

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

JONAS HENRIQUE PEREIRA

**ANÁLISE HIDROQUÍMICA E ESTUDO GEOFÍSICO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DA COXILHÃ SÃO JOSÉ, NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO
SUL-RS**

Caçapava do Sul

2019

JONAS HENRIQUE PEREIRA

**ANÁLISE HIDROQUÍMICA E ESTUDO GEOFÍSICO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DA COXILHÃ SÃO JOSÉ, NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO
SUL-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Igor Magalhães Clemente

Co-orientador: Maximilian Fries

Caçapava do Sul

2019

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

P436a Pereira, Jonas Henrique

Análise hidroquímica e estudo geofísico das águas
subterrâneas da Coxilha São José, no município de Caçapava do
Sul - RS / Jonas Henrique Pereira.

61 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2019.

"Orientação: Igor Magalhães Clemente".

1. Aquíferos. 2. Qualidade da água. 3. Geofísica. 4.
Hidrogeoquímica. I. Título.

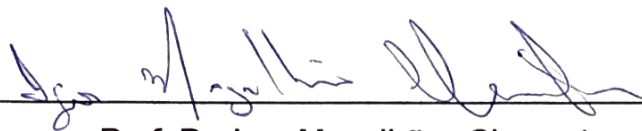
JONAS HENRIQUE PEREIRA

**ANÁLISE HIDROQUÍMICA E ESTUDO GEOFÍSICO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DA COXILHÃ SÃO JOSÉ, NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO
SUL-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito para obtenção do Título de
Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 2 de Julho de 2019

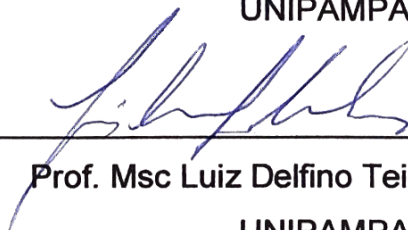
Banca examinadora:



Prof. Dr. Igor Magalhães Clemente

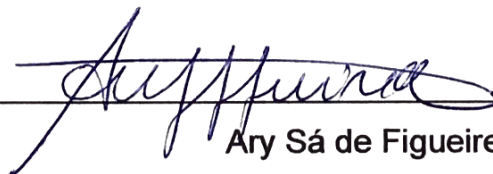
Orientador

UNIPAMPA



Prof. Msc Luiz Delfino Teixeira Albarnaz

UNIPAMPA



Ary Sá de Figueiredo

Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Dedico este trabalho de conclusão de curso aos meus pais, meu irmão, minha irmã e aos meus amigos que sempre me incentivaram, deram apoio e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que me ajudaram diretamente ou indiretamente nesta caminhada. Ao meu orientador Igor Magalhães Clemente, que me orientou e auxiliou em todas as atividades possíveis, além de ter muita paciência e dedicação.

Aos meus pais, Cláudia e Donizeti e minhas avós, Nadir e Nair, por sempre acreditarem em mim, por me darem todo o apoio necessário, compreensão, amor e suporte. Aos meus pais postíços, Rita e Erni, que me acolheram em Caçapava do Sul e sempre me ajudaram em tudo que precisei.

Agradeço ao meu irmão Eduardo por me alegrar todos os dias, e a minha irmã Nádia, por ser minha confidente e companheira de todas as horas, além de me dar todo o apoio necessário.

As minhas amigas de longa data, Gilsara, Evelyn, Patrícia, Mariana e Barbara, que mesmo longe sempre me deram apoio, me ouviram em momentos difíceis e em momentos de alegria.

As amigas criadas em Caçapava do Sul, em especial ao João, Adriano, Aline, Daniele, Poliana, Camila, Cláudia, Kamilly, entre outros, me ajudaram em todos os momentos, com companheirismo, conversas, carinho e paciência para me aguentar.

As amigas criadas em outras cidades do Rio Grande do Sul, em especial duas, ao Maison pela sua paciência em me ouvir, pelo seu companheirismo e por sempre estar disposto a me alegrar. E ao Rhuan que sempre foi um companheiro, alguém que eu sempre pude contar, me abrir, ouvir, pedir conselhos, me aguentou em horas boas e ruins e se tornou um amigo especial em minha vida.

As meninas do NUDE, Liara, Katiúcia e Leila que me ajudaram em questões pessoais e sociais, com ótimas discussões, expondo vários pontos de vista, garantindo um crescimento pessoal. Agradeço também ao Lenon, Ary e Rui, que me auxiliaram durante o TCC, esclarecendo dúvidas e auxiliando nas atividades.

E por fim, aos meus familiares e colegas, que indiretamente sempre me ajudaram e participaram dessa etapa da minha vida.

Muito obrigado!

“Just because it’s over, doesn’t mean it’s really over. And if I think it over, maybe you’ll be coming over again. And I’ll have to get over you all over again”.

Katheryn Elizabeth Hudson

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo realizar a análise de alguns parâmetros das águas subterrâneas, além da aplicação do método geofísico da eletrorresistividade na Coxilha São José, localizada no município de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul. Esse estudo envolve a avaliação de parâmetros físicos, químicos e hidrodinâmicos dos aquíferos pertencentes a região. Caçapava do Sul está localizada na região de três bacias hidrográficas, Baixo Jacuí, Rio Camaquã e Vacacaí - Vacacaí Mirim, sendo que na área de estudo, o perímetro urbano do município, encontra-se um aquífero cristalino, que é composto principalmente por rochas ígneas e metamórficas, em sua maioria rochas graníticas que possuem alto grau de fraturamento e falhamento. A metodologia do trabalho aplicou levantamentos bibliográficos, aplicação de métodos geofísicos, caracterização estrutural através de dados de imagens de satélite, trabalho de campo, coleta e análises de águas subterrâneas. Como resultados foi possível a identificação de parâmetros químicos das águas coletadas nos poços tubulares, bem como, compara-las com os limites estabelecidos para os padrões de potabilidade em relação ao consumo humano, além da identificação e análise da subsuperfície com auxílio da geofísica.

Palavras-Chave: Aquíferos; qualidade da água; geofísica; hidrogeoquímica.

ABSTRACT

This research aims to characterize the hydrogeological potential of Coxilha São José, located in the county of Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul. Understand the spatial distribution of the resource, flow, quality, and viability. This study involves the evaluation of physical, chemical and hydrodynamic parameters of aquifers belonging to the region. Caçapava do Sul is located in the region of three watersheds, Baixo Jacuí, Rio Camaquã, and Vacacaí - vacacaí mirim, and in the study area, the urban perimeter of the municipality, is a crystalline aquifer, which is composed mainly of igneous and metamorphic rocks, mostly granite rocks that have a high degree of fracturing and failure. The methodology of the research will apply bibliographical surveys, application of geophysical methods, structural characterization through satellite image data, fieldwork, collection and analysis of groundwater. As a result, it was possible to identify the chemical parameters of the water collected in the tubular wells, as well as to compare them with the limits established for the potability standards in relation to human consumption, besides the subsurface identification and analysis with the aid of geophysics.

Keywords: Aquifers; hydrogeological potential; geophysics; hydrogeochemistry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo	18
Figura 2 – Mapa geológico do município de Caçapava do Sul	20
Figura 3 – Mapa estrutural da área de estudo.....	21
Figura 4 – Regiões hidrográficas do Rio Grande do Sul	22
Figura 5 – Mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul.....	23
Figura 6 – Posição dos eletrodos no Arranjo Schlumberger	26
Figura 7 – Aplicação do método da SEV através do resistivímetro	35
Figura 8 – pHmetro HI 2221	36
Figura 9 – Condutivímetro	37
Figura 10 – Turbidímetro Z100N.	38
Figura 11 – Titulação utilizada para os métodos de Dureza e Cálcio.	39
Figura 12 – Determinação de Alcalinidade Total	40
Figura 13 – Espectofotômetro utilizado nas análises de Ferro	41
Figura 14 – Titulação para determinação de Cloretos.....	42
Figura 15 – Pesagem das amostras para determinação de STD.	43
Figura 16 – Poço Tubular 1	44
Figura 17 – Poço Tubular 2: A) Fechado de forma precária; B) Situação	45
Figura 18 – Poço Tubular 3, construído para o abastecimento	46
Figura 19 – Poço Tubular em fase final de construção.....	47
Figura 20 – Poço Tubular em utilização.....	48
Figura 21 – SEV utilizada no primeiro poço.....	53
Figura 22 – SEV realizada no terceiro poço.....	54
Figura 23 – SEV realizada entre os poços 4 e 5.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros químicos das amostras analisadas	48
Tabela 2: Parâmetros físicos das amostras analisadas.....	49
Tabela 3: Teste bacteriológico.....	50

LISTA DE SIGLAS

CE – Condutividade Elétrica

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MS - Ministério da Saúde

pH – Potencial Hidrogeniônico

PVC – Policloreto de Polivinila

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SIAGAS – Sistema de Informação de águas Subterrâneas

STD – Sólidos Totais Dissolvidos

uT – Unidades de Turbidez

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	Objetivo Geral.....	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
3	JUSTIFICATIVA.....	16
4	ÁREA DE ESTUDO.....	17
4.1	Localização e acesso.....	17
4.2	Contexto geológico.....	18
4.2.1	Contexto geológico regional.....	18
4.2.2	Contexto geológico local.....	21
4.3	Contexto hidrológico.....	22
5	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
5.1	Teoria dos métodos e técnicas.....	24
5.1.1	Levantamentos geofísicos.....	24
5.1.1.1	Método elétrico da resistividade.....	24
5.1.1.2	Sondagem Elétrica Vertical (SEV).....	25
5.1.1.3	Arranjo Schlumberger.....	25
5.1.2	Caracterização Hidroquímica.....	26
5.1.2.1	Turbidez.....	27
5.1.2.2	Sólidos Totais Dissolvidos.....	27
5.1.2.3	pH.....	27
5.1.2.4	Alcalinidade Total.....	28
5.1.2.5	Condutividade Elétrica.....	28
5.1.2.6	Dureza Total.....	28
5.1.2.7	Sulfatos.....	29
5.1.2.8	Ferro Total.....	29
5.1.2.9	Cálcio.....	29
5.1.2.10	Cloretos.....	30
5.2	Trabalhos Anteriores.....	30
6	MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
6.1	Pré-campo.....	33
6.2	Campo.....	33

6.2.1	Medição Dos Níveis Estáticos em Poços Tubulares	33
6.2.2	Captação de Água Para Análises Hidroquímicas.....	33
6.2.3	Teste Bacteriológico	34
6.2.4	Geofísica (Sondagem Vertical Elétrica – SEV).....	34
6.3	Pós-campo	36
6.3.1	PH e Condutividade Elétrica	36
6.3.2	Turbidez.....	37
6.3.3	Dureza Total e Cálcio	38
6.3.4	Alcalinidade Total.....	39
6.3.5	Sulfatos.....	40
6.3.6	Ferro Total	40
6.3.7	Cloretos	41
6.3.8	STD.....	42
6.3.9	Geofísica.....	43
7	RESULTADOS.....	44
7.1	Características dos Poços.....	44
7.1.1	Poço 1	44
7.1.2	Poço 2	45
7.1.3	Poço 3.....	45
7.1.4	Poço 4	46
7.1.5	Poço 5.....	47
7.2	Análises Realizadas em Laboratório	48
7.3	Teste Bacteriológico	50
7.4	Potabilidade dos Poços	50
7.4.1	Características Físico-Químicas dos Poços.....	50
7.4.2	Sondagem Elétrica Vertical.....	53
7.4.2.1	SEV-Poço 1.....	53
7.4.2.2	SEV-Poço 3	54
7.4.2.3	SEV-Poço 4 e 5	55
8	DISCUSSÕES	56
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIAS	60

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso renovável fundamental para a existência da vida. É utilizada com diversos objetivos, como, para o consumo, abastecimento industrial e comercial, geração de energia, irrigação entre outros. As primeiras civilizações que surgiram na história se desenvolveram por meio da utilização da água, morando e cultivando em terras férteis, às margens dos rios Nilo, Tigre, Eufrates e Jordão (PEREIRA, 2013).

Devido ao crescimento populacional e, conseqüentemente, a elevação da densidade demográfica, unidos a crescente urbanização da população, fazem com que os recursos hídricos superficiais estejam cada vez mais escassos, além de grande parte deles estarem poluídos, devido sua má utilização e conservação.

Uma boa alternativa é a utilização das águas subterrâneas, resultante principalmente da infiltração nos terrenos onde estão as bacias hidrográficas, sendo por origem de chuva, neve ou neblina. Segundo Feitosa *et al.* (2008), a utilização das águas subterrâneas vem aumentando, devido ao fato de sua captação ser mais barata e menos laboriosa do que a construção de obras de grande porte como, barragens e estações de tratamento de águas superficiais. De acordo com Ferreira (2003), a caracterização das águas subterrâneas é peça fundamental na área de implementação de obras de engenharia, pois estas obras acabam por influenciar tanto a utilização destes recursos, quanto sua potencialidade de preservação.

Para o aproveitamento de reservas subterrâneas, é necessário conhecimento acerca do ambiente onde a água está contida. Além disso, para a determinação de taxas aceitáveis de produção, bem como a sua potencialidade de utilização, também devem ser levados em consideração parâmetros como a qualidade, disponibilidade e as suas propriedades hidrodinâmica.

A água subterrânea presente na cidade de Caçapava do Sul – RS é de extrema importância, pois o município se situa entre três importantes bacias hidrográficas: Baixo do Jacuí, Camaquã e Vacacaí-Vacacaí Mirim. A água captada é utilizada, tanto para o abastecimento urbano quanto em áreas rurais.

Tendo o supracitado em vista, o estudo doravante apresentado objetiva identificar características das águas subterrâneas na região da Coxilha São José, bairro do município de Caçapava do Sul, possibilitando a identificação da qualidade das águas e de parâmetros do seu comportamento em subsuperfície.

2. OBJETIVOS

Para a realização deste trabalho foram definidos os seguintes objetivos:

2.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral a avaliação de parâmetros geofísicos e a determinação da qualidade das águas subterrâneas da Coxilha São José, localizada a sudoeste da cidade de Caçapava do Sul-RS.

2.2. Objetivos específicos

Visando a plena execução deste trabalho, os seguintes objetivos específicos foram determinados:

- Realizar a análise de lineamentos estruturais na região da Coxilha São José;
- Identificar características da subsuperfície e dos aquíferos através de dados geofísicos (eletrorresistividade);
- Mensurar características hidroquímicas das águas de poços tubulares da Coxilha São José;
- Verificar a potabilidade das águas presentes na região.

3. JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento deste trabalho é justificado pela carência de informações hidrogeológicas acerca do município de Caçapava do Sul. O estudo visa trazer contribuições para o entendimento das águas subterrâneas através de suas propriedades química e formas de ocorrências.

Historicamente, algumas regiões do município já foram abastecidas unicamente pela captação de águas subterrâneas, sendo isso realizado através de poços tubulares profundos e/ou poços rasos. Atualmente a zona urbana do município é abastecida principalmente pela Companhia Riograndense de Saneamento - CORSAN, que o faz através de captação de águas em barragens de sua propriedade, entretanto, a zona rural, em sua maior parte, ainda se utiliza de recursos hídricos subterrâneos. Esse histórico, indiretamente, mostra que Caçapava do Sul, possui forte

potencial hidráulico para abastecimento por águas subterrâneas, comprovando que há a necessidade de estudos mais detalhados para o real conhecimento dos mesmos, propiciando também melhor gerenciamento dos recursos subterrâneos.

4. ÁREA DE ESTUDO

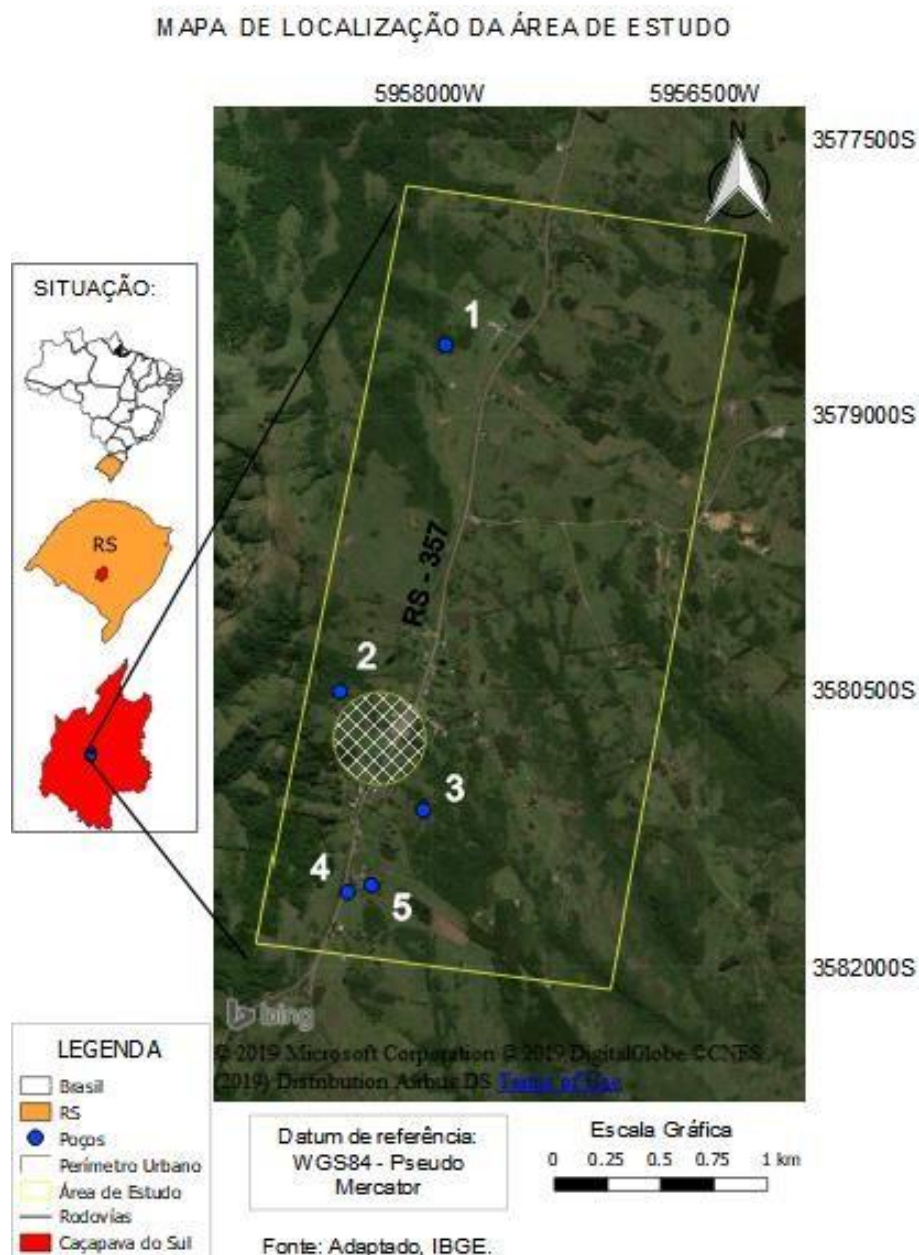
4.1. Localização e acesso

O município de Caçapava do Sul situa-se na região central do estado do Rio Grande do Sul, distante 260 km da capital, Porto Alegre. Este município conta com população estimada de 33.702 mil habitantes, e sua área territorial é de 3.047,113 km² (IBGE, 2018).

A área de estudo trata-se da Coxilha São José, localizada na porção sudoeste da cidade de Caçapava do Sul, distante aproximadamente 7,5 km da principal mancha urbana do município. A localidade caracteriza-se por uma área de baixa densidade demográfica, com cerca de 500 habitantes, em uma área de 5,408 km².

O local de estudo está à margem da RS-357 (Figura 1), que liga os municípios de Caçapava do Sul à Lavras do Sul.

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Adaptado, IBGE e DNIT.

4.2. Contexto geológico

4.2.1. Contexto geológico regional

O estado do Rio Grande do Sul é formado por terrenos cuja formação e transformação tem origem em diversos períodos da história geológica, trazendo grande variedade devido aos vários eventos geodinâmicos ocorridos (KAUL, 1990). O

Rio Grande do Sul é constituído por quatro províncias Geológico-Geomorfológico diferentes, Planície Costeira, Planalto Meridional, Depressão Central e Escudo Sul Rio-grandense (CHEMALE JR F. 2000)

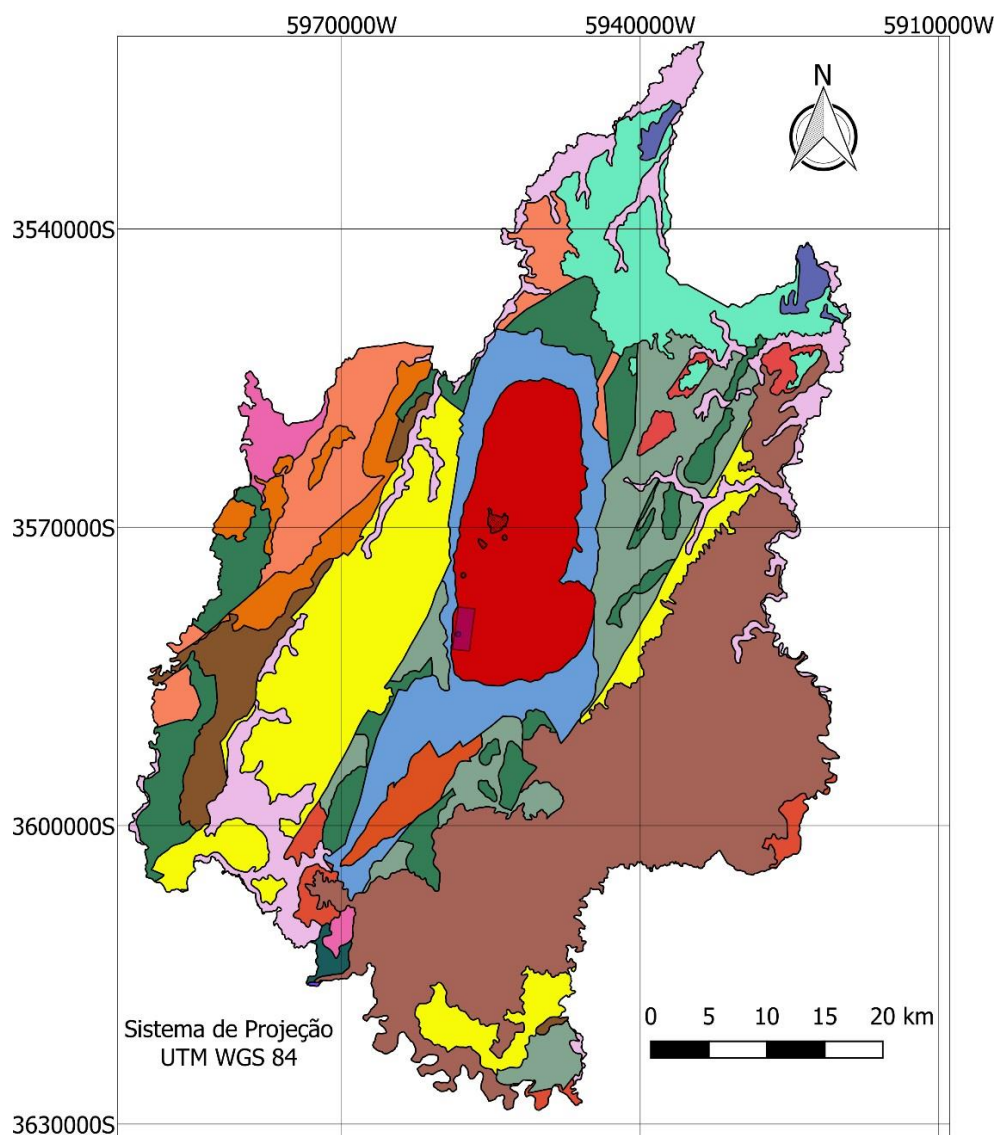
O Escudo Sul Rio-grandense faz parte do embasamento geológico do estado, e apresenta grande diversidade geológica. Sua formação ocorreu através da deformação da crosta continental, durante os eventos Transamazônico (2,26-2,20 Ga) e o Brasileiro (900-535 Ma) (CHEMALE JR F. 2000). O Escudo Sul Rio-grandense possui 4 domínios Geotectônicos: Terreno São Gabriel, Terreno Tijucas, Terreno Taquarembó e Batólito de Pelotas. (CHEMALE JR F. 2000)

A área de estudo está localizada em Caçapava do Sul (Figura 2), que faz parte do domínio do Terreno São Gabriel, que é composto por rochas plutônicas juvenis, rochas meta-vulcânicas máficas e meta sedimentares, além de outras rochas derivadas do manto neoproterozóico (HARTMANN *et al.* 2007).

De acordo com Hermann *et al.* (2007),

O Terreno São Gabriel constitui-se em um prisma acrescionário gerado durante o Neoproterozóico, com associações petrotectônicas de ambientes de margem passiva e de retro-arco (back-arc), ofiolitos, arcos magmáticos vulcano-sedimentares e plutônicos. As rochas cálcico alcalinas médio a alto-K (gnaisses tonalíticos e dioríticos, meta-dioritos, meta-tonalitos, dioritos, tonalitos e granodioritos) do Complexo Cambaí têm idades de zircão (TIMS e SHRIMP) em torno de 735-680 Ma.

Figura 2: Mapa geológico do município de Caçapava do Sul.



LEGENDA			
	Área de estudo		Granítica Caçapava do Sul
	Área Urbana		Hilário
Unidades Geológicas:			Maricá
	Acampamento Velho		Metassedimentar
	Arroio dos Nobres		Metavulcânica
	Arroio Marmeleiro		Palermo
	Arroio Mudador		Rio Bonito
	Depósitos aluvionares		Rodeio Velho
	Formação Pedra Pintada		Santa Bárbara
	Formação Varzinha		Santa Fé
			Taciba

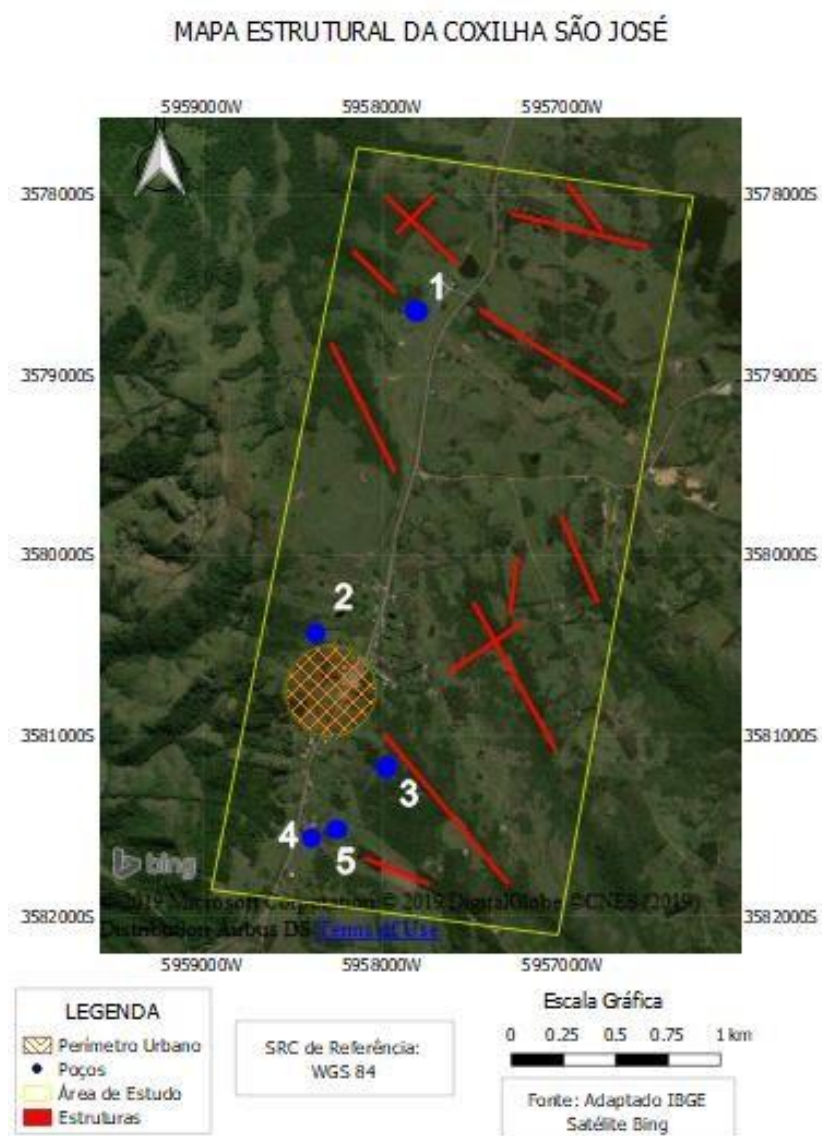
Fonte: Modificado, CPRM.

4.2.2 Contexto Geológico local

A área estudada está localizada na borda da Suíte Granítica Caçapava do Sul (558 ± 3 Ma U-Pb), sendo composta por uma variação de granitoides, como, granitos, sienogranitos, monzogranitos a allanita granodioritos predominantes principalmente na porção central, com foliações protomilioníticas ao longo das boras do corpo granítico (CPRM, 2008).

O local possui pequenas estruturas, com direções preferenciais NW-SE (Figura 3). Enquanto que na região de Caçapava do Sul há estruturas de médio a grande porte (CPRM, 2008).

Figura 3: Mapa estrutural da área de estudo

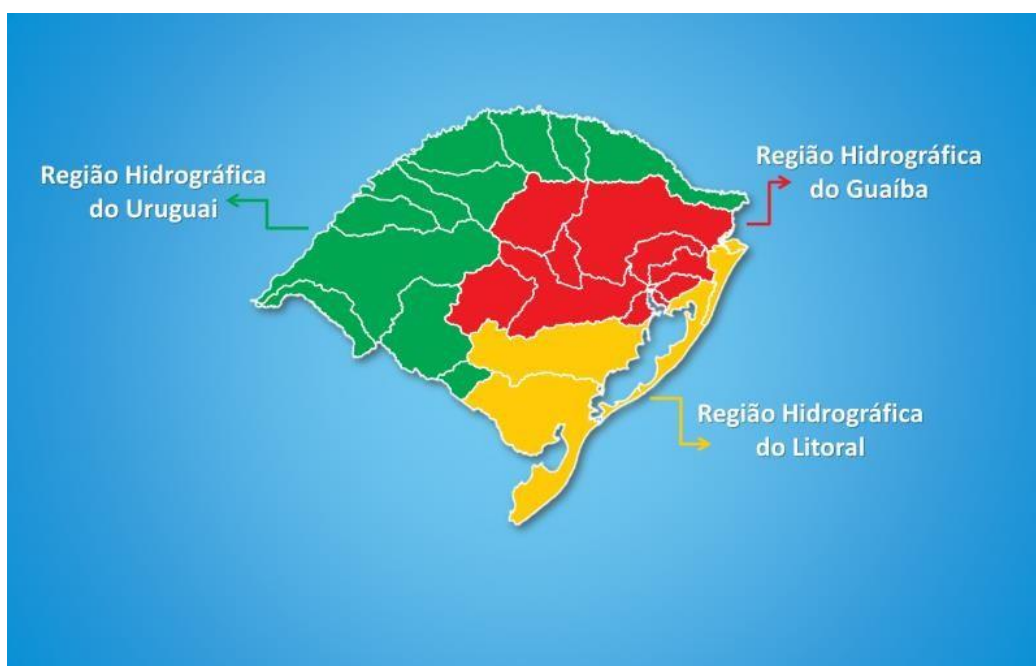


Fonte: Modificado IBGE.

4.3 Contexto Hidrológico

O estado do Rio Grande do Sul é dividido em três Regiões Hidrográficas (Figura 4), do Uruguai, Guaíba e do Litoral, sendo que a cidade de Caçapava do Sul faz parte das Regiões Hidrográficas do Guaíba e do Litoral (SEMA, 2007).

Figura 4: Regiões hidrográficas do Rio Grande do Sul



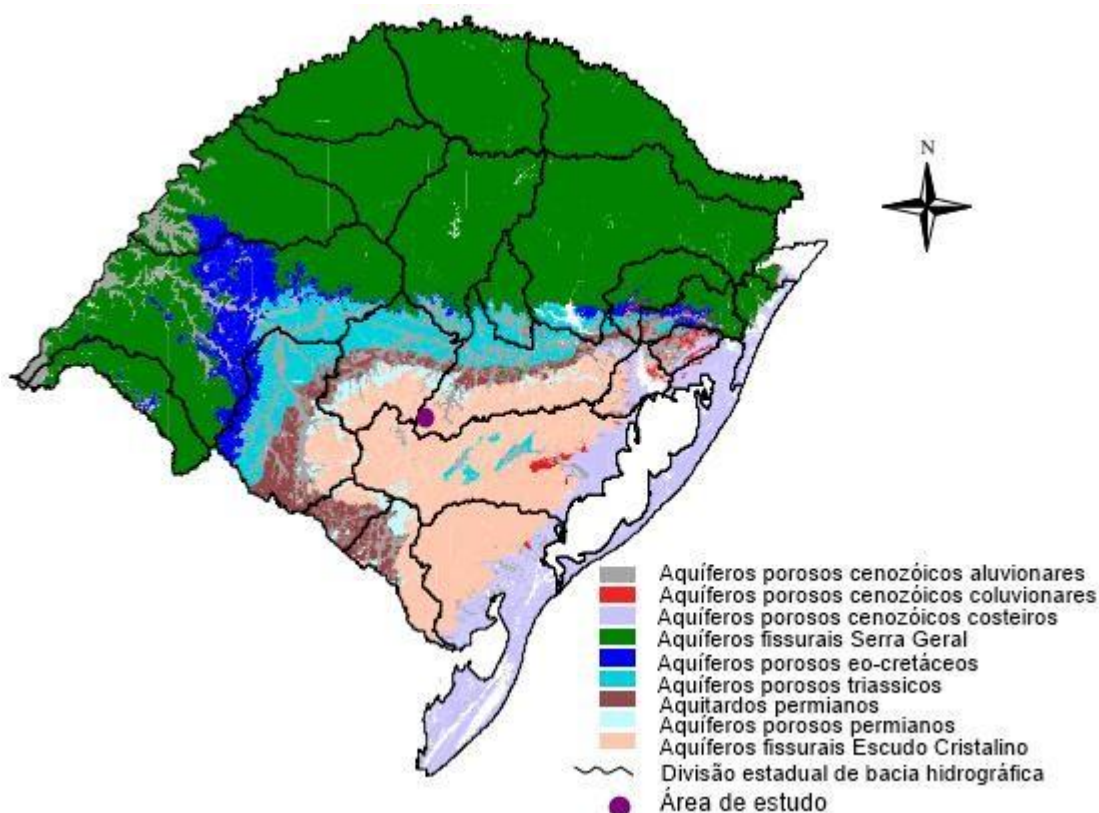
Fonte: SEMA, 2007

As Regiões Hidrográficas são subdivididas em Bacias Hidrográficas, e a área de Caçapava do Sul está inserida na área das Bacias Hidrográficas dos Rios Vacacaí – Vacacaí Mirim, da Bacia Hidrográfica do Jacuí (Região Hidrográfica do Guaíba) e da Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã (Região Hidrográfica do Litoral) (SEMA, 2007).

De acordo com Machado (2005), os principais Sistemas Aquíferos encontrados na Bacia Hidrográfica do Vacacaí – Vacacaí mirim são o Embasamento Cristalino II, Sistema Aquífero Permiano, Sistema Aquífero Palermo/Rio Bonito e Aquiclude Eopaleozóico. Na Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí, estão presentes o Embasamento Cristalino II, Sistema Aquífero Palermo/Rio Bonito e o Aquiclude Eopaleozóico. Enquanto que na Bacia Hidrográfica do Camaquã, encontra-se o Embasamento Cristalino II e o Aquiclude Eopaleozóico.

A área de estudo está localizada na Bacia Hidrográfica do Vacacaí – Vacacaí Mirim, dentro do Aquífero do Embasamento Cristalino II (Figura 5), tratando-se de um aquífero fissural, formado por rochas ígneas, onde há a presença de fendas e falhas. A capacidade de armazenamento das águas subterrâneas está ligada diretamente com o tipo de aquífero. No caso dos aquíferos fraturados, a água circula pelas fissuras resultantes do faturamento das rochas impermeáveis (BOMFIM, 2010).

Figura 5: Mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul



Fonte: CPRM, 2008.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O levantamento bibliográfico foi realizado com base em livros, dissertações, teses e artigos científicos, com o objetivo de dar embasamento ao conhecimento sobre a geologia, hidrologia e técnicas para obtenção de dados sobre a caracterização de aquíferos.

5.1 Teoria dos métodos e técnicas

A revisão dos métodos e técnicas aplicados em um trabalho é de extrema importância, pois indica as maneiras que os trabalhos podem ser realizados.

Segundo Feitosa *et al.* (2008), as águas subterrâneas não possuem comportamento regular, logo há a necessidade de estudos que evoluam com o tempo, a cada poço perfurado e testado, a cada nova análise, método ou técnica utilizada, para uma melhor compreensão das características do aquífero.

5.1.1. Métodos geofísicos

A utilização da geofísica em aquíferos têm papel importante, visto que conseguem identificar elementos localizados em subsuperfície. Segundo Maia *et al.* (2001), a geofísica tem se revelado com fundamental papel nas investigações de materiais *in situ*, já que apresentam várias vantagens em relação a métodos tradicionais e permitem recobrimento de áreas extensas, de maneira rápida, com qualidade satisfatória e baixo custo. Entretanto, para a obtenção de dados com boa qualidade, há a necessidade de considerar a metodologia e técnica a ser aplicada, considerando as condições da área de estudo e operacionalidade do equipamento, definindo os métodos mais corretos para determinado estudo.

5.1.1.1 Método elétrico da resistividade

De acordo com Ferreira (1997), o método elétrico da resistividade resume-se no estudo do campo elétrico criado artificialmente pela inclusão de uma corrente elétrica no terreno. Essa corrente é introduzida através de dois eletrodos, A e B, fixados na superfície.

Com base nos princípios da Lei de Ohm, devido ao fluxo de corrente elétrica introduzida, determina-se a resistividade elétrica do volume de terreno influenciado pela passagem da corrente, podendo assim, determinar o tipo de material presente no solo (ORELLANA, 1972). A resistividade elétrica da área estudada depende da composição das rochas e formações geológicas presentes, quantidade de água contida nas suas estruturas e presença de sais dissolvidos nessa água. Geralmente, as fraturas, falhas, poros e outras estruturas das rochas, são preenchidas com água

que contém sais minerais dissolvidos. Consequentemente, isso implica em uma maior ou menor afinidade do meio para conduzir correntes elétricas (FERREIRA, 1997).

Para Ferreira (1997), as análises de resistividade elétrica permitem identificar e localizar estruturas geológicas, não havendo necessidade que estas estejam reenchidas por água, sendo possível, também, identificar plumas de contaminação em grande profundidade.

5.1.1.2 Sondagem Elétrica Vertical (SEV)

De acordo com Braga (2016), a Sondagem Elétrica Vertical é uma técnica geoeletrica que mede a resistividade aparente do meio. Essa medida é efetuada através de leituras de corrente e diferença de potencial em eletrodos separados em emissão e recepção. É uma técnica utilizada para a determinação da profundidade de corpos rochosos, bem como determinação do nível da água, mapas de superfície piezométrica entre outros.

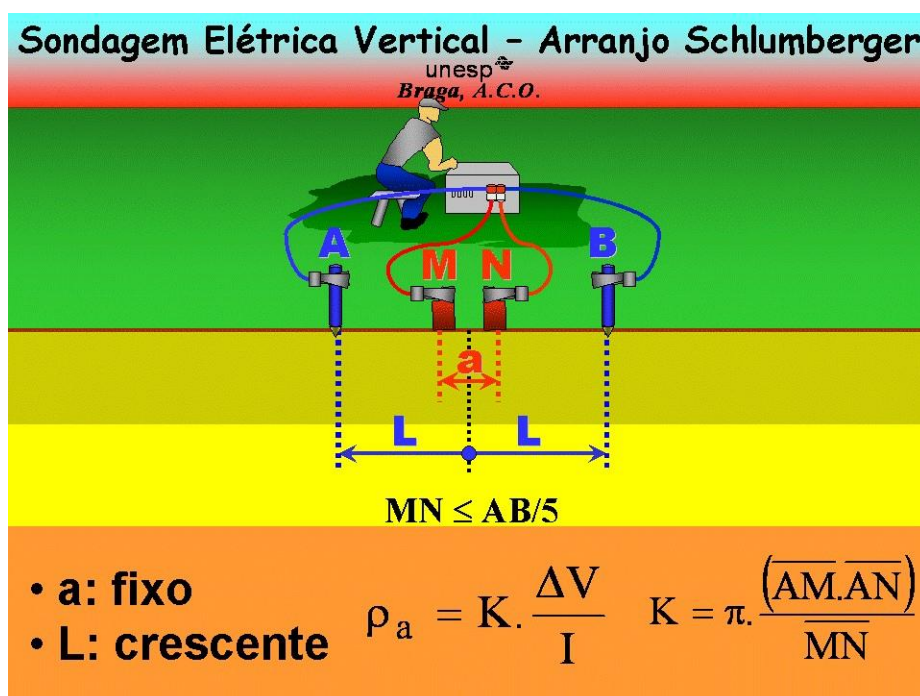
Para Maia *et al.* (2001), a SEV consiste na interpretação de dois dados físicos, assim como resistividade aparente e cargabilidade aparente, obtidos por medidas realizadas na superfície do solo, tendo como resultados uma investigação em variadas profundidade. Através dessa técnica, podem ser investigados materiais geológicos em subsuperfície, alterações, faturamento, graus de saturação e profundidade do lençol freático.

5.1.1.3 Arranjo Schlumberger

Para a realização da Sondagem Elétrica Vertical necessita-se de um arranjo específico dos eletrodos, sendo possível a investigação de determinada profundidade através deles. O arranjo mais utilizado é chamado de Schlumberger, onde são dispostos quatro eletrodos simetricamente localizados em relação ao centro (MAIA *et al.* 2001).

Segundo Maia *et al.* (2001), no arranjo Schlumberger (Figura 6) os eletrodos de recepção (MN) sempre permanecem fixos, enquanto os eletrodos de emissão (AB) mudam ao longo do arranjo, com isso, pode-se aumentar a profundidade de investigação.

Figura 6: Posição dos eletrodos no Arranjo Schlumberger



Fonte: Braga, 2016.

5.1.2. Caracterização hidroquímica

A caracterização hidroquímica das águas, é um procedimento geralmente utilizado para determinar a potabilidade da água, além de tipificar qual o uso ela pode ter. Por meio da caracterização é possível identificar os componentes químicos presentes na água e conseqüentemente analisar possíveis anomalias (BORTOLIN, 2014).

Para Feitosa *et al.* (2008), as análises de água utilizam diversos métodos para a determinação dos seus constituintes maiores e menores, como, pH, turbidez, Condutividade elétrica, alcalinidade total, sólidos totais dissolvidos, dureza total, cálcio, sulfatos, ferro total e cloretos.

Para a realização da caracterização há a necessidade de um procedimento adequado, desde a coleta das amostras de água, seu condicionamento, transporte, preservação, envio para análise e seu controle de qualidade. Esses procedimentos são de extrema importância, devido ao fato de influenciarem nas interpretações e resultados finais dos estudos hidroquímicos (FEITOSA *et al.* 2008).

5.1.2.1. Turbidez

A turbidez da água é caracterizada pela presença de partículas em suspensão na água, podendo ser matéria inorgânica ou orgânica. Muitas vezes a turbidez é associada a transparência da água, quanto menor, maior é a turbidez (HELLER & PÁDUA, 2006).

Em relação a percepção visual, valores abaixo de 8 uT são imperceptíveis, sendo que valores menores que 5 uT são considerados aceitáveis para o consumo humano. Então, por conta da possível presença de microrganismos é recomendado valores de turbidez menores que 5 uT (HELLER & PÁDUA, 2006).

5.1.2.2. Sólidos Totais Dissolvidos

Os sólidos totais dissolvidos representam todas as partículas presentes na água, quanto menor os seus valores, melhor é a qualidade da água em relação a sua potabilidade (SANTOS, 2000). Segundo as normas referentes a potabilidade, o valor máximo aceitável em águas potáveis é de 1000mg.L⁻¹ (Portaria 2914/2011).

5.1.2.3. pH

Segundo Heller & Pádua (2006), o pH da água é a medida da atividade de íons de hidrogênio presentes e mostra as condições da água. Águas com pH superior a 7,0 são classificadas como alcalinas, enquanto águas com pH menor que 7,0 são classificadas como ácidas.

O pH das águas varia muito de acordo com as características do solo, sendo que águas naturais apresentam pH neutro, ou seja, 7,0. O valor do pH interfere na solubilidade de várias substâncias e conseqüentemente na sua toxicidade.

De acordo com a resolução do 357/2005 do CONAMA e 2914/2011 do Ministério da Saúde, as águas subterrâneas possuem pH entre 6,0 e 9,0, qualquer valor fora desse intervalo é considerado fora do padrão.

5.1.2.4. Alcalinidade Total

Segundo Heller & Pádua (2006), a alcalinidade total está relacionada diretamente à capacidade da água em neutralizar bases e ácidos. A alcalinidade de uma água ocorre principalmente pela presença de alguns elementos químicos, como, carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Águas com pouca alcalinidade possuem maior susceptibilidade a alterações do pH.

A alcalinidade total é calculada a partir de todos os íons presentes na água. Normalmente é dada em mg.L^{-1} de CaCO_3 . Águas com maior alcalinidade estão relacionadas com locais onde há maior facilidade de se retirar os íons Ca^+ e Mg^+ (GARCEZ, 2004).

5.1.2.5. Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica da água está relacionada com a quantidade de sais dissolvidos, sendo proporcional a sua quantidade. Além disso, a condutividade elétrica está relacionada diretamente com a quantidade de sólidos totais dissolvidos, podendo estimar a quantidade do mesmo de acordo com os valores de condutividade (HELLER & PÁDUA, 2006).

Devido a relação entre condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos, o método é amplamente utilizado para determinar e diferenciar águas salobras de águas salinas, sendo que os valores variam de acordo com os íons presentes na água (SANTOS, 2000).

5.1.2.6. Dureza Total

Para Sperling (2005), a dureza total corresponde a concentração de cátions multimetálicos em uma solução. Esses cátions em sua maioria são bivalentes de Ca e Mg, e em condições de supersaturação eles reagem com os ânions na água.

Geralmente a dureza é caracterizada pela extinção da espuma formada pelo sabão (índice visível de uma reação complexa). Usualmente, a dureza é decorrente do cálcio associado ao bicarbonato, transformando o mesmo em carbonato devido à elevação de temperatura ou do pH (HELLER & PÁDUA, 2006).

A dureza pode ser classificada em água mole, quando é menor que $50 \text{ mg.L}^{-1} \text{ CaCO}_3$, dureza moderada para valores entre 50 e $150 \text{ mg.L}^{-1} \text{ CaCO}_3$, água dura para valores entre 150 e $300 \text{ mg.L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ e água muito dura, para valores maiores que $300 \text{ mg.L}^{-1} \text{ CaCO}_3$. Os valores de potabilidade são aceitos até 500 mg.L^{-1} (SPERLING, 2005).

5.1.2.7. Sulfatos

De acordo com Santos (2008), os sulfatos são bem frequentes na natureza. Conseqüentemente estão presentes nas águas, podendo estar em frações de dezenas a milhares de mg.L^{-1} . As águas subterrâneas apresentam geralmente valores inferiores a 100 mg.L^{-1} .

As águas subterrâneas presentes em aquíferos cristalinos possuem uma quantidade menor de sulfatos que em aquíferos fraturados, sendo menor que 30 mg.L^{-1} (CELLIGOI, 1999).

5.1.2.8. Ferro Total

Segundo Santos (2008), as águas subterrâneas apresentam em sua normalidade baixos valores de Ferro, isto é, em torno de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$. Ainda, é possível uma maior concentração do elemento em locais onde a ocorrência mineral do elemento, presença de ferrobactérias ou a corrosão de algum revestimento dos poços.

5.1.2.9 Cálcio

O íon de cálcio é um dos cátions comumente encontrados em maiores concentrações nas águas doces, tendo como origem a dissolução de alguns minerais, como, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaCO_3 e $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (HELLER & PÁDUA, 2006).

Para Santos (2000), o cálcio é um dos elementos que está presente em maior quantidade em águas superficiais e subterrâneas, sendo responsável pela dureza nas águas. Em aquíferos cristalinos as principais fontes de cálcio são os plagioclásios e as apatitas.

Em águas subterrâneas os valores de concentração de cálcio variam em torno de 10 a 100 mg.L^{-1} (SANTOS, 2000). E segundo o Decreto-Lei n 306/07 de 27 de

Agosto, recomenda-se que a concentração de cálcio em águas para o consumo humano, não seja superior a 100 mg.L⁻¹.

5.1.2.10 Cloretos

Segundo Sperling (2005), todas as águas naturais, superficiais ou subterrâneas, em maior ou menor quantidade, possuem íons resultantes da desagregação dos minerais. Os cloretos são provenientes das dissoluções de sais, como, por exemplo, o cloreto de sódio.

O cloreto está relacionado a minerais ferromagnesianos e evaporitos, sendo muito estável e solúvel. Em águas subterrâneas geralmente apresenta teores menores que 100 mg.L⁻¹, e altos teores do mesmo podem significar águas poluídas (GOMES, 2012).

Dependendo da concentração do cloreto, as águas podem possuir sabor salgado, devido à presença de grande quantidade de minerais. Em relação ao abastecimento público e potabilidade, são aceitos valores de cloreto de até 250 mg.L⁻¹ (SPERLING, 2005).

5.2. Trabalhos anteriores aplicados

A hidrogeologia é uma área das geociências que estuda o comportamento das águas subterrâneas, quanto ao seu volume, distribuição, vazão, qualidade, entre outros. Existem diversos trabalhos na área, sendo aplicados com objetivos distintos, sendo um deles a caracterização das águas subterrâneas.

Goffermann (2013), faz a caracterização hidrológica e hidroquímica das águas subterrâneas da região de São Gabriel através de mapeamento geológico e estrutural, além análises físico-químicas, onde utilizou diversos ensaios, como, por exemplo, ensaio de lixiviação/solubilização, ensaio de troca iônicas e análises isotópicas. O autor determinou os melhores aquíferos da região de São Gabriel, bem como, a situação e potabilidade das águas subterrâneas, além das melhores áreas para a perfuração de poços tubulares.

Linhares (2009), identificou o potencial hidrogeológico e analisou a qualidade das águas subterrâneas do município de Brejo do Cruz, na Paraíba, por meio de um mapeamento dos poços tubulares localizados dentro da área de estudo. Foi realizada

a medição das profundidades, nível estático e das condições de revestimento dos poços, além de obter análises das águas para determinar a sua qualidade.

Como resultados, identificou-se que existe variedade de profundidades nas diferentes zonas da área de estudo. Foi constatado que vários poços cacimbas e tubulares não apresentam revestimento correto, ou proteção, como consequência constatou a presença de coliformes onde não há construção adequada.

Dall'agnese (2015), determinou os principais lineamentos e drenagens em uma área na cidade de Santana da Boa Vista, além de utilizar a geofísica para aplicar os métodos Eletromagnético, Geocondutímetro e Eletrorresistividade, para a obtenção do modelo Geoelétrico aplicado a hidrogeologia. Através dos métodos utilizados, foram identificadas duas diferentes litologias que são separadas por uma falha. O autor determinou os valores de condutividade para ambas as zonas, que mostraram valores distintos, um com alto valor e outro com baixo valor, sendo que na região da falha os valores são de grau intermediário.

Os resultados obtidos por Dall'agnese (2015), foram que provavelmente a falha encontrada na área de estudo está preenchida por materiais dendríticos saturados, e o local aconselhado para a perfuração de um poço tubular para a captação de água é na porção mais profunda da falha, no qual a mesma alcança pelo menos 120 metros de profundidade, visto que as condições proporcionam maior vazão.

Rondon (2017), efetuou uma caracterização hidroquímica de águas subterrâneas em aquíferos localizados nos municípios de Caçapava do Sul e Vila Nova do Sul, através de análises químicas e hidroquímicas.

A autora obteve os resultados da concentração de cálcio e magnésio dos aquíferos e constatou uma diferença sazonal significativa entre o verão e o inverno. As águas localizadas na Suíte Granítica Caçapava do Sul revelaram valores mais significativos durante o inverno.

Os resultados indicaram uma correção entre as assinaturas químicas das rochas presentes e das águas associadas, além da presença de alguns elementos associados a ocorrências minerais derivadas do hidrotermalismo associado as unidades.

Silva (2010), realizou um mapeamento hidrogeológico e hidroquímico na região de São Gabriel, que teve como objetivos a caracterização geoquímicas e hidroquímicas das águas subterrâneas da região, além de um mapeamento para

constatar a potabilidade das águas e traçar modelos qualitativos e quantitativos dos processos de interação entre água/rocha.

Para a realização do estudo, foi efetuado um levantamento da bibliografia da região e dos dados cadastrados no SIAGAS, com isso, foram identificados 5 poços tubulares. Foi realizado um mapeamento estrutural através de satélite, fotos aéreas e trabalho de campo.

Através dos estudos a autora determinou os valores médios de vazão e capacidade específica dos poços tubulares de São Gabriel, além de determinar os parâmetros químicos e teores das águas subterrâneas. Foram determinadas áreas onde os padrões estão dentro da normalidade e áreas onde potabilidade é comprometida devido aos altos valores de STD e fluoretos, resultando em águas salobras e problemas de fluorose dentária na população local.

Aquino (2016), executou a caracterização do aquífero fraturado em Caçapava do Sul através da utilização dos métodos geofísicos da eletrorresistividade e a técnica do caminhamento elétrico.

Para a realização da caracterização a autora realizou análises de campo, além dos levantamentos geofísicos, e obteve como resultados quatro domínios de resistividade e a espessura dos solos na área estudada.

Matta *et al.* (2010), estudou as características hidrogeológicas da bacia hidrográfica do Murucutu, em Belém – Pará. O estudo objetivou-se em definir o fluxo hídrico subterrâneo e identificar áreas de recarga e descarga do aquífero. O autor realizou o cadastramento dos poços tubulares e mediu os níveis estáticos das águas subterrâneas, posteriormente plotou os dados no software SURFER 8.0, para criar os mapas de fluxo subterrâneo e o de profundidade do nível estático.

Concluiu-se que o fluxo da água subterrânea da área tem direção preferencial NW-SE no sentido SE, também foi identificadas duas áreas de recarga e definida onde estão as áreas de descarga do aquífero.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1. Pré-Campo

Na fase de pré-campo, foi realizado o levantamento bibliográfico da área de estudo e dos métodos que seriam aplicados, bem como, a pesquisa de artigos e trabalhos publicados anteriormente sobre o assunto abordado. Além disso, também foram obtidas imagens de satélite e produzidos *shapefiles* para a confecção dos mapas prévios da área estudada.

Ainda, a Secretária de Desenvolvimento do município de Caçapava do Sul procurada, visando a aquisição de dados populacionais sobre a região de desenvolvimento do estudo.

6.2. Campo

Na fase de campo foi aplicado um conjunto de métodos e técnicas, com a finalidade de obter alguns parâmetros sobre as águas subterrâneas da Coxilha São José. Foram necessários cinco dias de campo, para a aplicação dos métodos. Dentre os métodos aplicados, destacam-se:

6.2.1. Medição dos níveis estáticos dos poços tubulares

Para a medição dos níveis estáticos dos cinco poços tubulares estudados, foi utilizado o medidor de nível estático sonoro. O equipamento foi inserido nos poços estudados e quando entrou em contato com a água emitiu um som indicando a presença da mesma. Através da distância mostrada no medidor, foi possível a identificação do nível estático.

6.2.2. Captação de água para análises hidroquímicas

Para as análises hidroquímicas, foram coletadas águas de cinco dos poços tubulares presentes na área de estudo. A coleta de água seguiu a metodologia descrita pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2013), isto é, em poços tubulares com bomba a água foi bombeada por tempo suficiente para eliminar a água estagnada na

tubulação. Nesses casos a coleta foi realizada em uma torneira próxima a saída do poço e o material foi acondicionado em recipiente de Politereftalato de etileno e a amostra foi identificada adequadamente. Em poços tubulares sem bomba e cacimbas a coleta foi realizada com balde de aço inox e corda estéril (os materiais foram desembalados no momento da coleta para não haver contaminação); Nesse caso, o balde foi descido até que afundasse na água, evitando contato com as paredes do poço e da corda com a água, a água foi transferida um recipiente de Politereftalato de etileno e amostra identificada corretamente.

Após cada coleta, foram preenchidos os dados medidos em campo, como, coordenadas, altitude e nível estático, além de serem indicados o horário da coleta da amostra. Os materiais foram acondicionados em caixa térmica e enviados para análise em laboratório.

6.2.3. Teste bacteriológico

Para a realização do teste bacteriológico, foram utilizados recipientes de vidro esterilizados, disponibilizados pela Companhia Riograndense de Saneamento - CORSAN. A coleta seguiu os mesmos padrões utilizados nas análises hidroquímicas, onde foram acondicionadas em recipientes térmicos com gelo. As amostras foram analisadas pela própria CORSAN, a qual retornou apenas o resultado final, ou seja, resultado positivo ou negativo para a presença de bactérias.

6.2.4. Geofísica (Sondagem Elétrica Vertical – SEV)

Para a realização dos método geofísico foi utilizado o equipamento adequado para a medição da resistividade (Resistivímetro Syscal Pro) (Figura 5), que é responsável pela emissão da corrente elétrica.

Figura 7: Aplicação do método da SEV através do resistivímetro



Fonte: Autor.

Os eletrodos potenciais (M e N), ficaram alocados simetricamente, enquanto os eletrodos de corrente (A e B), foram sendo movimentados em distância estabelecida pelo arranjo Schlumberger, com o objetivo de identificar determinada profundidade. Quanto maior a distância dos eletrodos A e B, maior foi a profundidade obtida através do método.

Os poços tubulares mais profundos, como, o poço 2 e 3, precisaram de distâncias maiores, afim de uma investigação mais profunda do local. Para a determinação da distância foram utilizadas trenas. Com isso, foram demarcadas os locais onde foram colocados os eletrodos.

6.3. Pós-Campo

A fase pós-campo foi dedicada para a análises e compilação dos dados obtidos nas fases anteriores, foram produzidos mapas no QGIS, com dados obtidos em campo e *shapfiles* já existentes da área.

Também foi a etapa onde foram realizadas as análises hidroquímicas das águas coletadas, sendo medidos a quantidade de elementos presentes para a detecção de possíveis anormalidades. Esses parâmetros foram analisados em laboratório, sendo realizados duas vezes para obter a média entre eles, afim de um dado mais confiável.

6.3.1. pH e Condutividade Elétrica

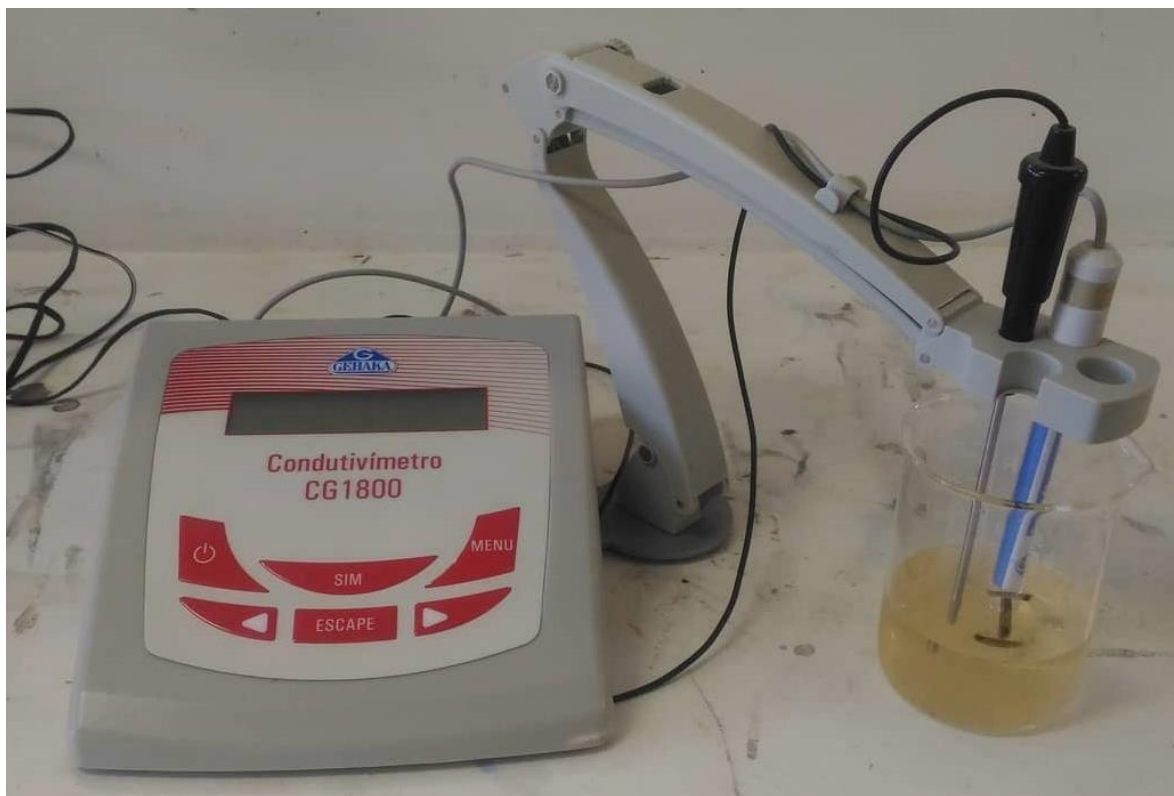
Os dados de pH e condutividade elétrica foram analisados através dos equipamentos pHmetro (Figura 7) e condutivímetro (Figura 8). Para a realização das análises foram separados 100ml de água de cada poço em beckers.

Figura 8: pHmetro HI 2221



Fonte: Autor

Figura 9: Condutivímetro



Fonte: Autor.

Para realizar a medição, os equipamentos foram inseridos dentro das águas até que fossem estabilizados e com isso, realizado as medições. Foram utilizados os dois equipamentos em duas amostras de cada poço, com o objetivo de se ter um resultado mais representativo.

6.3.2. Turbidez

Para a realização dos testes de turbidez foi utilizado o turbidímetro (Figura 9). O turbidímetro utiliza feixes de luz que refletem as partículas do líquido em questão, no caso, as águas dos poços. Foi utilizado uma amostra de água destilada (branco) para efeitos de comparação com as amostras analisadas.

Figura 9: Turbidímetro Z100N



Fonte: Autor.

O líquido analisado foi colocado em cubetas de vidro e encaixadas na parte central do turbidímetro, depois pressionado o botão “read” e após alguns segundos foi obtido o resultado.

6.3.3. Dureza Total e Cálcio

A metodologia empregada para os testes de dureza seguiram as orientações do Ministério da Saúde, onde foi utilizado 25ml de amostras de água dos poços, onde as mesmas foram diluídas em 50ml de água destilada. Os 75ml foram transferidos para um Becker de 100ml e posteriormente foi adicionado 2ml de solução tampão, afim de elevar o pH.

A solução foi transferida para um *Erlenmeyer* de 250ml e adicionado 0,05 gramas de Indicador. Após essa etapa foi realizado a titulação com o EDTA 0,01M até a mudança de cor (Figura 10). O valor gasto de EDTA foi anotado e utilizado em uma expressão para o cálculo da Dureza.

$$\text{Dureza Total em Mg/LCaCO}_3 = \text{ml de EDTA} \times 1000 \times Fc / \text{ml de amostra.}$$

Figura 10: Titulação utilizada para os métodos de Dureza e Cálcio



Fonte: Autor.

Para a determinação do Cálcio foi utilizado o mesmo método da Dureza, porém, o indicador foi diferente, no caso, o Calcon. A titulação foi realizada com o mesmo EDTA 0,01M até a mudança de cor de roxo para azul.

6.3.4. Alcalinidade Total

Para a obtenção da Alcalinidade Total foi utilizado 50ml de amostra de cada poço, onde foram colocadas em Erlenmeyers e adicionadas 3 gotas de solução indicadora de verde de bromocresol/vermelho de metila.

Com a solução pronta foi realizada a titulação com uma solução de Ácido Sulfúrico 0,02 N até a mudança de cor, de amarelo para laranja (Figura 11). Com o volume gasto de H₂SO₄, obtivemos a Alcalinidade através de uma expressão.

Alcalinidade Total e mg/l de CaCO₃ = V x 20

Figura 11: Determinação da Alcalinidade Total



Fonte: Autor.

6.3.5. Sulfatos

Para a determinação de Sulfatos, foi utilizado o método desenvolvido por Tabatabai (1974), que baseia-se na medição de turbidez formada pela reação do cloreto de bário com o sulfato presente na amostra, formando sulfato de bário, que fica em suspensão turvando a solução.

6.3.6. Ferro Total

A determinação de Ferro Total nas cinco amostras foi realizado pelo método da fenantrolina. Para a realização do método colocamos 50 mL de cada amostra em *Erlenmeyers* de 250 mL e adicionamos 2,0 mL de ácido clorídrico concentrado, além de 1,0 mL de solução de cloridrato de hidroxilamina.

Após a solução estar pronta foi adicionado algumas pérolas de vidro em aquecimento e deixado descansar até a solução diminuir seu volume para 10 ou 20 mL. Com as amostras em temperatura ambiente, ocorreu a transferência para um balão volumétrico de 50 mL, onde foi completado com água ionizada. Foi adicionado 5 mL de solução tampão de acetato de amônio volumetricamente, até que ocorresse a mudança de cor.

Por fim, as soluções foram colocadas em capsulas de vidro e analisadas no Espectrofotômetro (Figura 12) e com isso, pôde-se identificar a quantidade de ferro presente nas amostras.



Figura 12: Espectrofotômetro utilizado para análises de Ferro

Fonte: Autor.

6.3.7. Cloretos

A análise para determinação de cloretos foi realizada através do método argentométrico. Em um *erlenmeyer* de 250 mL foi colocado 50 mL de amostra de água de cada poço, além de uma pitada de Carbonato de cálcio e 5 gotas de Cromato de potássio.

Paralelamente foi utilizado uma prova em branco, para dar maior confiabilidade ao resultado da titulação, onde foi utilizado água destilada ao invés das águas dos poços, conseqüentemente, o resultado daria negativo para cloretos caso o método funcione.

Por último foi realizado a titulação das amostras com Nitrato de prata até que ocorresse a mudança de cor das amostras (Figura 13). O volume gasto foi utilizado para a determinação da quantidade de cloretos em cada amostra.

Figura 13: Titulação para determinação de cloretos



Fonte: Autor.

6.3.8. STD

O procedimento utilizado para a determinação de sólidos totais dissolvidos seguiu o procedimento da SABESP, onde ocorreu a pesagem de das cinco amostras em balanças de precisão (Figura 14). Posteriormente as amostras foram colocadas na estufa para secagem em 60 graus por 4 dias.

Figura 14: Pesagem das amostras para a determinação de STD



Fonte: Autor.

Após o processo de secagem, foi realizada novamente a pesagem das amostras na balança de precisão, e o resultado obtido foi subtraído do primeiro resultado. Com isso, foi determinado o peso dos sólidos totais dissolvidos nas amostras analisadas.

6.3.9. Geofísica

Para o método geofísico foram utilizado softwares para o tratamento de dados, como o ipi2win. Através do método foi estabelecido o comportamento do subsolo da região, e unido aos dados obtidos nas análises hidroquímicas foi estabelecido a relação entre eles e com isso, o comportamento das águas na região.

Com os dados executados, foi feita a compilação de todas as informações para a determinação da qualidade da água e alguns parâmetros para da área, cumprindo os objetivos citados ao longo do trabalho.

7. RESULTADOS

O estudo realizado na Coxilha São José possibilitou o acumulo de informações acerca das águas subterrâneas presentes na região. O estudo obteve informações em relação a água de cinco poços tubulares, além de informações em subsuperfície através da utilização de métodos de geofísica.

7.1. Características dos Poços

7.1.1. Poço 1

- Poço tubular de uso domiciliar. Possui profundidade de 30 metros e nível estático de 2,70 metros. Não possui revestimento e atualmente está desativado, seu fechamento foi realizado de forma precária, sendo utilizadas britas para tampar a abertura do poço (Figura 15);

- Coordenadas UTM 22J: 6614042 / 258504;

- Elevação: 405 metros

Figura 15: Poço tubular 1



Fonte: Autor.

7.1.2. Poço 2

- Poço tubular de uso domiciliar. Possui profundidade de 60 metros e nível estático de 4,70 metros. Seu revestimento é de Policloreto de vinila – PVC. Atualmente o poço está desativado e seu fechamento foi realizado de forma precária. Para este fechamento foi utilizado um balde para fechar a abertura do poço, sobre este balde foi colocado uma telha, além de rochas para manter o local fechado (Figura 16) e (Figura 17).

- Coordenadas UTM 22J: 6612407 / 257843

- Elevação: 417 metros

Figura 16: Poço Tubular 2: A) Fechado de forma precária; B) Situação.



Fonte: Autor.

7.1.3. Poço 3

- Poço tubular/artesiano construído para abastecimento da região. Possui profundidade de 174 metros e jorrância, ou seja, a água jorra espontaneamente do poço sem necessitar de nenhum equipamento de bombeamento. O poço possui revestimento metálico, tampa metálica e calçada de concreto. Atualmente o poço está em fase de preparação para o seu uso, isto é, está em fase final de instalação (Figura 18).

- Coordenadas UTM 22J: 6611859 / 258248;

- Elevação: 385 metros

Figura 18: Poço tubular construído para o abastecimento



Fonte: Autor.

7.1.4. Poço 4

- Poço tubular de uso domiciliar. Está em fase final de construção. Este poço possui profundidade de 30 metros (Figura 19).
- Coordenadas UTM 22J: 6611502 / 258011
- Elevação: 414 metros

Figura 19: Poço tubular em fase final de construção



Fonte: Autor.

7.1.5. Poço 5

- Poço tubular de uso domiciliar. Não há informações sobre como foi realizado a sua construção. O poço possui profundidade de 35 metros. Possui revestimento de Policloreto de vinila – PVC e está isolado por uma anilha de concreto. Atualmente o poço está em funcionamento, abastecendo apenas uma casa. O poço está ligado diretamente a caixa d'água através de uma mangueira que foi enterrada no solo. Depois da caixa d'água há uma torneira, neste local foi retirado o material coletado.

- UTM 22J: 6611467 / 257899

- Elevação: 425 metros

Figura 20: Poço tubular em utilização.



Fonte: Autor.

7.2. Análises realizadas em laboratório

As águas coletadas nos cinco poços tubulares da Coxilha São José foram analisadas no laboratório da Universidade Federal do Pampa e os resultados (Tabela 1 e Tabela 2), são apresentados abaixo.

Tabela 1: Parâmetros químicos das amostras analisadas

Poços	pH	Alcalinidade HCO_3^-	Cálcio (mg.L ⁻¹)	Sulfatos	Ferro (mgFe/L)	Cloreto (mgCL/L)
1	6,25	106	1,55	Negativo	0,365	11,6789
2	5,61	22	0,30	Negativo	0,01	22
3	6,20	127	3,60	Negativo	Negativo	127
4	6,94	54	1,00	Negativo	0,003	54
5	6,65	63	1,90	Negativo	Negativo	52

Fonte: Autor.

Tabela 2: Parâmetros físicos das amostras analisadas

Poços	Turbidez (UT)	Condutividade (uS/cm)	Dureza (mg.L ⁻¹ de CaCO ₃)	STD (mg.L ⁻¹)
1	52	202	3,6	120
2	25	58,2	1,5	49
3	1,52	195,1	4,6	70
4	18,8	102,8	1,8	53
5	15,3	189,3	2,4	27

Fonte: Autor.

As amostras de pH deram resultados bem parecidos nos 5 poços, sendo o poço 2 com o menor pH (único fora dos padrões) e o poço 4 com o maior pH. Em relação a alcalinidade das amostras, os valores foram bem baixos, não ultrapassando o valor de 127 (poço 3), enquanto que o teor de cálcio das amostras também variou pouco, sendo o poço 3 com o maior valor 3,60 mg.L⁻¹ e o poço 2 com o menor valor 0,30 mg.L⁻¹.

O teste realizado para a identificação de sulfatos nas amostras, deu negativo nos 5 poços, enquanto que o teste de ferro deu negativo para os poços 3 e 5, e valores muito baixos nos poços 2 e 4, apenas o poço 1 teve teores mais altos, chegando a 0,365 mgFe/L. Os valores de cloreto também foram parecidos nos 5 poços, sendo o primeiro com o valor mais baixo 11,6789 mg.L⁻¹, enquanto o poço 3 com valores mais altos 127 mg.L⁻¹.

Em relação a turbidez das amostras, apenas o poço 3 apresentou valores baixos 1,52UT, os outros poços apresentaram valores mais elevados, sendo o primeiro poço o que mostrou-se com valores mais altos 52UT. Os valores de condutividade elétrica dos poços 1,2 e 5 deram bem parecidos, enquanto o quarto poço apresentou valor mais baixo em relação aos outros três poços 102,9uS/cm e o poço 2 apresentou o menor valor entre os 5 poços, 58,2uS/cm.

A dureza encontrada nos poços segue o mesmo padrão da alcalinidade e do cálcio, o poço 3 apresenta os maiores valores 4,6 mg.L⁻¹ e o poço 2 os menores valores 1,5 mg.L⁻¹. Os testes para Sólidos Totais Dissolvidos apresentaram valores baixos, sendo o poço 1 com o valor mais elevado 120 mg.L⁻¹.

7.3. Teste Bacteriológico

Foi realizado o teste bacteriológico nas amostras para a bactéria *Escherichia coli* (Tabela 3) no laboratório da Companhia Riograndense de Saneamento - CORSAN. Todas as amostras deram resultados positivos para a presença da bactéria, com exceção do poço 4, onde não foi realizado o teste, pois não foi possível a captação de água para a realização deste teste. Isso se deu devido as condições em que o poço se encontra, o local está lacrado e interligado diretamente a caixa d'água sem nenhuma saída no conduto entre o poço e o reservatório.

Tabela 3: Teste bacteriológico

Poços	Escherichia coli
1	Positivo
2	Positivo
3	Positivo
4	-----
5	Positivo

Fonte: Autor.

7.4. Potabilidade dos poços

Através das análises realizadas, foi comparado os resultados obtidos das 5 amostras, com a literatura para determinar se os parâmetros estão dentro do limite aceitável para a potabilidade humana. Como base foi utilizado os percentuais descritos pelo Ministério da Saúde, Conselho Nacional do Meio Ambiente e Companhia de Saneamento Básico de São Paulo.

7.4.1. Características Físico-Químicas dos Poços Tubulares

- **pH:** A Portaria nº2914/2001, do Ministério da Saúde, recomenda que os valores de pH a 20°C, estejam entre 6,0 e 9,0 para o consumo humano. Das 5

amostras analisadas, apenas o Poço 2 possuiu pH fora desses parâmetros, no caso 5,61. Os outros quatro poços apresentaram pH dentro das condições de potabilidade.

- **Condutividade Elétrica:** Os valores de Condutividade Elétrica das amostras foram comparadas com a resolução nº 396/2008 do CONAMA, que diz que valores de CE devem estar entre 50 e 1500 para a potabilidade humana. Os 5 poços analisados apresentaram valores compatíveis com os parâmetros, logo, não apresentaram nenhum tipo de anormalidade.
- **Turbidez:** As amostras coletadas apresentaram valores bem distintos de turbidez, variando de 1,52 UT até 52,0 UT. Segundo a resolução nº 396/2008 do CONAMA as águas devem apresentar valores máximos de 5,0 UT, logo, apenas o Poço 3 possui nível de turbidez aceitável dentro dos parâmetros. Os outros 4 poços estão acima dos níveis, sendo o Poço 1 com os valores mais elevados de 52,0 UT.
- **Dureza:** De acordo com a Portaria nº2914/2001, do Ministério da Saúde, os valores de Dureza para águas destinadas ao consumo humano devem ser menor que 500 mg.L⁻¹. Os 5 poços estudados apresentam valores bem inferiores ao padrão máximo, logo, estão dentro das condições necessárias para o consumo e são classificados como águas moles/brandas.
- **Sólidos Totais Dissolvidos:** Os dois órgãos, Ministério da Saúde e o Conselho Nacional do Meio Ambiente dizem que o valor máximo permitido de Sólidos Totais Dissolvidos em águas destinadas para o consumo humano, são de 1000 mg.L⁻¹. As cinco águas coletadas apresentam valores bem abaixo do permitido, logo, se enquadram dentro dos percentuais permitidos para o consumo humano.
- **Alcalinidade:** A alcalinidade não é um parâmetro que indica potabilidade da água, ela indica a capacidade de uma água de neutralizar ácidos devido à presença de bases, sais e ácidos inorgânicos fracos, ou seja, quanto maior a

alcalinidade das águas, maior à presença de bases. Segundo Santos (2008), a alcalinidade está relacionada com o pH, e amostras com pH variando de 4,6 a 8,3 são classificadas como alcalinidade de bicarbonatos. Todas as amostras analisadas apresentam esse tipo de alcalinidade.

- **Cálcio:** Nenhum dos órgãos públicos e privados estipulam uma quantidade máxima de cálcio para o consumo humano, porém, pode-se analisar esse elemento de outras maneiras, visto que há uma forte correlação com outros parâmetros, como, pH, condutividade e Dureza. Subtraindo o cálcio da dureza, podemos determinar a quantidade de magnésio presente nas águas subterrâneas, além, da presença ou não de cálcio influenciar diretamente nos parâmetros citados. Os 5 poços apresentaram valores baixos de cálcio, conseqüentemente, valores baixos de dureza, enquadrando dentro dos limites estabelecidos de potabilidade.
- **Ferro total:** Segundo a Portaria nº2914/2001, do Ministério da Saúde e a Companhia de Saneamento Básico de São Paulo, os valores permitidos de Ferro Total dentro de amostras de água potáveis são de 0,3 Mg/L. Os Poços 3 e 5 não apresentaram nenhum percentual de Ferro, enquanto os Poços 2 e 4 apresentaram valores dentro da normalidade. O Poço 1 apresentou valor de 0,365, ou seja, está considerado fora dos padrões de potabilidade estabelecidos.
- **Cloreto:** As amostras coletadas apresentaram como maior percentual de Cloreto 127 mg.L⁻¹, no Poço 3. Porém, de acordo com a Companhia de Saneamento Básico de São Paulo, águas com até 250 mg.L⁻¹ são próprias para o consumo humano, portanto, todas as amostras apresentam parâmetros dentro da normalidade.
- **Sulfatos:** De acordo com a Portaria nº2914/2001, do Ministério da Saúde, as águas potáveis podem conter até 250 mg.L⁻¹ de Sulfatos. Não foi encontrado Sulfatos dentre de nenhuma das cinco amostras, logo, todos os poços estão enquadrados dentro dos limites.

7.4.2. Sondagem Elétrica Vertical

Foram realizadas 3 perfis de SEV nas áreas de estudo, para entender o comportamento das rochas em subsuperfície, além da presença de fraturas, bem como, a existência de água.

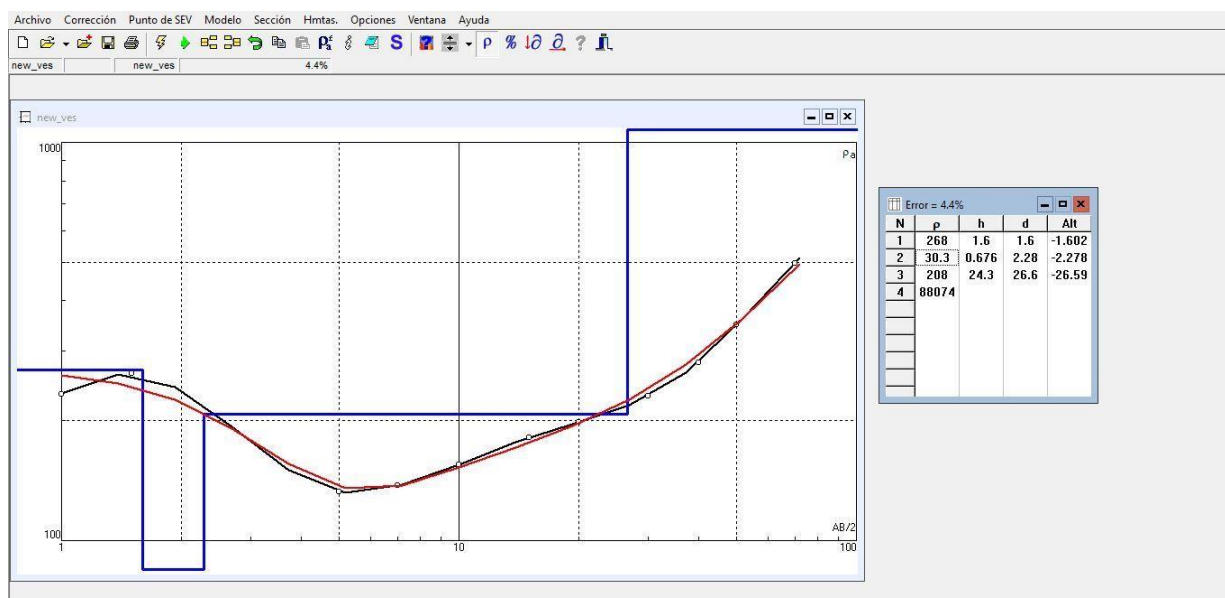
Não foi realizado a Sondagem Elétrica Vertical no Poço 2, por motivos de alta declividade, além de problemas técnicos no equipamento Syscal Pro.

7.4.2.1. SEV – Poço 1

A primeira Sondagem Elétrica Vertical foi realizada com abertura de 100 metros para cada lado, e obteve como resultado uma profundidade de 30 metros de investigação. A SEV foi realizada ao lado do primeiro poço, em um perfil com direção Norte-Sul.

Foi possível a identificação de três camadas com resistividades diferentes, indicando três comportamentos diferentes em subsuperfície (Figura 21).

Figura 21: SEV realizada no poço primeiro poço.



Fonte: Adaptado ipi2win.

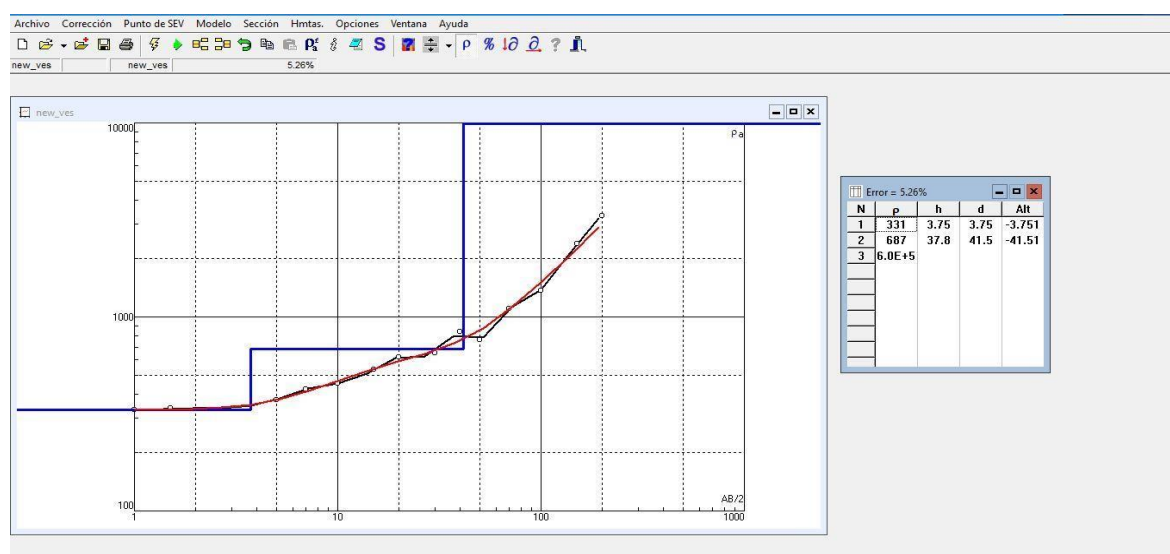
As três camadas identificadas no método geofísico apresentam valores de resistividade baixos. A segunda camada começa em torno de 1,6 metros de profundidade e possui o menor valor de resistividade $30.3 \Omega\text{m}$. O perfil gerado pela SEV foi muito próximo do perfil real, logo, o dado obtido possui grande grau de confiança, sendo confirmado pelo baixo erro 4,4%.

7.4.2.2. SEV – Poço 3

A Sondagem Elétrica Vertical realizada no terceiro poço teve como abertura dos eletrodos uma distância de 300 metros para cada lado, e obteve como resultado uma profundidade de 45 metros de investigação. A SEV foi realizada ao lado do terceiro poço em um perfil com direção Leste-Oeste.

Foi possível a identificação de duas camadas com resistividades diferentes (Figura 22).

Figura 22: SEV realizada no terceiro poço.



Fonte: Adaptado ipi2win.

Os valores de resistividade identificados nas duas camadas são mais altos do que os realizados na primeira SEV, porém, ainda são baixos, mostrando um solo muito fraturado ou com presença de água. A primeira camada apresenta valor muito baixo de resistividade, enquanto a segunda camada que começa na profundidade de 3,7 metros apresenta valor medianos.

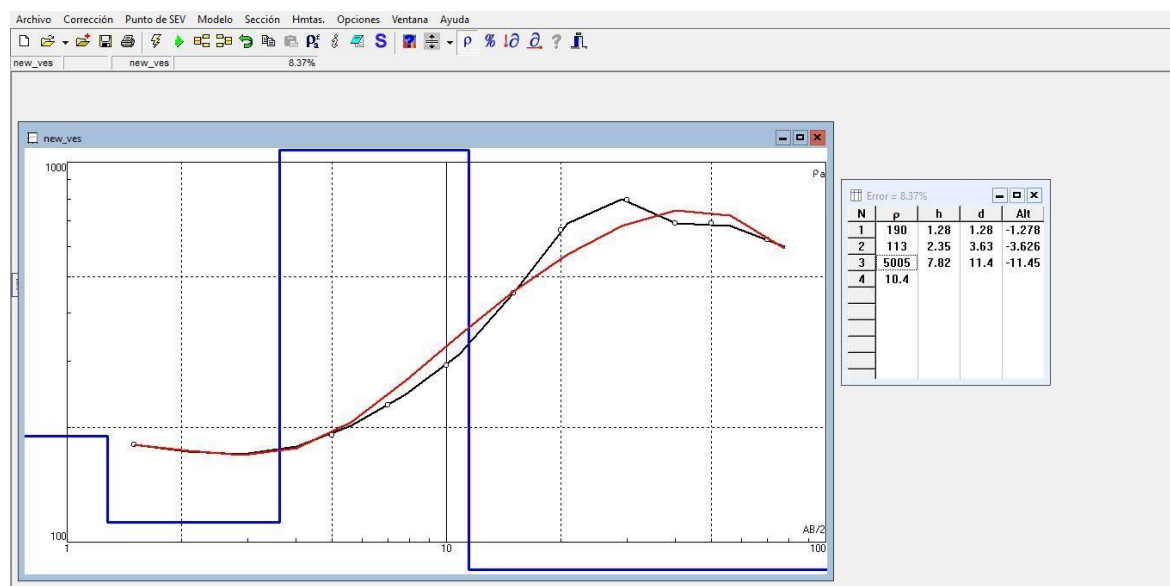
O perfil gerado pela Sondagem Elétrica vertical é muito semelhante ao perfil real, garantindo confiabilidade. O erro registrado na aplicação do método foi de 5,26%.

7.4.2.3. SEV – Poços 4 e 5

A terceira Sondagem Elétrica Vertical foi realizada entre os poços 4 e 5, por conta da suas proximidades. O perfil realizado teve como direção Leste-Oeste e foi utilizado como abertura dos eletrodos uma distância de 100 metros para cada lado, e obteve como resultado uma profundidade de 16 metros de investigação.

Foi possível a identificação de três camadas com resistividades diferentes, onde a terceira camada apresentou uma resistividade muito alta em relação as outras investigadas (Figura 23).

Figura 23: SEV realizada entre os poços 4 e 5.



Fonte: Adaptado ipi2win.

Os valores de resistividade identificados nas duas primeiras camadas são muito baixos, mostrando um solo úmido, enquanto que a terceira camada apresentou resistividade de 5005 Ωm , considerada muito alta, típica de granitos.

O perfil gerado pela Sondagem Elétrica vertical não é tão semelhante enquanto os outros, porém, ainda possui um bom grau de confiabilidade. O erro gerado foi de 8,37%.

8. DISCUSSÕES

Através da análise comparativa entre o mapa geológico local e as coordenadas de coletas de amostras, verifica-se que a embocadura dos poços está dentro do domínio geológico correspondente aos aquíferos fissurais. Tal informação é corroborada pelas leituras de resistividade apresentados a partir dos resultados das SEVs: Leituras acima de 5.000 Ωm , indicando que em subsuperfície, provavelmente, deve ser encontrado um maciço rochoso cristalino, conseqüentemente, verifica-se que, presumivelmente, os poços captam águas desde rochas ígneas plutônicas, através de suas fraturas.

Quanto a composição química das águas, verificou-se que, devido a regularidade dos valores verificados nos poços 2, 3, 4 e 5 apresentaram similaridade química, a despeito do poço 1 que apresentou valores divergentes dos demais.

As águas subterrâneas coletadas na área de estudo apresentaram alguns parâmetros fora do permitido para o consumo humano, com ressalvas para o Poço 3, que apresentou normalidade em todos os parâmetros analisados em laboratório. A possível explicação para o Poço 3 estar dentro dos limites estabelecidos é o seu tipo de construção, conservação e manutenção. O terceiro poço analisado é o que está em fase de implementação e será utilizado para a distribuição de água para a comunidade local, logo, também é o poço que se enquadra nos parâmetros exigidos para a instalação e utilização de poços tubulares, possuindo calçada de isolamento e tampa de ferro.

Quanto ao pH das amostras, verifica-se que existe relação de direta proporcionalidade entre este e os teores de cálcio, assim como também, entre este e a dureza. Em especial, quanto ao Poço 2, verifica-se que além de pH, dureza e teor de cálcio apresentarem direta proporcionalidade, ou seja, todos apresentam baixos valores para essas propriedades, também verifica-se uma inapropriação das águas dessa localidade em função da propriedade pH. As águas do Poço 2 apresentam pH de 5,61, enquanto a resolução do 357/2005 do CONAMA somente permite enquadrar como potáveis com pH acima de 6,0. Por outro lado, dureza e teor de cálcio apesar de apresentarem valores bastante baixos, apresentam valores que podem ser enquadrados dentro dos padrões de potabilidade.

Quanto a turbidez, verifica-se que os valores apresentados por esta representam uma potencial inadequabilidade para o uso dessas águas. Apenas o

Poço 3 pode ser enquadrado dentro dos limites permitidos. Segundo Sperling (2005), a turbidez das águas é causando normalmente pela presença de matérias sólidas em suspensão, matérias orgânicas, matérias inorgânicas, microrganismos e algas, porém, não é um parâmetro que inviabiliza a utilização da água para consumo, portanto, os resultados fora dos padrões não são tão significativos.

Quanto ao teor de ferro, o Poço 1 apresentou teor superior ao permitido pelo Ministério da Saúde. O consumo de uma água com alto teor de ferro pode causar problemas de saúde, como, por exemplo, danos aos órgãos. Sendo assim, a água deste poço apresenta um risco à saúde caso seja ingerida. O acúmulo de ferro neste ponto pode ser explicado pela deterioração do poço e por estar localizado embaixo de uma estrutura de ferro, sendo um agravante o fato do poço não possuir tampa e estar selado de forma precária.

Quanto ao teor de cálcio, todos os poços apresentaram valores aceitáveis. Esse elemento possui relação com a alcalinidade e com a dureza das amostras. Logo, por afinidade desse elemento, os dois parâmetros também apresentaram valores baixos, enquadrando dentro dos limites estabelecidos para potabilidade.

Quanto ao teste bacteriológico, qualitativo, o resultado apresentado demonstrou que as 5 amostras estão contaminadas. Esse tipo de bactéria pode causar infecções alimentares nos seres humanos, logo, o consumo da água desses cinco poços não seria recomendado. Neste caso, figuram como potenciais facilitadores da contaminação. Nenhum dos cinco poços seguem as recomendações de construção. Alguns deles, inclusive, estão desativados e foram lacrados de forma ineficiente, sendo presumível o risco à contaminações.

Devido ao padrão de alterabilidade dos minerais que formam os granitoides da região, isto é, da formação de argilominerais a partir da decomposição de feldspatos, verifica-se que potencialmente esta reação de intemperismo da rocha pode ser um condicionante para as altas taxas de turbidez presente nas amostras. Por outro lado, mesmo as tipologias litológicas vigentes sendo monzogranitos, sienogranitos e granodioritos, isto não implica em teores elevados de potássio nas amostras de água. Isto é, possivelmente a mais degradação de feldspatos de origem sódica do que dos feldspatos alcalinos, não atribuindo alcalinidade ao fluido.

Geoquímicamente, possivelmente, devido ao fato destes fluidos estarem contidos em “rochas ácidas”, verifica-se que nenhuma das amostras apresenta alta dureza, tão pouco são verificados valores elevados de condutividade elétrica, isto é,

é presumível uma condição de circulação de curta profundidade e recarga deste aquífero a partir diretamente de infiltração. Assim, presume-se um sistema de circulação em curta distâncias, com origem em águas meteóricas sem ou com pouca interação com rochas carbonoáticas da região.

Ainda, quanto as análises geofísicas, verifica-se que, no levantamento junto ao Poço 1 é evidente a presença do nível piezométrico logo abaixo da camada de solo seco. Isso fica denotado pela brusca queda de resistividade a baixas profundidades em níveis repetíveis ao nível estático verificado para água subterrânea junto à embocadura do poço. Neste mesmo ponto, à medida que há profundamente das leituras analisadas, a resistividade torna a aumentar, indicando que, possivelmente, as fraturas estão mais abertas junto à superfície, do que em maior profundidade. Quanto a análise geofísica entre os Poços 4 e 5, verificou-se de maneira contrária ao que foi encontrado no Poço 1, que logo abaixo do solo é encontrado uma camada com alta resistividade. A comparação entre essas condições para uma região tão próxima, isto é, a alta variabilidade para propriedades resistividade dentro de curtas distâncias permite inferir um regime fissural para o armazenamento de água. Desta maneira, a condição de alta resistividade verificada entre os Poços 4 e 5 implica na verificação da não interceptação de lineamentos que contém água. Esta alta variabilidade denota um controle estrutural para a ocorrência de águas subterrâneas na região e, conseqüentemente, permite inferir uma metodologia de locação de poços para a região.

Quanto a sondagem elétrica vertical realizada junto ao Poço 3, o qual apresenta a jorrância, mesmo esta sondagem tendo apresentado resultados de apenas 45 metros de profundidade, verifica-se uma constância no aumento da resistência de acordo com a profundidade, isto é, esta análise permite a inferência de resistividades deste material para casos em que o perfil inteiro de solo e rocha estão em concomitância com a água. Assim, verifica-se que os valores apresentados na SEV podem ser interpretados como diretamente respectivos as camadas de solo sobrejacente aos granitoides da região.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em uma área não abastecida por água tratada, o abastecimento através de poços tubulares profundos mostra-se uma boa alternativa mesmo em terrenos cristalinos. A região possui grande disponibilidade de água, visto que a Coxilha São José está localizada no aquífero Cristalino II, dentro de duas bacias hidrográficas importantes.

Na área em estudo apesar de suficiente disponibilidade hídrica em poços tubulares profundos, estes não vem sendo recorrentemente utilizados. Esse fato se explica provavelmente pelo local dos poços não serem interceptados por estruturas, logo, a vazão dos poços provavelmente deve ser baixa, e conseqüentemente a utilização dos mesmos fica restrita a grandes profundidades, onde há presença de fraturas. Esse fato aliado com ocasionais ausências de potabilidade, dificultam as suas utilizações.

A bactéria *Escherichia Coli*, mostra-se presente em todos os poços analisados, sendo possível concluir que esses apresentam contaminações antrópicas. Provavelmente essa contaminação ocorre pela condição precária que os poços se encontram, onde nenhum dos 5 poços estão dentro das condições necessárias para o seu funcionamento.

A análise geofísica mostrou-se adequada para a verificação de variabilidade geológica local e, conseqüente, controle estrutural do armazenamento de água subterrânea.

Por fim, a química da água subterrânea se mostrou diretamente ligada a química do meio que a contém, apresentando similaridades químicas entre água e rocha.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, G. C, **Uso da Geofísica na Detecção e Caracterização de um Aquífero Fraturado – Caçapava do Sul/RS**, UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA, Caçapava do Sul, 2016.
- BOMFIM L. F. C., **Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil em ambiente SIG: Concepção e Metodologia**. XVI Congresso Brasileiro de Água Subterrânea e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços p. 8-10. 2010.
- BORTOLIN, T. A. 2014. **Padrões hidroquímicos e isotópicos do sistema aquífero serra geral do Município de Carlos Barbosa**, região nordeste do estado do Rio Grande do Sul.
- BRAGA A. C. O, **Métodos Geométricos em Hidrogeologia** – Oficina de Textos, São Paulo, 2016
- CHEMALE JR., F. 2000. **Evolução Geológica do Escudo Sul-Riograndense**. Geologia do Rio Grande do Sul. Ed. Holz, M.; De Ros, L.F., Centro de Investigação do Gondwana, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. CPRM. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Escala 1:750.000. Porto Alegre RS. 2008
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA. **RESOLUÇÃO 2914 de 12 de dezembro de 2011**. Classes das águas superficiais. Publicada no DOU nº 053, p. 58-63.
- DALL'AGNESE, B. S. **Caracterização Geológica-Geofísica em uma Área da Falha Açotéia-Piquiri Aplicada a Hidrogeologia**, Santana da Boa Vista/RS. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA, Caçapava do Sul, 2015.
- ELLIGOI, A. **Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas**. Geografia, Revista do Departamento de Geociências, Londrina, v. 8, n. 1, p. 91-97, 1999.
- FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. E. (2008). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3 Edição - Rio de Janeiro: CPRM, LABHID 2008.
- FERREIRA, M. P. V. A. **Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos**, vol 1. Gráfica de Coimbra, Coimbra, 1997.
- FERREIRA, Martim. **A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos**. Volume 1 – Coimbra, Imprensa da Universidade de Coimbra, 2003.

FILHO, Virgílio. **Técnicas Analíticas Nucleares de Fluorescência de Raios X Por Dispersão de Energia (ED-XRF) e Por Reflexão Total (TXRF)**. - Departamento de Ciências Exatas/ESALQ, 1999.

GARCEZ, L.N. **Manual de Procedimentos e Técnicas Laboratoriais Voltados para Análises de Águas e Esgotos Sanitários**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Laboratório de Saneamento. 2004.

GAUTO, Marcelo. **Petróleo e Gás: Princípios de exploração, produção e refino**. – Porto Alegre: Bookman, 2016.

GIAMPA, C. E. Q; GONÇALES, V. G: **Águas Subterrâneas e Poços Tubulares Profundos**. 2 Edição – São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

GOFFERMANN, Marcelo. **Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica das Águas Subterrâneas da Região de São Gabriel/RS**. Instituto de Geociências, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2013.

GOMES O. V. O. **Hidrogeoquímica dos aquíferos da bacia sedimentar do Macacu-Itaboraí, RJ**. Curso de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense. Tese. Centro de Estudos Gerais, Instituto de Química. UFF. 2012.

HARTMANN, L.A.; CHEMALE, Jr., F.; PHILIPP, R.P. 2007. **Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano**. In: Frantz, J.C., Ianuzzi, R. (eds.), 50 anos de Geologia no Rio Grande do Sul, Porto Alegre: UFRGS-PETROBRÁS, p.97-123

HELLER, L; PÁDUA, V., L. **Abastecimento de Água para o Consumo Humano**. Editora UFMG, Belo Horizonte, 2006.

KAUL, P. F. I. 1990. Geologia. Pp. 29-54. In IBGE. **Geografia do Brasil: região sul**. IBGE, Rio de Janeiro, 1990.

LINHARES, F.M. **Potencial Hidrogeológico e a Qualidade da Água Subterrânea do Município de Brejo do Cruz/PB**. Centro de ciências exatas da natureza, UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, João Pessoa, 2009.

MACHADO, J. L. F. **Compartimentação Espacial e Arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul**. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Tese. 2005

MAIA; N.B., MARTOS; H.L., BARRELLA; W. **Indicadores Ambientais. Conceitos e Aplicações**. Editora: Educ Editora da Puc. São Paulo, 2001

MATTA et al, **Comportamento do Nível Freático e do Fluxo Hídrico Subterrâneo do Sistema Hidrogeológico Superior da Bacia Hidrográfica do Murucutu Belém/PA**. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e CVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. Belém, 2010.

McNEILL J. 1980. **Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers**. Technical Note TN, 6: 6–15. Disponível em:<<http://www.geonics.com/>>. Acesso em: 10 outubro 2018

ORELLANA E. 1972. **Prospeccion geoelectrica en corriente continua**. Madrid, Ed. Paraninfo, Biblioteca Tecnica Philips, 523 p.

PEREIRA, Paulo. **Rios, Redes e Regiões**. Porto Alegre: Editora Age, 2000.
POMEROL, C; LAGABRIELLE, Y; RENARD, M; GUILLOT, S. 2013. **Princípios de Geologia: Técnicas, Métodos e Teorias**. 14 Edição – São Paulo: BOOKMAN EDITORA LTDA, p 538

REYNOLDS, J. M. **An Introduction to Applied and Environmental Geophysics**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1997. p.555-680

RONDON, K. M. L. **Caracterização Hidrogeoquímica de Águas Subterrâneas em Aquíferos dos Municípios de Caçapava do Sul e Vila Nova do Sul/RS**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA, Caçapava do Sul, 2017.

SABESP. **Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo**. Extraído de <http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/kit_arsesp_portaria2914.pdf> . Acessado em: 18 de Junho de 2018.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. SEMA. **Relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos no estado do Rio Grande do Sul**. 2007.

SILVA, E. B. **Mapeamento Hidrogeológico e Hidroquímico da Região de São Gabriel/RS**. Instituto de Geociências, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2010.

SOARES. A, D. **Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica das Águas Subterrâneas do Município de Osório/RS**. Instituto de Geociências, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2016.

SPERLING. M, V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte, 2005.

TABATABAI, M.A. **A rapid method for determination of sulfate in water sample**. Environmental Letters, v. 7, n. 3, p. 237-243, 1974

TELLES, P. N. G. **Mapeamento Hidrogeoquímico do Município de Caçapava do Sul/RS**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA, Caçapava do Sul, 2016.