

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

GIOVANNA ROCHA DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO QUE ABASTECE AS
VILAS RURAIS: PEREIRINHA, SÃO JOSÉ E CAPÃO DAS GALINHAS, NO
MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL, RS.**

Caçapava do Sul

2022

GIOVANNA ROCHA DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO QUE ABASTECE AS
VILAS RURAIS: PEREIRINHA, SÃO JOSÉ E CAPÃO DAS GALINHAS, 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.

Orientadora: Cristiane Heredia Gomes

Coorientadora: Juliana Young

Caçapava do Sul,

2022

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).

S237a Santos, Giovanna Rocha

Avaliação de vulnerabilidade do aquífero que abastece as vilas rurais:
Pereirinha, São José e Capão das Galinhas, no município de Caçapava do
Sul / Giovanna Rocha Santos.

95 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade Federal do
Pampa, GEOLOGIA, 2022.

"Orientação: Cristiane Heredia Gomes".

1. águas subterrâneas. 2. aquífero. 3. caracterização. 4. vulnerabilidade.
5. contaminação. I. Título.

GIOVANNA ROCHA DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO QUE ABASTECE AS
VILAS RURAIS: PEREIRINHA, SÃO JOSÉ E CAPÃO DAS GALINHAS, 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.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e
aprovado em: 10, agosto de 2022.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Cristiane Heredia Gomes
Orientadora
UNIPAMPA

Eng. Geológico. Rui Sérgio Saraiva Duarte Junior
UFPEL

Prof. Dr. Igor Magalhães Clemente
UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **IGOR MAGALHAES CLEMENTE, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/08/2022, às 10:05, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CRISTIANE HEREDIA GOMES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/08/2022, às 09:13, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0903848** eo código CRC **2B967DC2**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

Dedico este trabalho aos meus amados pais, Rosa e Clóvis, pelo carinho, apoio e confiança. E, também, a minha madrinha, Gilva, e ao meu avô, Roque (*in memoriam*), maiores incentivadores dos meus estudos.

AGRADECIMENTO

A Dra. Juliana Young pela orientação e apoio, oferecidos neste trabalho, por ter me incentivado a pesquisar e trabalhar com esse tema, bem como pelo carinho e consideração que teve comigo ao longo da graduação.

A professora Dra. Cristiane Heredia Gomes por ter aceitado ser minha orientadora, mesmo que em cima da hora, pela correção e por instigar minhas reflexões durante a confecção deste trabalho.

Ao engenheiro agrônomo Oscar Enmanuel Ticona Neyra pela brilhante orientação oferecida em campo durante a pesquisa. Bem como, aos professores Rui Duarte e Dr. Igor Clemente, pelas considerações valiosas durante a etapa de pré-projeto (TCC I).

A todos os docentes que me acompanharam durante o curso, minha gratidão pelos ensinamentos.

Ao meu namorado e colega de curso Francisco Wollmann pelo apoio, sugestões e auxílio na formatação do trabalho.

Aos colegas de curso, gratidão pela caminhada. Obrigada aos moradores das Vilas rurais, donos dos poços, pelo acolhimento e carinho, sem vocês essa pesquisa não teria saído.

Meu muito obrigada a todos e todas que direta ou indiretamente contribuíram para a confecção desta pesquisa.

Por fim, a Unipampa, Campus Caçapava do Sul, pela educação pública de qualidade, todo o meu carinho.

“Nós os conduzimos até a borda e pedimos que voassem. Eles não arredaram pé. Voem, dissemos. Eles não se mexeram. Nós os empurramos para o abismo. E eles voaram”.

Guillaume Apollinaire

RESUMO

Os aquíferos constituem reservas estratégicas de água, são feições geológicas que se interconectam para armazenar e transmitir uma certa quantidade de água, possuindo suficiente permeabilidade e porosidade. Eles podem ser livres ou freáticos, confinados ou semiconfinados, sendo a forma como se apresentam de suma importância quando se verifica a sua vulnerabilidade. Este trabalho tem como objetivo caracterizar o aquífero que abastece os poços nas vilas rurais: Pereirinha, São José e Capão das Galinhas, no município de Caçapava do Sul-RS, bem como analisar os riscos em função da sua vulnerabilidade natural, determinado por meio da técnica GOD, acróstico para G (grau de confinamento); O (ocorrência de estratos de cobertura); D (distância até o lençol freático). Boa parte da população rural de Caçapava do Sul faz uso de poços ou nascentes para se abastecer. Assim, esta pesquisa contribui para uma melhor gestão e proteção das águas subterrâneas da região, bem como, para que os moradores tenham conhecimento sobre a necessidade de todos os poços estarem registrados no órgão competente, contabilizando no balanço hídrico, assim, minimizando o risco de superexploração e, também, a contaminação dessas águas. O trabalho foi realizado em duas etapas, sendo uma composta por visita técnica a campo e a outra, por trabalho em gabinete, gerando um mapa de vulnerabilidade por meio das análises obtidas. Os resultados obtidos exibem um grau de vulnerabilidade que varia de insignificante a baixo, estando os poços da Vila Pereirinha e do Capão das Galinhas mais vulneráveis que o da Vila São José. Por fim, apesar da vulnerabilidade não apresentar um risco iminente, é válido o monitoramento dos poços, visto que nenhum está cadastrado nos sistemas de informações conhecidos bem como, os poços escavados encontram-se em desacordo com as normativas normas estabelecidas pela ABNT.

Palavras-Chave: águas subterrâneas; aquífero; caracterização; vulnerabilidade; contaminação.

ABSTRACT

Aquifers are strategic water reserves, they are geological features that are interconnected to store and transmit a certain amount of water, having sufficient permeability and porosity. They can be free or phreatic, confined or semi-confined, and the way they present themselves is of paramount importance when their vulnerability is verified. This work aims to characterize the aquifer that supplies the wells in rural villages: Pereirinha, São José and Capão das Galinhas, in the municipality of Caçapava do Sul-RS, as well as to analyze the risks according to their natural vulnerability, determined through the GOD technique, acrostic for G (degree of confinement); O (occurrence of coverage strata); D (distance to the water table). A good part of the rural population of Caçapava do Sul makes use of wells or springs to supply themselves. Thus, this research contributes to a better management and protection of groundwater in the region, as well as, so that residents are aware of the need for all wells to be registered with the competent body, accounting for the water balance, thus minimizing the risk of overexploitation and also contamination of these waters. The work was carried out in two stages, one consisting of a technical visit to the field and the other, by work in the office, generating a vulnerability map through the analyzes obtained. The results obtained show a degree of vulnerability that varies from insignificant to low, with the Vila Pereirinha and Capão das Galinhas wells being more vulnerable than the Vila São José wells. Finally, although the vulnerability does not present an imminent risk, the monitoring of the wells is valid, since none is registered in the known information systems, as well as the excavated wells are in disagreement with the normative norms established by ABNT.

Keywords: groundwater; aquifer; Description; vulnerability; Contamination

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Localização da área de estudo	20
Figura 2 - Delimitação das bacias hidrográficas no município de Caçapava do Sul .	21
Figura 3 - Delimitação das bacias hidrográficas da área de estudo	22
Figura 4 - Mapa dos poços visitados na área de estudo	23
Figura 5 - Representação da distribuição vertical das águas	24
Figura 6 - Aquíferos vinculados às unidades geológicas	25
Figura 7 - Aquíferos vinculados a características geométricas	26
Figura 8 - Mapa pedológico do Rio Grande do Sul	34
Figura 9 - Mapa pedológico de Caçapava do Sul.....	36
Figura 10 - Mapa com os domínios geotectônicos do Rio Grande do Sul.....	37
Figura 11 - Mapa geológico do município de Caçapava do Sul	38
Figura 12 - Sistemas Aquíferos do estado do Rio Grande do Sul.....	41
Figura 13 - Sistemas Aquíferos de Caçapava do Sul.....	42
Figura 14 - Unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul	44
Figura 15 - Unidades geomorfológicas do município de Caçapava do Sul	46
Figura 16 - Esquema de sistema GOD	50
Figura 17 - Trado holandês TP - 3 (polegadas).....	51
Figura 18 - Medidor de nível tipo fita	55
Figura 19 - Poço 01	57
Figura 20 - Afloramento de granito do tipo lajedo próximo ao Poço 01	58
Figura 21 - horizontes encontrados nos primeiros 20 cm do poço 01	59
Figura 22 - Textura de horizonte E poço 01	60
Figura 23 - Poço 02.....	61
Figura 24 - Perfis de solo Poço 02	62
Figura 25 - Presença de água no solo aos 60 cm de profundidade no Poço 02	62
Figura 26 - Horizonte E do Poço 02	63
Figura 27 - Poço 3.....	64
Figura 28 - Horizonte A do poço 03.....	65
Figura 29 - Poço 04.....	66
Figura 30 - Horizontes do Poço 04.....	67
Figura 31 - Horizonte E Poço 04	67
Figura 32 - Poço 05.....	68
Figura 33 - Painel de controle do Poço 05	69

Figura 34 - Horizonte A do Poço 05	70
Figura 35 - Estrutura prismática de horizonte A, do Poço 05	70
Figura 36 - Horizonte A com mais fragmentos de rochas e mosqueados cinzas do Poço 05.....	71
Figura 37 - Horizonte E do Poço 05	72
Figura 38 - Água a partir dos 90 cm de profundidade no Poço 05	72
Figura 39 - Poço 06.....	73
Figura 40 - Horizonte A do Poço 06	74
Figura 41 - Horizonte A dos 30 - 50 cm de profundidade do Poço 06.....	74
Figura 42 - Transição entre o horizonte A e B do Poço 06.....	75
Figura 43 - Horizonte B Poço 06	76
Figura 44 - Poço 07.....	77
Figura 45 - Banhado próximo ao Poço 07	77
Figura 46 - Horizonte A do Poço 07	78
Figura 47 - Horizonte A/E do Poço 07	79
Figura 48 - Horizonte B do Poço 07	80
Figura 49 - Fragmentos de xisto presente no horizonte B do Poço 07.....	80
Figura 50 - Transição de B para E do Poço 07	81
Figura 51 - Mapa de vulnerabilidade do aquífero da área de estudo	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Legislação relacionada às águas subterrâneas	31
Tabela 2 - Classificação dos solos brasileiros.....	33
Tabela 3 - Domínios geológicos de Caçapava do Sul.....	39
Tabela 4 - Descrição dos domínios hidrogeológicos associados a seus respectivos Sistemas Aquíferos	40
Tabela 5 - Associação Sistemas Aquíferos com as unidades geomorfológicas.....	44
Tabela 6 - Símbolos e sufixos de horizontes e camadas	52
Tabela 7 - Diâmetro das partículas do solo.....	54
Tabela 8- Informações obtidas em campo	82
Tabela 9 - Grau de vulnerabilidade obtido pelo método GOD.....	82

LISTA DE SIGLAS

RS – Rio Grande do Sul

GOD – acróstico para G (grau de confinamento); O (ocorrência de estratos); D (distância até o lençol freático)

SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

RSS - Risco por Sistemas de Saneamento In Situ

APA – Área de Proteção Ambiental

Ga - Bilhões de anos

Ma - Milhões de anos

MSRS - Museu de Solos do Rio Grande do Sul

SIOUT - Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul

mE - metros leste

mS - metros sul

CMPF – Complexo Metamórfico Passo Feio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos Específicos.....	19
2.3 Justificativa	19
3 ÁREA DE ESTUDO.....	20
4 AQUÍFEROS	23
5 GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS.....	26
5.1 Águas Subterrâneas	27
5.2 Natureza dos Poços.....	28
5.3 Enquadramento das águas subterrâneas.....	29
5.4 Legislação	30
6 CARACTERIZAÇÃO REGIONAL E LOCAL	32
6.1 Clima	32
6.2 Solos	33
6.3 Geologia	37
6.4 Domínios Hidrogeológicos e Sistemas Aquíferos	40
6.5 Geomorfologia	43

7 VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS	47
7.1 Trabalhos anteriores aplicados	47
8 MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
9 RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
9.1 Resultados obtidos a partir da análise de campo.....	56
9.1.1 Poço 01	56
9.1.2 Poço 02	60
9.1.3 Poço 03	63
9.1.4 Poço 04	65
9.1.5 Poço 05	68
9.1.6 Poço 06	73
9.1.7 Poço 07	76
9.2 Integração de dados e Discussões	82
10 CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
REFERÊNCIAS	86
ANEXOS.....	94

1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento fundamental para a manutenção da vida terrestre. Não há vida sem ela. No entanto, as ações antrópicas têm cada dia mais afetado os corpos hídricos superficiais ou subterrâneos, seja através do descarte incorreto de resíduos sólidos, ou pela falta de saneamento básico, e até mesmo pelo despejo de resíduos químicos industriais (FILHO, 2008).

Se com as águas superficiais, que são visíveis, as ações humanas são desastrosas, com as águas subterrâneas o desafio aumenta drasticamente, uma vez que, diferente das águas superficiais, elas não se revelam com facilidade aos olhos (HIRATA *et al.*, 2019). De acordo com Hirata *et al.* (2019), o fato de as águas subterrâneas não serem vistas compromete a sua gestão, pois não há a mesma pressão por parte da sociedade quanto a sua preservação, como há para um rio superficial poluído que atravessa a cidade. Para o autor, as águas subterrâneas são ignoradas por estarem no subsolo, ou como o mesmo expressou: “longe dos olhos, longe do coração”.

As águas subterrâneas correspondem a cerca de 97% de toda a água doce líquida do planeta (HIRATA *et al.*, 2019). Ao contrário da água superficial, ela se move de forma lenta e possui um tempo de armazenamento maior (CLEARY, 2007). Sabe-se que o tempo médio de armazenamento das águas subterrâneas gira em torno de 280 anos (LIVOVITCH, 1970), com algumas águas residindo por cerca de 30.000 anos ou mais (PEARSON; WHITE, 1967). Essa “residência” ocorre em feições geológicas, denominadas aquíferos, que possuem suficiente permeabilidade e porosidade que se interconectam para armazenar e transmitir uma certa quantidade de água com gradiente hidráulico natural (CLEARY, 2007).

Os aquíferos podem ser classificados pelos seus aspectos geológicos e pelos seus aspectos geométricos. Geologicamente, estes podem ser: granulares, (formados por rochas sedimentares e sedimentyos), fissural ou fraturados, (constituído por maciços rochosos estabelecidos em litologias cristalinas), e cársticos, formado por rochas carbonáticas (OLIVEIRA, 2017). Geometricamente, podem ser classificados como: livre ou freáticos, que apresentam recarga direta pelas camadas de solo, ou confinados, que apresentam recarga indireta (SERAPHIM, 2018). A maior parte dos aquíferos formados que possuem alta vazão são constituídos de areia e cascalho (CLEARY, 2007). No Brasil, os aquíferos que apresentam as maiores vazões são

formados por arenitos, basaltos fraturados e calcários com canais produzidos pela dissolução (CLEARY, 2007).

A contaminação de aquíferos tem se tornado cada vez mais comum e representa um ponto desfavorável na gestão de recursos hídricos. Visto que a água constitui um recurso natural, estratégico e finito, várias medidas preventivas são adotadas a fim de evitar tais problemas (CUTRIM, 2010). Entretanto, as mesmas características que atribuem ao aquífero a capacidade de armazenar e permitir que a água se movimente dentro dele, são as responsáveis por torná-lo naturalmente vulnerável à poluição (FOSTER *et al.*, 1988). Para Foster *et al.* (1988), a vulnerabilidade natural de um aquífero está relacionada a maior ou menor suscetibilidade de ser contaminado por uma carga contaminante imposta. Assim, a água subterrânea contaminada pode se deslocar por centenas de metros dentro de um aquífero, neste ponto, a recuperação é extremamente difícil e onerosa (FILHO, 2008; CUTRIM; CAMPOS, 2010).

Há vários métodos usados para avaliar a vulnerabilidade de um aquífero. Um dos mais populares é o método GOD, desenvolvido por Foster e Hirata (1988). Ele avalia a vulnerabilidade do aquífero de acordo com três parâmetros: o tipo de aquífero, a litologia e a profundidade da água do aquífero (CUTRIM; CAMPOS, 2010). Este método é muito utilizado na América Latina (FOSTER *et al.*, 2002), visto que possui um bom desempenho, menor custo e uma maior facilidade para adquirir as informações desejadas (CUTRIM; CAMPOS, 2010).

Dessa forma, a avaliação da vulnerabilidade natural de um aquífero é uma medida preventiva que fornece as bases técnicas para uma boa gestão e planejamento (FOSTER *et al.*, 1988) sustentável de áreas rurais no município de Caçapava do Sul.

2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral, caracterizar o aquífero que abastece os poços de três vilas rurais de Caçapava do Sul, RS: Vila Pereirinha, Vila São José e o Capão das Galinhas, bem como avaliar a vulnerabilidade natural do aquífero através da aplicação do método GOD, proposto por Foster *et al.* (1988).

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Realizar o levantamento geológico e hidrogeológico nas proximidades dos poços;
- Caracterizar o grau de confinamento da água subterrânea;
- Caracterizar a ocorrência de estratos de cobertura;
- Caracterizar a distância entre a cota do terreno e o nível potenciométrico.

2.3 Justificativa

Ao se considerar que as mudanças climáticas estão cada vez mais abruptas, causando escassez hídrica, as águas subterrâneas possuem um valor estratégico enquanto reservas, sendo cada vez mais utilizadas (DANTAS, 2008).

No Brasil, cerca de 17,7% dos brasileiros são atendidos por águas subterrâneas (HIRATA *et al.*, 2019). Elas são extraídas, em sua grande maioria, através de poços tubulares, popularmente conhecidos como poços artesianos, poços escavados e de nascentes (HIRATA *et al.*, 2019). Grande parte desses poços não são cadastrados ou possuem a outorga administrativa ou legal de água, fato que pode gerar um grande problema e acarretar em interferência na vazão dos aquíferos. Sem o controle pode ser extraída uma quantidade de água maior que a capacidade de recarga do aquífero, causando rebaixamento do nível freático por conta desses poços sem licença (REBOUÇAS, 2008). Nesse cenário, tratando-se de aquífero confinado, o desconhecimento das extrações totais pode levar ao seu esgotamento. Além disso, deve-se considerar, também, que a recarga dos aquíferos associada à infiltração natural, tem sido prejudicada por ações antrópicas, como a impermeabilização do solo e desmatamentos em regiões de nascentes (REBOUÇAS, 2008).

Não só as questões diretamente relacionadas com a quantidade afetam a disponibilidade hídrica, mas também problemas relacionados à qualidade podem inviabilizar a utilização da água de um aquífero. Assim, deve-se levar em consideração que a construção malfeita e com materiais inapropriados, sem obedecer a norma vigente, NBR 12212 (ABNT, 1992), pode representar um risco de contaminação dos aquíferos abastecedores.

De acordo com o FEEDADOS (2013), cerca de 87,32% dos domicílios rurais de Caçapava do Sul são abastecidos por água de poço ou nascente. Assim, este estudo visa dar enfoque às águas subterrâneas que abastecem a Vila Pereirinha, a

Vila São José e o Capão das Galinhas, bairros rurais pertencentes ao município de Caçapava do Sul, RS, visto que as regiões são abastecidas por poços comunitários e/ou poços localizados em domicílios particulares.

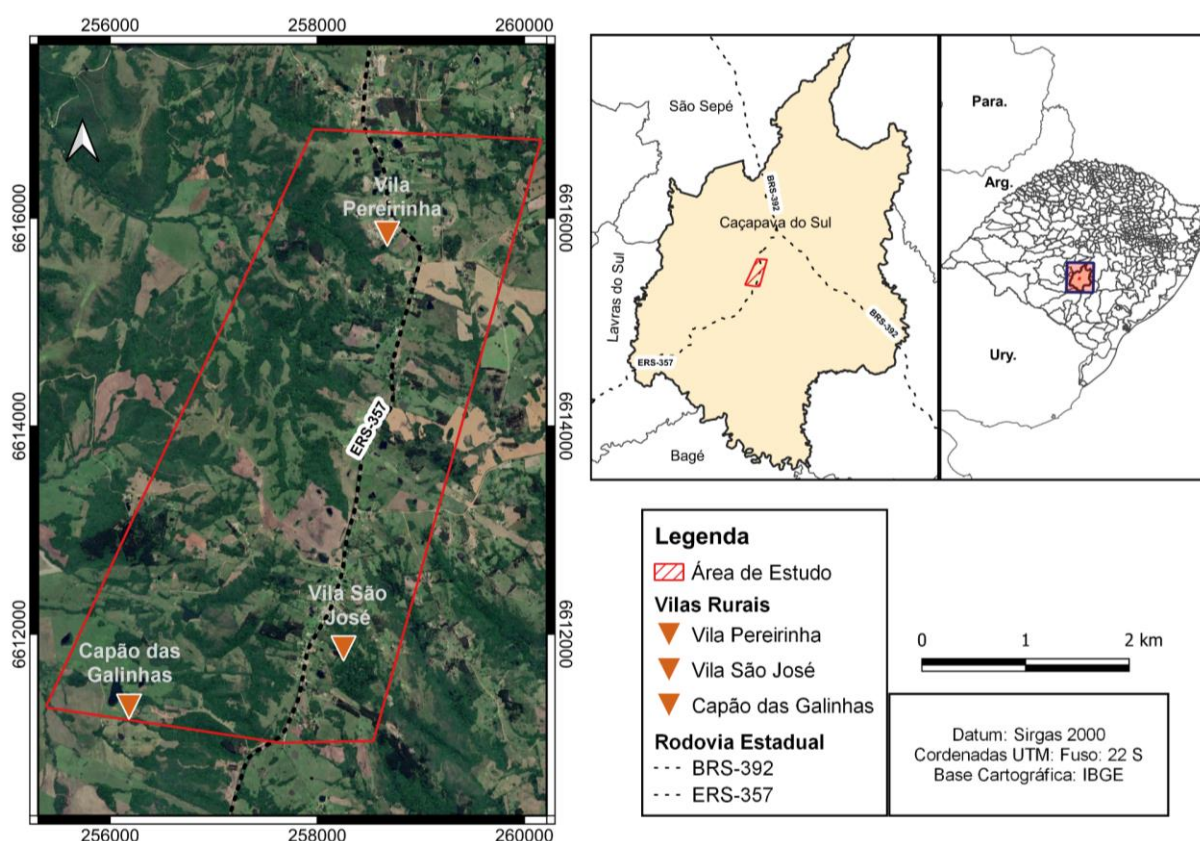
A pesquisa fornecerá uma base técnica que contribuirá para uma melhor gestão e proteção das águas subterrâneas na região e, indiretamente, promoverá o conhecimento aos moradores do local sobre os potenciais riscos de poluição advindos de cargas contaminantes que podem corromper os poços e a qualidade da água nos poços e, conseqüentemente, o aquífero.

3 ÁREA DE ESTUDO

Caçapava do Sul é um município localizado na região sudeste do Rio Grande do Sul, distanciando-se cerca de 260 km da capital do estado, Porto Alegre, com acesso pela BR 392 no sentido norte, até o entroncamento, em que se segue pela RS 357 no sentido sudoeste até a saída da cidade.

A área de estudo (Figura 1) localiza-se a sudoeste da área urbana da cidade, com coordenada central UTM de 257774 mE / 6613900 mS, situando-se em área rural.

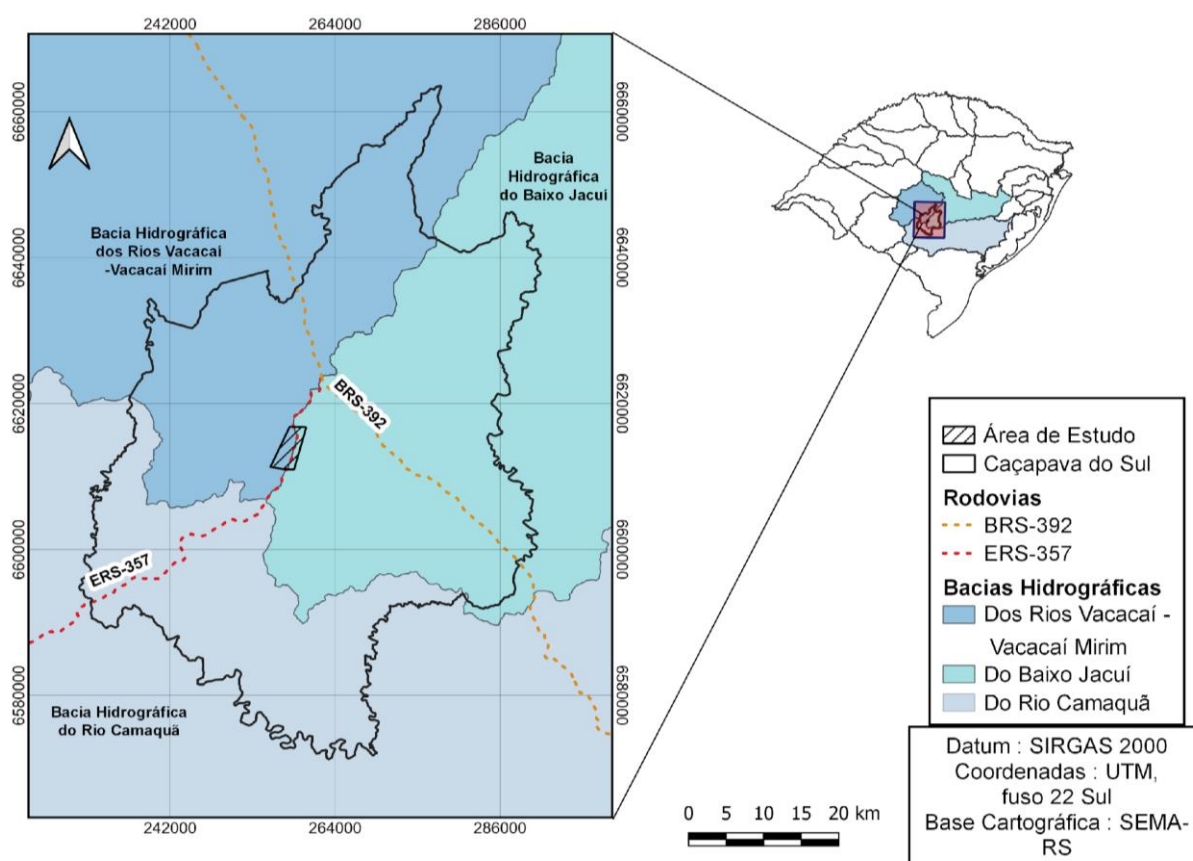
Figura 1 - Mapa de Localização da área de estudo



No município, a área de estudo compreende três vilas rurais: Pereirinha, São José e Capão das Galinhas. O acesso principal para cada uma das vilas de interesse ocorre pela RS 357, em direção ao município de Lavras do Sul.

De acordo com a SEMA (2020) o município se encontra na influência de três bacias hidrográficas (Figura 2): Baixo Jacuí que abrange 41%, incluindo as regiões norte, noroeste, nordeste e uma pequena porção a sudoeste da cidade; Bacia dos Rios Vacacaí - Vacacaí Mirim que abrange 30%, que inclui as regiões sul, boa parte da porção sudeste da cidade e uma pequena parte a nordeste; e a Bacia do Camaquã que abrange 29% e domina a porção sul da cidade.

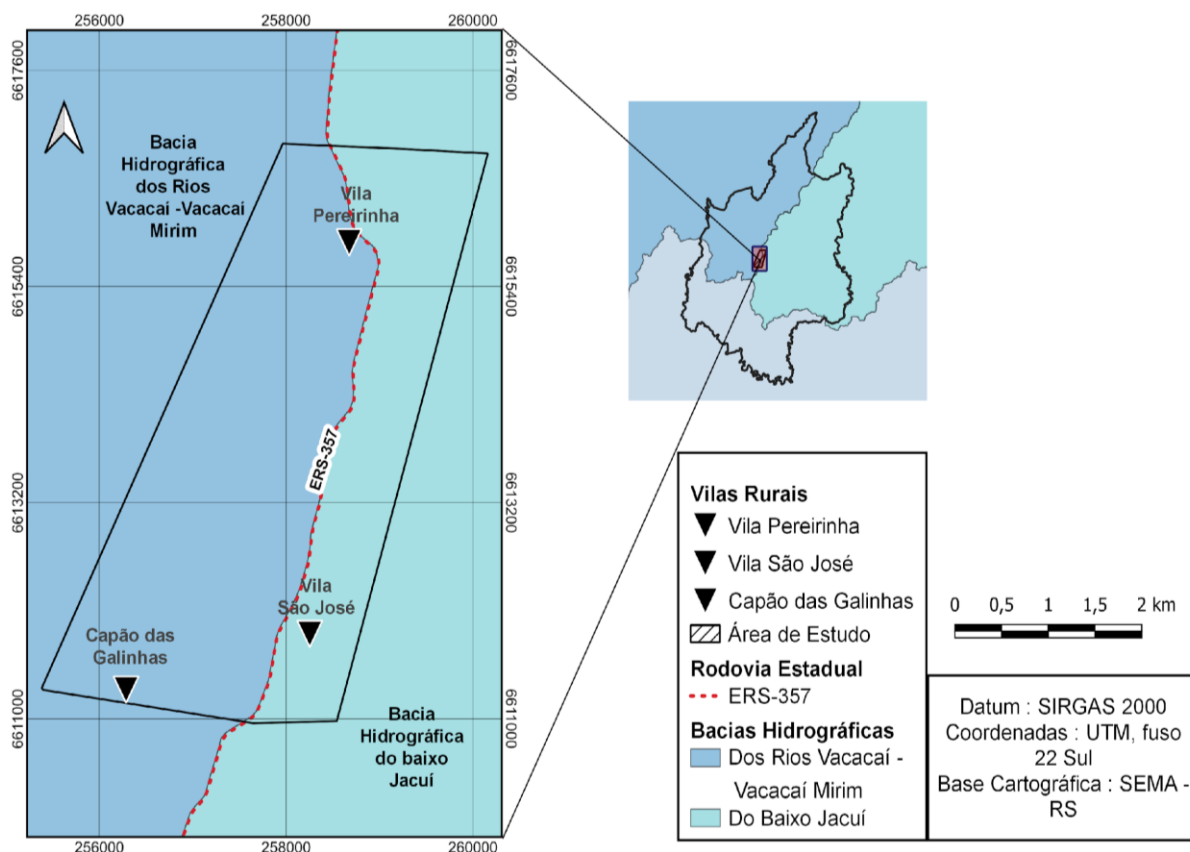
Figura 2 - Delimitação das bacias hidrográficas no município de Caçapava do Sul



Fonte: Autora.

A área estudada encontra-se no domínio de duas das três bacias da região. A Vila Pereirinha e o Capão das Galinhas estão no território da Bacia do Vacacaí-Vacacaí Mirim, enquanto que a Vila São José se encontra no território da Bacia do Baixo Jacuí. Ambas são delimitadas pela estrada RS- 357 (Figura 3).

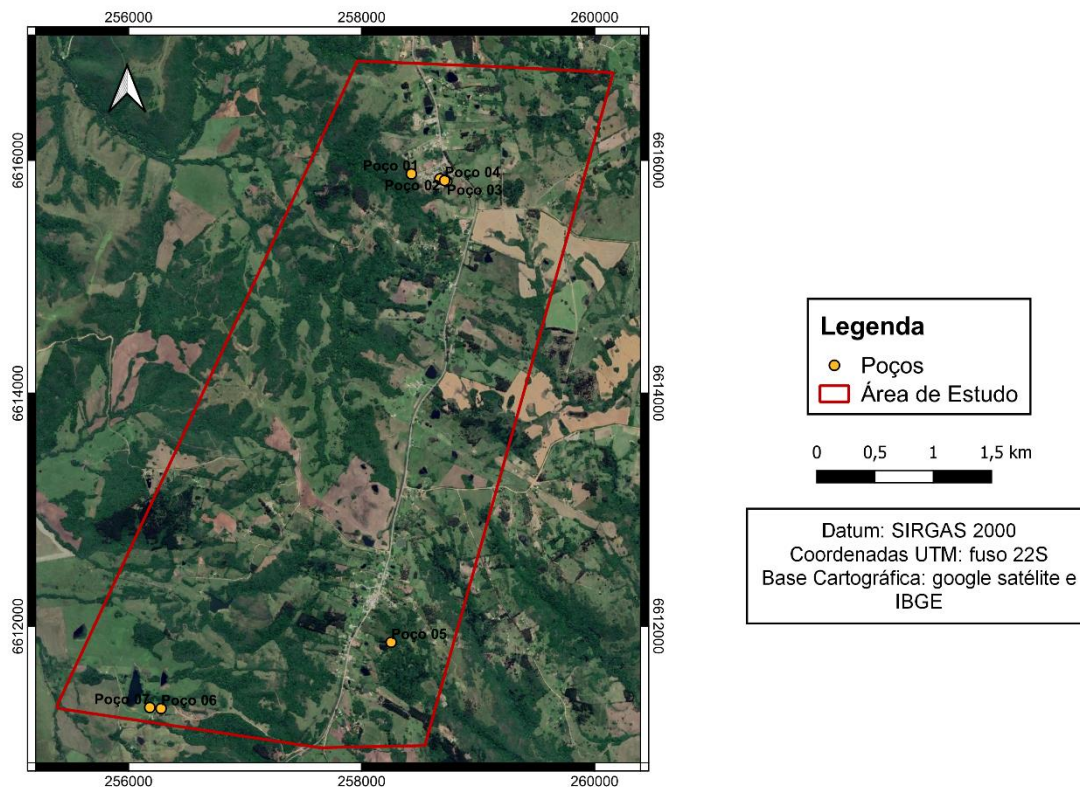
Figura 3 - Delimitação das bacias hidrográficas da área de estudo



Fonte: Autora.

De acordo com a Lei Federal nº. 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, é recomendado utilizar a área das bacias e/ou sub-bacias para se realizar estudos e projetos (BRASIL, 1997). Contudo, como o objetivo do trabalho foi caracterizar e determinar a vulnerabilidade natural do aquífero que abastece três vilas rurais de Caçapava do Sul, e em função desta área de estudo estar no limite de duas bacias hidrográficas (Figura 3), e como nem sempre a bacia hidrogeológica coincide com a bacia hidrográfica, optou-se por não se usar as bacias como áreas de estudo, e sim um polígono (Figura 4). Vale lembrar que a pesquisa propõe uma função social para os bairros rurais destacados, com base nos poços analisados.

Figura 4 - Mapa dos poços visitados na área de estudo



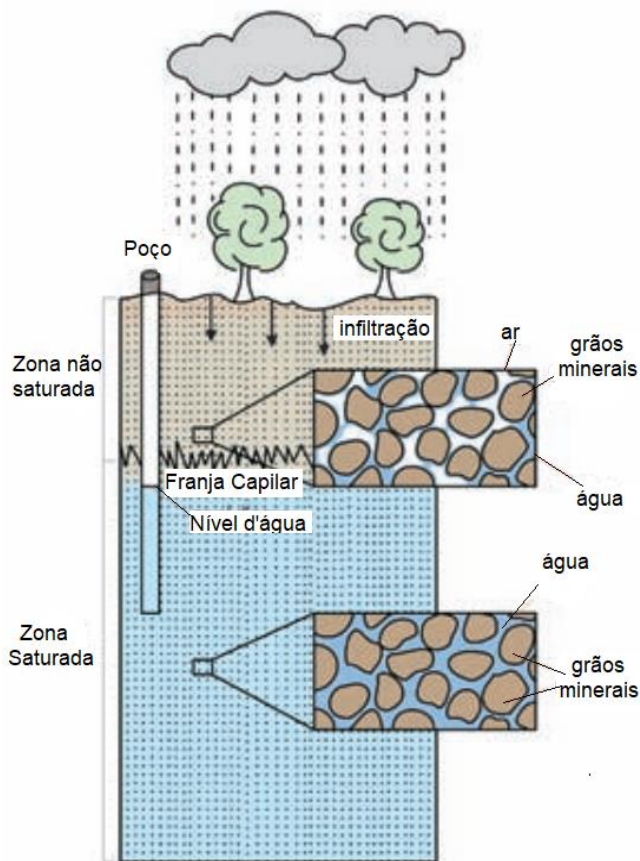
Fonte: Autora.

4 AQUÍFEROS

Os aquíferos são rochas que têm a capacidade de transmitir e armazenar água por possuírem certa porosidade, que lhes confere, também, vulnerabilidade para contaminação. Estas feições subterrâneas podem ser divididas verticalmente em zonas, em função da quantidade de água presente em seus poros (SERAPHIM, 2018).

A verticalização da água (Figura 5) é composta por uma zona saturada, onde as águas estão contidas nos poros (SERAPHIM, 2018). Tal zona é delimitada por uma membrana/franja freática que perfaz o limite superior do aquífero (OLIVEIRA, 2017). Acima a esta franja, apresenta-se uma zona não-saturada, também conhecida como zona vadosa, onde ficam os gases (SERAPHIM, 2018).

Figura 5 - Representação da distribuição vertical das águas



Fonte: Modificado de São Paulo, 2014.

Assim, os aquíferos são feições subterrâneas que estão sob total influência da distribuição vertical das águas. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2007), as principais funções de um aquífero consistem em:

Produzir e fornecer água com qualidade e quantidade para diversos usos; Estocar e regularizar, armazenando água quando há chuva e abastecendo os lagos e rios em época de estiagem; Filtração, atuando como filtros naturais quando infiltra no solo, minimizando os custos do tratamento; Transporte, conduzindo a água do local que foi recarregado para uma área onde está o poço; Energética, permitindo o uso da água pelo gradiente geotermal, podendo ser uma fonte de energia termal ou elétrica; Estratégica, protegendo a água armazenada da evaporação ou mesmo de guerras e sabotagens; e ambiental, mantendo os ecossistemas e a biodiversidade do local (OLIVEIRA, 2017, p.10).

Cada aquífero apresenta características próprias de acordo com as unidades geológicas as quais está vinculado (OLIVEIRA, 2017) (Figura 6). Podendo ser classificado geologicamente como:

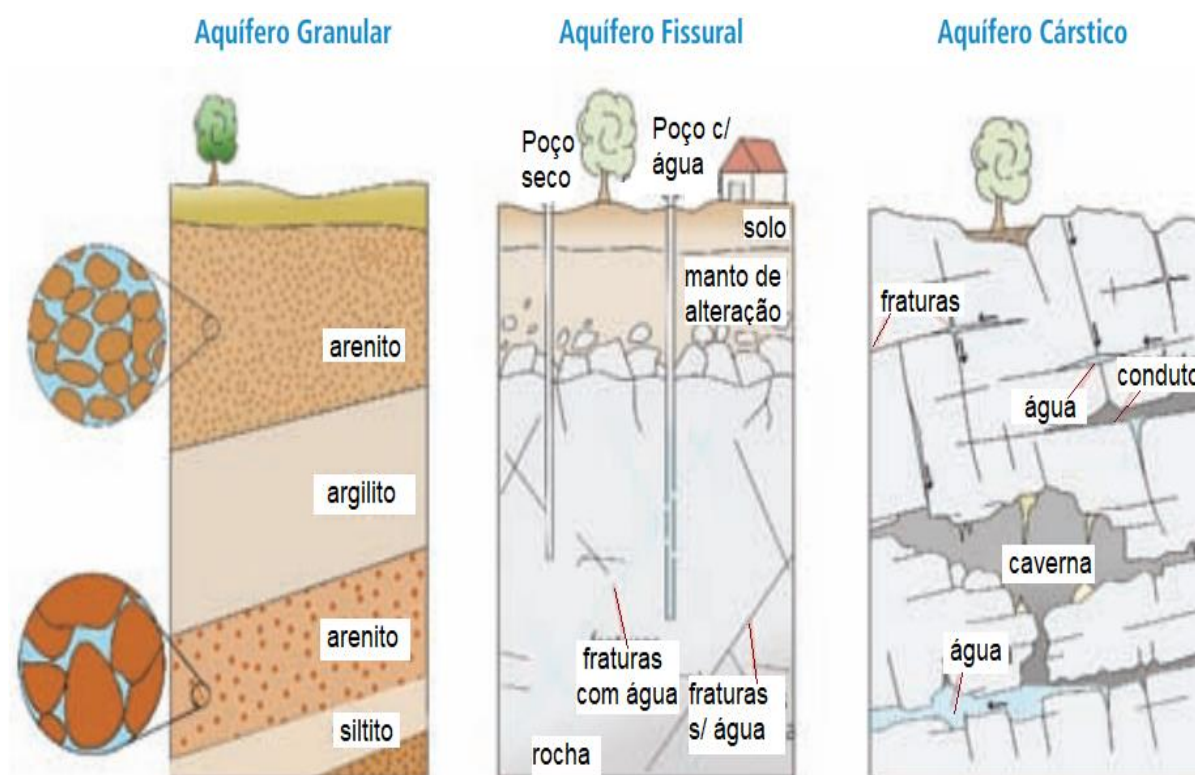
Aquífero granular - composto por rochas sedimentares que apresentam porosidade primária, visto que a água fica armazenada no espaço entre os grãos.

Ainda dentro deste grupo, pode-se considerar a água subterrânea presente em sedimentos inconsolidados, os chamados **aquíferos inconsolidados**. São formados geralmente por aluviões, dunas e depósitos coluviais. Eles apresentam inúmeras vantagens relacionadas a sua fácil escavação e bombeamento (FILHO, 2008).

Aquífero fissural ou fraturados - composto por rochas maciças como os granitóides, apresenta porosidade secundária, ou seja, a água percola por meio de fendas e fraturas (OLIVEIRA, 2017).

Aquífero Cárstico - são aquíferos compostos por rochas carbonáticas, onde as fendas, fraturas e cavernas são desenvolvidas através da dissolução cárstica dessas rochas, que atribuem uma porosidade secundária a este aquífero (OLIVEIRA, 2017).

Figura 6 - Aquíferos vinculados às unidades geológicas



Fonte: Modificado de São Paulo, 2014.

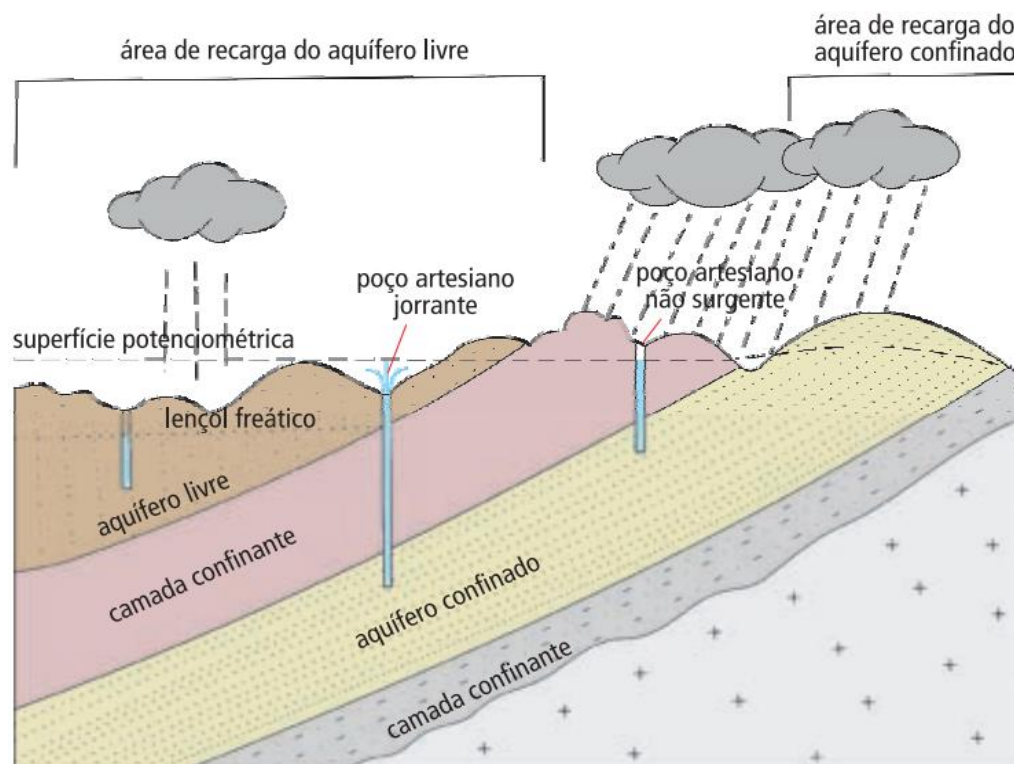
Os aquíferos, também, podem ser classificados conforme suas características geométricas em: confinados ou não confinados, livres ou freáticos (SERAPHIM, 2018) (Figura 7).

Aquíferos freáticos/livres - trata-se do primeiro nível de acumulação de água no subsolo (REBOUÇAS, 2008). São aqueles que apresentam recarga direta pelas

camadas de solo que se encontram subjacentes, principalmente por meio da precipitação (SERAPHIM, 2018).

Aquíferos confinados - são aqueles que possuem uma recarga indireta, realizada por aquífero freático através do contato de uma camada permeável ou semipermeável, ou mesmo em porções da superfície onde termina a camada confinante (SERAPHIM, 2018).

Figura 7 - Aquíferos vinculados a características geométricas



Fonte: São Paulo, 2014.

5 GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS

A gestão integrada das águas fornece conhecimento e produz capacidade para promover a gestão em todos os níveis: global, regional, nacional e local, além de fomentar o desenvolvimento coordenado da água com o solo e com outros recursos relacionados, a fim de potencializar os resultados econômicos e o bem-estar social de forma igualitária, e sem comprometer a sustentabilidade e os ecossistemas (GWP, 2021).

5.1 Águas Subterrâneas

De acordo com Marsalek *et al.* (2013), o ciclo hidrológico da água detalha o seu armazenamento e sua conseqüente circulação entre a biosfera, a litosfera e a hidrosfera. Portanto, a água pode se movimentar de forma “fechada” entre essas esferas, sendo muitas vezes influenciada pela energia solar, força gravitacional e até mesmo pelo movimento de rotação da Terra (SERAPHIM, 2018).

Por mais que seja comum separar a água superficial da água subterrânea, o ciclo hidrológico se encontra interconectado (SERAPHIM, 2018). Logo, água superficial e subterrânea estão em natural mutualismo, sendo que a alteração de uma interfere diretamente na outra. Dessa forma, uma boa gestão dos recursos hídricos é imprescindível para manutenção do bem-estar desse ciclo, visto que a água apresenta um valor estratégico quanto reserva (REBOUÇAS, 2008).

Os países que possuem um bom planejamento hídrico são aqueles que investiram na gestão integrada das águas (REBOUÇAS, 2008) e que consideram todas as esferas com a qual a água interage. Contudo, de acordo com Rebouças (2008), as águas superficiais sempre protagonizaram a atenção, sendo as águas subterrâneas amplamente ignoradas.

Todavia, a contaminação de mananciais e as fortes estiagens que, nos últimos anos, vêm assolando o país, tem fomentado a utilização ou o uso das águas subterrâneas (VIERO; SILVA, 2010). Até janeiro de 2022, no estado do Rio Grande Sul já se somam 200 pedidos de emergência devido à estiagem, o que é o reflexo da falta de planejamento e de um Plano de Segurança Hídrica para o estado (MILMAN, 2022). Caçapava do Sul também tem sofrido com as recorrentes estiagens, onde destaca-se o Decreto nº 4.862 de 13 de janeiro de 2022 (MILMAN, 2022; G1 RS, 2022). Neste contexto, os aquíferos podem ser considerados a melhor opção de abastecimento (SERAPHIM, 2018).

De acordo com o site da CETESB (2022) a exploração das águas subterrâneas “[...] é uma alternativa bastante atraente para abastecimento, em virtude da sua abundância, qualidade e relativo baixo custo de captação”. O uso dessas águas é promissor, principalmente se comparadas com a condição de qualidade das águas superficiais, que necessitam de tratamento, encarecendo todo o processo.

Dessa forma, o recurso hídrico subterrâneo vem se tornando estratégico para desenvolvimento econômico da sociedade, necessitando-se de informações técnicas

que amparem a decisão dos órgãos gestores, tanto para promover o uso racional dessas águas, quanto para garantir a manutenção de sua qualidade (HIRATA *et al.*, 2019).

5.2 Natureza dos Poços

Os registros do primeiro aproveitamento de água subterrânea são imprecisos, sabe-se que datam de cerca de 2000 a.C. (VASCONCELOS, 2015). De acordo com Hirata *et al.*, (2019), no Brasil, cerca de 1,6 bilhões de m³/ano de água subterrânea é explorada através de poços tubulares privados. Para o autor, este fato, do autoabastecimento individual, sinaliza a principal questão a ser fortalecida na gestão de recursos hídricos: a regularização dos poços segundo a outorga ou cadastro (HIRATA *et al.*, 2019).

Para Vasconcelos (2015), há dois tipos de poços que são comuns pelo país: escavados e tubulares. O primeiro, construído de forma manual, pode ser subdividido em três variações: Cacimba: poço com diâmetro maior que 0,5 m e que não apresenta revestimento nas paredes; Cacimbão: poço com diâmetro maior que 1 m e menor que 5 m e que exibe revestimento parcial ou total nas paredes; e Amazonas: poço com diâmetro maior que 5 m e que apresenta revestimento parcial ou total nas paredes (VASCONCELOS, 2015). Já os tubulares são poços com diâmetros menores que 1,0 m e podem ser geomecânico ou aço. Eles são subdivididos em freático e artesiano. Os poços freáticos captam água de aquíferos livres e os poços artesianos captam água de aquíferos confinados. Este último, ainda, é subdividido em duas categorias: artesiano jorrante e não-jorrante, que dependem da pressão do aquífero e se a superfície potenciométrica estará acima ou abaixo da superfície do terreno (VASCONCELOS, 2015).

Toda extração de águas subterrâneas resultará em uma alteração - um rebaixamento - nos níveis freáticos e piezométricos dos aquíferos (HIRATA, 1994). Conseqüentemente, poços construídos fora da norma NBR 12.212 (ABNT, 1992) e sem cadastro, podem potencializar a vulnerabilidade de um aquífero (HIRATA *et al.*, 2019).

5.3 Enquadramento das águas subterrâneas

A definição de qualidade da água é algo muito mais abrangente do que caracterizar a molécula H₂O (CPRM, 2015). Isso ocorre por conta das características de solvente e sua capacidade de transporte que faz com que a água englobe impurezas, as quais definirão sua qualidade (CPRM, 2015).

Assim, o enquadramento de corpos hídricos determina qual o nível de qualidade que deve ser atingido ou mantido ao longo do tempo em função dos usos pretendidos (ANA, 2022). Ele é medido pelos seus parâmetros naturais e pelas ações antrópicas, muito relacionadas aos tipos de usos da água (ANA, 2022). Conforme a Resolução do CONAMA nº 396 (2008), as águas subterrâneas são categorizadas em seis classes de uso visando o enquadramento de corpos hídricos:

- Classe Especial: tratam-se das águas dos aquíferos destinada à preservação de ecossistemas em unidades de conservação e proteção. São aquelas que contribuem diretamente para trechos de águas superficiais da classe especial;

- Classe 1: tratam-se das águas dos aquíferos que não possuem alteração da sua qualidade por conta de atividades antrópicas e que não necessitam de tratamento para quaisquer usos, por conta de suas características hidrogeoquímicas naturais;

- Classe 2: tratam-se das águas dos aquíferos que não possuem alteração de sua qualidade por meio de atividade antrópica, mas dependendo do uso e de suas qualidades hidrogeoquímicas naturais podem requerer tratamento adequado;

- Classe 3: corresponde às águas dos aquíferos que possuem alteração de sua qualidade natural devido às ações antrópicas, mas que não necessitam de tratamento por conta dessas modificações. Contudo, o tratamento se faz necessário dependendo do uso da água.

- Classe 4: tratam-se de águas dos aquíferos que possuem a alteração de sua qualidade em função de atividades antrópicas e que são usadas sem tratamento para usos menos restritivos;

- Classe 5: Corresponde às águas dos aquíferos que apresentam a qualidade alterada em função de atividades antrópicas e que são utilizadas em tarefas que não possuem requisitos de qualidade (CONAMA, 2008).

O enquadramento de corpos hídricos tornou-se uma referência para os demais mecanismos de gestão, como outorga, cobrança e cadastros (ANA, 2022). Por meio do enquadramento de corpos hídricos busca-se assegurar que se alcance a qualidade pretendida para as águas de acordo com o seu uso preponderante (ANA, 2022).

5.4 Legislação

O grau de importância das águas subterrâneas é muitas vezes imperceptível pelo mundo (REBOUÇAS, 2008), já que elas não são visíveis aos olhos (HIRATA *et al.*, 2019). No Brasil, o fato da obra de captação da água subterrânea ser, na maioria das vezes, feita pelos próprios usuários, a torna mais barata e atrativa (REBOUÇAS, 2008). Contudo, a “[...] falta de controle federal, estadual e municipal não possibilita uma avaliação segura do número de poços ativos no país” (REBOUÇAS, 2008, p.22). Assim, as leis relacionadas à proteção e o controle das águas subterrâneas se fazem necessárias para uma boa gestão e planejamento (OLIVEIRA, 2017).

A partir de 1972, após a Conferência das Nações Unidas em Estocolmo, o direito ambiental internacional ganha espaço e deixa de ter foco econômico para adotar a preservação e melhoria da qualidade ambiental como o cerne essencial para o “bem-estar e para o direito a própria vida” (LEMOS; BIZAWU, 2014, p. 35). O Brasil começa a consolidar respeito à legislação ambiental através da Lei Federal nº 6.938 de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981) e do artigo 225 da Constituição de 1988, que dispõem sobre o direito/dever de preservação para a tutela de um meio ambiente ecologicamente equilibrado. Visto que um ambiente equilibrado é de “[...] uso comum do povo e imprescindível à sadia qualidade de vida” (BRASIL, 1988). Logo, todas as leis ambientais brasileiras têm como base, essas normas (LEMOS; BIZAWU, 2014).

Por mais que muitos países desenvolvidos estejam avançados quanto à gestão e promoção de leis referente aos recursos hídricos, o Brasil, aos poucos, começa a aumentar a preocupação com as águas subterrâneas (REBOUÇAS, 2008). Ao fazer um recorte para o Estado do Rio Grande do Sul, observa-se a priorização do tema água subterrânea e a preocupação com sua proteção. A Tabela 1 apresenta uma relação com algumas das principais leis aplicadas às águas subterrâneas no Rio Grande do Sul.

Tabela 1 - Legislação relacionada às águas subterrâneas

Leis	Definição
Resolução CONAMA nº 396 de 2008	Diz respeito da classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.
Decreto Estadual nº 42.047 de 2002	Trata-se de um decreto estadual referente ao gerenciamento e a conservação de aquíferos e águas subterrâneas no estado do Rio Grande do Sul, e que faz algumas alterações quanto a lei nº 10.350 de 1994
Decreto Estadual nº 52.035 de 2014	Trata-se de um decreto estadual, referente ao gerenciamento de águas subterrâneas e aquíferos, que altera o Decreto nº 42.047. Neste decreto fica alterado o caput do art.30; a redação do art. 31; Além de se fazer acréscimos nos parágrafos, 31, 37-A e 37-B.
Decreto Estadual nº 53.202 de 2016	Trata-se também de um decreto estadual que impõe sanções administrativas e infrações para atividades que prejudiquem o meio ambiente no estado do Rio Grande do Sul.
Resolução CRH nº 239 de setembro de 2017	Diz respeito a outorga de água subterrâneas por meio do cadastro via SIOUT (Sistema de outorga de Água do Rio Grande do Sul), está disposto de acordo com a Lei Estadual nº 10.350 de 1994.
Resolução CRH nº 252 de dezembro de 2017	Tal resolução, diz respeito aos prazos de outorga de poços de área rurais, a fim de estimular o cadastro nessas áreas e melhorar questões como planejamento gestão de recursos hídricos. Tem atribuições conferidas pela Lei estadual nº 10.350 de 1994
Portaria conjunta SEMA/FEPAM nº 19/2017	Tal portaria, diz respeito a empreendimentos de irrigação, relacionado com construções ou regularização de barragens e açudes
Resolução CRH nº 255 de dezembro de 2017	Compreende a outorga da captação de águas vinculadas a usos permitidos e valores de referência das vazões a serem outorgadas
Decreto Estadual nº 53.885 de janeiro de 2018	Trata-se de um decreto estadual que subdivide o as regiões hidrográficas do Rio grande do Sul em Bacias hidrográficas

Fonte: Autora.

Ao analisar a legislação estadual do Rio Grande do Sul, referente às águas subterrâneas, nota-se que os decretos mais recentes procuram preencher brechas antigas. Por exemplo, na Resolução nº 255 de dezembro de 2017 (SEMA, 2017), as captações por poços escavados ou do tipo ponteira são permitidos em locais que não apresentam rede de abastecimento pública e com caráter individual para subsistência humana, não sendo necessário outorga ou cadastro. Já a Resolução nº 302 de setembro de 2018 (SEMA, 2018) exige o cadastro dos poços de qualquer natureza. Esta mudança está associada aos períodos de estiagem que o estado tem passado, visto que o uso das águas subterrâneas é maior nessas épocas (REDAÇÃO JM, 2022).

6 CARACTERIZAÇÃO REGIONAL E LOCAL

6.1 Clima

As variações climáticas impactam diretamente os recursos hídricos (MANZIONE, 2017). Por exemplo, os níveis freáticos são influenciados pelos eventos de precipitação, logo fenômenos climáticos como *El Niño*, *La Niña*, bem como, as regiões em que o clima é caracterizado por um alto índice pluviométrico, apresentam uma superfície freática mais elevada em comparação com as regiões mais áridas (MANZIONE, 2017). O ciclo hidrológico, também, é diretamente influenciado pelos fatores climáticos. Ele é responsável por fazer a água circular dentro do planeta, visto que, praticamente toda a água subterrânea existente tem origem no ciclo hidrológico, o clima está intimamente ligado ao comportamento das águas subterrâneas inseridas em sistemas aquíferos (FILHO, 2008).

De maneira geral, no Brasil, são encontrados quatro tipos de climas que estão associados com a circulação na zona dos alísios: equatorial, tropical, semiárido e subtropical (MENTE, 2008). Ao se fazer um recorte para o Rio Grande do Sul, como o estado se encontra localizado nas zonas de latitudes médias, nas quais, os tipos climáticos são controlados por sistemas tropicais e polares foram definidos quatro tipos de clima para a região (ROSSATO, 2011): Subtropical I caracterizado por ser pouco úmido. É subdividido em dois grupos: subtropical Ia - inverno frio e um verão mais fresco e subtropical Ib - com um inverno frio e um verão mais quente; Subtropical II moderadamente úmido com variação longitudinal das médias temperaturas; Subtropical III úmido com variações longitudinais das temperaturas médias; Subtropical IV caracterizado por ser muito úmido. É subdividido em dois grupos: subtropical IVa - muito úmido com inverno fresco e verão quente e subtropical IVb - muito úmido com inverno frio e verão fresco (ROSSATO, 2011).

De acordo com o site da Weatherspark (2022), Caçapava do Sul apresenta um clima local úmido com inverno frio, precipitação e céu encoberto a maior parte do ano. A cidade exhibe uma variação sazonal moderada na precipitação mensal de chuva, com destaque para o mês de outubro com 144 milímetros (WEATHERSPARK, 2022). Anualmente, a precipitação pluvial é de cerca de 1588 mm, com uma deficiência hídrica de 3 mm e com excesso hídrico de 562 mm (OLIVEIRA, 2017). A temperatura do mês mais quente do ano é superior a 22°C, enquanto que a temperatura do mês mais frio fica entre 3°C e 18°C, com média anual inferior a 18°C (OLIVEIRA, 2017).

6.2 Solos

Devido a suas grandes proporções, o Brasil apresenta uma grande variedade de solos (EMBRAPA, 2011). Os solos brasileiros podem ser categorizados em treze classes (Tabela 2): neossolos, latossolos, cambissolos, luvisolos, vertissolos, espodossolos, planossolos, chernossolos, plintossolos, gleissolos, nitossolos, argissolos e organossolos (EMBRAPA, 2011).

Tabela 2 - Classificação dos solos brasileiros

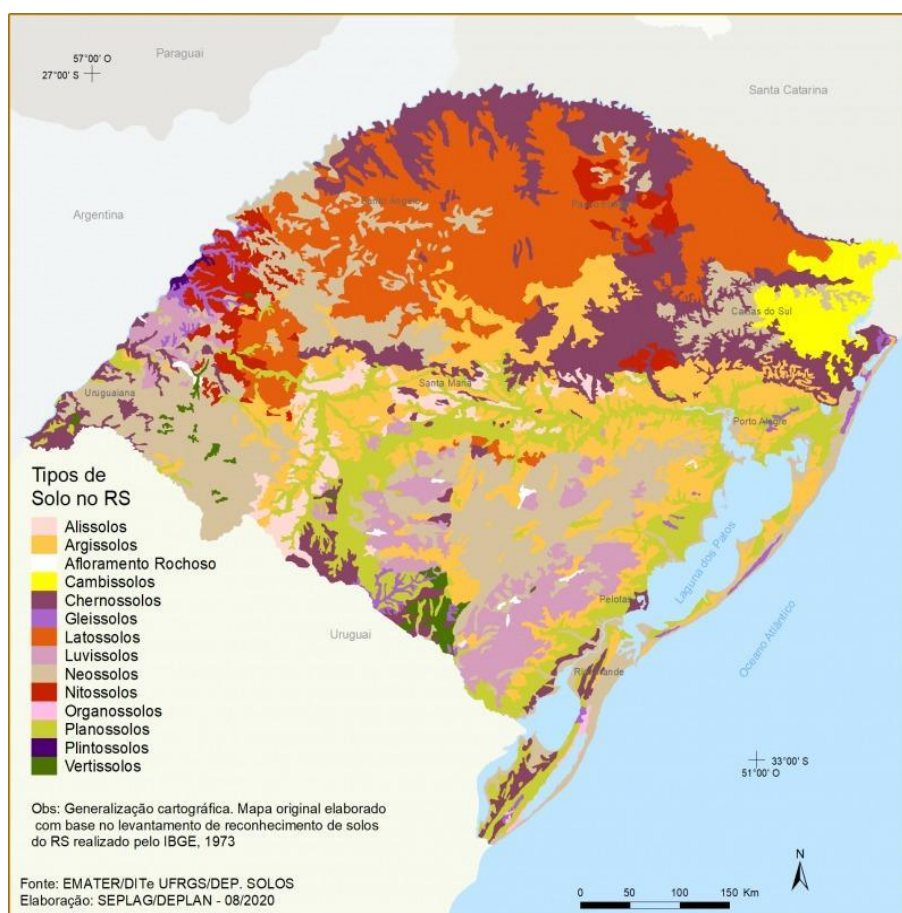
Tipo de Solos	Descrição
Organossolos	Solos formados por altos teores de matéria orgânica advinda da deposição e acúmulo de resíduos vegetais. O acúmulo de material orgânico ocorre devido as condições de drenagem livre, altitude elevada, baixas temperaturas, ou impedida como nas baixadas e depressões. Podem apresentar elevado conteúdo de enxofre.
Neossolos	Solos pouco desenvolvidos com ausência de horizontes diagnósticos em subsuperfície. Apresenta características herdadas do material originário, que confere grande variabilidade para as subordens.
Latossolos	São solos lixiviados e altamente desenvolvidos com ausência de incremento de argila em profundidade. As cores variam de brunadas, avermelhadas ou amareladas, sendo a última de maior expressão. Na fração argila, os minerais predominantes são a caulinita, óxidos de ferro e alumínio.
Cambissolos	Solos moderadamente desenvolvidos e identificado pela pouca diferenciação dos horizontes nas características morfológicas, principalmente na cor e estrutura. A grande variabilidade da natureza do material de origem, proporciona ampla variação na composição química e granulométrica.
Luvisolos	Solos com acúmulo de argila em subsuperfície associado à argila de atividade alta. Apresenta em muitos casos, mudança textural abrupta. São rasos de coloração avermelhada ou amarelada com estruturas do tipo blocos ou prismas em subsuperfície.
Vertissolos	São solos expansivos e com alta saturação por bases, identificados pelo baixo grau de desenvolvimento e alto teor de argila. Pode apresentar argilominerais, conferindo expansão e contração. Possuem fendas largas e profundas, estrutura cuneiforme, quando seco, além de ser possível visualizar superfícies de fricção e micro relevo na superfície do solo denominado gligai.
Espodossolos	Solos com presença de um horizonte com acúmulo de matéria orgânica e/ou alumínio com ou sem ferro, em subsuperfície, podendo apresentar horizonte eluvial de cor clara. De forma geral, a composição granulométrica tem o predomínio da fração areia.
Planossolos	Solos com abrupto acúmulo de argila e baixa permeabilidade em subsuperfície. A baixa permeabilidade condiciona redução e oxidação do ferro propiciando as cores acinzentadas ou variegadas e mosqueados. De forma geral, observa-se um horizonte de cor clara sobrepondo o horizonte subsuperficial e em muitos solos, estrutura colunar no horizonte B.
Chernossolos	Solos com horizonte superficial relativamente espesso, escuro, com boa agregação e argilominerais na proporção 2:1. Apresenta, médio a altos teores de carbono e elevados teores de cálcio e magnésio, conferindo alta saturação por bases.
Plintossolos	Solos com expressivo acúmulo e segregação de ferro. Apresenta, drenagem imperfeita e ciclos de redução do ferro e a formação de plinita (função destacável da matriz do solo). A plinita é um material brando, que quando submetido a ciclos de dessecação pode se consolidar irreversivelmente formando a petroplinita (concreção)
Gleissolos	Solos com expressão de feições reductomórficas. São caracterizados pelo baixo grau de desenvolvimento pedogenético sob condições hidromórficas. Em subsuperfície predominam as cores acinzentadas ou variegadas, devido aos processos de oxidação e redução do ferro, podendo apresentar mosqueados ou plintita pela segregação do ferro.
Nitossolos	São solos argilosos, com pouco incremento de argila em profundidades e com estrutura em blocos ou prismas. De maneira geral, são profundos e com coloração que varia de avermelhada a bruno, com pouca diferenciação de cores entre os horizontes. A superfície dos agregados dos horizontes em subsuperfície apresenta filmes de argila, sendo denominado de cerosidade.
Argissolos	São solos que apresentam o maior teor de argila nos horizontes subsuperficiais, que caracteriza um gradiente textural ao longo do perfil, sendo caulínitos, oxidícos ou com caráter alítico. A cor pode variar de bruno acinzentada, acinzentada até avermelhada, sendo os matizes amarelos e vermelhos os mais comuns

Fonte: Embrapa, 2015.

Os solos mais frequentes em território nacional são os latossolos, argissolos e neossolos que juntos cobrem cerca de 70% do país (EMBRAPA, 2011). Conforme o site da EMBRAPA (2011), as classes latossolos e argissolos abrangem 58% da área e são caracterizados por serem solos mais profundos, altamente intemperizados, ácidos, com baixa fertilidade natural e com alta saturação de alumínio. Já os solos de média a alta fertilidade, pouco profundos devido ao baixo grau de intemperismo, se enquadram nas classes dos neossolos, luvisolos, planossolos, nitossolos, chernossolos e cambissolos (EMBRAPA, 2011).

De acordo com o Museu de Solos do Rio Grande do Sul - MSRS (2020), o estado apresenta quatro grandes regiões fisiográficas que estão sob influência de especificidades geomorfológicas e climáticas, que interferem na formação dos solos do Rio Grande do Sul (Figura 8).

Figura 8 - Mapa pedológico do Rio Grande do Sul



Fonte: Secretaria de Planejamento Segurança e Gestão, 2020

Para Lemos (1973), o estado pode ser subdividido em Planalto Meridional, Depressão Central, Escudo Cristalino e Litoral.

Planalto Meridional: trata-se de uma região predominantemente vulcânica, composta pelos derrames da Formação Serra Geral do período jurássico - cerca de 190 Ma. Na parte norte predominam solos geralmente profundos e ácidos como os latossolos e Nitossolos, com inserções de solos rasos e pedregosos como os Neossolos e Cambissolos (MSRS, 2020).

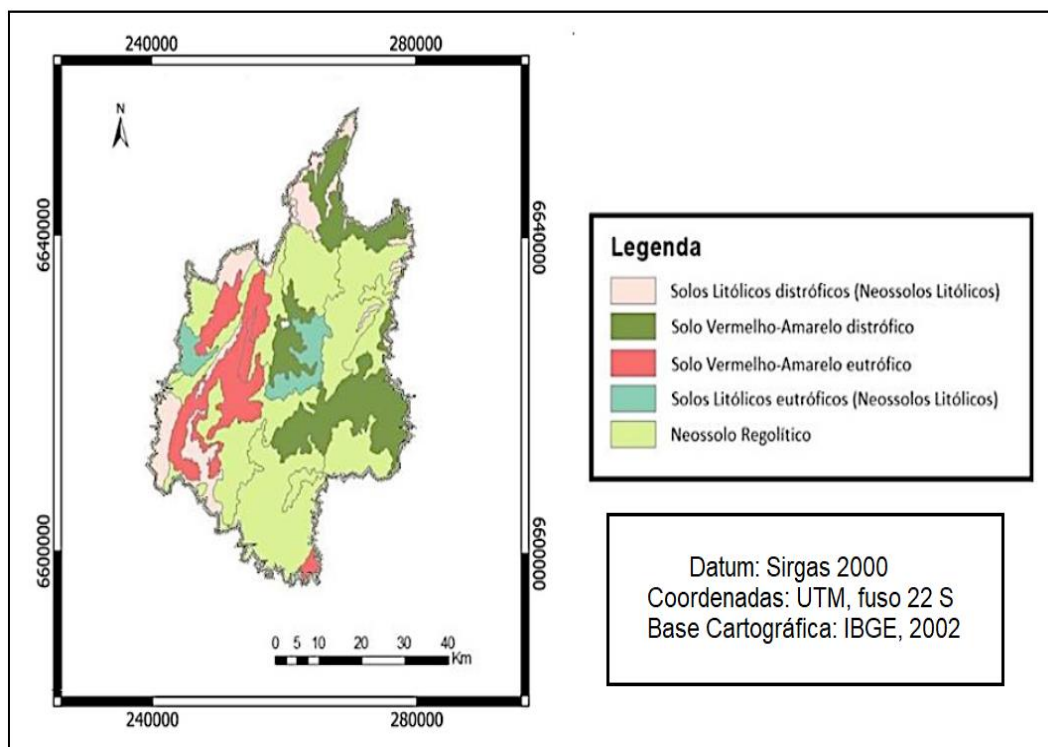
Depressão Central: trata-se de uma região composta predominantemente, por rochas sedimentares, em geral, arenitos que produzem solos profundos e arenosos com elevada vulnerabilidade à erosão e desprovidos de nutrientes, como os Argissolos, Planossolos e Gleissolos. Em porções pontuais é composta por sedimentos finos. Formam os solos mais rasos, argilosos, úmidos e férteis como os Planossolos e Luvisolos (MSRS, 2020).

Escudo Sul-rio-grandense: trata-se uma região formada por rochas ígneas intrusivas e rochas metamórficas, com uma presença menos expressiva de rochas sedimentares e vulcânicas. As rochas mais resistentes e silicosas limitam a sua alteração, corroborando para a ocorrência de grandes extensões de áreas montanhosas e solos rasos como os Neossolos Litólicos e Regolíticos. Em áreas com menores declividades podem ter a presença de argissolos (MSRS, 2020).

Litoral: formada pela deposição de sedimentos arenosos do Escudo e do Planalto. O relevo, em geral, é plano e os solos são arenosos e profundos, com baixa fertilidade natural, baixa retenção de água e alta vulnerabilidade à contaminação. Neste ambiente, destacam-se os Neossolos, Quartzarênico e o Planossolo (MSRS, 2020).

O município de Caçapava do Sul, se encontra predominantemente sobre o Escudo Sul-rio-grandense, assim, destacam-se os Neossolos Litólico e Regolítico, e com menor representatividade o Luvisolo, Planossolo, Chernossolo e Argissolo (STRECK *et al.* 2008) (Figura 9).

Figura 9 - Mapa pedológico de Caçapava do Sul



Fonte: Adaptado de Oliveira (2017)

A respeito dos tipos de solos encontrados em Caçapava do Sul, pode-se dizer que o Neossolo é um tipo de solo composto por material mineral ou orgânico com pouca espessura e desprovido de atributos para caracterizar a formação do solo. Este solo exibe uma evolução limitada em razão da maior resistência do material aos agentes do intemperismo como clima, relevo e tempo (EMBRAPA, 2015). Por sua vez, o Neossolo Litólico, é um solo mais raso com espessura pequena associado com as declividades do terreno (EMBRAPA, 2015). Já o Neossolo Regolítico é pouco desenvolvido tratando-se de um tipo de solo que não se encontra saturado por água em condições naturais, com uma textura mais arenosa, sendo suscetível à erosão (EMBRAPA, 2015).

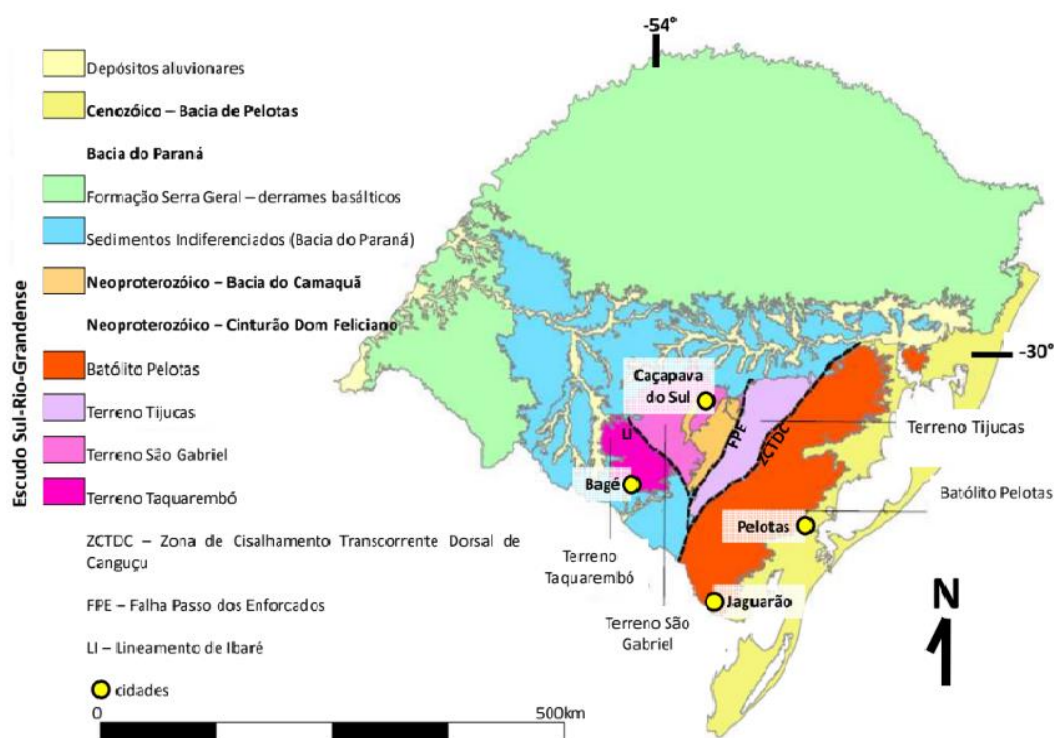
De acordo com Oliveira (2017), o Argissolo vermelho-amarelo é geralmente ácido e apresenta um horizonte textural B que serve como diagnóstico. Exibe um acúmulo de argila em profundidade e uma diminuição de argila na porção superficial do solo, podendo ser então distrófico, com baixa saturação em bases, ou eutrófico, com alta saturação de bases.

6.3 Geologia

O complexo metamórfico Passo Feio (CMPF) situa-se nas proximidades do município de Caçapava do Sul e é formado por uma sequência de metapelitos, anfibolitos, rochas metavulcanoclásticas, metavulcânicas, mármores, rochas calcissilicáticas, quartzitos xistos magnesianos e rochas quartzo-feldspáticas metamorfizadas (BITENCOURT, 1983; LOPES, 2012).

O CMPF está inserido no Terreno São Gabriel, que é um dos domínios do Escudo Sul-riograndense, que se localiza a norte do lineamento Ibaré e a oeste da sutura de Caçapava (Figura 10), tratando-se do único terreno neoproterozóico de assinatura juvenil (LOPES, 2012).

Figura 10 - Mapa com os domínios geotectônicos do Rio Grande do Sul



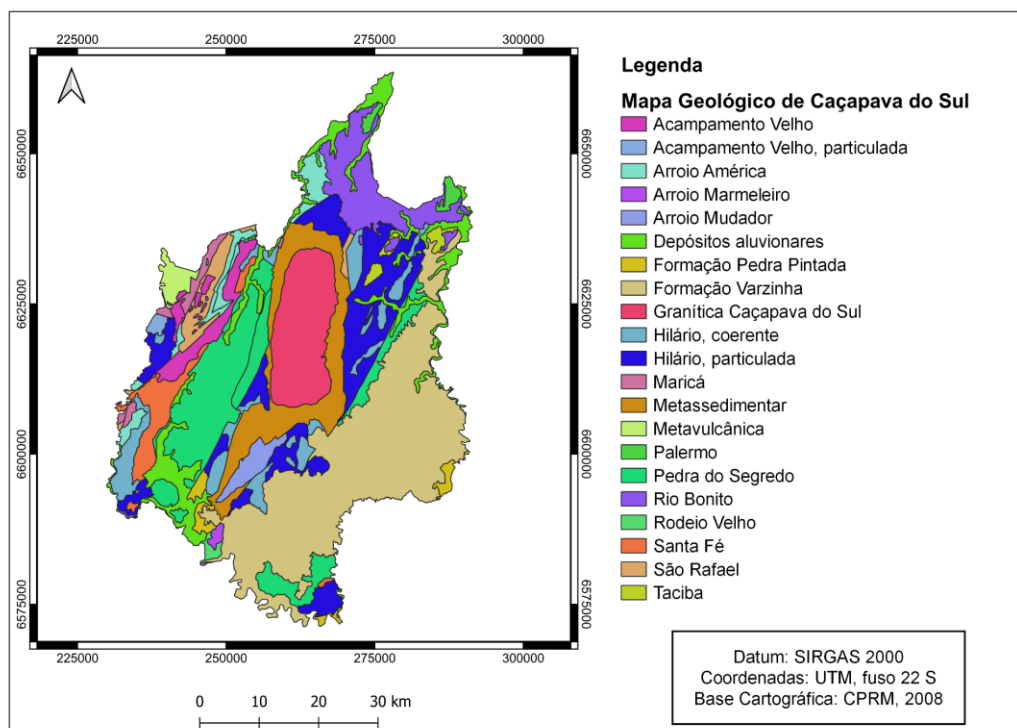
Fonte: Travassos, (2014) adaptado de CPRM (2008)

O metamorfismo regional, que abrange o CMPF, compreende desde a fácies xisto verde até a fácies anfibolito, onde nota-se uma elevação do grau metamórfico em direção aos corpos de rochas ígneas que intrude esse complexo, como é o caso do Granito Caçapava do Sul (BITENCOURT, 1983; LOPES, 2012).

A geologia do município de Caçapava do Sul (Figura 11), apresenta atributos advindos de uma evolução longa e complexa que remonta há cerca de 2 bilhões de

anos (BORBA, 2015). É comum se deparar com evidências de fundo oceânico antigos, mares tropicais, erupções vulcânicas de distintas composições, granitos formados nas profundezas e rios de alta energia que faziam parte do Supercontinente Gondwana, pelo território da cidade (BORBA, 2015).

Figura 11 - Mapa geológico do município de Caçapava do Sul



Fonte: Autora.

O município de Caçapava do Sul está assentado sobre um batólito granítico de forma elíptica, com o maior eixo orientado no sentido norte-sul, e é dividido em três fácies: leucogranitóides, biotita granitóides e granitoides transicional (Bitencourt, 1983). A fácies leucogranitóide situa-se a na porção norte – nordeste do batólito, e é formada por rochas de coloração rosada, com baixo teor de minerais máficos, contendo pontualmente granada e/ou muscovita (Bitencourt, 1983). A fácies biotita granitoide, predomina a porção sul, sudoeste e oeste do complexo, e é caracterizada por rochas de coloração cinza, que exibem teores elevados de biotita e allanita como mineral acessório característico (Bitencourt, 1983). Já a fácies granitoides transicionais, predomina a porção central do complexo granítico de Caçapava do Sul, e é formada por rochas que exibem características intermediárias entre as duas primeiras fácies (Bitencourt, 1983).

A suíte granítica de Caçapava do Sul, engloba a maior parte da área urbana da cidade. Nas bordas deste corpo granítico, encontra-se o cinturão metamórfico, composto pelas rochas do CMPF, que também se alonga no eixo norte-sul (BITENCOURT, 1983). Tais rochas são recobertas a nordeste pelos sedimentos da Formação Rio Bonito e a noroeste pelos sedimentos da Formação Maricá (BITENCOURT, 1983). A oeste pelos sedimentos da Formação Santa Bárbara (BITENCOURT, 1983; BORBA, 2015) e a leste por rochas vulcânicas e sedimentos do Grupo Bom Jardim (BITENCOURT, 1983; BORBA, 2015). Por fim, a sul do batólito, as rochas alongam no sentido sudoeste em direção a Lavras do Sul e são recobertas em ambos os lados por formações Eopaleozoicas vulcânicas e sedimentares (BITENCOURT, 1983; BORBA, 2015).

Os domínios geológicos que compõem Caçapava do Sul estão melhor exemplificados e descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Domínios geológicos de Caçapava do Sul

Domínios Geológicos	Descrição
Complexo Granítico de Caçapava do Sul	De acordo com a CPRM, 2000 (apud OIVEIRA, 2017), a litologia da suíte granítica, é caracterizada por sienogranitos, monzogranitos e granodioritos, fazendo contato com as rochas metamórficas da Formação Vacacaí (BITENCOURT, 1983).
Complexos Metamórficos (CMPF)	Os metamorfitos que circundam o complexo granítico de Caçapava do Sul, foram classificados por Goni et al. (apud Bortolotto, 1986) como pertencentes a Formação Vacacaí "composta por xistos, filitos, quartzitos, mármore, dentre outras rochas "carbonatadas por ação do metamorfismo de contato" (Bortolotto, 1986, p. 7).
Formação Maricá	De acordo com PELOSI (2001), a Formação Maricá é uma das mais antigas que compõe a bacia do Camaquã. Ela foi gerada no Neoproterozóico Tardio, e consiste em cerca de 2000 m de depósitos siliciclásticos (PELOSI, 2001), sendo composta por rochas sedimentares como arenitos, arenitos-conglomeráticos e ritmitos "anteriores as fases de vulcanismo intenso na região" (PELOSI, 2001, p.38). Tal formação, está presente em toda a borda oeste da Sub-Bacia Camaquã Ocidental, estando em contato através de "falha com as rochas metamórficas do Terreno Rio Vacacaí" (PELOSI, 2001, p.38)
Grupo Bom Jardim	O Grupo Bom Jardim se localiza a nordeste de Caçapava do Sul, sendo integrada pela Formação Arroio dos nobres, pela sequência sedimentar dos Membros Mangueirão e Vargas, Formação Crespos e sequência Vulcano-sedimentar constituída pelos Membros Hilário e Acampamento Velho (SILVEIRA, 2017).
Formação Santa Bárbara	Trata-se de uma unidade inferior do Grupo Camaquã, que reúne cerca de 4000 m de depósitos sedimentares posteriores ao vulcanismo da Formação Crespos, apresentando "clastos de composição variável" como rochas ígneas, metamórficas, vulcânicas e outras rochas sedimentares (PELOSI, 2001, p.42). A formação é datada do final do Neoproterozóico e abrange as áreas da Serra do Segredo, vales e Serras dos Lanceiros, Serra de Santa Bárbara e minas do Camaquã no município de Caçapava do Sul.
Formação Rio Bonito	Tal Formação é composta por arenitos muito finos, maciços, apresentando conglomerado basal de cerca de 0,02 m com contato abrupto com a Formação Itararé (OLIVEIRA, 2017).
Formação Hilário	A Formação Hilário está presente na porção sudoeste do município de Caçapava do Sul, que vai em direção a Lavras do Sul. Ela é formada por três fácies: vulcânica, advinda de lavas andesíticas; conglomerática formada por orto e paraconglomerados; e pelítica que é composta por argilitos, siltitos e litoarenitos (OLIVEIRA, 2017).

Fonte: Oliveira, 2017.

6.4 Domínios Hidrogeológicos e Sistemas Aquíferos

Domínios hidrogeológicos são conceituados como: “[...]entidades resultantes do agrupamento de unidades geológicas com afinidades hidrogeológicas, tendo como base principalmente as características das rochas” (BOMFIM, 2010, p. 4). Por sua vez, sistemas aquíferos consistem em uma “subdivisão vertical ou horizontal de um grande sistema aquífero” (TELLES, 2016, p. 21), que tem como base a “litologia, estrutura, estratigrafia, potenciometria, geoquímica e hidráulica” (TELLES, 2016, p. 21).

Bomfim (2010), subdividiu de forma simplificada os domínios hidrogeológicos brasileiros em sete: Formações Cenozóicas, Bacias Sedimentares, Poroso/Fissural, Metassedimentos/Metavulcânicas, Vulcânicas, Cristalino, Carbonatos - Metacarbonatos e os associou aos seus respectivos Sistemas Aquíferos. A Tabela 4 apresenta de forma mais detalhada a descrição de cada domínio hidrogeológico associado ao seu sistema aquífero.

Tabela 4 - Descrição dos domínios hidrogeológicos associados a seus respectivos Sistemas Aquíferos

Domínios Hidrogeológicos	Sistemas Aquíferos	Descrição
Formações Cenozóicas	Aquífero Poroso	Tratam-se do pacote de rochas sedimentares que cobrem rochas mais antigas (BOMFIM, 2010). Estão associadas a aquíferos mais porosos que podem gerar poços tubulares com alta vazão.
Bacias Sedimentares	Aquífero Poroso	Engloba as seqüências de rochas sedimentares, e não estão necessariamente associadas ao vulcanismo presente nas feições geotectônicas homônimas-bacias sedimentares (TELLES, 2016). São domínios com grande potencial instituindo importantes reservatórios, visto que possuem elevada porosidade e permeabilidade (BOMFIM, 2010)
Poroso/ Fissural	Aquífero Misto	Também ocorre em pacotes de rochas sedimentares, que não tenha sofrido metamorfismo ou que tenha um metamorfismo de baixo grau. São aquíferos mistos, ou seja, granular com porosidade primária e fissural com porosidade secundária, apresenta de baixo a médio potencial hidrogeológico (BOMFIM, 2010)
Metassedimentos/ Metavulcânicas	Aquífero Fissural	Estão relacionadas a litologias como xistos, filitos, metarenitos, metassiltitos, dentre outros. Não apresenta porosidade primária, logo todo o potencial hidrogeológico está relacionado a porosidade secundária. Ou seja, a água percola através de fissuras e fraturas e geralmente resulta em reservatórios de baixa vazão com certo grau de salinidade(BOMFIM, 2010).
Vulcânicas	Aquífero Fissural	Abrange rochas vulcânicas e metavulcânicas com baixo grau metamórfico (TELLES, 2016). Também apresentam comportamento fissural através de fraturas e fendas relacionadas a porosidade secundária. Apresenta um maior potencial hidrogeológico se comparado com as metavulcânicas/metassedimentos.
Cristalino	Aquífero Fissural	Este domínio é litologicamente composto por granitoides, granulitos, gnaisses, rochas básicas, dentre outras (TELLES, 2016). A água está em função de fendas e fraturas, logo os depósitos são esparsos e com baixo potencial potencial hidrogeológico e baixas vazões (TELLES, 2016).
Carbonatos/ Metacarbonatos	Aquífero Fissural	Predomínio litológico de rochas calcária, calcárias magnesianas e dolomíticas. A dissolução cársica provoca fendas e fraturas, cavernas que servem como porosidade e permeabilidade secundária (BOMFIM, 2016). Os reservatórios ocorrem de forma heterogênea, com águas carbonatadas (BOMFIM, 2016)

Fonte: Modificado de Telles, 2016

De acordo com Viero; Silva (2010), o projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (MACHADO; FREITAS, 2005) resultou em um mapa de escala 1:750.000 (Figura 12), no qual os aquíferos do estado, foram subdivididos em 21 sistemas que foram classificados em seis grupos:

Grupo 1: Aquíferos que possuem alta a média possibilidade para águas subterrâneas em rochas e sedimentos com porosidade intergranular

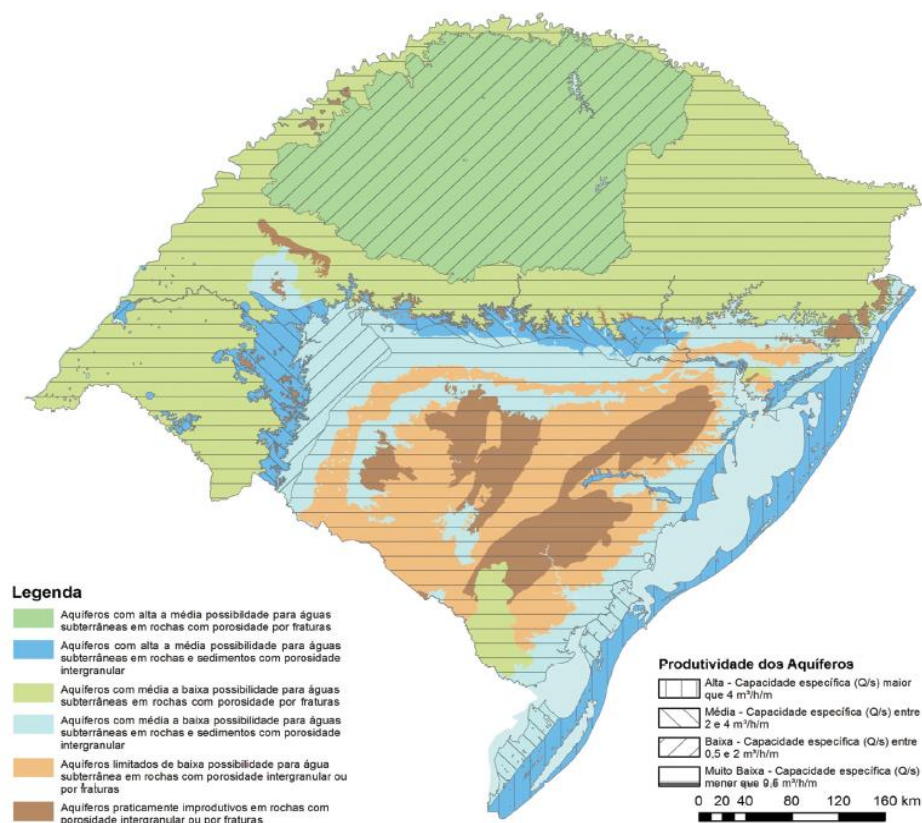
Grupo 2: Aquíferos com média a baixa possibilidade para as águas subterrâneas em rochas e sedimentos com porosidade intergranular

Grupo 3: Aquíferos com alta a média possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fratura

Grupo 4: Aquíferos com média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fraturas

Grupo 5: Aquíferos limitados de baixa possibilidade para água subterrânea em rochas com porosidade intergranular ou por fraturas Grupo 6: Aquíferos praticamente improdutivos em rochas com porosidade intergranular ou por fraturas. (CPRM, 2010, p. 74).

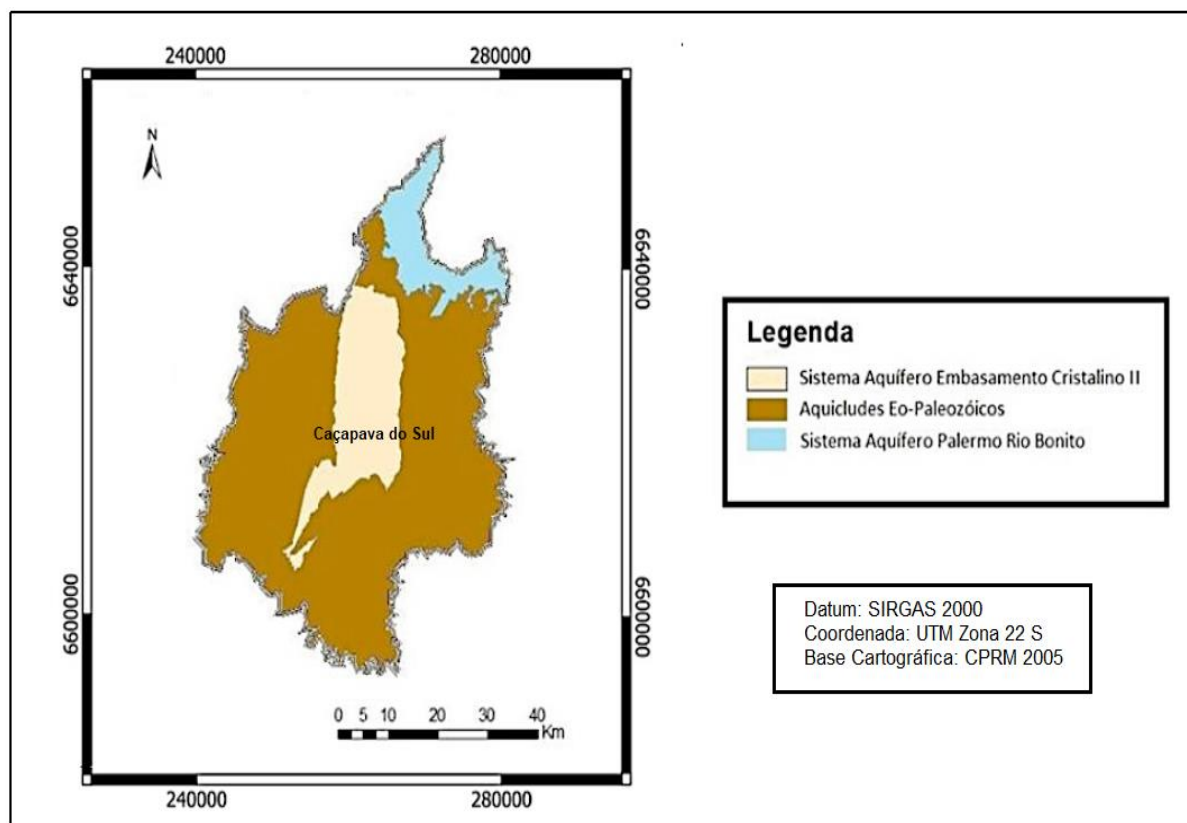
Figura 12 - Sistemas Aquíferos do estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: CPRM, 2010

Dessa forma, o município de Caçapava do Sul pode ser inserido em três sistemas aquíferos e classificado em três grupos (Figura 13): Palermo/Rio Bonito, pertencente ao grupo 4; Embasamento Cristalino II, grupo 5; e Aquicludes Eo-Paleozóicos, grupo 6 (OLIVEIRA, 2017).

Figura 13 - Sistemas Aquíferos de Caçapava do Sul



Fonte: Adaptado de Oliveira (2017).

Sistema Aquífero: Palermo/Rio Bonito - possui média a baixa possibilidade para águas subterrâneas e contorna o alto do Escudo Sul-Riograndense (VIERO; SILVA, 2010). Tal sistema apresenta arenitos com textura fina variando para média de coloração cinza esbranquiçada e se encontra intercalado com siltitos argilosos de coloração cinza escura (VIERO; SILVA, 2010). Apresenta capacidade de vazão média inferior a 0,5 m³/h/m e sua salinidade está em função das áreas aflorantes (VIERO; SILVA, 2010).

Sistema Aquífero: Embasamento Cristalino II - Tratam-se de aquíferos limitados com baixa possibilidade para a água subterrânea. Ele ocorre em uma área de cerca de 66.538 km² e abrange cidades como Bagé, Caçapava do Sul, Encruzilhada do Sul, e parte de Porto Alegre (MACHADO; FREITAS, 2005). As litologias desse sistema são representadas por granitos, xistos, gnaisses, filitos e calcários metamorfizados (VIERO; SILVA, 2010). Quando perfurado, o sistema de embasamento cristalino II resulta frequentemente em poços secos (VIERO; SILVA, 2010). Nas áreas em que ocorrem sedimentos cenozóicos de origem marinha, as

águas podem apresentar mais sais dissolvidos (VIERO; SILVA, 2010). Em contrapartida, águas captadas através de rochas de origem granítica, podem exibir aumento de flúor (MACHADO; FREITAS, 2005).

Sistema Aquífero: Aquicludes Eopaleozoicos - Tratam-se de aquíferos praticamente improdutivos. Eles se manifestam na região centro leste do Embasamento Cristalino do estado do Rio Grande do Sul, abrangendo os municípios de Caçapava do Sul, Bagé, Lavras do Sul e Vila Nova do Sul (MACHADO; FREITAS, 2005). As litologias predominantes neste sistema são os arenitos de textura fina e média, de coloração róseos avermelhados, com cimentação ferruginosa, calcítica e silicosa (MACHADO; FREITAS, 2005). Devido aos intensos processos de metamorfismo e a forte diagênese, eles se encontram muito endurecidos com uma baixa porosidade e péssimas condições de armazenamento (VIERO; SILVA, 2010). Os poços perfurados neste sistema, geralmente são secos ou possuem vazão insignificante (VIERO; SILVA, 2010).

6.5 Geomorfologia

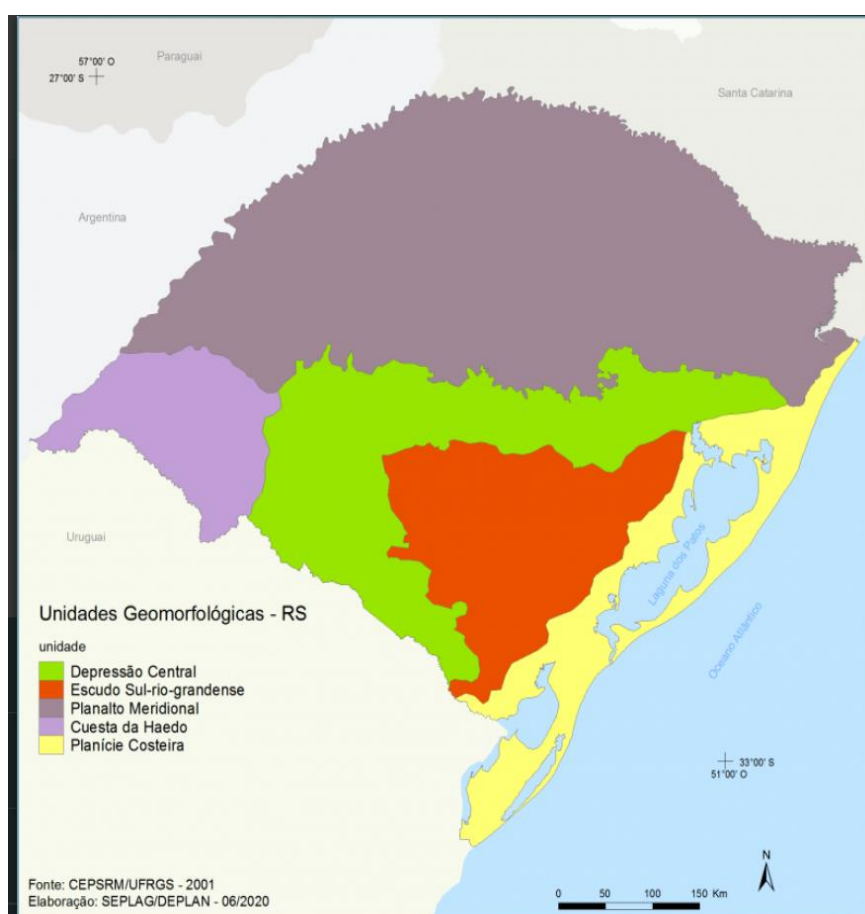
Praticamente todos os sistemas aquíferos do estado estão sob influência da variabilidade das formas de relevo (SECRETARIA DE PLANEJAMENTO SEGURANÇA E GESTÃO, 2020). Dessa forma, Lisboa *et al.* (2004) fazem uma correlação entre os sistemas aquíferos e as unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul (Tabela 5; Figura 14).

Tabela 5 - Associação Sistemas Aquíferos com as unidades geomorfológicas

Período	Sistema Aquífero	Domínio Morfoestrutural	Regiões Geomorfológicas	Unidade Geomorfológica
Cenozóico	Planície Costeira	Depósitos sedimentares	Planície Costeira Externa Planície Costeira Interna	Planície Marinha Planície Lagunar Planície Alúvio Coluvionar
	Tupaciretã	Bacias e coberturas sedimentares	Planalto das Missões	Planalto Santo Ângelo
Mesozóico	Serra Geral	Bacias e coberturas sedimentares	Planalto das Araucárias Planalto das Missões Planalto da Campanha	Planaltos: Campos Gerais; Dissecado dos Rios Iguassú/Uruguai; Santo Ângelo e Uruguaina Serra Geral e Patamares da Serra Geral
	Guarani	Bacias e coberturas sedimentares	Parte Confinado: Planalto das Araucárias; Planalto das Missões; Planalto da Campanha Parte livre: Depressão Central Gaúcha;	Parte Confinado: Planalto de Uruguaina; Planalto de Santo Ângelo; Planalto dos Campos Gerais; Planalto Dissecado do Rio Uruguai; Serra Geral; Parte livre: Depressão dos Rios Ibicuí e Negro; Depressão do Rio Jacuí
Neopaleozóico	Rio Bonito	Bacias e coberturas sedimentares	Depressão Central Gaúcha	Depressão dos Rios Ibicuí e Negro; Depressão Rio Jacuí
Eopaleozóicos	Guaritas/Santa Bárbara	Embasamento em Estilos Complexos	Planalto Sul Rio Grandense	Planaltos Residuais Canguçu/ Caçapava do Sul
Pré Cambrianos	Granitóides	Embasamento em Estilos Complexos	Planalto Sul Rio Grandense	Planaltos Residuais Canguçu/ Caçapava do Sul e Planalto Rebaixado Marginal
	Mármore	Embasamento em Estilos Complexos	Planalto Sul Rio Grandense	Planalto Rebaixado Marginal

Fonte: Lisboa *et al.* (2004).

Figura 14 - Unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul



Fonte: Secretaria de Planejamento Segurança e Gestão (2020), adaptado de CEPSSRM/UFRGS (2001).

O trabalho de Lisboa *et al.*, (2004), relacionam os mais variados Sistemas Aquíferos com suas respectivas unidades geomorfológicas de todo estado (Tabela 7). Contudo, para os fins deste trabalho, o enfoque será nas unidades e Sistemas Aquíferos que abrangem o Escudo Sul-rio-grandense. Logo, esses autores vinculam os Sistemas Aquíferos com as unidades Geomorfológicas da seguinte forma:

Sistemas Aquífero Neopaleozóico Rio Bonito: Este Sistema circunda a borda do escudo Sul-Rio-Grandense, a partir da Coxilha Pedras Altas, a suldoeste, até o Arroio dos Ratos a Nordeste. Apresenta macroformas de relevo do tipo mesa e *cuesta* que mergulham no sentido oposto ao relevo do Escudo. Tem duas unidades geomorfológicas:

- Depressão dos Rios Ibicuí-Negro: trata-se da unidade geomorfológica com maior potencial do Sistema Aquífero Rio Bonito, tanto na porção livre como na confinada, respectivamente, nos municípios de Candiota - através da Depressão do Rio Negro, como em São Gabriel, através da Depressão do Rio Ibicuí;
- Depressão do Rio Jacuí: nesta unidade geomorfológica, dá-se uma importante área de recarga nas bacias dos rios Irapuá e Capané, no município de Cachoeira do Sul, tanto na sua parte livre como na confinada (LISBOA et al., 2004)

Sistemas Aquífero Eopaleozóico Guaritas - Santa Bárbara: este Sistema se localiza, geralmente, em áreas altas de divisores de águas. Apresenta como unidade geomorfológica:

- Planaltos Residuais Canguçu-Caçapava do Sul: exhibe áreas altas de divisores de águas, além de um alto grau de litificação condicionando, ao Sistema Aquífero Guaritas-Santa Bárbara, um potencial que varia de baixo a muito baixo. Contudo, em “zonas de falha, tanto a situação topográfica como as condições de poro-permeabilidade podem se alterar” (LISBOA et al., 2004, p.23), formando áreas que propiciam o armazenamento de águas subterrâneas (LISBOA, et al., 2004).

Sistemas Aquíferos Pré-Cambrianos Granitóides: neste sistema ocorrem duas unidades geomorfológicas:

- Planaltos Residuais Canguçu-Caçapava do Sul: esta unidade, trata-se de uma área de recarga do Sistema Aquífero Granitoide, que vai alimentá-lo na unidade seguinte;
- Planalto Rebaixado Marginal: nesta unidade, situam-se as melhores ocorrências de águas subterrâneas do Sistema Aquífero Granitóides, pois estão vinculadas a espessos saprolitos e a “zonas de falha reativadas por esforços distensivos” (LISBOA

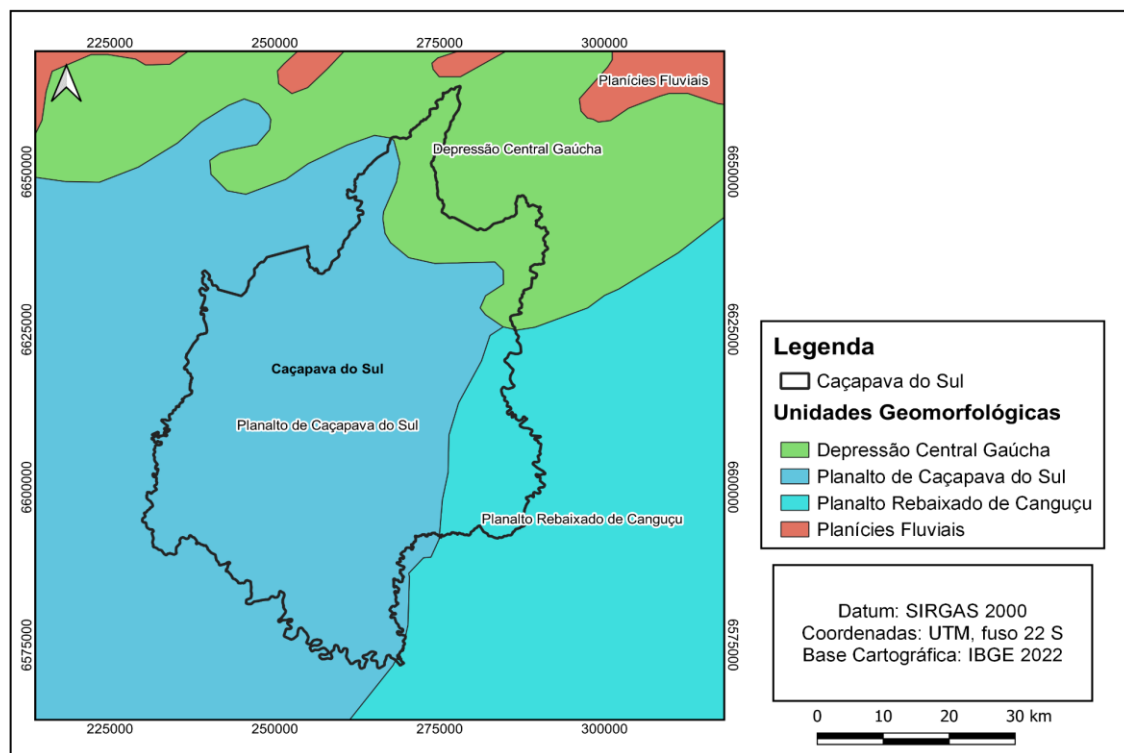
et al., 2004, p. 24). Assim o potencial aquífero varia de médio, nas zonas fraturadas, a muito baixos, fora das zonas fraturadas. (LISBOA et al., 2004).

Sistemas Aquíferos Pré-Cambrianos Mármore: este sistema, embora exiba, uma ocorrência restrita, apresenta um bom potencial aquífero. Tem como unidade geomorfológica:

- Planalto Rebaixado Marginal: esta unidade exibe estreita conexão com o Sistema Aquífero Granitóides. A unidade Planaltos Residuais Canguçu-Caçapava do Sul, do Sistema anterior, serve como área de recarga do Sistema Aquífero Mármore, bem como, o Sistema Aquífero Mármore pode servir como área de recarga livre do Sistema Aquífero Granitóide (LISBOA et al., 2004)

Ao se fazer um recorte para o município de Caçapava do Sul, a cidade se encontra quase que totalmente inserida na região geomorfológica do Planalto Sul-Rio-Grandense, exibindo quatro unidades geomorfológicas: planície Alúvio- Coluvionar, Depressão do Rio Jacuí, Planaltos Residuais Canguçu-Caçapava do Sul e Planalto Rebaixado Marginal (XAVIER et al., 2021) (Figura 15).

Figura 15 - Unidades geomorfológicas do município de Caçapava do Sul



Fonte: Autora.

7 VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS

Programas e políticas ambientais, visando a melhoria da qualidade das águas tornam-se cada vez mais comuns. Assim, a adoção de medidas remediadoras que garantam a preservação, baseadas na legislação vigente de corpos hídricos superficiais ou subterrâneos, estão sendo cada vez mais empregadas por gestores públicos (CRISPIM, 2016).

De acordo com Hirata (1994), é muito mais conveniente proteger o aquífero do que remediá-lo. Para o autor, a vulnerabilidade de um aquífero pode ser definida sob vários aspectos, e, por exemplo, as ações antrópicas têm o maior peso para a contaminação de aquíferos, mas o contexto no qual ele está inserido também influencia na vulnerabilidade do mesmo (HIRATA, 1994).

Hirata (1994), ao contextualizar o que seria a vulnerabilidade de um aquífero, no âmbito técnico-científico, define que a vulnerabilidade do aquífero está relacionada com suas características hidrogeológicas e geoquímicas, sendo um aquífero muito vulnerável aquele que apresenta maior dificuldade de ser descontaminado.

Para entender como funciona o processo de descontaminação de um aquífero é preciso conhecer o comportamento dos contaminantes em subsuperfície (OLIVEIRA, 2017). Contaminantes orgânicos podem ser subdivididos em miscíveis e imiscíveis em água, enquanto que contaminantes inorgânicos podem ser classificados em solúveis ou não-solúveis em água (OLIVEIRA, 2017). Dessa forma, o método GOD proposto por Foster *et al.* (1988), visa mapear o grau de vulnerabilidade natural dos aquíferos bem como apresentar os riscos potenciais de poluição relacionado com a carga contaminante (FOSTER *et al.*, 1988).

O método GOD avalia a vulnerabilidade de um aquífero conforme três parâmetros: tipo de aquífero (*Groundwater occurrence*); litologia da zona não saturada (*Overall of lithology of aquiperm*) e a profundidade da água subterrânea (*Depth of groundwater*), a letra inicial de cada parâmetro forma o acróstico GOD (HIRATA, 1994). A análise dos três parâmetros resulta em um índice de vulnerabilidade do aquífero.

7.1 Trabalhos anteriores aplicados

O método GOD apresenta um sistema de avaliação de vulnerabilidade do aquífero, muito vantajoso, visto que não necessita de muitos dados para se obter o

resultado almejado (CUTRIM; CAMPOS, 2010). Trata-se de um método de baixo custo que utiliza dados preexistentes para aferir a vulnerabilidade do aquífero (CUTRIM; CAMPOS, 2010). O método GOD pode ser subdividido em quatro etapas principais: grau de confinamento da água subterrânea, ocorrência de estratos de cobertura- características litológicas e grau de consolidação da zona não saturada, distância da água subterrânea a superfície do terreno e por fim após o cálculo envolvendo as etapas anteriores, obtém-se o índice da vulnerabilidade (FOSTER et al., 2006).

Nos trabalhos de Crispim *et al.* (2016), Batista *et al.* (2017) e Hirata (1994), são apresentadas as diferentes situações em que o método GOD foi aplicado. Crispim et al. (2016) exibem a forma mais tradicional do método e realizam toda a execução empírica de maneira remota com dados retirados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). Ao final apresentam os resultados em forma de mapa.

Batista *et al.* (2017), realizam o trabalho de forma mais empírica com saídas técnicas a campo, nas quais faz o estudo de 17 poços que compõem a bacia hidrográfica do córrego Guariroba em Campo Grande, MS. Os autores realizaram a primeira etapa com pesquisa de campo, visto que os poços estudados pertencem a APA (Área de Proteção Ambiental). A segunda etapa do GOD, também, foi aferida por meio de trabalho de campo, no qual foram coletadas amostras de solos próximas aos poços da área de estudo a fim de aferir as características litológicas e grau de consolidação da zona não saturada. As amostras foram analisadas conforme o método de Bouyoucos (1926). Em uma terceira fase foram colocados piezômetros nos poços durante meses, a fim de analisar a distância da água subterrânea até a superfície. Por fim, o índice de vulnerabilidade foi calculado e apresentado em forma de mapa.

Hirata (1994) utilizou o método Risco por Sistemas de Saneamento In Situ (RSS), que é uma adaptação do método GOD. Este estudo teve como objetivo priorizar áreas, nas quais o saneamento in situ produzia maiores cargas contaminantes.

Em Caçapava do Sul, os trabalhos de Arruda *et al.* (2017) e Oliveira (2017), também realizam a avaliação do risco de contaminação natural dos aquíferos através do método GOD. Nesses trabalhos, o método é aplicado em todos os poços do município cadastrados no SIAGAS. Logo, assim como Crispim *et al.* (2016), todos os

dados são obtidos de maneira remota. Por fim, o índice é calculado e apresentado em forma de mapa.

8 MATERIAIS E MÉTODOS

As vilas rurais: Pereirinha, São José e Capão das Galinhas foram selecionadas por estarem mais próximas da área urbana de Caçapava do Sul e devido ao abastecimento público de água não chegar até elas. Sendo as mesmas abastecidas exclusivamente por poços particulares ou comunitários. Foi informado pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), que nessas vilas rurais, o líder comunitário é quem detém as informações a respeito dos poços do local. Dessa forma, foi feito um levantamento dos poços através de conversas informais com os líderes de cada Vila. Estes, por sua vez, entravam em contato com os moradores para solicitar as permissões, a fim de se fazer esse mapeamento, visto que a maioria dos poços se encontravam em propriedades particulares.

Assim, a pesquisa foi desenvolvida em duas etapas gerais: a visita técnica realizada em cada poço permitido, e a compilação e integração dos dados obtidos em campo. Para a visita técnica foi necessário dois dias, um veículo para deslocamento e quatro pessoas para os levantamentos de campo. Para a etapa pós-campo, foi realizada uma compilação e integração de dados com base na bibliografia existente, gerando um mapa de vulnerabilidade natural que abastece as três vilas rurais através do software livre *Qgis 3.16.15*.

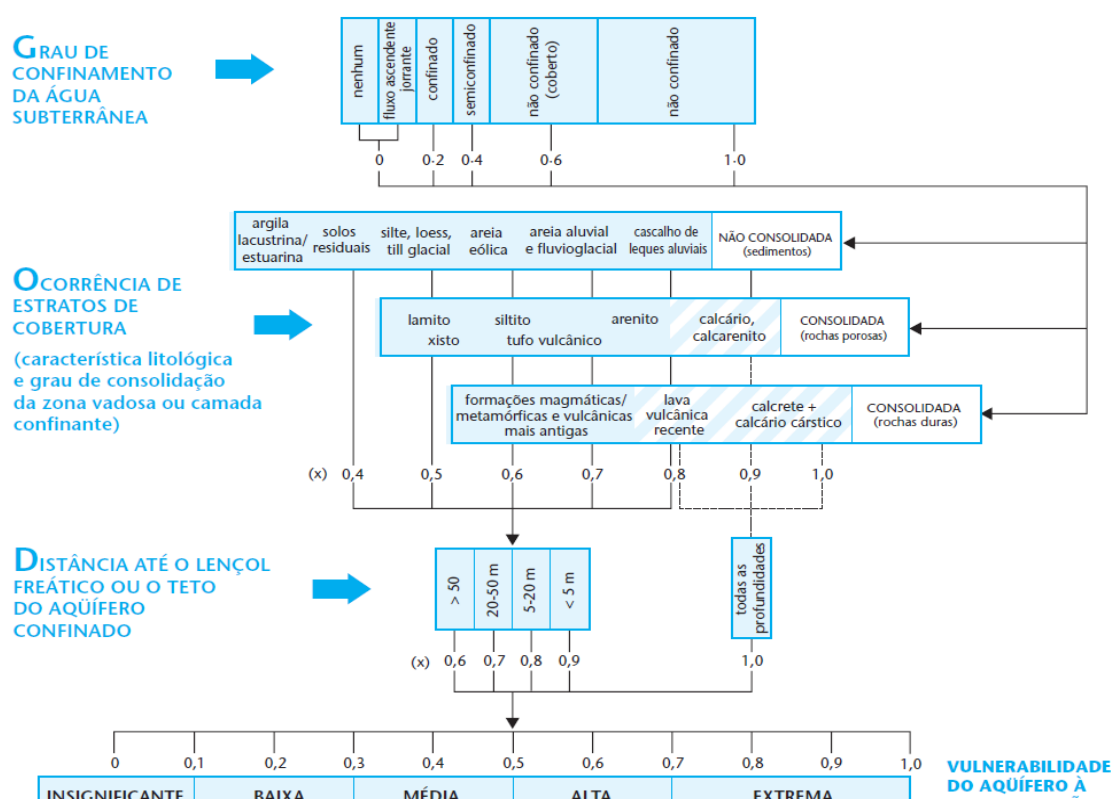
Ao chegar em cada poço foram:

- Coletada as coordenadas do local, através do GPS Garmin, no sistema WGS84;
- Medida a dimensão dos poços por meio de uma trena de fita;
- Categorizados suas naturezas em: escavado (feito manualmente) ou tubular (perfurado com máquina);
- Foi averiguado se havia afloramentos próximo aos poços, na presença deles eram retiradas amostras, através de uma marreta, e feita uma descrição macroscópica da rocha com uma lupa de mão com aproximação de 30 vezes.

As demais etapas de campo, foram realizadas a fim de se obterem os dados para aplicar o método GOD.

A determinação da vulnerabilidade do aquífero foi desempenhada pelo uso do método GOD. Os parâmetros necessários para o desenvolvimento do método são três: G - grau de confinamento, O - ocorrência de estratos de cobertura litológica penetrados e D - nível estático ou nível da água (Foster *et al.*,2006). Dessa forma, a pesquisa foi subdividida conforme as quatro fases propostas no esquema de Foster *et al.* (2006) (Figura 16).

Figura 16 - Esquema de sistema GOD



Fonte: Foster *et al.*, 2006

1ª Fase: Grau de Confinamento da água subterrânea

Foi averiguado o grau de confinamento da água subterrânea, através da análise da natureza dos poços (vide seção 4.3.1). Assim, poços construídos de forma manual, geralmente pelo próprio proprietário, não atingem uma profundidade muito grande (VASCONCELOS, 2015). Já os poços tubulares são perfurados através de maquinário específico, normalmente, são mais profundos e na maioria das vezes são usados para captar água de aquífero confinado e/ ou semi confinado (VASCONCELOS, 2015).

2ª Fase: Ocorrência de Estratos de Cobertura

Para a verificação da ocorrência de estratos de cobertura, foi realizada uma descrição morfológica dos perfis de solos, através de perfuração com trado holandês.

Os trados do tipo holandês do tipo TP - 3 (polegadas), são confeccionados inteiramente com aço inoxidável, com caçamba de 20 cm e diâmetro de três polegadas - 7,62 cm - para coletas de solo de 20 em 20 cm, apresentando cabo prolongável através de hastes rosqueáveis com 40 cm de comprimento e gravadas de 20 em 20 cm. Para esta pesquisa, foi utilizado um cabo prolongado de 120 cm (Figura 17).

Figura 17 - Trado holandês TP - 3 (polegadas)



Fonte: Autora.

A descrição do solo no campo engloba o registro de suas características, através do estudo do seu perfil em meio natural (EMBRAPA, 2015). Assim, para a descrição morfológica foi utilizado o Manual de descrição e coleta de solo em campo de Lemos e Santos (1996) e as orientações da EMBRAPA (2015).

Horizonte e/ou camada

A definição de horizonte e camada, deve ser compreendida como uma seção de constituição mineral ou orgânica, à superfície do terreno ou paralela a esta, composta de propriedades advindas de processos formadores do solo que lhe atribui

características de inter-relacionamento com outros horizontes pertencente ao perfil, dos quais se distingue em virtude da variedade de propriedades (LEMOS; SANTOS, 1996).

Símbolos e sufixos de horizontes e camadas

As letras minúsculas são utilizadas como sufixos para qualificar as diferenças específicas dos horizontes ou camadas principais, diagnósticos ou não. As letras maiúsculas são utilizadas para indicar os horizontes ou camadas principais, horizontes de transição ou combinações destes (Tabela 6) (LEMOS; SANTOS, 1996).

Tabela 6 - Símbolos e sufixos de horizontes e camadas

Símbolos de horizontes	Descrição
O	cobertura de constituição orgânica, sobreposto a solos minerais, pode apresentar saturação de água (LEMOS; SANTOS, 1996).
H	constituição orgânica, superficial ou não, composto por resíduos acumulados ou em acumulação devido a estagnação de água (LEMOS; SANTOS, 1996).
A	horizonte mineral, pode ser superficial ou em sequência de outro horizonte podendo ser O ou H, bem como apresenta matéria orgânica decomposta principalmente de elementos minerais como Fe, Al e argila (LEMOS; SANTOS, 1996)
AB/AE	horizonte subsuperficial com características de horizontes A -B ou A-E (LEMOS; SANTOS, 1996)
AB/AE/AC	horizonte mesclado com características de horizontes A- B ou A - E ou A-C, todavia com predomínio de material A (LEMOS; SANTOS, 1996)
AC	subsuperficial com dominância do horizonte A (LEMOS; SANTOS, 1996)
E	horizonte mineral, exibe perda de argilas silicatadas, óxidos de ferro e alumínio ou matéria orgânica, com concentração residual de areia e silte constituído de quartzo e de outros minerais resistentes (LEMOS; SANTOS, 1996)
EA/EB	horizonte subsuperficial com domínio de E e algumas características de A ou B (LEMOS; SANTOS, 1996)
E/A	mescla entre E-A, mas com predomínio de E (LEMOS; SANTOS, 1996)
E/Bt	exibe lamelas espessas (Bt) inserida no horizonte E (LEMOS; SANTOS, 1996)
BA/BE	horizonte subsuperficial com domínio de B e algumas características de A ou E (LEMOS; SANTOS, 1996)
B/A ou B/E	horizonte mesclado com partes de B-A ou B-E, mas como predomínio de B (LEMOS; SANTOS, 1996)
B	horizonte com acúmulo de argila, Fe, Al, Si, húmus, CaCO ₃ , CaSO ₄ ou de perda de CaCO ₃ (LEMOS; SANTOS, 1996).
BC	horizonte subsuperficial com domínio de características de B e algumas de C (LEMOS; SANTOS, 1996)
B/C	mescla de B e C, mas com domínio de B (LEMOS; SANTOS, 1996)
CB/CA	horizonte subsuperficial com domínio de C e algumas características de B ou A (LEMOS; SANTOS, 1996)
C	horizonte mineral inconsolidado sob o solum, pouco afetado pelos processos pedogenéticos (LEMOS; SANTOS, 1996)
F	horizonte mineral consolidado sob A, E ou B rico em Fe e Al e pobre em matéria orgânica ((LEMOS; SANTOS, 1996)
R	horizonte mineral de material consolidado, forma o substrato rochoso contínuo ou praticamente contínuo (LEMOS; SANTOS, 1996)

Fonte: Lemos; Santos (1996).

Profundidade e espessura dos horizontes e camadas

Após a determinação dos horizontes ou camadas, verifica-se as medidas de suas profundidades e espessuras (LEMOS; SANTOS, 1996).

Transição entre os horizontes

De acordo com Santos e Lemos (1996), trata-se da faixa de separação dos horizontes ou camadas. Essa transição pode ser:

- Abrupta: faixa de separação menor que 2,5 cm
- Clara: faixa de separação em torno de 2,5 e 7,5 cm
- Gradual: faixa de separação em torno de 7,5 e 12,5 cm
- Difusa: faixa de separação maior que 12,5 cm

Quanto a topografia, a transição é categorizada em:

- Plana: faixa de separação horizontal e paralela à superfície do solo;
- Ondulada: faixa de separação é sinuosa, apresentando desníveis;
- Irregular: faixa de separação apresenta desníveis em relação a um plano horizontal;
- Quebrada: faixa de separação é descontínua (LEMOS; SANTOS, 1996)

Cor

A verificação da cor do solo é obtida através da comparação com as cores da escala de Munsell (Anexo) (LEMOS; SANTOS, 1996).

Granulometria e textura

A granulometria engloba todas as frações (tabela 7) ou partículas de solo, desde as mais finas, como as argilas, até as mais grossas, como calhaus e cascalhos (LEMOS; SANTOS, 1996; EMBRAPA, 2015).

Tabela 7 - Diâmetro das partículas do solo

Granulometria	Diâmetro
Argila	< 0,002 mm
Silte	0,002 - 0,005 mm
Areia fina	0,05 - 0,2 mm
Areia grossa	0,2 - 2 mm
Cascalhos	2 mm - 2 cm
Calhaus	2 cm -20 cm
Matacões	> 20 cm

Fonte: Lemos; Santos (1996).

Já a textura foi determinada através da avaliação das amostras de solo molhadas, por meio de sensação de tato, esfregando-se a amostra entre os dedos após amassada e homogeneizada, tendo a areia sensação de atrito, o silte de sedosidade e a argila de plasticidade e pegajosidade, conforme indicado por Lemos e Santos (1996) e EMBRAPA (2015).

Consistência e Compacidade

A consistência está relacionada às manifestações das forças físicas de coesão e adesão verificadas no solo (LEMOS; SANTOS, 1996). Ela foi determinada em amostra pulverizada e homogeneizada, com conteúdo de água acima ou na capacidade de campo, onde se definiu a plasticidade e a pegajosidade (LEMOS; SANTOS, 1996):

- a) Plasticidade: propriedade do solo que apresenta material que muda continuamente de forma, através da força aplicada. Ela foi aferida em campo amassando a amostra e posteriormente, rolando-a entre os dedos indicador e polegar, formando um cilindro de cerca de 4 cm de comprimento, sendo o grau de adesão categorizado em (LEMOS; SANTOS, 1996):
- b) Pegajosidade: propriedade que exhibe a massa de solo de aderir em outros objetos. A pegajosidade foi aferida em campo através da compressão entre o indicador e o polegar de uma porção do solo úmido e homogeneizado (LEMOS; SANTOS, 1996):

Já a compacidade caracteriza a associação de consistência firme e arranjo fechado das partículas, podendo ser classificada em: compacto, muito compacto e extremamente compacto (LEMOS; SANTOS, 1996).

3ª Fase: Distância da Água Subterrânea à Superfície do Terreno

Nesta fase foi determinada a distância da água subterrânea até a superfície do terreno, ou seja, o nível estático dos poços. A medição foi aferida a partir de um medidor de nível, para poço artesiano, do tipo fita numerada de 200 metros de comprimento e marcações de 50 em 50 cm (Figura 18).

Figura 18 - Medidor de nível tipo fita



Fonte: Autora

4ª Fase: Índice de Vulnerabilidade

Nesta última etapa, foi obtido o índice final, através da multiplicação dos resultados atingidos nas fases anteriores. Esse índice traz informações sobre o estado de vulnerabilidade que se encontra o aquífero, de acordo com o esquema proposto por Foster *et al.* (2006) (Figura 16). Por fim, o índice de vulnerabilidade encontrado nesta fase foi apresentado em forma de mapa confeccionado através do *software* livre Qgis versão 3.16, onde se aplicou o GOD em toda a área de estudo, interpolando os resultados encontrados no campo através da ferramenta IDW elevado a segunda potência do *software*.

9 RESULTADOS E DISCUSSÕES

9.1 Resultados obtidos a partir da análise de campo

No total, conseguiu-se autorização para visitar sete poços: quatro na Vila Pereirinha, um na Vila São José, e dois no Capão das Galinhas. Os poços foram numerados conforme a ordem de visita como 01, 02, 03, 04, 05, 06 e 07. Os poços da Vila Pereirinha estavam situados em propriedades particulares e a visita foi realizada no dia 02/06/2022. Por sua vez, o poço da Vila São José, refere-se ao poço comunitário da Vila, que apesar de se encontrar em propriedade privada, abastece a maior parte do vilarejo. Já no Capão das Galinhas os dois poços que se teve acesso estão localizados na mesma propriedade. As visitas nessas localidades foram realizadas no dia 18/06/2022. Em relação aos poços foi possível observar:

9.1.1 Poço 01

Apresenta coordenadas geográficas UTM: 258428 mE/6615884 mS, zona 22 S, altitude de 414 metros, se encontra a jusante de uma declividade do relevo, e situa-se a cerca de 250 metros da casa do proprietário. Trata-se de um poço escavado com dimensões de 2,5 m x 2,5 m (Figura 19), de formato poligonal, podendo ser classificado como cacimbão (vide seção 4.3.1) e com o nível estático de 32 cm. Há a presença de afloramentos do tipo bloco rolado (Figura 19) e lajeado (Figura 20), a sudoeste e a noroeste do poço, respectivamente, onde tais afloramentos exibem uma coloração cinza em superfície intemperizada.

Figura 19 - Poço 01



Fonte: Autora.

As amostras apresentam uma coloração mais avermelhada na superfície in situ, exibindo uma textura fanerítica e milonitizada com cerca de 30% de cristais transparentes de quartzo, 40% de fenocristais de feldspato alcalino de coloração rosa avermelhada, 25% de plagioclásio e 5 % de minerais máficos que se estende de forma pontual pela amostra. Os minerais apresentam estiramento e orientação. Possivelmente, trata-se de amostras de granito milonitizado.

O granitoide do tipo lajedo (Figura 20), se encontra parcialmente encoberto pelo solo. Contudo, nota-se a presença de fraturas sub-horizontais e paralelas entre si, que se estendem por toda a rocha com *dip direction* de 87°.

Figura 20 - Afloramento de granito do tipo lajedo próximo ao Poço 01



Fonte: Autora

O grau de confinamento da água subterrânea do Poço 01 foi classificado como aquífero livre coberto, visto que o poço em questão capta a água em uma profundidade baixa, tendo como cobertura os sedimentos inconsolidados. Por sua vez, a ocorrência de estrado de cobertura foi averiguada com trado holandês e nos primeiros 20 cm de profundidade, nota-se a presença de dois horizontes A e E (Figura 21). Conforme a tabela de Munsell (vide anexos), o horizonte A exibe uma coloração bruno-escuro e o E mais amarelo-brunado. Pode-se dizer ainda que há um horizonte A/E, inserido no A, com características de A e E (Figura 21). Assim, a transição entre os horizontes ocorre de forma clara e irregular entre A e A/E, e de forma abrupta e ondulada entre A e E (Figura 21).

Figura 21 - horizontes encontrados nos primeiros 20 cm do poço 01



Fonte: Autora.

O horizonte A exibe uma granulometria variada com a maior parte composta de silte e argila, mas ainda se encontra uma fração de areia, e uma textura mais sedosa ao toque. Em contrapartida, o horizonte E apresenta uma granulometria majoritariamente composta por areia, com o silte e argila sendo menos representativos, e com uma textura que ao toque, dá a sensação de atrito (Figura 22). A consistência do horizonte A se apresenta ligeiramente plástico e não pegajoso, já o horizonte E se mostra não plástico e ligeiramente pegajoso (Figura 22). Ambos são horizontes compactos.

Figura 22 - Textura de horizonte E poço 01



Fonte: Autora.

Dos 20-50 cm de profundidade, encontrou-se só o horizonte E, no qual foi identificado a presença de possíveis goethitas, devido a tonalidade amarelo-brunado ficar mais mosqueada. Já dos 50-80 cm de profundidade, seguiu-se encontrando o horizonte E, com as mesmas características, mas cada vez mais úmido. Por fim, a partir dos 80 cm de profundidade, já foi encontrado água.

9.1.2 Poço 02

Apresenta coordenadas geográficas UTM: 258673 mE/6615841 mS, zona 22 S, altitude de 424 metros, se encontra em um relevo mais plano e situa-se a cerca de 2,5 metros da casa do proprietário. Trata-se de um poço escavado com dimensões de 2 m x 2 m (Figura 23), de formato retangular, podendo ser classificado como cacimbão. Exibe um nível estático de 48 cm e não se encontram afloramentos naturais próximo ao poço.

Figura 23 - Poço 02



Fonte: Autora

O grau de confinamento do Poço 02 foi classificado como aquífero livre coberto, já a ocorrência de estratos de cobertura é bem similar ao do poço anterior. Os primeiros 20 cm de profundidade apresentam um horizonte A e um horizonte A/E, exibindo no A uma coloração bruno escuro e uma textura mais arenosa se comparada com o horizonte A do poço anterior. A granulometria é composta por silte, argila e uma fração de areia, uma consistência não plástica e ligeiramente pegajosa e compacto (Figura 24). Já o horizonte A/E apresenta características de A e de E, exibindo uma coloração mesclada de bruno escuro e amarelo brunado, uma granulometria composta tanto por argila/silte e areia (em proporções semelhantes), com uma textura mais áspera (atrato ao toque), uma consistência ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa e compacto (Figura 24). A transição entre os horizontes ocorre de forma abrupta e irregular.

Figura 24 - Perfis de solo Poço 02



Fonte: Autora.

Dos 20-40 cm de profundidade, já aparece o horizonte E bem semelhante ao visto no poço anterior e partir dos 60 cm já se constata a presença de água (Figura 25)

Figura 25 - Presença de água no solo aos 60 cm de profundidade no Poço 02



Fonte: Autora

Dos 60-80 cm de profundidade tem-se uma transição abrupta e irregular para o horizonte E. Tal horizonte apresenta coloração amarelo brunado, com textura pegajosa, granulometria composta por frações de argila e areia, uma consistência ligeiramente plástica e pegajosa, e compacto (Figura 26). Exibe porções acinzentadas salpicadas pelo horizonte E, que podem indicar a presença de goethita.

Figura 26 - Horizonte E do Poço 02



Fonte: Autora.

9.1.3 Poço 03

Apresenta coordenadas geográficas UTM: 258731 mE/6615820 mS, zona 22 S, altitude de 415 metros, se encontra em um relevo mais plano. Trata-se de um poço escavado com diâmetro de 90 cm (Figura 27), de formato circular, podendo ser classificado como cacimba. Não há a presença de afloramento naturais próximo ao poço e seu nível estático foi de 70 cm. Por sua vez, o grau de confinamento do Poço 03 foi classificado como aquífero livre coberto.

Figura 27 - Poço 3



Fonte: Autora.

Em relação a ocorrência de estratos de cobertura, o Poço 03 apresenta um horizonte A bem desenvolvido, rico em matéria orgânica com a presença de finas raízes de plantas. Tal horizonte, se estende dos primeiros 20 cm até os 80 cm de profundidade. Ele apresenta uma coloração bruno escuro, granulometria composta, em sua maioria, por silte, argila e uma pequena porção de areia, com uma textura sedosa, consistência ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa e compacto (Figura 28).

Figura 28 - Horizonte A do poço 03



Fonte: Autora.

A partir dos 80 cm de profundidade, o solo muda de forma abrupta e irregularmente, aparecendo o horizonte E, similar ao Poço 02. Ele exibe uma coloração amarelo brunado, granulometria mais rica em argila com uma certa fração de areia, textura pegajosa levemente áspera, consistência ligeiramente plástica e pegajosa e compactidade firme.

9.1.4 Poço 04

Apresenta coordenadas geográficas UTM: 258713 mE/6615827 mS, zona 22 S, altitude de 410 metros, se encontra em uma declividade do relevo e situa-se na beira de uma das ruas da Vila Pereirinha. Trata-se de um poço escavado com diâmetro de 62 cm (Figura 29), de formato circular, podendo ser classificado como cacimba. É possível notar que os afloramentos próximos já estão cobertos pelo solo, e seu nível estático foi de 92 cm. Já o grau de confinamento foi classificado como aquífero livre coberto.

Figura 29 - Poço 04



Fonte: Autora.

O estrato de cobertura, nos primeiros 20 cm de profundidade, apresentou dois horizontes A e E, assim como nos demais poços da Vila Pereirinha. O horizonte A exibe uma coloração mais bruno escuro, granulometria rica em silte com uma fração de areia, textura sedosa com leve atrito, consistência ligeiramente plástica e não pegajosa e compactidade firme (figura 30). A transição para o horizonte E ocorre de forma abrupta e ondulada, onde se tem um horizonte mais amarelo brunado com granulometria mais rica em areia, textura áspera, consistência não plástica e ligeiramente pegajosa e compactidade firme (figura 30).

Figura 30 - Horizontes do Poço 04



Fonte: Autora

Dos 20 - 80 cm de profundidade, seguiu-se o horizonte E, até atingir o substrato rochoso, no qual não foi possível retirar mais amostras (Figura 31).

Figura 31 - Horizonte E Poço 04



Fonte: Autora.

9.1.5 Poço 05

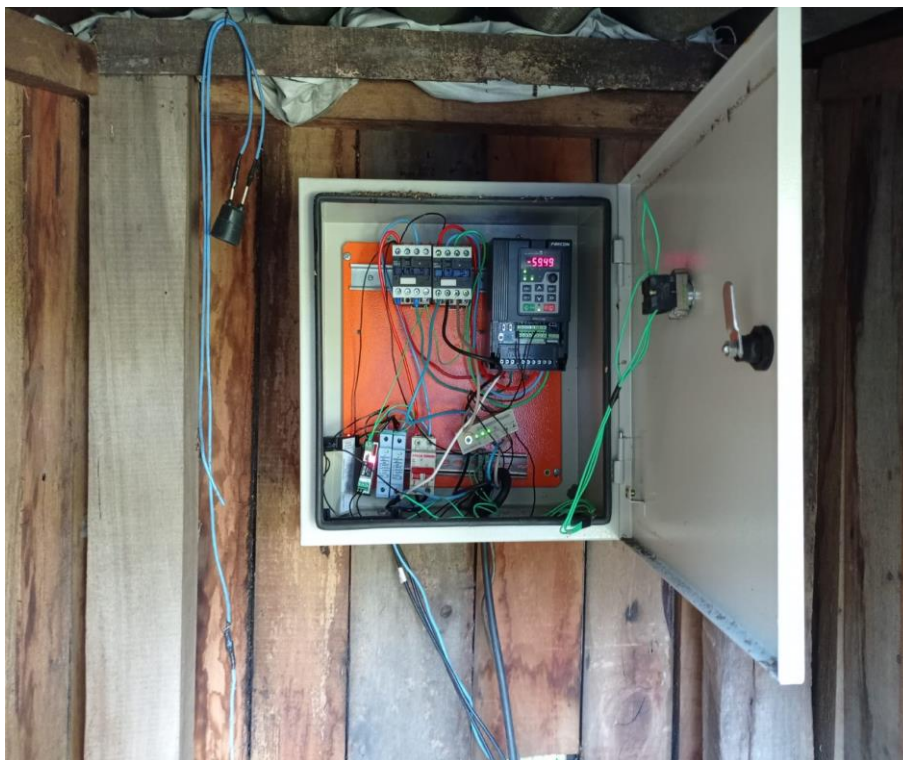
Apresenta coordenadas geográficas UTM: 258254 mE/6611861 mS, zona 22 S, altitude de 390 metros, se encontra a jusante de uma declividade do relevo e situa-se a cerca de 320 metros da casa do proprietário. Trata-se de um poço circular feito de PVC e com diâmetro externo de 40 cm (Figura 32), sendo classificado como tubular. Exibe um nível estático de 59,49 metros, que foi verificado no painel de controle do poço (Figura 33) e não há presença de afloramentos próximos.

Figura 32 - Poço 05



Fonte: Autora.

Figura 33 - Painel de controle do Poço 05



Fonte: Autora.

O grau de confinamento do poço foi classificado como semiconfinado, exibindo um estrato de cobertura dividido em dois horizontes principais: A e E. O horizonte A exibe uma coloração bruno escuro, uma granulometria predominante de argila, mas apresenta uma fração de areia, textura argilosa, consistência plástica e ligeiramente pegajosa e compacto. Já o horizonte E, apresenta coloração cinzenta, uma granulometria com fração de areia e argila/silte, textura mais áspera, presença de agregação de partículas de formato granular, consistência não plástica e ligeiramente pegajosa e compacto.

Até os 70 cm de profundidade tem-se um horizonte A, tendo nos primeiros 20 cm de profundidade, um solo mais argiloso, com resíduos de vegetação (Figura 34) e que forma uma estrutura prismática (Figura 35).

Figura 34 - Horizonte A do Poço 05



Fonte: Autora.

Figura 35 - Estrutura prismática de horizonte A, do Poço 05



Fonte: Autora.

Dos 20 - 70 cm de profundidade é possível identificar fragmentos de rochas de coloração amarelo brunado, uma textura plástica, mosqueados de coloração cinza que podem ser indicativos de goethita, designando uma possível variação de nível da franja capilar, provocando oxidação (Figura 36), e uma maior porosidade do que os 20 cm iniciais.

Figura 36 - Horizonte A com mais fragmentos de rochas e mosqueados cinzas do Poço 05



Fonte: Autora

Dos 70 - 90 cm de profundidade, o horizonte muda de forma abrupta e ondulada para o horizonte E (Figura 37), com cor cinza, textura mais arenosa e áspera e já exhibe umidade. A partir dos 90 cm, o horizonte E fica mais claro com a presença de mais fragmentos de rochas e já se encontra água (Figura 38).

Figura 37 - Horizonte E do Poço 05



Fonte: Autora.

Figura 38 - Água a partir dos 90 cm de profundidade no Poço 05



Fonte: Autora.

9.1.6 Poço 06

Apresenta coordenadas geográficas UTM: 256279 mE/6611292 mS, zona 22 S, altitude de 260 metros, se encontra a montante de uma leve declividade de relevo. Trata-se de um poço escavado com diâmetro de 90 cm (Figura 39), de formato circular, podendo ser classificado como cacimba. Não há a presença de afloramento próximo ao poço e seu nível estático foi de 37 cm. Por sua vez, o grau de confinamento do Poço 06 foi classificado como aquífero livre coberto.

Figura 39 - Poço 06



Fonte: Autora

Em relação a ocorrência de estratos de cobertura, o Poço 06 apresenta um horizonte A que se estende até os 50 cm de profundidade. Tal horizonte possui uma coloração bruno escuro, granulometria composta, em sua maioria, por silte e uma porção de areia, com uma textura sedosa, consistência ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa e compacto (Figura 40).

Figura 40 - Horizonte A do Poço 06



Fonte: Autora.

A proporção de fragmentos líticos e umidade se eleva com o aumento da profundidade (Figura 41).

Figura 41 - Horizonte A dos 30 - 50 cm de profundidade do Poço 06



Fonte: Autora

A partir dos 50 cm de profundidade tem-se uma transição abrupta e ondulada do horizonte A para o horizonte B (Figura 42). O horizonte B apresenta cor acinzentada, granulometria rica em argila, principalmente dos 60 - 80 cm de profundidade, textura que varia de plástica a áspera, pois o teor de areia vai aumentando com a profundidade, a consistência também varia de plástica a ligeiramente plástica e pegajosa a ligeiramente pegajosa, de acordo com o teor de argila e trata-se de um horizonte muito compacto (Figura 43).

A partir dos 90 cm de profundidade nota-se a presença mais representativa de água e de fragmentos de rochas, indicando solos mais arenoso e a presença de um horizonte E.

Figura 42 - Transição entre o horizonte A e B do Poço 06



Fonte: Autora.

Figura 43 - Horizonte B Poço 06



Fonte: Autora.

9.1.7 Poço 07

Apresenta coordenadas geográficas UTM: 256182 mE/6611301 mS, zona 22 S, altitude de 252 metros, se encontra a jusante de uma suave declividade de relevo. Trata-se de um poço escavado com dimensões de 1 m x 1 m (Figura 44), de formato quadrangular, podendo ser classificado como cacimba. Exibe um nível estático de 48 cm e não se encontram afloramentos próximo ao poço. Contudo, é possível notar a presença da formação de um banhado a cerca de 12 metros do poço (Figura 45).

Figura 44 - Poço 07



Fonte: Autora.

Figura 45 - Banhado próximo ao Poço 07



Fonte: Autora

O grau de confinamento do Poço 02 foi classificado como aquífero livre coberto, já a ocorrência de estratos de cobertura, nos primeiros 20 cm de profundidade, apresenta um horizonte A, exibindo uma coloração bruno escuro, uma granulometria composta por argila e areia, uma consistência ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa e compacto (Figura 46). Trata-se de um horizonte rico em matéria orgânica, onde é possível visualizar finas raízes de árvores.

Figura 46 - Horizonte A do Poço 07



Fonte: Autora.

Dos 20 - 40 cm de profundidade ocorre a transição para um horizonte A/E de forma clara e irregular. A/E exibe uma coloração que varia de bruno escuro - horizonte A - a amarelo brunado - horizonte E (Figura 47), bem similar aos horizontes A/E do Poço 01.

Figura 47 - Horizonte A/E do Poço 07



Fonte: Autora.

Contudo, dos 40 - 60 cm de profundidade, ocorre uma mudança de horizonte, de forma abrupta e plana, o novo horizonte apresenta coloração acinzentada, correspondente ao horizonte B. Ele exibe uma presença dominante de argila de cor cinza, granulometria de argila, textura plástica, consistência muito plástica e ligeiramente pegajosa e muito compacto (Figura 48).

Figura 48 - Horizonte B do Poço 07



Fonte: Autora.

A presença marcante de argila segue dos 60 - 80 cm de profundidade, no qual se tem o aumento da quantidade de fragmentos líticos, principalmente de rochas de origem metamórfica como o xisto (Figura 49) e da umidade.

Figura 49 - Fragmentos de xisto presente no horizonte B do Poço 07



Fonte: Autora.

Contudo, a partir dos 80 cm de profundidade, o horizonte B diminui, dando lugar ao horizonte E mais amarelo brunado, com uma fração mais representativa de areia, textura mais áspera, consistência ligeiramente plástica e pegajosa, e compacto. A transição de B para E ocorre de forma abrupta e plana, sendo que a presença da umidade é mais elevada em E do que em B (Figura 50).

Figura 50 - Transição de B para E do Poço 07



Fonte: Autora.

9.2 Integração de dados e Discussões

A tabela 9 foi confeccionada a partir dos dados obtidos em campo. Nela, nota-se a identificação e a classificação de cada poço quanto ao grau de confinamento da água subterrânea (G), ocorrência de estratos de cobertura (O) e a distância até o lençol freático (D)

Tabela 8- Informações obtidas em campo

Vila	Poço	Coordenadas UTM	G	O	D (m)
Pereirinha	01	258428/6615884	Não Confinado (coberto)	Não Consolidada (solos residuais)	0,32
	02	258673/6615841	Não Confinado (coberto)	Não Consolidada (solos residuais)	0,48
	03	258731/6615820	Não Confinado (coberto)	Não Consolidada (solos residuais)	0,7
	04	258713/6615827	Não Confinado (coberto)	Não Consolidada (solos residuais)	0,92
São José	05	258254/6611861	Semiconfinado	Não Consolidada (solos residuais)	59,49
Capão das Galinhas	06	256279/6611292	Não Confinado (coberto)	Não Consolidada (solos residuais)	0,37
	07	256182/6611301	Não Confinado (coberto)	Não Consolidada (solos residuais)	0,48

Fonte: Autora

A partir dos dados da tabela 9, calculou-se a vulnerabilidade, onde cada poço estudado está localizado, utilizando-se a proposta de cálculo do método GOD. Os resultados estão sintetizados na tabela 10

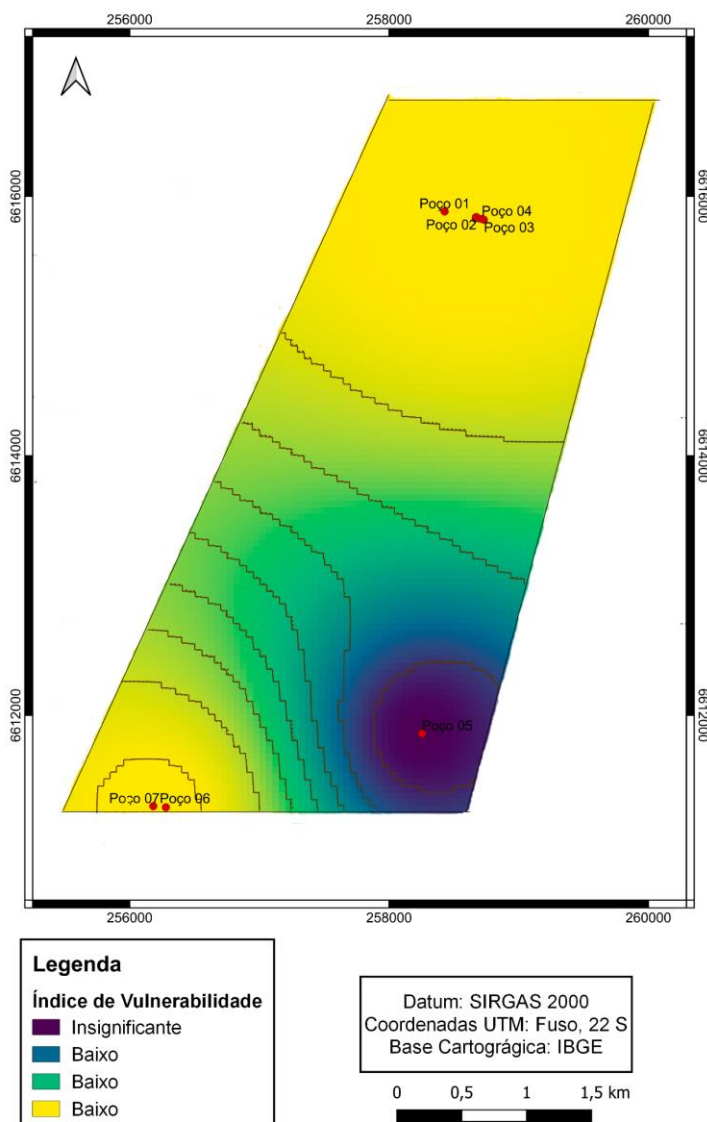
Tabela 9 - Grau de vulnerabilidade obtido pelo método GOD

Vila	Poço	Coordenadas UTM	G	O	D (m)	Índice de vulnerabilidade
Pereirinha	01	258428/6615884	0,6	0,4	0,9	0,216
	02	258673/6615841	0,6	0,4	0,9	0,216
	03	258731/6615820	0,6	0,4	0,9	0,216
	04	258713/6615827	0,6	0,4	0,9	0,216
São José	05	258254/6611861	0,4	0,4	0,6	0,096
Capão das Galinhas	06	256279/6611292	0,6	0,4	0,9	0,216
	07	256182/6611301	0,6	0,4	0,9	0,216

Fonte: Autora

Com base nos dados obtidos na tabela 10, foi gerado o mapa de vulnerabilidade do aquífero da área de estudo (Figura 51).

Figura 51 - Mapa de vulnerabilidade do aquífero da área de estudo



Fonte: Autora

O mapa de vulnerabilidade (Figura 51) apresenta índices que variam de insignificante a baixo, conforme esquema proposto por Foster *et al.* (2006) (Figura 16). O aquífero se comporta de forma mais vulnerável nas Vilas Pereirinha e Capão das Galinhas visto que ele exibe uma geometria livre/freática, os estratos de cobertura são mais arenosos facilitando a percolação de água e também de cargas contaminantes, bem como a profundidade da água em relação a superfície do terreno é menor.

Já na Vila São José, o aquífero exibe uma geometria semiconfinada, os estratos de cobertura apresentam uma maior concentração de argila (Figura 35) fazendo com que a percolação de água e de cargas contaminantes sejam dificultadas, deixando o aquífero mais protegido. Contudo, é válido ressaltar que mesmo um aquífero semiconfinado, exprime porções que estão sob recarga direta do aquífero livre, além de que, caso haja contaminação, o Sistema Aquífero semiconfinado e/ou confinado são mais difíceis de descontaminar do que os aquíferos livres (CRISPIM, 2016), devido a essas camadas impermeáveis ou semipermeáveis impedirem que a carga contaminante saia (CRISPIM, 2016).

No Capão das Galinhas, apesar da elevada concentração de argila encontrada no horizonte B (Figuras 43 e 48), foi percebida a presença de dois fluxos. O primeiro percola pelo horizonte A/E (Figura 47) e o segundo passa pelo horizonte E (Figura 50) a partir dos 80 cm de profundidade. Dessa forma, o segundo fluxo se encontra menos vulnerável do que o primeiro, já que ambos estão limitados por uma espessa camada de argila (Figura 50). Assim, uma carga contaminante imposta afetaria, *a priori*, o horizonte A/E que apresenta proporções semelhantes de silte e areia, sendo essa porção mais arenosa a que facilita a percolação. Por sua vez, tal carga, teria uma maior dificuldade de se deslocar até o horizonte E devido a camada de argila, presente em B, que delimita A/E de E e serve como impermeabilizante.

De acordo com os trabalhos de Arruda *et al.* (2017) e Oliveira (2017), no geral, o município de Caçapava do Sul, não apresenta níveis preocupantes de vulnerabilidade natural de seus aquíferos. O mesmo ocorre com a área de estudo desta pesquisa, os índices de vulnerabilidade não apresentam risco iminente. Este resultado foi bem visto, considerando o mal estado que a maioria dos poços apresentou, agindo como potencializadores da vulnerabilidade.

Apesar do município de Caçapava do Sul exibir aquíferos limitados de baixa possibilidade para água em rocha (VIERO; SILVA, 2010), os poços da área de estudo, por estarem inseridos em sedimentos inconsolidados, apresentam um alto potencial para o abastecimento doméstico. De acordo com os proprietários, por mais rigorosa que fosse a estiagem, os poços nunca secaram e nem apresentam indícios de que vão. Este fato sinaliza que a área de estudo se situa em uma região de recarga, o que explica a abundância de água em baixas profundidades e o fato dos poços resistirem à seca, tendo alguns desses poços mais de vinte anos de uso.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O índice de vulnerabilidade do aquífero que abastece as vilas rurais não exprime um risco imediato, não havendo uma urgência para remediar possíveis cargas contaminantes. Contudo, por menores que sejam os índices é necessário o monitoramento da área, principalmente porque nenhum dos poços está cadastrado no SIOUT ou SIAGAS. Isso dificulta o controle e compromete a gestão. Deve-se levar em consideração que como o abastecimento público de água não chega até o local, a maioria das casas possuem poços. Nesta pesquisa só foi possível obter autorização para visitar sete poços, mas ao aumentar o número de poços a acuracidade dos dados interpolados poderia ter sido maior.

No caso da vila Pereirinha, ela exhibe uma área menor que as demais vilas, e foi observado que quase todas as residências possuem poços. Devido à proximidade entre os poços, a vazão do aquífero e também os níveis estáticos podem ser afetados. Outro fator a ser considerado é que, por se tratar da vila mais próxima da área urbana de Caçapava do Sul, a Vila Pereirinha, se encontra em expansão. Foi observado que muitas fundações novas estão sendo construídas, o que pode resultar em um aumento no número de poços, bem como foi percebido que algumas construções estão a montante, por exemplo, do Poço 01, esse fato é preocupante visto que se não tiver um sistema de tratamento de efluentes eficiente, os dejetos das novas residências podem contaminar o Poço 01, intensificando a vulnerabilidade do aquífero.

Dessa forma, o cadastro dos poços no SIOUT é de suma importância, visto que poços cadastrados e monitorados, fortalecem a gestão subterrânea e auxiliam na prevenção de contaminação e exploração de aquíferos.

Assim, espera-se que as informações desta pesquisa contribuam para o aumento da base de dados a respeito dos aquíferos e poços do município, auxiliando em estudos futuros e contribuindo para uma melhor gestão dos recursos subterrâneos bem como na tomada de decisões de órgãos públicos.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Portal da Qualidade das Águas**. 2022? Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/enquadramento-introducao.aspx>>. Acesso em: 11 fev. 2022
- ALMEIDA, E.; HASUI, Y., 1984. **O pré-cambriano do Brasil**. São Paulo, Blücher, 378p.
- ALMEIDA, F. Províncias estruturais brasileiras. In: **Simpósio de Geologia do Nordeste, 8**. 1977, Campina Grande. Atas de Campina Grande: SGB, 1977. p. 363-391
- ARRUDA, L.; FRIES, M.; RIEGEL, J. **Avaliação do risco a contaminação natural dos aquíferos no município de Caçapava do Sul - RS**. 2017. p. 769-779 . In: . São Paulo: Blucher, 2017. ISSN 2357-7592, DOI 10.5151/xveneeamb-077
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12212**: comissão de estudo de projeto de sistema de abastecimento de água: projeto de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- BATISTA, S. *et al.* **Aplicação do método GOD para avaliação de vulnerabilidade de aquífero livre em bacia hidrográfica**. Águas Subterrâneas, [S. l.], 2017. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28686>.
- BITENCOURT, M. **Geologia, petrologia e estrutura dos metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS**. 1983. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BORBA, A. **Proposta de uma (geo)identidade visual para Caçapava do Sul, “capital gaúcha da geodiversidade”**. Geografia Meridionalis, Santa Maria, v. 1, n. 02, p. 405-411, jul/dez, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/Geographis/index>>. Acesso em: 23 fev. 2022.
- BORTOLOTTO, O.J. **Petrologia dos mármores de Caçapava do Sul, RS**. 1986. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 7-19.
- BRASIL. **Artigo n. 225**, de 5 de outubro de 1988. Trata-se da Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, 5 de out. 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 14 de jun. 2022
- BRASIL. **Lei n. 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 31 de ago. 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%206.938%2C%20DE%2031%20DE%20AGOSTO%20DE%201981&text=Disp%C3%B5e

%20sobre%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional,Lei%2C%20com%20fundamento
%20no%20art. Acesso em: 14 de jun. 2022

BRASIL. **Lei n. 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, 08 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm#:~:text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de,28%20de%20dezembro%20de%201989. Acesso em: 25 mai. 2022.

CLEARY, R.W. **Águas Subterrâneas**. Tampa, Flórida.: Princeton Groundwater, Inc., 2007.

Com 399 cidades em situação de emergência, RS anuncia força-tarefa para ações de combate à estiagem. **Portal de notícias G1**. 07 fev. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2022/02/07/com-399-cidades-em-situacao-de-emergencia-rs-anuncia-forca-tarefa-para-aco-es-de-combate-a-estiagem.ghtml>> Acesso 13 Fev. 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Água Subterrânea. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/>> Acesso 12 Fev. 2022

conhecido e protegido. 2007. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/167/_publicacao/167_publicacao28012009044356.pdf>. Acesso em: 24 de Fevereiro de 2022

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - Conama. **Resolução n.º 396**. 2008. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2022.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução n. 396** de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília, 03 de abr. 2008. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>. Acesso em: 26 de fev. 2022

CRISPIM, D. *et al.* **Aplicação do método GOD para estudo de vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas em Itumbiara-GO**. 2016. Assembleia Nacional da ASSEMAE, 46ª, Jaraguá do Sul, 16 a 19 mai. 2016. Disponível em: <http://sistema.trabalhosassemae.com.br/repositorio/2016/10/trabalhos/47/650/t650t21e10a2016.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2022

CUTRIM, Alteredo; CAMPOS, José Eloi. **Avaliação da Vulnerabilidade e Perigo à Contaminação do Aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis (MT) com aplicação dos Métodos GOD e POSH**. Revista Geociências, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 401-411, 2010. Disponível em: <file:///E:/Faculdade/TCC/Bibliografias/AVALIA%C3%87%C3%83O%20DA%20VUL>

NERABILIDADE%20E%20PERIGO%20%C3%80%20CONTAMINA%C3%87%C3%83O.pdf>. Acesso em: 7 dez. 2021.

DANTAS, A. S. L. Apresentação. In: FEITOSA, Fernando A. C. *et al* (Orgs.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2008.

EMBRAPA. **Poster das classes de solos do Brasil**. 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355219/1529306/Poster+Classes+de+Solos+d+o+Brasil/5e839114-06b6-2005-38e1-c32021db1732>. Acesso em: 12 jun. 2022

EMBRAPA. **Solos brasileiros**. 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil>. Acesso em: 12 jun. 2022

FILHO, J.M. Contaminação das Águas Subterrâneas. In: FEITOSA, F.A.C et al (Orgs.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2008

FILHO, J.M. Evolução Histórica do Conhecimento. In: FEITOSA, Fernando A.C. *et al* (Orgs.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2008.

FILHO, J.M. Ocorrência das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F.A.C et al (Orgs.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2008

FOSTER, S. *et al*. **Proteção da qualidade da água subterrânea: Um guia para empresas de abastecimento de águas, órgãos municipais e agências ambientais**. São Paulo: Servmar, 2006.

FOSTER, Stephen *et al*. **Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies**. World Bank, GWMATE. Washington, 101 p., 2002.

FOSTER, Stephen; HIRATA, Ricardo; ROCHA, Gerônimo. **Riscos de Poluição de águas subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional**. São Paulo: USP, 1988.

FRAGOSO, A. *et al*. **A Bacia Camaquã: um sistema de intracontinental anorogênico de rifts do Neoproterozóico III Eopaleozóico no Rio Grande do Sul**. 2003. In: Encontro sobre a Estratigrafia do RS. Escudo e Bacias, 1, Anais, pp:139-144.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA SIEGFRIED EMANUEL HEUSER (FEEDADOS). **Índice de Desenvolvimento Socioeconômico**. 2013.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP –GWP. **O que é a rede**. 2021. Disponível em: <https://www.gwp.org/en/About/who/What-is-the-network/>. Acesso em? 27 jul. 2022

GOMES, Marco Antonio. **Importância do solo para a água subterrânea**. Embrapa, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3561194/artigo---importancia-do-solo-para-a-agua-subterranea>. Acesso em: 12 jun.2022

HARTMANN, L. *et al.* 2007. **Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no pré-Cambriano**. In: Iannuzzi, R. & Frantz, J.C. (Ed.): 50 ANOS de Geologia: Instituto de Geociências. Contribuições, p. 97-123.

HIRATA, R. *et al* (Eds.). **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. São Paulo: Instituto de Geociências da USP, 2019.

HIRATA, R. **Fundamentos e Estratégias de Proteção e Controle da Qualidade das águas subterrâneas**: Estudo de caso no estado de São Paulo. 1994. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

LEMOS, A.; BIZAWU, K.. **Recepção de tratados internacionais ambientais como norma constitucional no ordenamento jurídico brasileiro**. 2012. Disponível em: <<http://www.publicadireito.com.br/artigos/?cod=478423056f0942a4>>. Acesso em: 14 de jun. de 2022

LEMOS, R. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. 1973. Série Brasil: divisão de pesquisa pedológica. Boletim técnico, 30. Recife, 1973

LEMOS, R.; SANTOS, R. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3 ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.

LISBOA, N. *et al.* **Síntese da ocorrência geológica das águas subterrâneas no Rio Grande do Sul**. Anais do Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.13. Mato Grosso de 19 a 22 de out. 2004. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23638>. Acesso em: 04 jun. 2022

LOPES, C. **Proveniência das rochas metassedimentares detríticas do complexo Passo Feio**: terreno São Gabriel, Caçapava do Sul. 2012. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

LUSA, M.; PHILLIPP, R; NARDI, L. 2010. **Geoquímica e petrologia dos metagranitos do Complexo Encantadas, Santana da Boa Vista, (RS)**: a evolução de uma margem continental ativa no Paleoproterozóico. Revista Brasileira de Geociências, 40(2): 151-166.

LVOVITCH, M.I. **World water balance report**. "Proc. Symposium World Water Balance". International Assoc. Sci. Hydrol. 2, 1970. p.401-415.

MACHADO, J.; FREITAS, M. **Projeto mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul**: relatório final - Porto Alegre: CPRM, 2005.

MANZIONE, R. **Impactos do clima no comportamento de níveis freáticos em áreas de conservação utilizando um modelo autoregressivo de séries temporais.** Brazilian Journal of Biosystems Engineering v. 11. p. 185-198. Unesp, 2017.

MARSALEK, Jiri. *et al.* **Urban Water Cycle Processes and Interactions.** Urban Water Series. UNESCO, 2, 87p. 2007.

MENTE, A. A água subterrânea no Brasil. In: FEITOSA, F.A. *et al* (Orgs.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2008.

MENTE, A.; MONT'ALVERNE, A. (1982). **Mapa hidrogeológico do Brasil na escala de 1:5.000.000.** Águas Subterrâneas. Anais do Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2. Salvador, set. 1982 Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22390>. Acesso em: 05 jun. 2022

MILANI, E. *et al.* **A Bacia do Paraná.** Boletim de Geociências. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287, maio/nov. 2007

MILMAN, G. Sobe para 200 o número de municípios do RS em situação de emergência em razão da estiagem. **Gaúcha ZH.** 12 jan.2022 .Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2022/01/sobe-para-200-o-numero-de-municipios-do-rs-em-situacao-de-emergencia-em-razao-da-estiagem-ckyblop2001u015pr1mjj7jp.html#:~:text=Com%20a%20situa%C3%A7%C3%A3o%20de%20emerg%C3%Aancia,Milho%20da%20safra%202021%2F2022.>> Acesso 13 Fev. 2022.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Águas subterrâneas:** um recurso a ser a ser conhecido e protegido. 2007. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/167/_publicacao/167_publicacao28012009044356.pdf>. Acesso em: 24 de Fevereiro de 2022

MUSEU DE SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL - MSRS. **Solos do Rio Grande do Sul.** Santa Maria: Museu de Solos do Rio Grande do Sul, 2020. Disponível em: <https://www.ufsm.br/museus/msrs/unidade-de-solos/>. Acesso em: 26 jun. 2022

OLIVEIRA, Bruna A. **Avaliação de Vulnerabilidade e Perigo à Contaminação das Águas Subterrâneas do Município de Caçapava do Sul - RS.** 2017. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2017.

PEARSON, F.J; WHITE, D.E. **Carbon 14 ages and flow rates of water in Carrizo Sand, Atascosa County, Texas.** "Water Resources Research", 1967. vol. 3, p. 251-261.

PELOSI, A. **Evolução paleogeográfica das formações Maricá e Crespos (neoproterozoico III) na porção norte da Sub-Bacia Camaquã Ocidental, Caçapava do Sul, RS.** 2001. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 37-44.

PENA, R. **A importância da vegetação sobre o clima.** Disponível em: <https://uol.com.br/geografia/a-influencia-vegetacao-sobre-clima.html>. Acesso em: 11 jun. 2022

PESSOA, M.; MENTE, A; LEAL, O. **Províncias hidrogeológicas adotadas para o mapa hidrogeológico do Brasil na escala 1:2.500.000.** Anais do Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.1. Recife nov. 1980. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23638>. Acesso em: 04 jun. 2022

PHILLIPP, R.; MACHADO, R.; CHEMALE Jr., F. **Reavaliação e novos dados geocronológicos (Ar/Ar, Rb/Sr e Sm/Nd) do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul:** implicações petrogenéticas e idade de reativação das zonas de cisalhamento. Geol. USP Sér. Cient., São Paulo, v. 3, p. 71-84, agosto 2003.

REBOUÇAS, A.C. Importância da Água Subterrânea. In: FEITOSA, F.A. et al (Orgs.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2008.

REDAÇÃO, JM. O racionamento será ampliado para 12 horas diárias em Bagé. **Jornal Minuano.** 18 fev. 2022. Disponível em : <https://www.jornalminuano.com.br/noticia/2022/02/18/raconamento-sera-ampliado-para-12-horas-diarias-em-bage>. Acesso em: 28 de fev. 2022

ROSSATO, M. **Os climas do Rio Grande do Sul:** variabilidade, tendências e tipologia. 2011. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, 2011.

SÃO PAULO, Secretaria do Meio Ambiente. **As Águas do Estado de São Paulo:** Cadernos de Educação Ambiental.ed. Governo do Estado de São Paulo, São Paulo, 2014. p. 14-19.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO GOVERNANÇA E GESTÃO. **Hipsometria e unidades geomorfológicas.** 2020. 5ª edição. Porto Alegre, 2020. ISBN: 978-65-87878-00-3.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA - SEMA. **Bacias Hidrográficas.** [Porto Alegre] 2020. Disponível em: <<https://sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas>>. Acesso em: 10 fev. 2022.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA - SEMA. **Decreto n. 42.047** de 26 de dezembro de 2002. Porto Alegre, 26 de dez. 2002. Disponível em: <<http://www.legislacao.sefaz.rs.gov.br/Site/Document.aspx?inpKey=106552&inpCodDispositive=&inpDsKeywords=42047>>. Acesso em: 27 fev. 2022.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA - SEMA. **Decreto n. 52.035** de 19 de novembro de 2014. Porto Alegre, 19 de nov. 2014. Disponível em: <<http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/DEC%2052.035.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2022.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA - SEMA. **Decreto n. 53.202** de 26 de setembro de 2016. Porto Alegre, 26 de set. 2016. Disponível em: <<http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/DEC%2053.202.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2022.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA - SEMA. **Decreto n. 53.885** de 16 de janeiro de 2018. Porto Alegre, 16 de jan. 2018 Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201803/08095109-decreto-53885-2017.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2022

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA - SEMA. **Resolução n. 239** de 13 de setembro de 2017. Porto Alegre, 13 de set. 2017. Disponível em: <<https://sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201711/06163252-2017-resolucao-n-239-concede-prazo-regularizacao-captacao-agua-subterranea-pocos-e-area-urbana-mediante-cadastro-siout-11-10.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2022.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA - SEMA. **Resolução n. 252** de 05 de dezembro de 2017. Porto Alegre, 06 dez. 2017. Disponível em: <<https://sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201712/11152328-resolucao-crh-252-prorroga-prazo-regulariz-capatacao-agua-subterranea-por-pocos-existentis-area-rural-mediante-cadastro-siout-11-12.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2022

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA - SEMA. **Resolução n. 255** de 05 de dezembro de 2017. Porto Alegre, 05 de dez. 2017. Disponível em: <<https://sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202110/20113624-resolucao-crh-n-255-2017-criterios-e-vazoes-para-outorgas-subterraneas.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2022.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA - SEMA. **Resolução n. 302** de 12 de Setembro de 2018. Porto Alegre 12 de set. 2018. Disponível em: <<https://sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201809/24152042-resolucao-crh-302-2018-estabelece-prazo-do-prazo-regularizacao-captacao-agua-subterranea-pocos-existentis-na-area-rural-e-urbana-mediante-cadastro-no-siout.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2022.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA -SEMA. **Portaria conjunta SEMA/FEPAM n. 19** de 11 de dezembro de 2017. Porto Alegre, 11 de dez. 2017. Disponível em: <<https://sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201712/11140859-2017-portaria-conjunta-sema-fepam-n-19-2017-estabelece-prazos-e-proced-transitorios-autorizacao-previa-construcao-alvara-obra-siout.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2022.

SERAPHIM, Ana Paula A. **Relações entre as Áreas de Recarga dos Aquíferos e Áreas destinadas à Urbanização**: estudo dos padrões de ocupação do solo da unidade hidrográfica do Lago Paranoá-DF. 2018. Discussão - Companhia de Planejamento do Distrito Federal, Brasília, 2018.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul**. 2010. Programa Geologia do Brasil: levantamento da geodiversidade. Porto Alegre, 2010

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Projeto: Avaliação da Qualidade da Água Subterrânea no Município de Porto Velho-RO**. Porto Velho, 2015.

SILVEIRA, R.R. **Geologia do grupo maricá e do grupo bom jardim na região norte do distrito de Joca Tavares, Bagé/RS**. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul.
SONDATERRA. **Manual de instruções**: trado holandês. [2022?]. Piracicaba, São Paulo [2022].

STRECK, E. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATERRS/ UFRGS, 2008

TELLES, P. **Mapeamento hidrogeoquímico do município de Caçapava do Sul-RS**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul.

TRAVASSOS, R. **Interpretação estrutural regional do escudo Sul-Rio-Grandense - Rio Grande do Sul - Brasil, com base em aeromagnetometria**. 2014. Tese (Mestrado em Geologia). Universidade de Brasília. Programa de pós-graduação em Geologia, Brasília, 2014.
UFRGS, 2008.

VASCONCELOS, M. B. (2015). **Poços para a captação de águas subterrâneas: revisão de conceitos e proposta de nomenclatura**. *Águas Subterrâneas*. Recuperado de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28288>

VIERO, A.C.; SILVA, D.R.A. (Orgs.). **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2010. p. 73-79.

WEATHERSPARK. **Clima e condições meteorológicas médias em Caçapava do Sul no ano todo**. [2022 ?]. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/29561/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Ca%C3%A7apava-do-Sul-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 23 de jun. 2022

XAVIER, K.; SIMON, A.; TRENTIN, G. **Índice de geomorfodiversidade do município de Caçapava do Sul (RS)**. Anais do Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia. 14. Edição online de 10 a 15 de out. 2021.

ANEXOS

Tabela de Munsell	Correspondente em Português
Black	Preto
Bluish Gray	Cinzeno azulado
Brown	Bruno
Brownish yellow	Amarelo brunado
Dark bluish gray	Cinzeno azulado escuro
Dark brown	Bruno escuro
Dark gray	Cinzeno escuro
Dark grayish brown	Bruno acinzentado escuro
Dark greenish gray	Cinzeno esverdeado escuro
Dark olive	Oliva escuro
Dark olive gray	Cinzeno oliváceo escuro
Dark red	Vermelho escuro acinzentado
Dark reddish brown	Bruno avermelhado escuro
Dark reddish gray	Cinzeno avermelhado escuro
Dark yellowish brown	Bruno amarelado escuro
Dusky red	Vermelho escuro acinzentado
Gray	Cinzeno
Grayish brown	Bruno acinzentado
Grayish green	Verde acinzentado
Greenish gray	Cinzeno esverdeado
Light bluish gray	Cinzeno azulado claro
Light brown	Bruno claro
Light brownish gray	Cinzeno brunado claro
Light gray	Cinzeno claro
Light greenish gray	Cinzeno esverdeado claro
Light olive brown	Bruno oliváceo claro
Light olive gray	Cinzeno oliváceo claro
Light red	Vermelho claro
Light reddish brown	Bruno avermelhado claro
Light yellowish brown	Bruno amarelado claro
Olive	Oliva
Olive brown	Bruni oliváceo
Olive gray	Cinzeno oliváceo
Olive yellow	Amarelo oliváceo
Pale brown	Bruni claro acinzentado
Pale green	Verde claro acinzentado
Pale Olive	Oliva claro acinzentado
Pale red	Vermelho claro acinzentado
Pale yellow	Amarelo claro acinzentado
Pink	Rosado
Pinkish gray	Cinzeno rosado
Pinkish white	Branco rosado
Red	Vermelho
Reddish black	Preto avermelhado
Reddish brown	bruno avermelhado
Reddish gray	Cinzeno avermelhado
Reddish yellow	Amarelo avermelhado
Strong brown	Bruno forte

Very dark brown	Bruno muito escuro
Very dark gray	Cinzeno muito escuro
Very dark grayish brown	Bruno acinzentado muito escuro
Very dusky red	Vermelho muito escuro acinzentado
Very pale brown	Bruno muito claro acinzentado
Weak red	Vermelho acinzentado
White	Branco
Yellow	Amarelo
Yellowish brown	Bruno amarelado
Yellowish red	vermelho amarelado

Fonte: Lemos; Santos, 1996