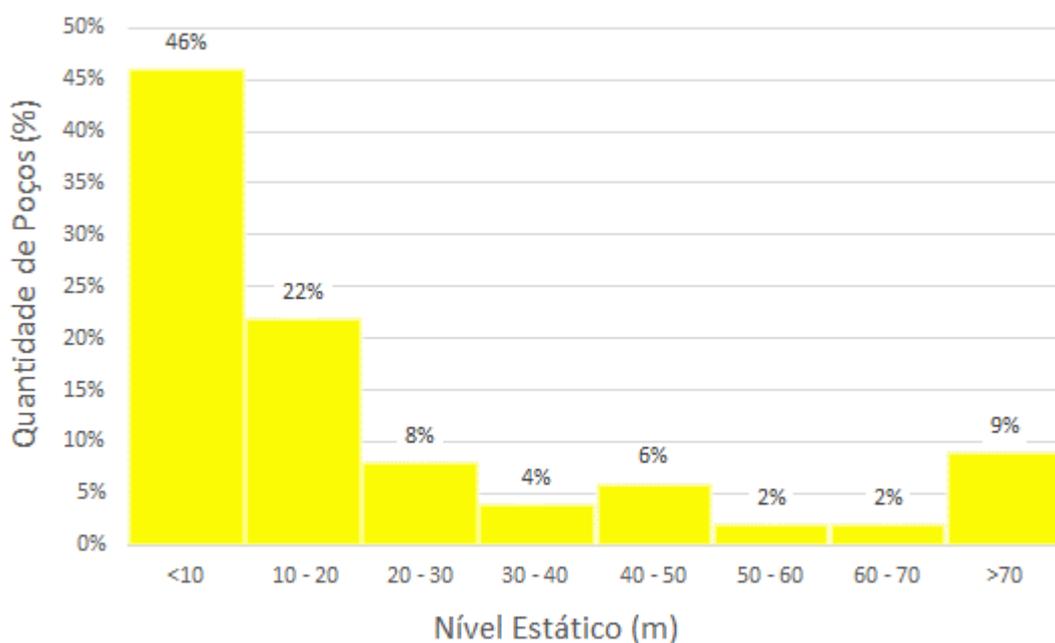


Gráfico 9: Porcentagem de poços distribuídos em intervalos de nível estático.

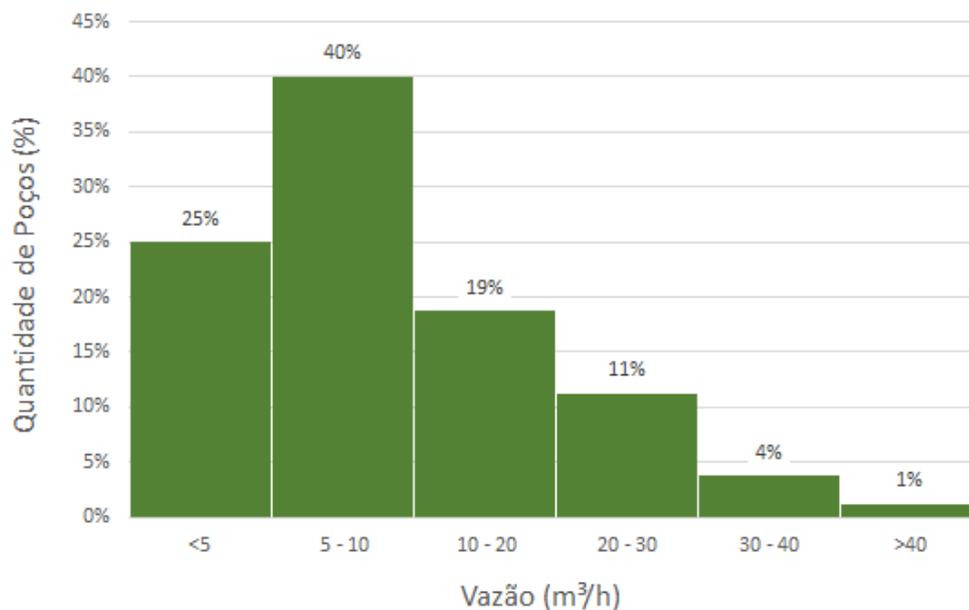


Gráfico 10: Distribuição da quantidade de poços em relação às suas vazões.

Quanto à capacidade específica, 39 poços apresentam esta informação e para esta análise somente são utilizados dados referentes aos ensaios de bombeamento de 24h. Os valores encontram-se entre 0,021 m³/h/m e 7,35 m³/h/m, possuindo uma média de 0,68 m³/h/m e desvio padrão de 1,3722 m³/h/m. Pode-se observar que 74% dos valores situam-se até 0,5 m³/h/m. Estes valores encontram respaldo na literatura pois Machado & Freitas (2005) citam que a capacidade específica para o SASG II, sistema aquífero que engloba a área de estudo, geralmente é inferior a 0,5 m³/h/m. Os resultados estão exemplificados no gráfico 11.

Para transmissividade foram encontrados dados de 30 poços, sendo que para estes o teste de bombeamento é de 24h. O valor mínimo é de 0,027 m²/h e o máximo chega a 1,85 m²/h, com uma média de 0,38 m²/h. O desvio padrão de 0,3998 expressa mínima variação da capacidade de transmissão de água através do aquífero na região estudada. No gráfico 12 é possível analisar que os poços com transmissividade de até 0,5 m²/h predominam, sendo que 30% estão entre 0,1 e 0,25 m²/h, 23% estão na faixa de 0,25 a 0,5 m²/h e 20% não ultrapassam 0,1 m²/h.

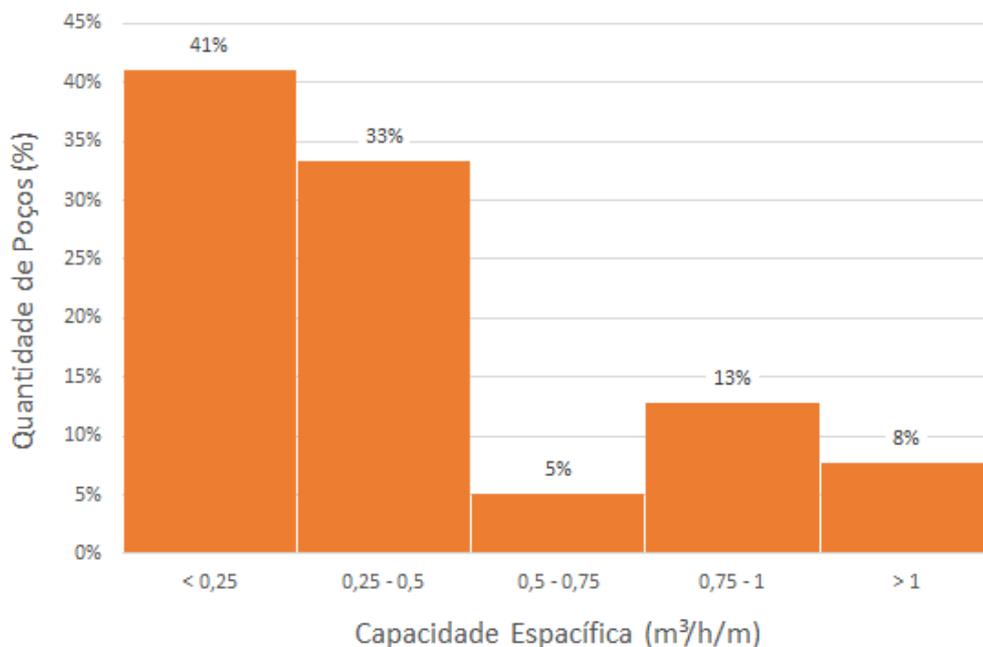


Gráfico 11: Quantidade de poços de acordo com as capacidades específicas.

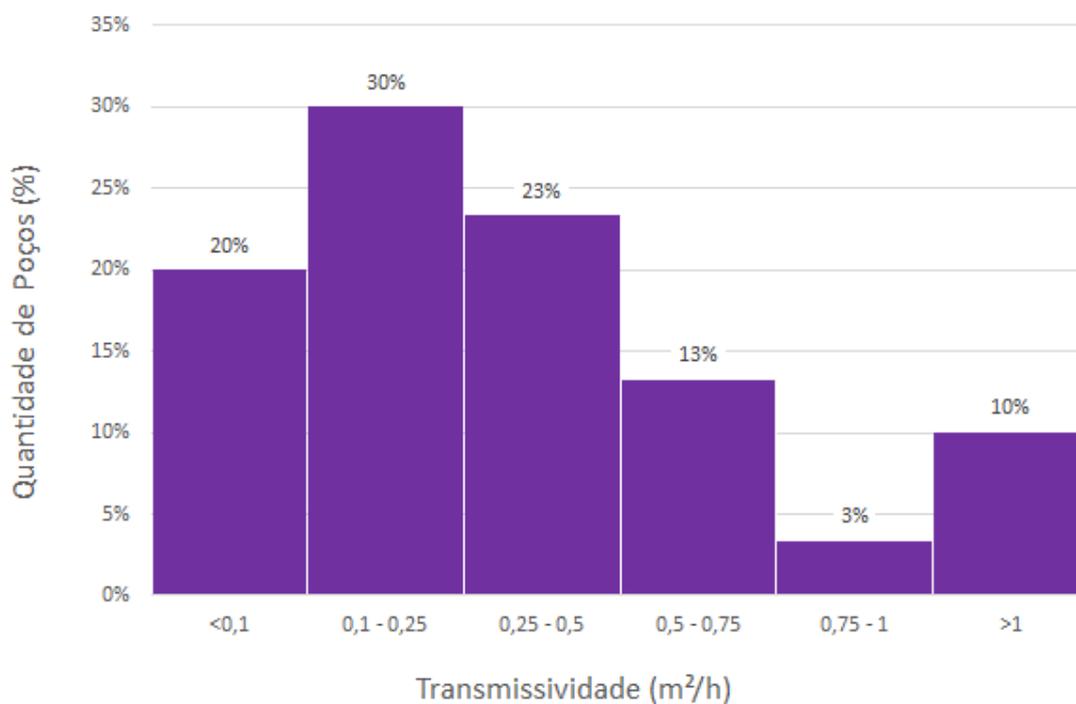


Gráfico 12: Porcentagem dos poços distribuídos pela transmissividade.

4.4 Hidroquímica dos Municípios de Paraí e Nova Araçá

A avaliação hidroquímica das águas subterrâneas dos municípios foi realizada através da análise de dados físico-químicos obtidos em relatórios de ensaios já existentes e armazenados no banco de dados. Também foram utilizados dados dos pontos de captação, que foram aferidos em campo utilizando uma sonda multiparâmetro. Os dados estatísticos referentes ao potencial hidrogeniônico (pH), temperatura (T), condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD), tanto do banco de dados, quanto dos dados de campo, estão na tabela 6.

Tabela 6: Análise estatística dos dados físico-químicos.

	pH	T	CE	STD
Nº de poços	99	57	97	79
Média	7,56	19,9	194,9	153,0
Mediana	7,50	20	198,4	148,0
Valor Máximo	9,8	28,9	351	311
Valor Mínimo	5,9	16	74,7	80
Desvio Padrão	0,7622	2,3615	49,9108	26,2587

Para os valores de pH, 99 poços possuem a informação. Os valores de pH variam de 5,9 a 9,8, com uma média de 7,50 e desvio padrão de 0,7622. Os valores de pH entre 7 e 8 são os que predominam, representando 64% dos poços analisados. Ainda, 19% dos poços possuem pH entre 6 e 7. Valores neutros de pH, mantendo-se equilibrados próximos a 7 são comuns, segundo a bibliografia. O pH mais ácido de alguns poços pode ter relação com entradas de água mais rasas que favorecem uma circulação de forma mais acelerada, ficando menos tempo em contato com a rocha. Esta circulação mais rápida não permite que haja uma interação elevada entre a água e os minerais, favorecendo a ocorrência de valores baixos de pH. Em contrapartida, os poços com pH mais elevado podem ter sua causa no fato de serem alimentados por entradas de água mais profundas, havendo

maior tempo para a circulação de água e sua consequente mineralização. Também pode ter relação à estruturas com grande presença de amígdalas preenchidas por carbonatos. Os intervalos de pH e suas respectivas porcentagens estão no gráfico 13.

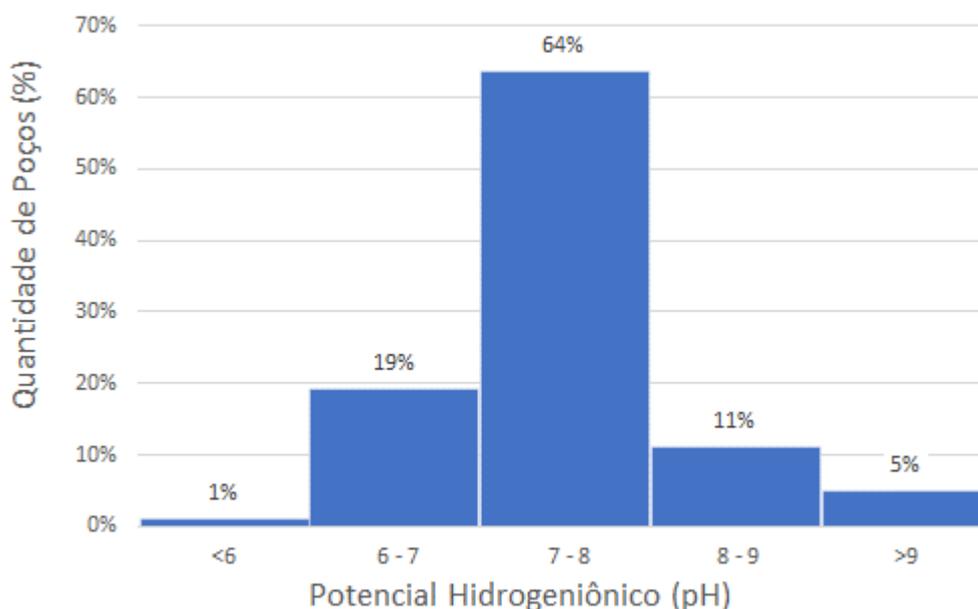


Gráfico 13: Relação da quantidade de poços e seu pH.

Foram obtidos dados de 57 poços referentes a temperatura. Os valores estão entre 16°C e 28,9°C, com uma média de 19,9°C e um desvio padrão de 2,3615. A maior parte dos poços (93%) possui águas que estão entre 16°C e 22°C, sendo que 39% entre 18°C e 20°C, 28% entre 20°C e 22°C e 26% entre 16°C e 18°C. De acordo com dados <https://pt.climate-data.org/> os municípios de Paraí e Nova Araçá possuem uma temperatura média anual de 17,5°C e 17,4°C respectivamente, com uma variação média de 9,6°C durante o ano. A água subterrânea tem uma tendência a permanecer próxima da temperatura média anual. Ou seja, as temperaturas das águas subterrâneas da região estão dentro do esperado, com uma medida anômala de 28,9°C, podendo esta ter sido aferida de forma incorreta ou estar associada com

entradas de água mais profundas. A distribuição dos valores de temperatura para os poços analisados está no gráfico 14.

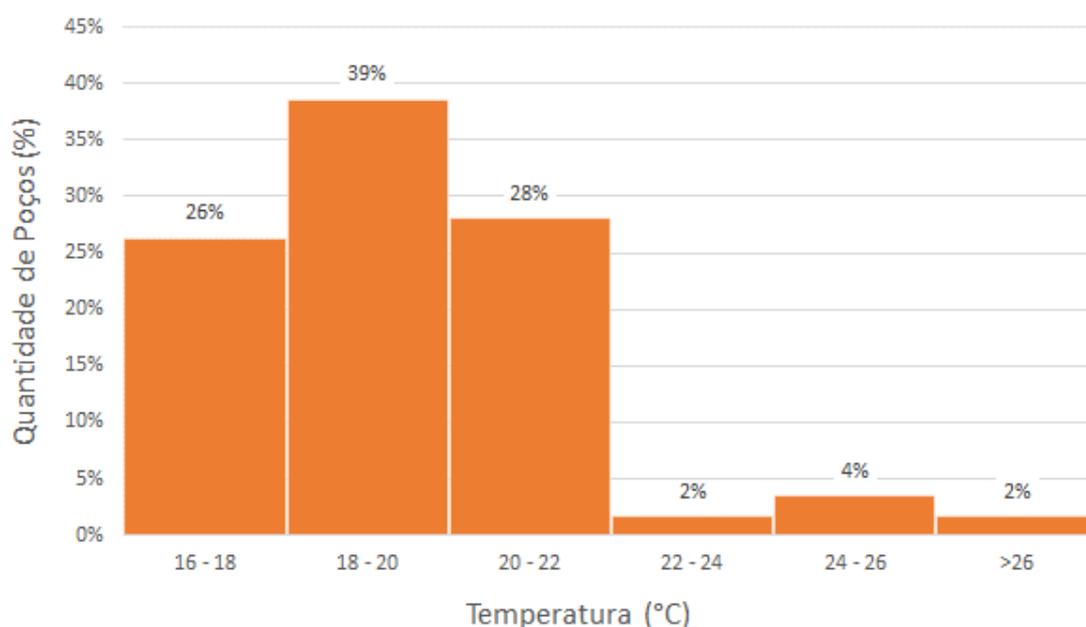


Gráfico 14: Relação da quantidade de poços e temperatura da água.

Foram analisados 97 dados de condutividade elétrica. Os valores de condutividade variam de 74,7 $\mu\text{S/cm}$ a 351 $\mu\text{S/cm}$, tendo como média 194,9 $\mu\text{S/cm}$ e desvio padrão 49,9108. Os valores de condutividade para 46% dos poços ficam entre 175 $\mu\text{S/cm}$ e 225 $\mu\text{S/cm}$. Outros 23% ficam entre 125 $\mu\text{S/cm}$ e 175 $\mu\text{S/cm}$ e 18% entre 225 $\mu\text{S/cm}$ e 275 $\mu\text{S/cm}$. A média dos valores de CE para o SASG encontrada é bastante próxima ao valor identificado por Freitas et al., (2016), que é de 192,5 $\mu\text{S/cm}$. Também, os valores encontrados estão dentro das classes de condutividade definidas pelo autor: C2 (entre 221,75 e 378,35 $\mu\text{S/cm}$), C3 (entre 117,35 a 221,75 $\mu\text{S/cm}$) e C4 (10,21 a 117,35 $\mu\text{S/cm}$). A classe que predomina é a C3, caracterizada por ser uma água com baixos teores de sais dissolvidos, neutras a ligeiramente alcalinas. De acordo com os autores, as águas da classe C3 são águas típicas do SASG e variam, provavelmente, devido ao tempo de residência no

aquífero. Também vale destacar que para o menor valor de CE é atribuída uma entrada de água a uma profundidade de 35 m, ou seja, o tempo de circulação desta água é provavelmente bastante baixo, e por conta disto, pouco mineralizada. Em comparação, para o maior valor de CE tem-se entradas de água com profundidades de até 152 m, favorecendo um maior tempo de circulação e efeito de mineralização desta água. A distribuição dos valores conforme condutividade elétrica está no gráfico 15.

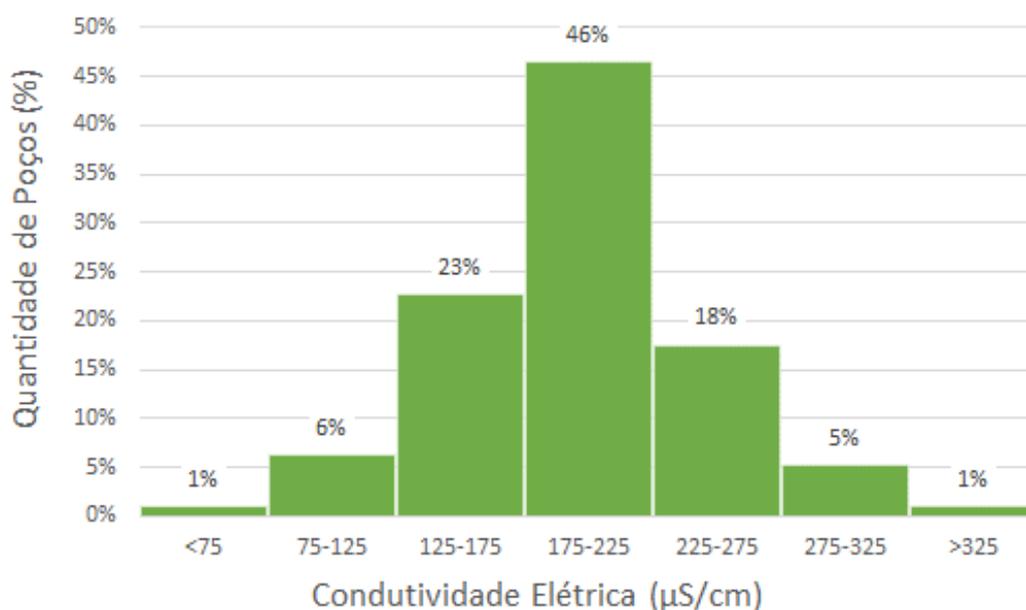


Gráfico 15: Condutividade elétrica dos poços.

Quanto à sólidos totais dissolvidos, 79 poços apresentam informação. Os valores encontram-se entre 80 mg/l e 311 mg/l, tendo uma média de 153 mg/l e desvio padrão de 26,2587. Pode-se observar que 29% dos dados situam-se entre 140 mg/l e 160 mg/l, 19% entre 160 mg/l e 180 mg/l e 15% entre 100 mg/l e 120 mg/l. Este fato indica que no SASG da região ocorrem águas doces e as águas salobras e salgadas são ausentes, segundo a resolução CONAMA 357/2005. Os resultados estão demonstrados no gráfico 16.

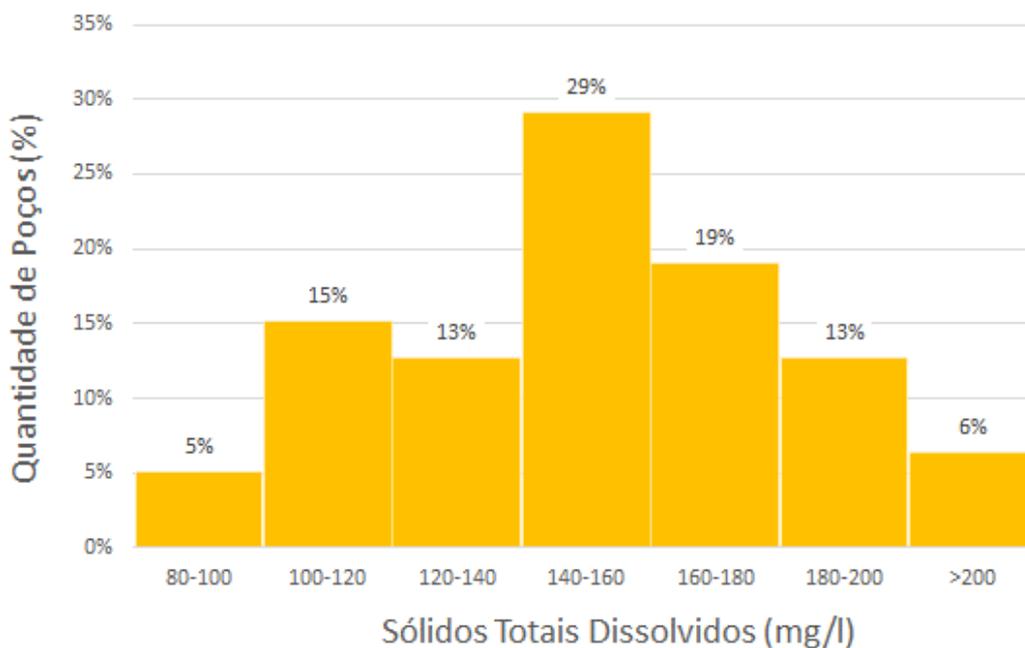


Gráfico 16: Quantidade de poços e intervalo de sólidos totais dissolvidos.

Do total de poços catalogados, 55 possuem dados para teor de sódio (Na), 48 para teor de potássio (K), 67 para cálcio (Ca), 66 para magnésio (Mg), 59 para cloreto (Cl), 39 para bicarbonato (HCO_3) e 50 para sulfato (SO_4). Estes íons, dominantes, são necessários para o desenvolvimento dos diagramas de Piper, Schoeller-Berkaloff e Stiff, que por sua vez são utilizados na classificação das águas do SASG nos municípios estudados. Os dados são apresentados na tabela 7.

Tabela 7: Análise estatística dos íons dominantes em mg/l.

	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO₃	SO₄
Nº de Poços	55	48	67	66	59	39	50
Média	17,37	2,41	18,34	6,20	4,74	101,71	4,03
Mediana	11	0,8	17	5	3,52	103	2,36
Valor Máximo	55	15,6	56	27,9	13,3	170	14,7
Valor Mínimo	1,23	0,2	1	0,014	1	5	0,39
Desvio Padrão	14,3426	4,3057	10,6497	5,6031	3,2510	33,2487	3,6315

Dos poços catalogados, 36 amostras atendem ao balanço iônico necessário para a utilização do *software* Qualigraf (Mobus, 2002). A figura 33 ilustra o diagrama de Piper, e a partir dele pode-se classificar as águas do SASG. A grande maioria das amostras analisadas (31) está classificada como águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e apenas 5 amostras estão no campo das águas bicarbonatadas sódicas. As águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas têm correlação com a composição mineralógica das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, como observa Reginato (2009), sendo produto da interação com os elementos cálcio, magnésio e sódio das mesmas. O autor ainda relata que para a região nordeste do Rio Grande do Sul, 80,1% das águas podem ser classificadas como bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e 18,4% como bicarbonatadas sódicas, valores próximos aos encontrados neste trabalho, de 86% para bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e 14% para bicarbonatadas sódicas.

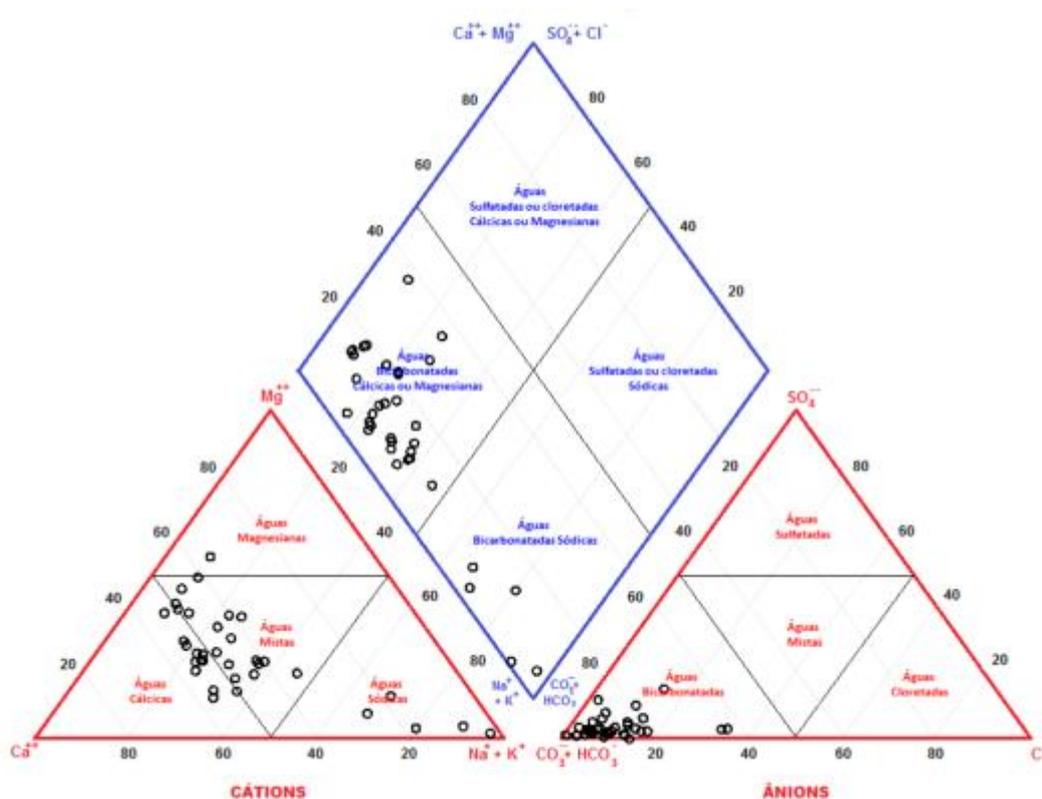


Figura 33: Diagrama de Piper, usado para classificar as águas.

De acordo com o diagrama de Schoeller-Berkaloff (figura 34), as águas apresentam uma tendência composicional equivalente, apresentando principalmente, altos teores de carbonato e bicarbonato e baixos teores de sulfato, pertencendo às águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas. Outras cinco amostras possuem valores mais elevados de sódio e potássio, sendo que estas correspondem ao campo das águas bicarbonatadas sódicas. A amostra 6708-PKC 1, destacada em vermelho, apresenta valores de magnésio e principalmente de cálcio bem menores se comparado com as outras, e altos valores de sódio + potássio. Provavelmente este poço sofra uma influência composicional de águas ascendentes do SAG pois a única entrada de água se encontra a uma profundidade de 276m, favorecendo a mistura de águas. Segundo Matos (2020) esta amostra faria parte do grupo C3-SASG, ou seja, com a prevalência do íon sódio sobre os íons cálcio e magnésio, formando águas sódicas.

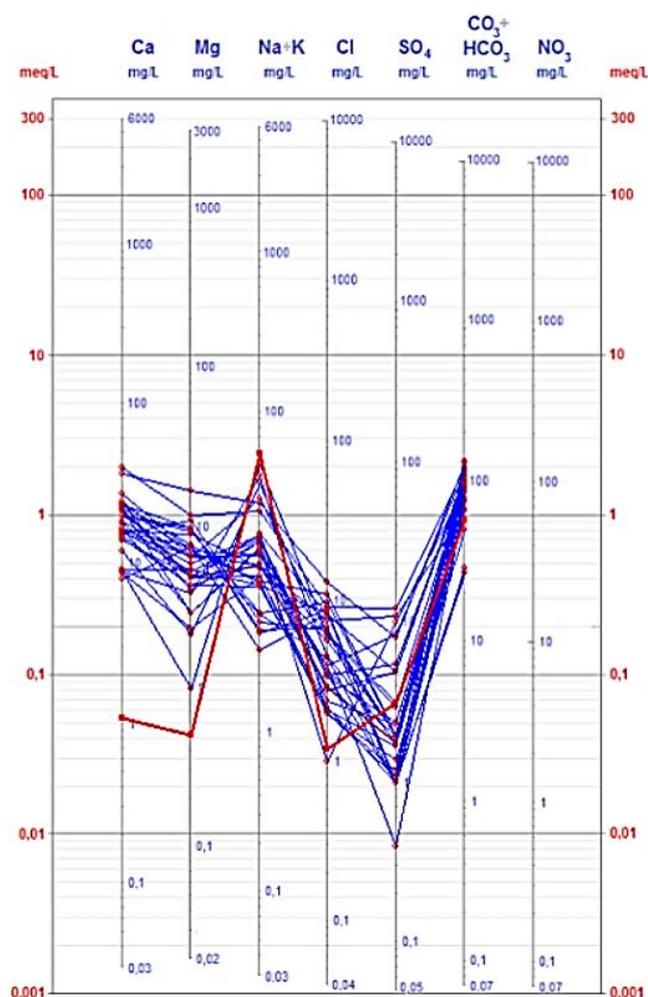


Figura 34: Diagrama de Schoeller-Berkaloff, identificando tendência entre as águas.

Os diagramas de Stiff da figura 35 tem geometria retilínea, representando águas pouco mineralizadas. Estas mesmas águas apresentam valores de CE abaixo de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ou seja, provavelmente são águas de rápida circulação.

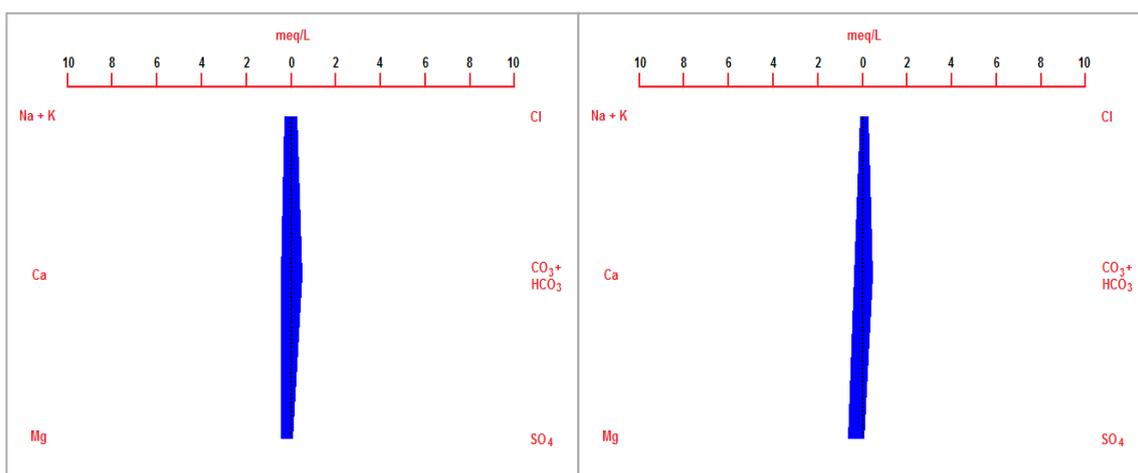


Figura 35: Diagramas de Stiff para águas pouco mineralizadas.

Os diagramas de Stiff da figura 36 apresentam uma geometria losangular, evidenciando uma mineralização mais elevada se comparadas às figuras anteriores. Com maior presença de carbonato e bicarbonato, cálcio e magnésio, esta são águas típicas do SASG.

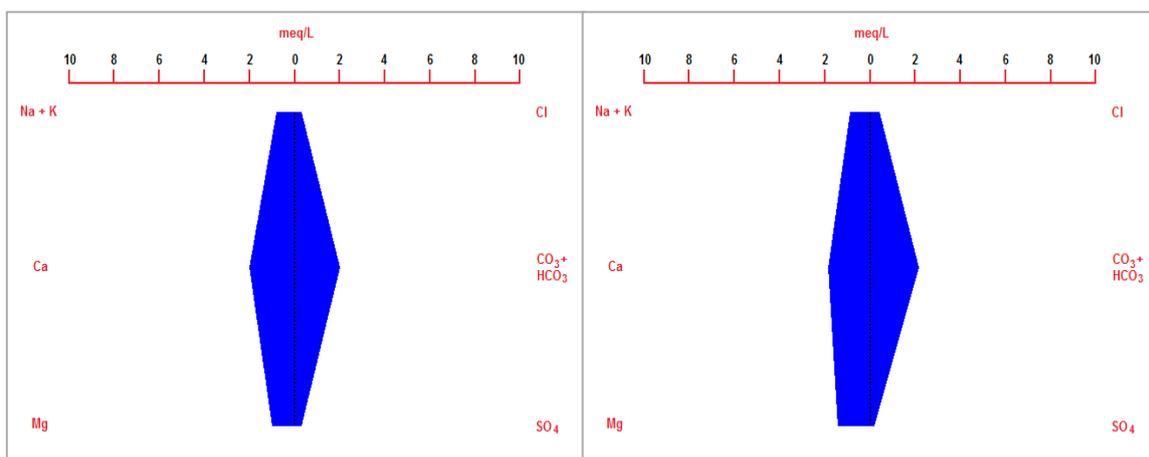


Figura 36: Diagramas de Stiff para águas bicarbonatadas calcomagnesianas.

Os diagramas de Stiff da figura 37 representam, através de sua geometria, uma família de águas mais sódicas com baixíssima presença de magnésio.

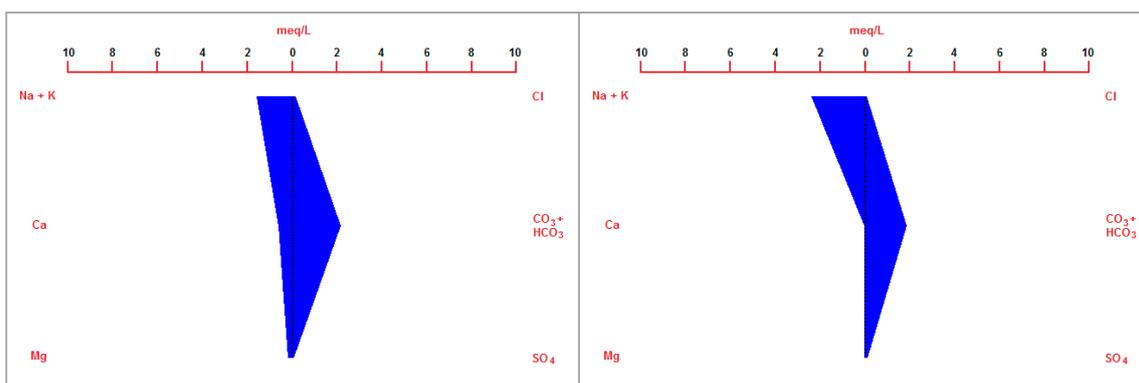


Figura 37: Diagramas de Stiff para águas bicarbonatadas sódicas.

Também foi realizada a análise da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos de Paraí e Nova Araçá, destinadas ao consumo humano, dessedentação animal e irrigação. Para águas usadas no consumo humano e dessedentação animal as concentrações, em mg/l, de elementos presentes no banco de dados foram comparadas com os Valores Máximos Permitidos (VMP) pela legislação, através da Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. A classificação das águas para irrigação foi avaliada através do uso do *software* Qualigraf (Mobus, 2002) pelo critério USSL. Para consumo humano, foram encontradas concentrações de fluoreto, ferro e manganês acima dos VMP. Para dessedentação animal há valores de fluoreto e ferro que extrapolam os VMP. Os valores estão ilustrados na tabela 8.

Tabela 8: Valores máximos encontrados para cloro, fluoretos, ferro, manganês, sódio, nitrato e sulfato comparados aos valores máximos permitidos para consumo humano e dessedentação animal.

Elemento	VMP (mg/l) Consumo Humano	VMP (mg/l) Dessedentação Animal	Máximos Encontrados (mg/l)
Cl	250	-	13,3
F	1,5	2	6,5
Fe	0,3	-	3,1
Mn	0,1	0,05	1,28
Na	200	-	62
NO ₃	10	90	5,89
SO ₄	250	1000	14,7

Através da classificação USSL, utilizada para irrigação, as amostras de água foram classificadas em 4 categorias: C0-S1, C1-S1, C1-S2 e C2-S1. O gráfico 17 ilustra o posicionamento das amostras dentro das classes. A grande maioria das amostras situa-se em categorias seguras para o uso, não havendo necessidade de restrições.

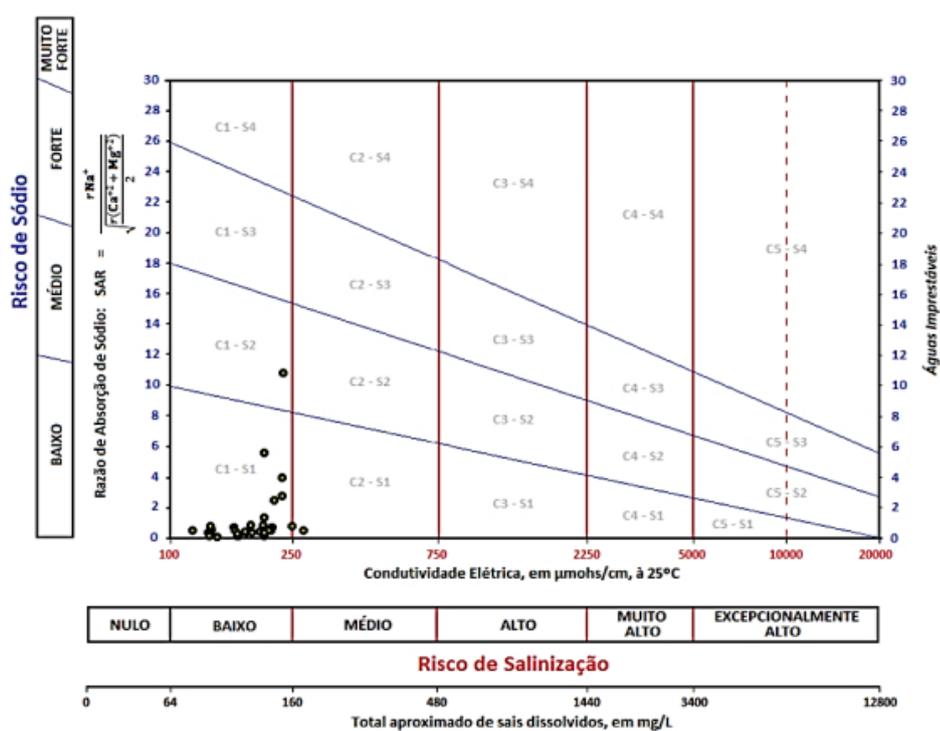


Gráfico 17: Gráfico de classificação USSL para irrigação.

As categorias de água para irrigação segundo o USSL são:

C0: águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação;

C1: águas de salinidade fraca, CE compreendida entre 100 e 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C. Podem ser utilizadas pra irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de incidentes provenientes da salinização do solo;

C2: águas de salinidade média, CE entre 250 e 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C. Devem ser usadas com precaução, podendo ser utilizadas em solos silto-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo.

S1: águas fracamente sódicas. Podem ser utilizadas em quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio. Se prestam ao cultivo de quase todos os vegetais;

S2: águas medianamente sódicas, apresentam perigo de sódio para solos de textura fina e forte capacidade de troca de cátions. Podem ser utilizados nos solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica, com boa permeabilidade.

4.5 Avaliação do Potencial Hidrogeológico

Segundo Diniz (2012), a produtividade dos poços para o SASG da região pode ser classificada, tomando o valor médio como referência, como geralmente baixa, porém localmente moderada.

A avaliação da correlação entre os lineamentos encontrados e os poços com capacidades específicas acima de 0,4 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, classe 4 segundo Diniz 2012, foi realizada levando em consideração uma distância de 200m entre os mesmos. Foram escolhidos dados de capacidade específica da classe 4 pois, além da capacidade específica ter relação com a transmissividade e por consequência com a produtividade do aquífero, valores maiores são mais expressivos na escolha dos intervalos de orientações de lineamentos mais produtivos. Na figura 38 estão destacados em cor verde os poços com capacidade específica acima de 0,4 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$.

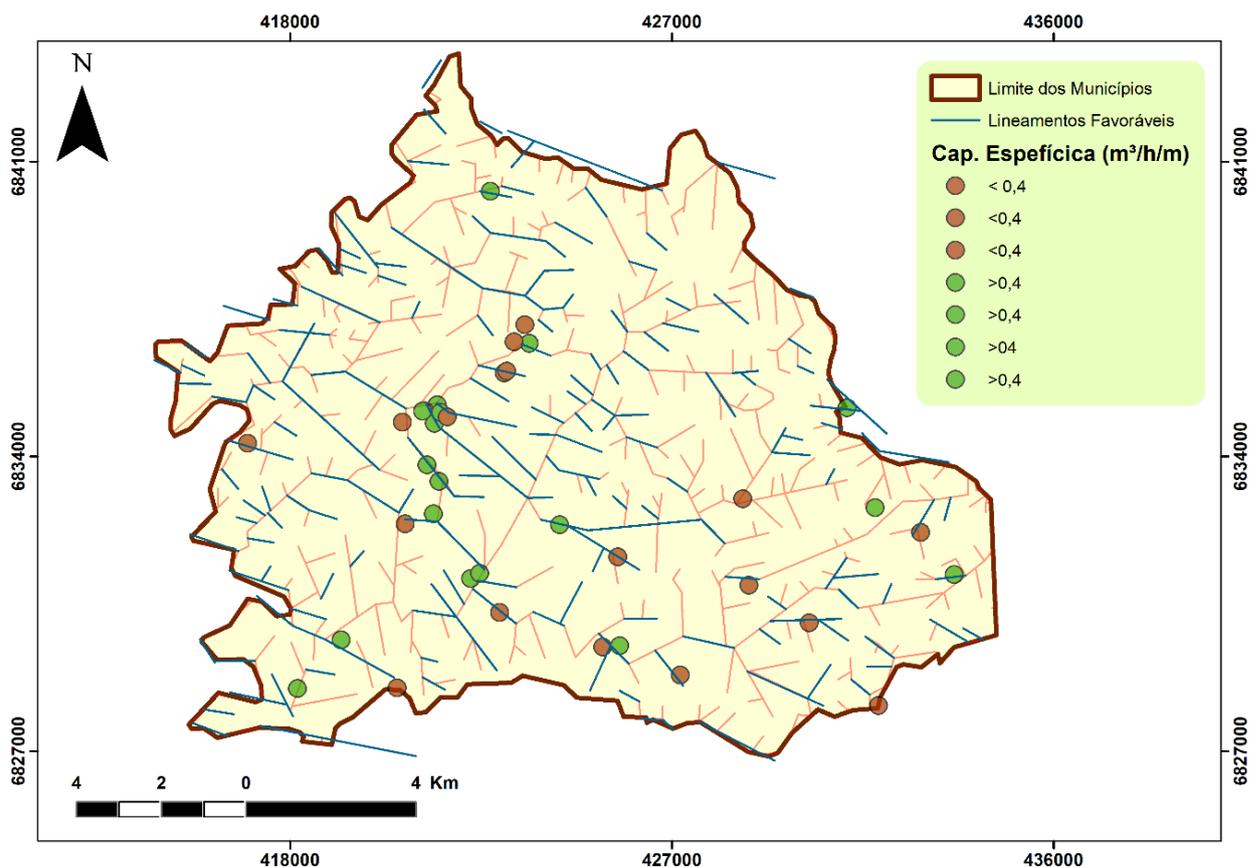


Figura 38: Mapa de capacidades específicas e lineamentos favoráveis.

Através do diagrama de rosetas da figura 39, pode-se perceber que os lineamentos de direção NW-SE são os que aparecem com mais frequência para poços produtivos, sendo estes 53% do total. A principal orientação no quadrante NW é N40-50W, seguida do intervalo N50-90W. No quadrante NE orientação principal é N30-40E, seguida de N80-90E. Sendo assim, os intervalos de orientações mais produtivas são N40-90W, N30-40E e N80-90E.

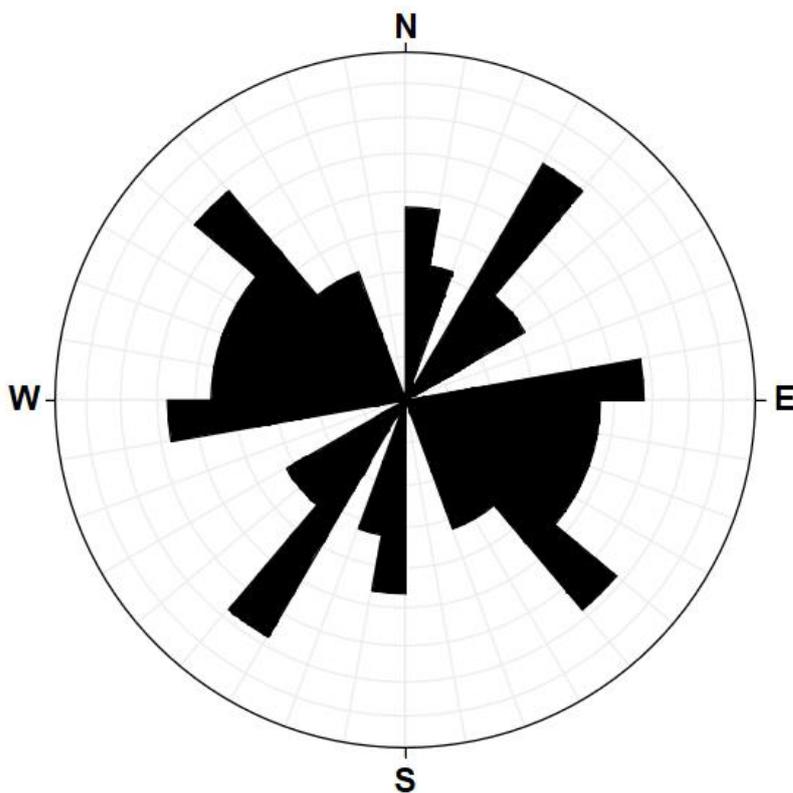


Figura 39: Diagrama de rosetas das orientações de lineamentos favoráveis.

O mapa da figura 40 define, através de elipses, as regiões mais favoráveis à locação de novos poços produtivos. As áreas sugeridas tiveram como critério a seleção de lineamentos que têm orientação dentro dos intervalos já definidos, dando ênfase para as estruturas noroeste. Além disso foi levado em consideração o relevo, sendo que as áreas estão associadas a regiões menos dissecadas. Áreas com alta densidade de lineamentos não exerceram influência da escolha das regiões mais favoráveis, porém elas estão presentes em algumas, sugerindo que possa haver relação. Ainda assim, estudos mais detalhados devem ser elaborados a fim de um melhor entendimento sobre este aspecto.

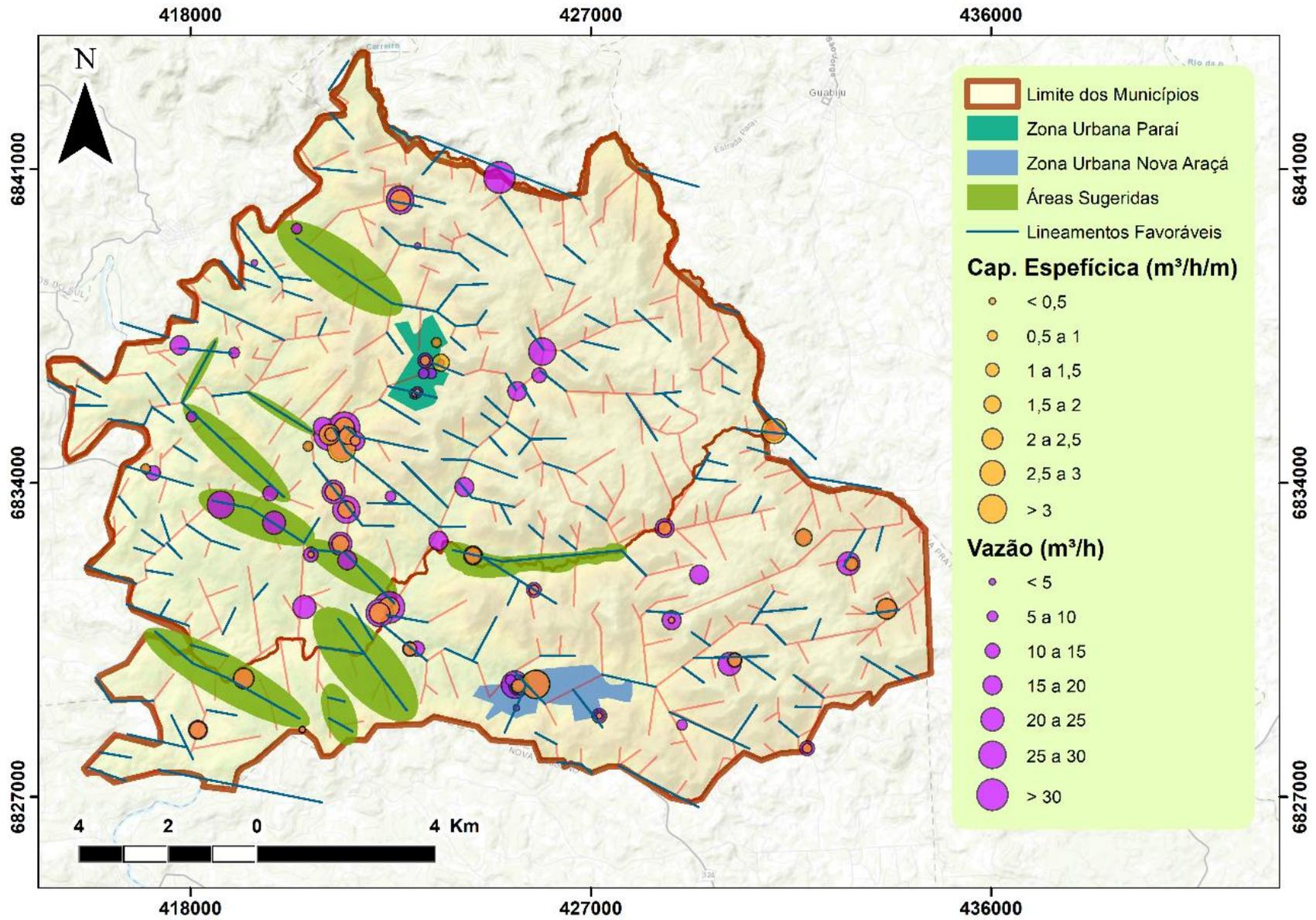


Figura 40: Mapa com as áreas sugeridas para locação de novos poços.

As observações de campo e análises de perfis construtivos mostram que é importante que se leve em conta zonas de contato entre derrames, bem como porções alteradas, brechadas, zonas fraturadas, juntas e regiões abundantes em amígdalas e/ou vesículas. Através do levantamento de campo foram identificados contatos entre diferentes derrames nas altitudes 505, 529, 540, 552, 565, 621 e 724m. Tais estruturas propiciam a circulação e o fluxo de água pois funcionam como entradas de água para os poços. Não é recomendado que se faça a locação de poços tubulares, que estejam associados ao mesmo lineamento, muito próximos uns dos outros. Esta ação pode trazer consequências indesejáveis como a interferência entre os cones de rebaixamento de poços, ocasionando o rebaixamento do nível freático de forma acelerada. Na porção leste da área há um alto topográfico e uma quantidade menor de lineamentos, e por isto esta região não favorece a locação de poços, havendo perfurações de poços secos.

5 CONCLUSÕES

Através da avaliação do uso dos recursos hídricos subterrâneos, da determinação dos parâmetros hidrogeológicos, hidroquímicos e da potencialidade pode-se atestar que a hipótese levantada neste trabalho é válida, posto que a ocorrência de estruturas de direção NW-SE se mostraram importantes na definição de áreas mais favoráveis para a locação de novos poços tubulares. Também através do exame das formações rochosas, estrutura dos derrames e geomorfologia, tanto em trabalho de campo como na análise de perfis de poços, pode-se constatar a importância destes aspectos como condicionantes de aquíferos fraturados. Com os resultados deste estudo pode-se concluir que o abastecimento de água nestes municípios tem grande importância no desenvolvimento regional.

A avaliação geológica reconheceu que na região predominam rochas riodacíticas da Unidade Vulcânica Palmas/Caxias em detrimento das rochas basálticas da Unidade Vulcânica Gramado, sendo que os riodacitos ocupam 91% do território e os basaltos os outros 9%. As principais litologias encontradas em campo são riolitos e riodacitos, microgranulares, apresentando frequentes zonas amigdalóides e/ou vesiculares e brechas nas porções de topo de derrame, com zona central maciça, e porção vítrea na base. As amígdalas geralmente são preenchidas por quartzo, zeolita e calcita. Também foram encontradas zonas de transição entre topo e base dos derrames, geralmente irregulares, sendo que estas são importantes estruturas de percolação e fluxo d'água.

Com os dados estruturais obtidos em campo, foi possível constatar que a maioria dos planos de fraturas possuem orientação inseridos no quadrante NW e os intervalos mais frequentes são os de direção N80-90W. No quadrante NE predominam as orientações N30-40E e N70-80E. Através da interpretação de imagens do ALOS PALSAR constatou-se que os lineamentos se concentram principalmente na direção NNW-SSE, no intervalo N0-10W. A comparação entre as orientações dos planos de fratura e dos lineamentos leva a constatação de que os dados possuem correlação, estando distribuídos principalmente no quadrante NW. Os lineamentos têm em sua maioria, 80%, comprimentos de até 1000m. A análise de densidade de lineamentos possibilitou a atribuição de três classes à região:

baixa, média e alta, sendo que as regiões de alta densidade estão amplamente distribuídas dentro da área dos municípios, principalmente na parte leste.

Analisando os poços da região foi constatado que a profundidade média dos mesmos é de 144,28 m e varia entre 27 e 364 m. Os níveis estáticos ficam entre 0,4 e 107 m, com média de 21,74 m, sendo que a maioria tem profundidades de até 10 m. As entradas de água em sua maioria são de até 50 m, e tem média de 62 m. A maior parte dos poços possui uma entrada de água. A vazão dos poços varia de 0,021 m³/h até 46,6 m³/h, com média de 11,16 m³/h. Os dados de capacidade específica mostram valores médios de 0,68 m³/h/m, variando de 0,021 até 7,35 m³/h/m, sendo que a maior parte não passa dos 0,5 m³/h/m. Os valores de transmissividade variam de 0,027 m²/h até 1,85 m²/h.

A análise química das águas apontou pH médio de 7,56 e temperatura de 19,9°C. Os valores médios de CE ficaram em 194,9 µS/cm, com variação entre 74,7 e 351 µS/cm. O teor médio de STD é de 148 mg/l, com 61% dos poços contendo valores entre 120 e 180 mg/l. As águas foram classificadas como bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, com exceção de cinco amostras, que foram classificadas como bicarbonatadas sódicas. Conclui-se que as águas são típicas do SASG. A qualidade da água, tanto para consumo humano, dessedentação animal e irrigação, no geral é boa, porém foram identificados valores de flúor, ferro e manganês acima dos VMP em alguns poços.

O SASG na região estudada possui uma produtividade geralmente baixa, porém localmente moderada. Através da avaliação do potencial hidrogeológico da região pode-se perceber que poços mais produtivos estão geralmente associados à lineamentos de orientação NW-SE, principalmente no intervalo N40-90W. Subordinadamente aparecem os intervalos N30-40E e N80-90E. Por fim foram sugeridas áreas que favorecem a locação de novos poços com boas produtividades. Estes devem ser perfurados próximos aos lineamentos de direção NW, principalmente em regiões de relevo menos dissecado.

Estudos que se aprofundem ainda mais a respeito das características hidrogeológicas e hidroquímicas da região, bem como acerca das estruturas associadas à entradas de água e a poços mais produtivos são incentivados. Estes, são de grande importância visto que a demanda de água impulsionada pela expansão socioeconômica precisa ser suprida de forma segura e com qualidade.

Estudos do SAG da região podem ser realizados visando avaliar este sistema aquífero como um recurso estratégico pra abastecimento da indústria e agropecuária.

6 REFERÊNCIAS

- Bellieni, G.; Comin-Chiaromanti, P.; Marques, L. S.; Melfi, A. J.; Nardy, A. J. R.; Papatrechas, C.; Piccirillo, E. M.; Roisenberg, A.; Stolfa, D. Petrogenetic Aspects of Acid Basaltic Lavas from Paraná Plateau (Brazil): Geological, Mineralogical and Petrochemical Relationship. *Journal of Petrology*, v. 27, p. 915-944, 1986.
- Bellieni, G.; Comin-Chiaromanti, P.; Marques, L. S.; Melfi, A. J.; Piccirillo, E. M.; Nardy, A. J. R.; Roisenberg, A. High- and Low-Ti Flood Basalts from the Paraná Plateau (Brazil): Petrology and Geochemical Aspects Bearing on their Mantle Origin. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, v. 150, p. 272-306, 1984 (a)
- Betiollo, L. M. 2006. *Caracterização estrutural, hidrogeológica e hidroquímica dos Sistemas Aquíferos Guarani e Serra Geral no Nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil*. Porto Alegre, 117p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Bigarella, J. J.; Salamuni, R. & Ab'Saber, A. N. 1961. Origem e ambiente de deposição da Bacia de Curitiba. *Boletim Paranaense de Geografia*, 10(4/5): 71-81.
- Boff, F. E.; Medeiros, M. A.; Muller, A. L. & Koppe, J. C. 2006. Caracterização Hidroquímica das Águas Minerais da Serra do Nordeste Gaúcho. *Águas Subterrâneas*, 1-18.
- Bortolin, T. A. 2014. Padrões hidroquímicos e isotópicos do sistema aquífero Serra Geral no município de Carlos Barbosa, região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 119p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Climate-data.org. Disponível em <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-grande-do-sul/nova-araca-313562/>>
- Climate-data.org. Disponível em <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-grande-do-sul/parai-313561/>>
- Comitê de Boas Práticas Científicas. Guia de Boas Práticas Científicas. [s. l.], p. 22, 2019. Disponível em: <https://prp.usp.br/wp-content/uploads/PRP_Guia-de-Boas-Práticas-Científicas_2019_2.pdf> Acesso em 10 mar 2021.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, 2005. Disponível em <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>>. Acesso em: 10 jun 2021.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da União, 2008. Disponível em <<http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>>. Acesso em 12 jun 2021.
- CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento. Disponível em: <<https://www.corsan.com.br/nordeste>> Acesso em 20 jun 2021.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. 2006. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, CPRM, escala 1:750.000
- Diniz, J. A. Oliveira. Proposta Metodológica para Elaboração de Mapas Hidrogeológicos. Recife: CPRM, 2012.

- Elsenbruch, D. S. *Relação dos condicionamentos geológicos com a produtividade dos poços do Sistema Aquífero Serra Geral na região nordeste do Rio Grande do Sul. São Leopoldo, 2017. 62p* Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia, Área de Concentração em Geologia Sedimentar, Linha de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Modelagem Geológica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos.
- Faccini, U. F. 1989. *O Permo-Triássico do Rio Grande do Sul – Uma Análise sobre o Ponto de Vista das Sequências Depositionais*. RS. Porto Alegre, 133p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Fozza, M. E. 2018. *Arcabouço estratigráfico das rochas vulcânicas na Serra do Rio do Rastro - SC (Grupo Serra Geral)*. Porto Alegre, 99p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Fraga, C. G. 1987. *Introdução ao zoneamento do sistema aquífero Serra Geral no Estado do Paraná*. São Paulo, 94p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia Geral e de Aplicação, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Freitas, M. A. & Machado, J. L. F. Hydrochemistry of Serra Geral Aquifer in Western Santa Catarina State. *In: 1ST JOINT WORLD CONGRESS ON GROUNDWATER*. 2000, Fortaleza. *Anais*.
- Frenzel, M. G. 2017. *Caracterização hidrogeológica do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na Região de Garibaldi, RS*. Porto Alegre, 94p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Univeridade Federal do Rio Grande do Sul.
- Gonzaga de Campos, L. F. 1889. Seção geológica. *In: São Paulo, Comissão Geographica e Geológica. Relatório*, São Paulo, p. 21-34.
- Gordon, J. M. 1947. Classificação das formações gondwânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. *Notas Preliminares e Estudos, DNPM/DGM, Rio de Janeiro, (38): 1-20*.
- Hartmann, L. A. 2014. A história natural do Grupo Serra Geral desde o Cretáceo Até o Recente. *Ciência e Natura*, 36(3): 173-182 2014.
- Hartmann, L. A.; Wildner, W.; Duarte, L. C.; Duarte, S. K.; Pertille, J.; Arena, K. R.; Martins, L. C.; Dias, N. L. 2010. Geochemical and scintillometric characterization and correlation of amethyst geodebearing Paraná lavas from the Quaraí and Los Catalanes districts, Brazil and Uruguay. *Geological Magazine*, 147, 954-970.
- Hausman, A. 1960. Estudos das Possibilidades de Água Subterrânea no Rio Grande do Sul. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 9 (1): 29-42.
- Hausman, A. 1995. Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul, RS. Estudos Tecnológicos: Acta Geológica Leopoldensia, Série Mapas, escala 1:1.000.000.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Nova Araçá. Panorama. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/nova-araca/panorama>> Acesso em: 14 jun 2021.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Paraí. Panorama. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/parai/panorama>>. Acesso em: 14 jun 2021.
- Iop, G. T. S. 2019. *Avaliação da vulnerabilidade e do risco potencial de contaminação de água subterrânea no município de Venâncio Aires*. Porto Alegre, 116p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Univeridade Federal do Rio Grande do Sul.
- Lastoria; G.; Osmar, S.; Kiang, C. H.; Hutchean, I.; Filho, A. C. P. & Gastmans, D. 2006. Hidrogeologia da Formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul. *Águas Subterrâneas*, 20(1): 139-150.
- Lisboa, N. A. & Reginato, P. A. R. 2021. Avaliação de locais para perfuração de poços tubulares no Sistema Aquífero Serra Geral no estado do Rio Grande do Sul por meio da análise de fatores condicionantes e uso de técnicas de sensoriamento remoto. *Águas Subterrâneas - Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas*. 1-19.

Lisboa, N. A. 1993. Compartimentação Hidrogeológica e Diferenciação Hidrogeoquímica em Aquíferos do Extremo Sul do Planalto Meridional do Rio Grande do Sul. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 10., 1993, Gramado. *Anais*. p. 539-548.

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, 136 p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Machado, J. L. & Freitas, M. A. 2005a. *Mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CPRM, escala 1:750.000

Mantovani, M. S. M.; Marques, L. S.; Souza, M. A.; Atalla, L.; Civeta, L.; Inonocenti, F. Trace Element and Strontium Isotope Constrains of the Origin and Evolution of Paraná Continental Floods Basalts os Santa Catarina State (Southern Brazil). *Journal of Petrology*, v. 26, p. 187-209, 1985.

Matos, A. B. 2020. *Compartimentação estrutural e interações hidrogeológicas entre o sistema aquífero Guaraní e Serra Geral na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 191p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

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

Milani, E. J. & Ramos, V. A. 1998. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 28(4): 473-484.

Milani, E. J. 1997. *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental*. Porto Alegre, 277p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

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.

Nanni, A. S. 2008. *O flúor em águas do sistema aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico*. Porto Alegre, 127p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Nardy, A. J. R., Machado, F. B. & Oliveira, M. A. F. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(1): 178–195.

Pacheco, A. R. 2019. *Caracterização hidrogeológica do município de Nova Petrópolis*. Porto Alegre, 97p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Univeridade Federal do Rio Grande do Sul.

Peate, D. W. Hawkeswort, C. J. Mantovani, M. S. M. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. *Bulletin of Volcanology*, Berlin, v. 55, p. 119-139, 1992.

Peate, D. W., Hawkeswort, C. J. & Mantovani, M. S. M. 1992. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. *Bulletin of Volcanology*, Berlin, v. 55, p. 119-139.

Piccirillo, E. M.; Melfi, A. J. 1988. *The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects*. São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico, 600p.

Rebouças, A. C. & Fraga, C. G. 1988. Hidrogeologia das rochas vulcânicas do Brasil. *Águas Subterrâneas*, 12(1).

Rebouças, A. C. 1978. Potencialidade hidrogeológica dos basaltos da Bacia do Paraná no Brasil. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 30., 1978, Recife. *Anais*. v. 30, p. 2963-2976.

Reginato, P. A. R. 2003. *Integração de dados geológicos para prospecção de aquíferos fraturados em trecho da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (RS)*. 254p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Reginato, P. A. R. 2009. As águas subterrâneas associadas aos aquíferos da Formação Serra Geral e sua caracterização hidroquímica. *In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO*, 1., 2009, São Paulo. *Anais*.

Reginato, P. A. R., Ahlert, S. & Schneider, V. E. 2013 Caracterização hidroquímica do sistema aquífero Serra Geral na Região Nordeste do Rio Grande do Sul. *Águas Subterrâneas*, 27(1): 65–78.

Reginato, P. A. R., Ahlert, S., Gilioli, K. C. & Cemin, G. 2012. Caracterização hidrogeológica 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. *Ambi-Agua*, 7(2): 143-162.

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: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, 13., 2004, Cuiabá. *Anais* CD-ROM.

Reginato, P. A. R. & Strieder, A. J. 2006. Condicionantes geológicos dos aquíferos fraturados da formação Serra Geral e sua relação com a locação de poços tubulares. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, 14., 2006, Curitiba. *Anais* Complemento.

Reginato, P. A. R., Leão, M. I., Bortolin, T. A., Dutra, T. O., Athayde, G. B. & Athayde, C. V. M. 2015. Circulação da água subterrânea nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL*, 15., 2015, Bento Gonçalves. *Anais*.

Rios, F. R. 2017. *Feições de interação vulcano-sedimentares-exemplos na Bacia do Paraná (RS)*. Porto Alegre, 69p. Dissertação de Mestrado, 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. (Ed.). Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, p. 355–374.

Rosseti, L. M. M.; Lima, E. F.; Waichel, B. L.; Hole, M.; Simões, M.; Scherer, C. M. S. 2017. Lithostratigraphy and volcanology of the Serra Geral Group, Paraná-Etendeka Igneous Province in Southern Brazil: Towards a formal stratigraphical framework. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 335 (2018): 98-114.

Scherer, C. M. S. 1998. *Análise estratigráfica e litofaciológica da Formação Botucatu (Cretáceo Inferior da Bacia do Paraná) no Rio Grande do Sul*. 202p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Self, S.; Thordarson, T. & Keszthelyi, L. 1997. Emplacement of Continental Flood Basalt Lava Flows. *In: Large Provinces: Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism*. Honolulu, Geophysical Monograph 100, p. 381-410.

SEMA. Secretaria Estadual de Meio Ambiente. 2012. *Plano de Bacia do Rio Taquari-Antas*. Porto Alegre, SEMA, 32p. (Encarte Final).

SIAGAS – Sistema de Informação de Águas Subterrâneas: banco de dados mantido pela CPRM. Disponível em <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php>. Último Acesso em: 23 jun. 2021.

Silveira, L. 2019. *Estudo sobre a ocorrência de arsênio nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral, no município de Cerro Largo – RS*. Porto Alegre, 107p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Sruckmeier, W. F.; Margat, J. *Hydrogeological Maps A Guide and a Standard Legend*. Hannover: International Association of Hydrogeologists, 1995. (International contributions to hydrogeology, v. 17).

Tomasi, L. C. & Roisenberg, A. 2019. *Contexto hidrogeológico e sua relação com a tectônica do Sistema Aquífero Serra Geral na bacia hidrográfica do Rio Ijuí, RS*. Rio de Janeiro, UFRJ, 10p.

Trevisan, C. & Reginato, P. A. R. 2019. Análise e Caracterização Hidrogeológica das Unidades Vulcânicas Gramado e Palmas/Caxias (RS). *In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 11.*, 2019. Bento Gonçalves, *Anais.p. 271*

Waichel, B. L.; Lima, E. F. & Sommer, C. A. 2006. Tipos de derrame e reconhecimento de estruturas nos basaltos da Formação Serra Geral: terminologia e aspectos de campo. *Pesquisa em Geociências*, v. 33, n. 2, p. 123-133.

White, I. C.; *Relatório Sobre as Coal Measures e Rochas Associadas ao Sul do Brasil*. Rio de Janeiro: Comissão das Minas de Carvão de Pedra do Brasil, 1908. 300 p.