

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN - RS  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Mauricio Coradi

**VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DO  
AQUÍFERO FRATURADO NO MUNICÍPIO DE ARVOREZINHA - RS**

Frederico Westphalen, RS  
2021

**Mauricio Coradi**

**VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO  
FRATURADO NO MUNICÍPIO DE ARVOREZINHA - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), campus Frederico Westphalen - RS, como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Ambiental e Sanitarista**.

Orientador: Prof. Dr. Willian Fernando de Borba

Frederico Westphalen, RS  
2021

**Mauricio Coradi**

**VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO  
FRATURADO NO MUNICÍPIO DE ARVOREZINHA - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), campus Frederico Westphalen - RS, como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Ambiental e Sanitarista**.

**Aprovado em 22 de julho de 2021:**

---

**Willian Fernando de Borba, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Juliana Scapin, Dra. (UFSM)**

---

**Malva Andrea Mancuso, Dra. (UFSM)**

Frederico Westphalen, RS  
2021

## **DEDICATÓRIA**

A minha família que tanto me apoiou para chegar até essa graduação, aos meus amigos que sempre estiveram comigo nesta caminhada para alcançar meus objetivos e ao meu orientador que me acolheu e tanto me auxiliou tanto na elaboração desse trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecer a Deus pela oportunidade de viver cada dia da minha vida, por me dar forças para enfrentar cada etapa da vida.

Aos meus pais que sempre supriram minhas necessidades financeiras, além de toda educação provinda de seus esforços e incentivo na busca dos meus objetivos.

A minhas irmãs que a todo momento estão dispostas a conversar, aconselhar, dar puxões de orelhas e não me deixarem desistir desse sonho.

Ao professor Willian Fernando de Borba por abraçar esse desafio junto comigo, por todo o auxílio dado para a elaboração deste trabalho, todo meu respeito e admiração por ser essa pessoa incrível.

Aos demais professores que tive o prazer de ter contato e com eles aprender algo novo, sendo minha base para chegar até onde cheguei.

Aos meus amigos, os que conheci na graduação e aos que já conhecia antes de encarar esse desafio, sendo eles minha válvula de escape para cada momento triste e desanimador.

A Universidade Federal de Santa Maria que me proporcionou cursar uma graduação pública, com ensino de qualidade e gratuita.

*“A vida não é uma pergunta a ser respondida. É um mistério a ser vivido.”*

*(Sidarta Gautama)*

## RESUMO

### VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO FRATURADO NO MUNICÍPIO DE ARVOREZINHA - RS

AUTOR: Maurício Coradi

ORIENTADOR: Willian Fernando de Borba

A contaminação das águas subterrâneas por grandes centros urbanos é um problema que afeta uma grande parcela da população Brasileira. Assim, esse estudo tem por objetivo avaliar a vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero na escala do Município de Arvorezinha - RS. Para isso, foi utilizado as informações de 89 poços disponíveis na base de dados do sistema de informações de águas subterrâneas, e aplicado o sistema GOD para determinação da vulnerabilidade. Os resultados indicaram que o solo local apresenta uma alta resistência a impactos ambientais, com a presença do Sistema Aquífero Serra Geral e da Formação Serra Geral, em sua predominância. Nesse contexto, foi verificado as características construtivas de dois cemitérios existentes na área urbana, sendo que ambos apresentaram condições adequadas de instalação e operação. Na área municipal, a vulnerabilidade variou de insignificante (7,72 % da área) a alta (0,16 %), com predomínio da classe baixa (90,62 %), sendo que as atividades contaminantes (cemitérios e postos de combustíveis) ficaram localizadas nas menores classes (insignificante e baixa). Assim, conclui-se que a área de estudo apresentou uma vulnerabilidade intrínseca à contaminação predominantemente baixa, na maior parcela do Município. Isso se deve, principalmente, pelas características do meio físico local. Recomenda-se a realização de estudos complementares mais específicos, avaliando, por exemplo, a qualidade da água dos poços, visando identificar alterações, caso presente.

**Palavras-Chave:** Água subterrânea. Aquíferos. Cemitério. CONAMA 335/2003. Gestão ambiental.

## ABSTRACT

### NATURAL VULNERABILITY TO CONTAMINATION OF THE FRACTURED AQUIFER IN THE MUNICIPALITY OF ARVOREZINHA - RS

AUTHOR: Mauricio Coradi  
ADVISOR: Willian Fernando de Borba

The contamination of groundwater by large urban centers is a problem that affects a large portion of the Brazilian population. Thus, this study aims to assess the natural vulnerability to aquifer contamination at the scale of the Municipality of Arvorezinha - RS. For this, information from 89 wells available in the groundwater information system database was used, and the GOD system was applied to determine vulnerability. The results indicated that the local soil presents a high resistance to environmental impacts, with the presence of the Serra Geral Aquifer System and the Serra Geral Formation, in its predominance. In this context, the constructive characteristics of two existing cemeteries in the urban area were verified, both of which presented adequate conditions for installation and operation. In the municipal area, vulnerability ranged from insignificant (7.72 % of the area) to high (0.16 %), with a predominance of the lower class (90.62 %), with contaminating activities (Cemeteries and gas stations) were located in the smallest classes (insignificant and low). Thus, it is concluded that the study area presented an intrinsic vulnerability to predominantly low contamination, in the largest portion of the Municipality. This is mainly due to the characteristics of the local physical environment. It is recommended to carry out more specific complementary studies, evaluating, for example, the water quality of wells, in order to identify changes, if present. and the contaminating activities (Cemeteries and gas stations) were located in the smallest classes (Insignificant and low). Thus, it is concluded that the study area presented an intrinsic vulnerability to predominantly low contamination, in the largest portion of the Municipality. This is mainly due to the characteristics of the local physical environment. It is recommended to carry out more specific complementary studies, evaluating, for example, the water quality of wells, in order to identify changes, if present. and the contaminating activities (Cemeteries and gas stations) were located in the smallest classes (Insignificant and low). Thus, it is concluded that the study area presented an intrinsic vulnerability to predominantly low contamination, in the largest portion of the Municipality. This is mainly due to the characteristics of the local physical environment. It is recommended to carry out more specific complementary studies, assessing, for example, the water quality of the wells, in order to identify changes, if present.

**Keywords:** Groundwater. Aquifers. Cemetery. CONAMA 335/2003. Environmental management.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo hidrológico e seus componentes .....	16
Figura 2 - Zonas aquíferas e suas camadas confinantes .....	18
Figura 3 – Diferentes tipos de aquíferos .....	20
Figura 4 - Classificação dos aquíferos quanto a porosidade .....	22
Figura 5 – Cemitério horizontal municipal de Arvorezinha – RS .....	24
Figura 6 – Cemitério vertical municipal de Arvorezinha – RS .....	25
Figura 7 - Cemitério Parque Combatentes Portugueses .....	26
Figura 8 – Contaminação do aquífero freático por necrochorume .....	28
Figura 9 - Diagrama explicativo da metodologia GOD .....	30
Figura 10 – Mapa de localização do município de Arvorezinha - RS .....	33
Figura 11 – Mapas hidrológico e geológico .....	35
Figura 12 – Localização do cemitério particular .....	36
Figura 13 - Cemitério católico localizado na área urbana do município de Arvorezinha - RS .....	37
Figura 14 - Exemplo de aplicação do método GPD (Foster et al., 2002; 2006) para um poço no Município de Arvorezinha – RS .....	38
Figura 15 – Vista frontal (A) e vista lateral (B) .....	40
Figura 16 – Delimitações das áreas do cemitério católico .....	41
Figura 17- Entrada principal (A) e entrada secundária (B) do cemitério católico .....	42
Figura 18 - Sepulturas horizontais presentes no cemitério católico .....	43
Figura 19 - Sepulturas horizontais semienterradas (A) e sepulturas verticais coletivas (B) .....	44
Figura 20 - Construções presentes na área mais recente do cemitério .....	44
Figura 21 - Vista frontal da área .....	45
Figura 22 - Andar subterrâneo com capacidade para 90 corpos .....	46
Figura 23 - Demais andares com capacidade para 86 corpos .....	46
Figura 24 - Seis sepulturas do tipo jazigo em anexo ao edifício .....	47
Figura 25 - Local de armazenamento do necrochorume .....	47
Figura 26 - Variação da vulnerabilidade natural à contaminação no Município de Arvorezinha – RS .....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Volume de água doce disponível no planeta .....	19
Tabela 2 - Classes de vulnerabilidade e suas características .....	31
Tabela 3 - Classes de vulnerabilidade e suas respectivas áreas .....	47

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
2.1. OBJETIVO GERAL.....	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>3. REFERÊNCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
3.1. ÁGUA E SUA RELAÇÃO COM O MEIO AMBIENTE .....	15
3.2. ÁGUA SUBTERRÂNEA .....	16
3.3. AQUÍFEROS .....	19
3.4. CEMITÉRIOS .....	22
<b>3.4.1. Tipos de cemitérios .....</b>	<b>23</b>
<b>3.4.2. Impactos dos cemitérios no meio ambiente .....</b>	<b>27</b>
3.5. VULNERABILIDADE .....	28
3.6. LEGISLAÇÕES ENVOLVENDO CEMITÉRIOS .....	30
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>33</b>
4.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO MUNICÍPIO DE ARVOREZINHA - RS .....	33
4.2. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO .....	36
4.3. ESTIMATIVA DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO PELO SISTEMA GOD (FOSTER et al., 2002; 2006) E DO PERIGO PELO MÉTODO POSH (FOSTER et al., 2002; 2006) .....	37
4.4. TABULAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES.....	39
<b>5.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>13</b>
5.1. CEMITÉRIO PARTICULAR.....	40
5.2. CEMITÉRIO CATÓLICO .....	40
<b>5.2.1. Local 1 .....</b>	<b>42</b>
<b>5.2.2. Local 2 .....</b>	<b>43</b>
<b>5.2.3. Local 3 .....</b>	<b>44</b>
5.3. VULNERABILIDADE DE CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS PELO MÉTODO GOD (FOSTER et al., 2002; 2006) .....	47
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>51</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>52</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento de forma acelerada da população e com o ciclo da vida das pessoas chegando ao fim de forma natural, se faz necessário a realização de uma despedida adequada de entes queridos e construções de locais onde possam ser lembrados, sendo os cemitérios o local onde muitas religiões visam atender esses critérios. A prática de sepultar corpos é um dos mais antigos ritos culturais da sociedade humana. Na era cristã, para culturas ocidentais, esses corpos eram sepultados próximos às igrejas (THOMPSON, 2015).

Até pouco tempo atrás, os cemitérios eram construídos em locais de baixa renda, sem haver estudo prévio do local e construído de forma pouco cuidadosa, isso acabou causando danos ao meio ambiente e as águas subterrâneas que muitas vezes suprem as necessidades de consumo da população e atividades (KEMERICH et al., 2010)

Segundo Marion (2011), possuir o conhecimento sobre as características do aquífero se tornam indispensáveis para estabelecer o potencial de contaminação e sua suscetibilidade. No entanto, ter o conhecimento sobre as atividades responsáveis por possuir cargas potencialmente poluidoras provenientes da ação antropogênica e a identificação delas é de caráter fundamental para o estudo de vulnerabilidade das águas.

Foster e Hirata (1988) definem o risco de contaminação através da associação e integração entre a vulnerabilidade natural do aquífero e a carga no topo da superfície ou em sub-superfície. No que se refere aos cemitérios, isso se deve basicamente pelas características do meio físico, além do tipo de sepultura existente. Assim, o presente estudo buscou estimar a vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero na escala do Município de Arvorezinha - RS.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Desenvolver um estudo sobre a vulnerabilidade natural à contaminação na escala do município de Arvorezinha - RS.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar e quantificar a vulnerabilidade dos aquíferos do Município de Arvorezinha - RS; e
- Avaliar se as atividades potencialmente contaminantes localizadas no perímetro urbano apresentam riscos de contaminação.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

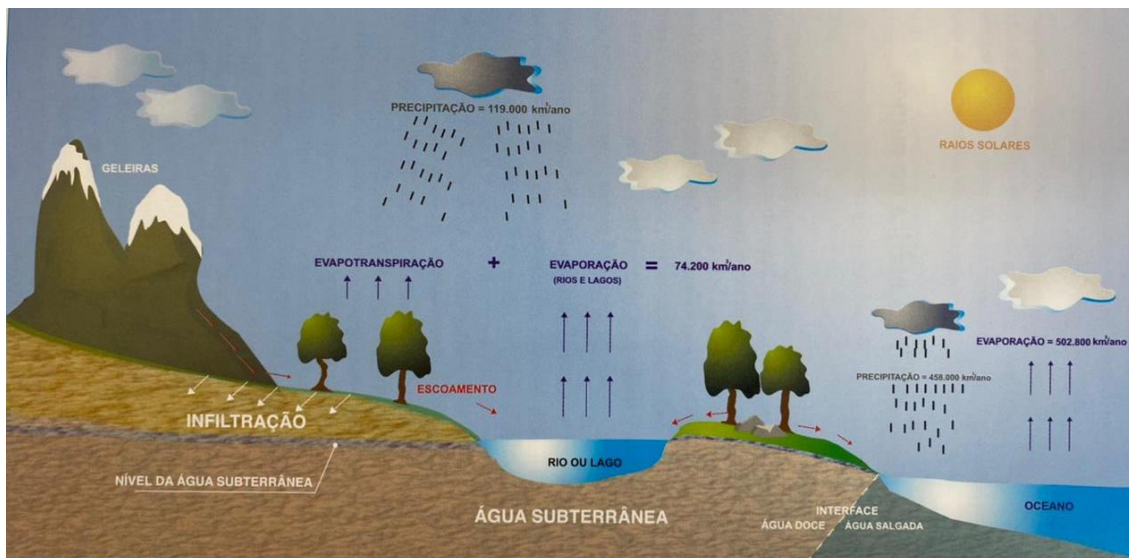
#### **3.1. ÁGUA E SUA RELAÇÃO COM O MEIO AMBIENTE**

A água pode ser chamada de molécula da vida, por estar presente em todos os lugares e ser indispensável para a existência de vida, sendo empregado em atividades para irrigação de plantios e pastos, a hidratação de animais e em todas as atividades desenvolvidas pelo homem (BRANCO, 1993). Sendo assim se torna um bem essencial a manutenção da vida no planeta.

A disponibilidade de água (em quantidade e qualidade) tem um papel importante seja na manutenção dos ecossistemas, no abastecimento público e nas atividades econômicas (agrícolas, industriais e/ou comerciais), sendo que sua presença ou falta afeta diretamente a sustentabilidade da vida (DAVIS; MASTEN, 2016). Assim, esse recurso preenche aproximadamente 2/3 de toda superfície terrestre, ela se apresenta em uma fração muito pequena como propícia para o consumo humano, sendo aproximadamente 2,5 % em relação ao volume total de água do planeta (HIRATA; FERNANDES, 2008).

Este recurso possui um ciclo no globo terrestre, sendo assim capaz de se renovar lentamente, processo esse que se mantém através de milênios, sustentando a biodiversidade e ajudando na manutenção das atividades dos ecossistemas, comunidades e populações. Sistema esse que é denominado de ciclo hidrológico (Figura 1), possui seguimentos conhecidos e integrados sendo as águas superficiais, águas subterrâneas e águas atmosféricas (TUNDISI, 2014).

Figura 1 - Ciclo hidrológico e seus componentes.



Fonte: Borghetti, Borghetti e Rosa Filho (2011).

O termo ciclo hidrológico refere-se ao ciclo da água e seu constante movimento sobre, na e sob a superfície terrestre, sendo que seu conceito é central para o entendimento da ocorrência, desenvolvimento e administração da água (HEATH, 1982). Sendo que, abrange toda a parcela de água encontrada na superfície como no interior do planeta (DAVIS; MASTEN, 2016).

### 3.2. ÁGUA SUBTERRÂNEA

A água subterrânea é uma importante fonte hídrica, seja em regiões que possuem sistema público de abastecimento ou ainda em regiões isoladas. Assim, Brasil (2008, p. 2) define água subterrânea como “águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo. Já ABAS (2021), especifica que esse recurso é:

Toda a água que ocorre abaixo da superfície da Terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, e que sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos. (ABAS, 2021).

A água subterrânea também é responsável pelo fluxo de base dos rios, sendo responsável pela sua perenização durante os períodos de estiagem, tem ainda

funções como: produção, ambiental, estratégico, transporte, filtro, energético, estocagem e regularização (REBOUÇAS, 2006). Assim, destaca-se a importância de se realizar a gestão adequada desse recurso natural.

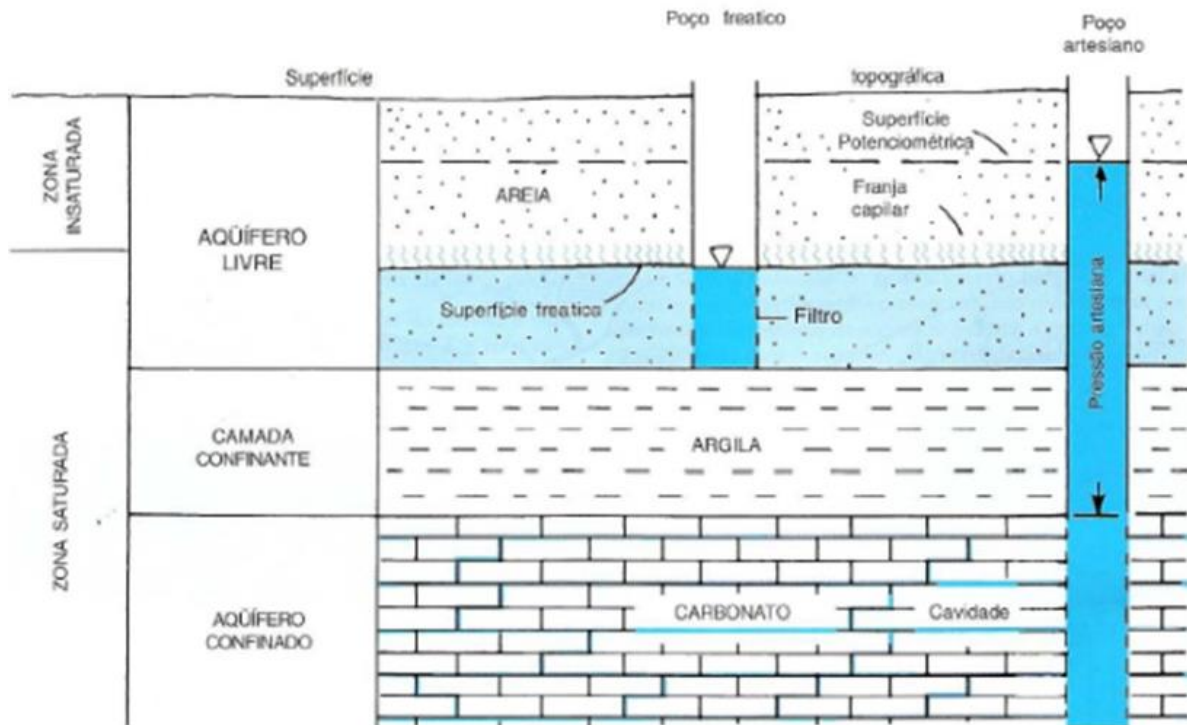
O recurso hídrico subterrâneo é uma fonte para sanar os problemas de abastecimento, que devem também ser respeitado e preservado, pois a água é um recurso natural renovável, porém não inesgotável, sendo muito sensível a ações humanas que por consequência modificam sua qualidade e quantidade ao longo do tempo e espaço (CHRISTOFIDIS, 2000). Sendo que em algumas situações ocorre a superexploração do aquífero, que representa a retirada de água em um volume maior que a recarga do aquífero (ABAS, 2021).

Heath (1982) afirma que a parcela da água que não escoa superficialmente, infiltra no solo, que após repor a sua umidade, percola lentamente através da zona não saturada (ocorre a presença de ar e água - parcialmente preenchida com água) até a zona saturada ou aquífera (Figura 2) onde todos os poros estão preenchidos por água. A parcela de água que não é absorvida por planta e seres vivos ou volta para a atmosfera através da evaporação, sofre a ação da gravidade e segue um fluxo descendente (IRITANI; EZAKI, 2008).

Esse processo de percolação, segundo Borghetti, Borghetti e Rosa Filho (2011) dependem de alguns fatores, como a porosidade do solo (solo argiloso tem baixa permeabilidade), a cobertura vegetal (um solo vegetado é mais permeável), a inclinação do terreno (solo mais declivoso reduz a possibilidade de infiltração) e o tipo de chuva (chuvas intensas saturam rapidamente o solo).



Figura 2 - Zonas aquíferas e suas camadas confinantes



Fonte: Heath (1982).

As águas armazenadas na parte subterrânea servem como base para o desenvolvimento do meio urbano, meio rural e industrial (LIVINGSTONE et al., 1995). De acordo com Chaves (2007) as águas subterrâneas apresentarem vantagens (qualidade e quantidade) sobre as águas superficiais, a demanda por esse recurso tem aumentado cada vez mais, principalmente em áreas densamente povoadas, em áreas de agricultura com irrigação e em zonas industriais que demandam de uma grande quantidade de água.

Na Tabela 1 apresenta-se a estimativa da porcentagem de água doce disponíveis além da taxa de troca. Como pode ser visualizado, as geleiras representam a maior parcela (85,94 %), porém ocorre a maior taxa de troca de água (aproximadamente 8.000 anos). As águas subterrâneas representam 14,15 % da água doce, com uma taxa de troca de 280 anos.

Tabela 1 - Volume de água doce disponível no planeta.

Partes da hidrosfera	Parte total de água doce (%)	Taxa de troca de água (Anos)
Geleiras	84,945	8.000
Água subterrânea	14,158	280
Lagos e reservatórios	0,549	7
Solo	0,249	1
Atmosfera	0,049	0,027
Rios	0,004	0,031
Total	100,00	-

Fonte: Heath (1982).

Hirata (2000) relata que o Estado de São Paulo possui uma estimativa de 75% de suas cidades abastecidas por poços, citando a cidade de Ribeirão Preto como uma cidade exemplo pela sua boa gestão do recurso hídrico e garantindo para a população uma água de ótima qualidade. No estado do Rio Grande do Sul, segundo informações do Atlas Águas e Esgotos (ANA, 2015), dos 457 municípios gaúchos, 286 são abastecidos exclusivamente por água subterrânea, 134 por águas superficiais e 67 por sistemas mistos (subterrânea + superficial).

Com base nisso, percebe-se a importância desse manancial de abastecimento, não somente no cenário Estadual, mas Municipal e Nacional. Visto que, o Município objeto desse estudo é abastecido exclusivamente por 12 poços tubulares (ANA, 2015).

### 3.3. AQUÍFEROS

A resolução CONAMA 396/2008 (BRASIL, 2008, p.2) define aquífero como “Corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos”. De maneira geral, é uma camada de rocha portadora de água que poderá ceder água em quantidade usável a um poço ou nascente (HEATH, 1982).

Nesse sentido, Manuel Filho (2008) afirma que os aquíferos podem ser classificados conforme a pressão das águas nas superfícies limítrofes e pela capacidade de transmissão de água dessas camadas. Em relação a classificação

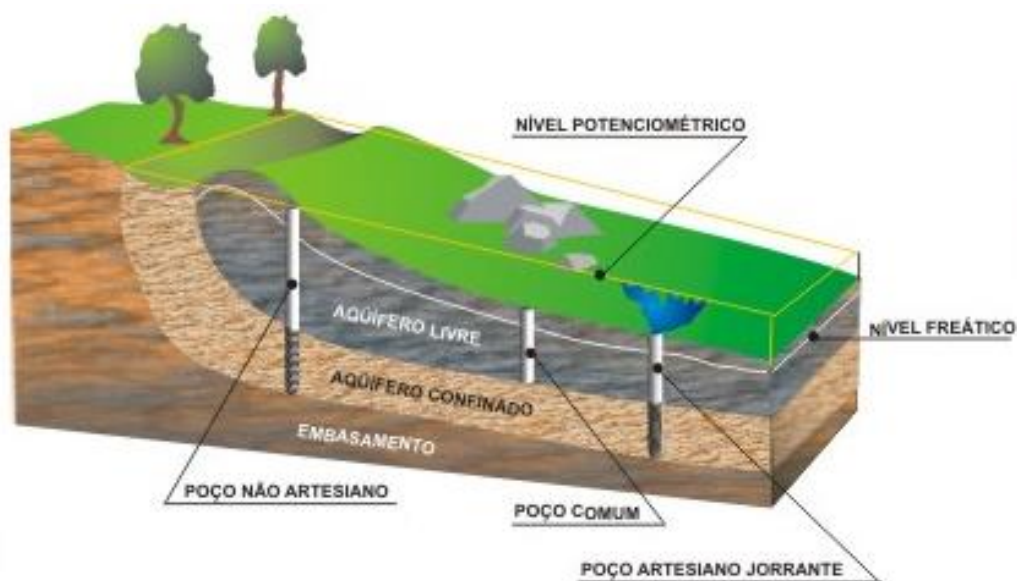
quanto a pressão (Figura 3), esses são classificados em (BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2011, p. 134 - 135):

**Aquífero livre ou freático:** É aquele constituído por uma formação geológica permeável e superficial, totalmente aflorante em toda a sua extensão, e limitado na base por uma camada impermeável. A superfície superior da zona saturada está em equilíbrio com a pressão atmosférica, com a qual se comunica livremente. Os aquíferos livres têm a chamada recarga direta. Em aquíferos livres o nível da água varia segundo a quantidade de chuva. São os aquíferos mais comuns e mais explorados pela população. São também os que apresentam maiores problemas de contaminação.

**Aquífero confinado ou artesiano:** É aquele constituído por uma formação geológica permeável, confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis. A pressão da água no topo da zona saturada é maior do que a pressão atmosférica naquele ponto, o que faz com que a água ascenda no poço para além da zona aquífera. O seu reabastecimento ou recarga, através das chuvas, dá-se preferencialmente nos locais onde a formação aflora à superfície. Neles, o nível da água encontra-se sob pressão, podendo causar artesianismo nos poços que captam suas águas. Os aquíferos confinados têm a chamada recarga indireta e quase sempre estão em locais onde ocorrem rochas sedimentares profundas (bacias sedimentares).

**Aquífero semi-confinado:** É aquele que se encontra limitado na base, no topo, ou em ambos, por camadas cuja permeabilidade é menor do que a do aquífero em si. O fluxo preferencial da água se dá ao longo da camada aquífera. Secundariamente, esse fluxo se dá através das camadas semi-confinantes, à medida que haja uma diferença de pressão hidrostática entre a camada aquífera e as camadas subjacentes ou sobrejacentes. Em certas circunstâncias, um aquífero livre poderá ser abastecido por água oriunda de camadas semi-confinadas subjacentes, ou vice-versa. Zonas de fraturas ou falhas geológicas poderão, também, constituir-se em pontos de fuga ou recarga da água da camada confinada.

Figura 3 - Diferentes tipos de aquíferos.



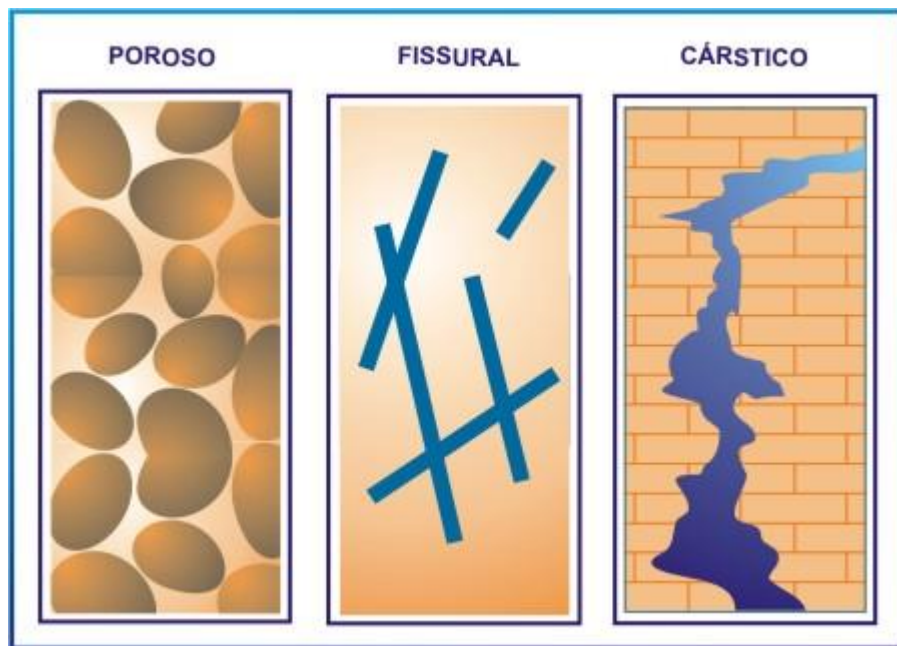
Já em relação a capacidade de transmissão de água os aquíferos são classificados, conforme a Figura 4. Onde (BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2011, p. 135):

**Aquífero poroso ou sedimentar:** é aquele formado por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos, onde a circulação da água se faz nos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila de granulação variada. Constituem os mais importantes aquíferos, pelo grande volume de água que armazenam, e por sua ocorrência em grandes áreas. Esses aquíferos ocorrem nas bacias sedimentares e em todas as várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos. Uma particularidade desse tipo de aquífero é sua porosidade quase sempre homogeneamente distribuída, permitindo que a água flua para qualquer direção, em função tão somente dos diferenciais de pressão hidrostática ali existente. Essa propriedade é conhecida como isotropia;

**Aquífero fraturado ou fissural:** Formado por rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fraturas, fendas e falhas, abertas devido ao movimento tectônico. A capacidade dessas rochas de acumularem água está relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicação, permitindo a infiltração e fluxo da água. Poços perfurados nessas rochas fornecem poucos metros cúbicos de água por hora, sendo que a possibilidade de se ter um poço produtivo dependerá, tão somente, desse poço interceptar fraturas capazes de conduzir a água. Nesses aquíferos, a água só pode fluir onde houverem fraturas, que, quase sempre, tendem a ter orientações preferenciais. São ditos, portanto, aquíferos anisotrópicos. Um caso particular de aquífero fraturado é representado pelos derrames de rochas vulcânicas basálticas, das grandes bacias sedimentares brasileiras; e

**Aquíferos cársticos:** formado em rochas calcáreas ou carbonáticas, onde a circulação da água se faz nas fraturas e outras discontinuidades (diáclases) que resultaram da dissolução do carbonato pela água. Essas aberturas podem atingir grandes dimensões, criando, nesse caso, verdadeiros rios subterrâneos. São aquíferos heterogêneos, descontínuos, com águas duras, com fluxo em canais. As rochas são os calcários, dolomitos e mármore.

Figura 4 - Classificação dos aquíferos quanto a porosidade.



Fonte: Borghetti, Borghetti e Rosa Filho (2011).

### 3.4. CEMITÉRIOS

A resolução CONAMA 335/2003 (BRASIL, 2003, p.1), define cemitérios como “Área destinada a sepultamentos”. Desde o início da aparição do homem, o conceito da sua morte e de seus semelhantes possui um significado diferente para cada época da humanidade e encarada de maneiras diferentes por cada civilização. Portanto, o significado da morte varia necessariamente no desenrolar da história e entre as diversas culturas humanas (COMBINATO; QUEIROZ, 2006).

Thompson (2015) descreve que na era cristã, os corpos eram sepultados próximos as igrejas, em virtude de crenças religiosas. Por isso, a maioria dos cemitérios existentes carecem de informações recorrentes a riscos de contaminação do meio ambiente. Hariyono (2015) afirma que os católicos e protestantes acreditam na ressurreição, onde o sepultamento do corpo é amplamente utilizado, embora a cremação seja um método alternativo.

Pacheco (2000) relata que os corpos já eram sepultados cerca de 100 mil anos a. C., com sepulturas rústicas construídas diretamente no solo ou no interior de pedra e grutas. Assim com o passar dos anos, as atividades funerárias sofreram evoluções, seja no modo de sepultamento ou local.

Spomberg e Becks (2000) relatam que o aumento das áreas de cemitérios vem causando preocupações, principalmente pela possibilidade de liberação local de produtos químicos e metais pesados. Isso se deve basicamente pela inexistência de estudos prévios de planejamento e operação dessas áreas.

### **3.4.1. Tipos de cemitérios**

A Resolução CONAMA 335/2003 (BRASIL, 2003) classifica os cemitérios em quatro tipos, sendo os cemitérios horizontal, vertical, parque ou jardim e de animais. Cada uma dessas estruturas possui características que as diferem das demais.

#### *3.4.1.1. Cemitérios horizontais*

Esse tipo de estrutura localiza-se em área descoberta e compreende os cemitérios tradicionais e do tipo parque ou jardins (BRASIL, 2003). Campos (2007), descreve os cemitérios tradicionais como necrópoles constituídas por alamedas pavimentadas, recebe capelas com altar, monumentos funerários revestidos por mármore e granito, mausoléus, túmulos semienterrados, crucifixos e imagens, podendo haver arborização no local ou não.

Figura 5 – Cemitério horizontal municipal de Arvorezinha - RS.



Fonte: Autor (2021).

#### 3.4.1.2. *Cemitérios Verticais*

E tipo de cemitério, se apresenta na forma de um edifício, com um ou mais pavimentos, os quais possuem compartimentos para sepultamento dos corpos (BRASIL, 2003). A crescente expansão da população e seus centros urbanos tornaram a construção de cemitérios verticais uma opção para solucionar o problema relacionado ao destino correto dos corpos humanos. Sendo estes construídos de forma vertical, com dois ou mais pavimentos dos quais apresentam compartimentos ou gavetas, devendo conter sistema de inativação de gases provenientes do necrochorume e possuir uma vedação para que não haja circulação dentro dos corredores de circulação (PACHECO, 2000).

Segundo Campos (2007) a construção de edifícios para essa finalidade apresenta algumas vantagens, como a utilização de áreas menores para a

construção, não havendo tantas restrições com relação ao solo, sem o contato do necrochorume com o solo e águas, o sepultamento ocorre com mais facilidade, sepultamento podendo ocorrer durante o período da noite, entre outros.

Figura 6 - Cemitério vertical municipal de Arvorezinha - RS



Fonte: Autor (2021).

#### 3.4.1.3. *Cemitérios parque ou jardim*

Os cemitérios tipo jardim ou parque possui particularidades mais belas, com presença de árvores e gramados, irradia uma sensação maior de tranquilidade para



as pessoas, sendo o contrário que do visual ruim encontrado em cemitérios tradicionais (PACHECO, 2000).

A Resolução CONAMA 335/2003 (BRASIL, 2003), define os cemitérios parque ou jardim como aquele que apresenta uma predominância de revestimento superficial por vegetação rasa, sendo as lapides identificadas por uma lapide pequena e junto ao chão, não apresentando construções tumulares (BRASIL, 2003).

Segundo Pacheco (2000) apresenta grandes desvantagens e riscos, pois não há tratamento do necrochorume e de gases produzidos, a utilização de jazidas a baixas profundidade, podendo ficar próximas a aquíferos, influenciando as águas subterrâneas.

Figura 7 - Cemitério Parque Combatentes Portugueses



Fonte: Machado (2009).

Ainda que retomem a um contexto de lugares de deposição de corpos humanos, diversos cemitérios são utilizados como espaços verdes em alguns países (SKAR; NORDH; SWENSEN, 2018; NORDH; SWENSEN, 2018). Skar, Nordh e Swensen (2018) em estudo realizado na Noruega, destacam atividades realizadas nos cemitérios analisados como caminhadas, passeios de bicicleta, corridas, dentre

outras. Com isso, percebe-se que além de um local de oração e sentimentos, servem também como espaço alternativo.

### **3.4.2. Impactos dos cemitérios no meio ambiente**

De acordo com Pacheco (2000), os cemitérios apresentam um risco em potencial para o meio ambiente, pois grande parte deles foram construídos em locais de baixo valor econômico e sem nenhum estudo prévio realizado, sem o conhecimento geológico e hidrogeológico pode acarretar prejuízo ainda maior para as pessoas que residem próximos ao local.

Diante do processo de decomposição do corpo humano, ocorre a liberação de um poluente líquido, conhecido como necrochorume. Sendo essa substância de fácil circulação em recursos hídricos e podendo permanecer no solo de 20 a 30 anos, sendo um proliferador de doenças (CARNEIRO, 2009).

Assim, o cemitério se torna uma fonte potencial fonte de contaminação, proveniente da decomposição dos cadáveres (NECKEL et al., 2017). Possui também a produção de necrochorume de origem da decomposição dos caixões e acessórios, roupas com a qual o defunto é enterrado, sendo atribuídos a eles um tratamento químico que ao se degradar liberam substâncias tóxicas nocivas (JONKER; OLIVIER, 2012).

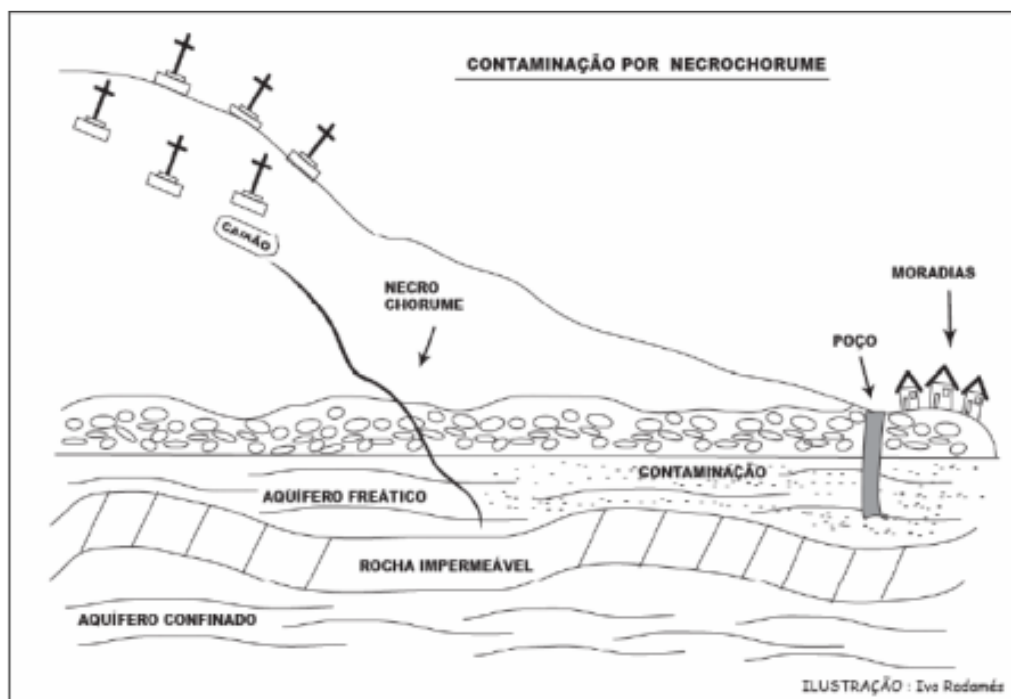
O necrochorume é uma solução líquida que apresenta altas concentrações de substâncias orgânicas degradáveis e sais minerais, com características de uma cor castanho-acinzentada, cheiro forte, viscoso e com a presença de patógenos (FRANCO, 2005). Entre os compostos das cadeias de nitrogênio, fósforo, as aminas e metais pesados, se destacam as diaminas altamente tóxicas a cadaverina (1,5 Pentanodiamina) e putrescina (1,4 Butanodiamina), sua concentração elevada no lençol freático pode ser ligada a toxicidade do necrochorume (FINEZA, 2008). Sendo essas substâncias orgânicas os vetores de transmissões de doenças infecto contagiosas (MOTA JÚNIOR, 2012).

Franco (2005) ainda destaca, que os patógenos são sensíveis ao oxigênio, não apresentando grandes preocupações ao entrar em contato com a zona insaturada, porém se chegar à zona saturada (águas subterrâneas) os patógenos são favorecidos. Sendo essas águas captadas para o consumo humano, sem o

tratamento adequado, pode causar doenças e a longo prazo uma proliferação de epidemias, com a ocorrência de óbitos (MOTA JÚNIOR, 2012).

Idehen (2020) afirma que essas substâncias podem translocadas da sepultura para o solo e para as águas subterrâneas, se tornando um risco para a população local e regional. Assim, a Figura 8 mostra o processo de contaminação das águas subterrâneas pelo necrochorume.

Figura 8 - Contaminação do aquífero freático por necrochorume.



Fonte: Leite (2009).

### 3.5. VULNERABILIDADE

Segundo Foster e Hirata (1988), a utilização do termo de vulnerabilidade à contaminação de um aquífero se remete às características intrínsecas naturais que determinam a sensibilidade de um aquífero se afetado por uma carga poluidora de origem antrópica.

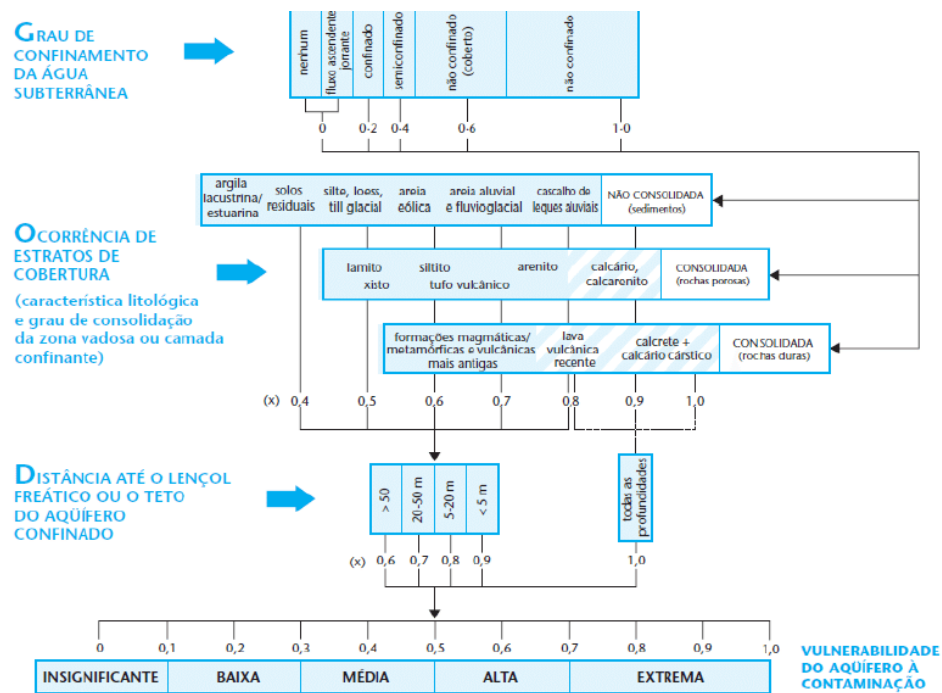
Assim, a vulnerabilidade pode ser descrita, conforme Hirata e Fernandes (2008), como vulnerabilidade relativa (as unidades de vulnerabilidade de um mapa são classificadas uma em relação com a outra), vulnerabilidade absoluta (cada unidade mapeada possui uma vulnerabilidade em si), vulnerabilidade geral (refere-se

a todas as atividades ou classes de contaminantes) e vulnerabilidade específica (refere-se a um certo contaminante ou atividade). Deste modo caracteriza se o risco de poluição não apenas pelo grau de vulnerabilidade do aquífero, mas também a presença de uma carga poluente considerável que venha a atingir o ambiente subterrâneo.

Sendo assim pode ser encontrado um aquífero com alto grau de vulnerabilidade, mas sem a presença de carga poluente significativa, assim não possuindo risco de poluição, como da mesma forma pode-se identificado um aquífero com vulnerabilidade ser baixo (LEITÃO et al., 2003). Assim sendo o risco não está ligado apenas as características ligadas ao aquífero, mas a existência de atividades poluidoras (LEITÃO et. al., 2003).

Aliado a isso, tem-se inúmeros métodos que visam determinar a vulnerabilidade natural do aquífero a contaminação. Dentre esses, destaca-se o G (groundwater occurrence), O (overall lithology of the unsaturated zone) e D (depth to the water table) descrito por Foster et al. (2002; 2006). Assim, cada parâmetro possui uma nota específica, onde a ponderação entre as três variáveis irá fornecer o grau de vulnerabilidade do aquífero. A Figura 9 mostra as variáveis necessárias à aplicação do método GOD (Foster et al., 2002; 2006).

Figura 9 - Diagrama explicativo da metodologia GOD.



Fonte: Foster et al. (2002; 2006).

Com o intervalo obtido, é possível através da Tabela 2, designar a classe e suas características. A aplicação dos métodos de vulnerabilidade é amplamente utilizada em estudos, seja em escala regional, nacional ou internacional (MACHIWAL et al., 2018; OROJI, 2018; KHOSRAVI et al., 2018; ROSA et al., 2019 ARYA et al., 2020; FAVARETTO et al., 2020; FERNANDES et al., 2020a; RUKMANA; BARGAWA; CAHYADI, 2020).

Tabela 2 - Classes de vulnerabilidade e suas características.

<b>Intervalo</b>	<b>Classe</b>	<b>Característica</b>
0 - 0,1	Insignificante	Desconsidera a camada confinante com fluxo vertical descendente não significativo
0,1 - 0,3	Baixa	Vulnerável a poluidoras conservativos em longo prazo, quando continuamente e amplamente lançado.
0,3 - 0,5	Média	Vulnerável a alguns poluentes, mas somente quando continuamente lançados
0,5 - 0,7	Alta	Vulnerável a muitos poluentes, exceto aqueles poucos móveis e pouco persistentes.
0,7 - 1,0	Extrema	Vulnerável a muitos poluentes, com rápido impacto em muitos cenários de poluição

Fonte: Barboza et al. (2007)

### 3.6. LEGISLAÇÕES ENVOLVENDO CEMITÉRIOS

A escolha dos terrenos para a implantação de um cemitério se baseava apenas no valor econômicos de lotes, onde sempre eram escolhidos locais de baixo valor, não havendo nenhum estudo geológico ou hidrogeológico causavam graves impactos no A resolução n° 335/2003 (BRASIL, 2003), complementada pela Resolução n°368/2006 (BRASIL, 2006), estabelecem normas sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Exigindo a adequação dos locais com o intuito de minimizar os efeitos negativos sobre a população em sua vizinhança e com a natureza.

Brasil (2003), conforme a resolução CONAMA n° 335/2003 e n° 368/2006, estipulam os seguintes critérios construtivos:

I - o nível inferior das sepulturas deverá estar a uma distância de pelo menos um metro e meio acima do mais alto nível do lençol freático, medido no fim da estação das cheias. (nova redação dada pela Resolução nº368/06).

II - nos terrenos onde a condição prevista no inciso anterior não puder ser atendida, os sepultamentos devem ser feitos acima do nível natural do terreno;

III - adotar-se-ão técnicas e práticas que permitam a troca gasosa, proporcionando, assim, as condições adequadas à decomposição dos corpos, exceto nos casos específicos previstos na legislação;

IV - a área de sepultamento deverá manter um recuo mínimo de cinco metros em relação ao perímetro do cemitério, recuo que deverá ser ampliado, caso necessário, em função da caracterização hidrogeológica da área;

V - documento comprobatório de averbação da Reserva Legal, prevista em Lei;

VI - estudos de fauna e flora para empreendimentos acima de 100 (cem) hectares.

§ 1º Para os cemitérios horizontais, em áreas de manancial para abastecimento humano, devido às características especiais dessas áreas, deverão ser atendidas, além das exigências dos incisos de I a VI, as seguintes: *(parágrafo acrescentado pela Resolução nº 368/06)*.

I - a área prevista para a implantação do cemitério deverá estar a uma distância segura de corpos de água, superficiais e subterrâneos, de forma a garantir sua qualidade, de acordo com estudos apresentados e a critério do órgão licenciador; *(parágrafo acrescentado pela Resolução nº 368/06)*

II - o perímetro e o interior do cemitério deverão ser providos de um sistema de drenagem adequado e eficiente, destinado a captar, encaminhar e dispor de maneira segura o escoamento das águas pluviais e evitar erosões, alagamentos e movimentos de terra; *(parágrafo acrescentado pela Resolução nº 368/06)*.

III - o subsolo da área pretendida para o cemitério deverá ser constituído por materiais com coeficientes de permeabilidade entre  $10^{-5}$  e  $10^{-7}$  cm/s, na faixa compreendida entre o fundo das sepulturas e o nível do lençol freático, medido no fim da estação das cheias. Para permeabilidades maiores, é necessário que o nível inferior dos jazigos esteja dez metros acima do nível do lençol freático. *(parágrafo acrescentado pela Resolução nº 368/06)*.

§ 2º A critério do órgão ambiental competente, poderão ser solicitadas informações e documentos complementares em consonância com exigências legais específicas de caráter local". *(parágrafo acrescentado pela Resolução nº 368/06)*.

De acordo com Campos (2007) as condições mínimas impostas para a solicitação do licenciamento de cemitérios horizontais e verticais pelas resoluções são para:

. Licença prévia (LP) - Documentos que irão caracterizar a área do empreendimento, bem como o plano de instalação e operação do mesmo

. Licença de instalação (LI) - Apresentar o projeto do empreendimento contendo os memorias plantas e documentos elaborados por profissionais habilitados, além do planejamento das medidas que tem como objetivo diminuir e controlar impactos ambientais.

No momento do encerramento do empreendimento, o proprietário deve apresentar o Plano de Encerramento da Atividade e solicitar a autorização, exibindo um plano com

medidas para recuperação da área e realizar a indenização de possíveis vítimas (CAMPOS, 2007).

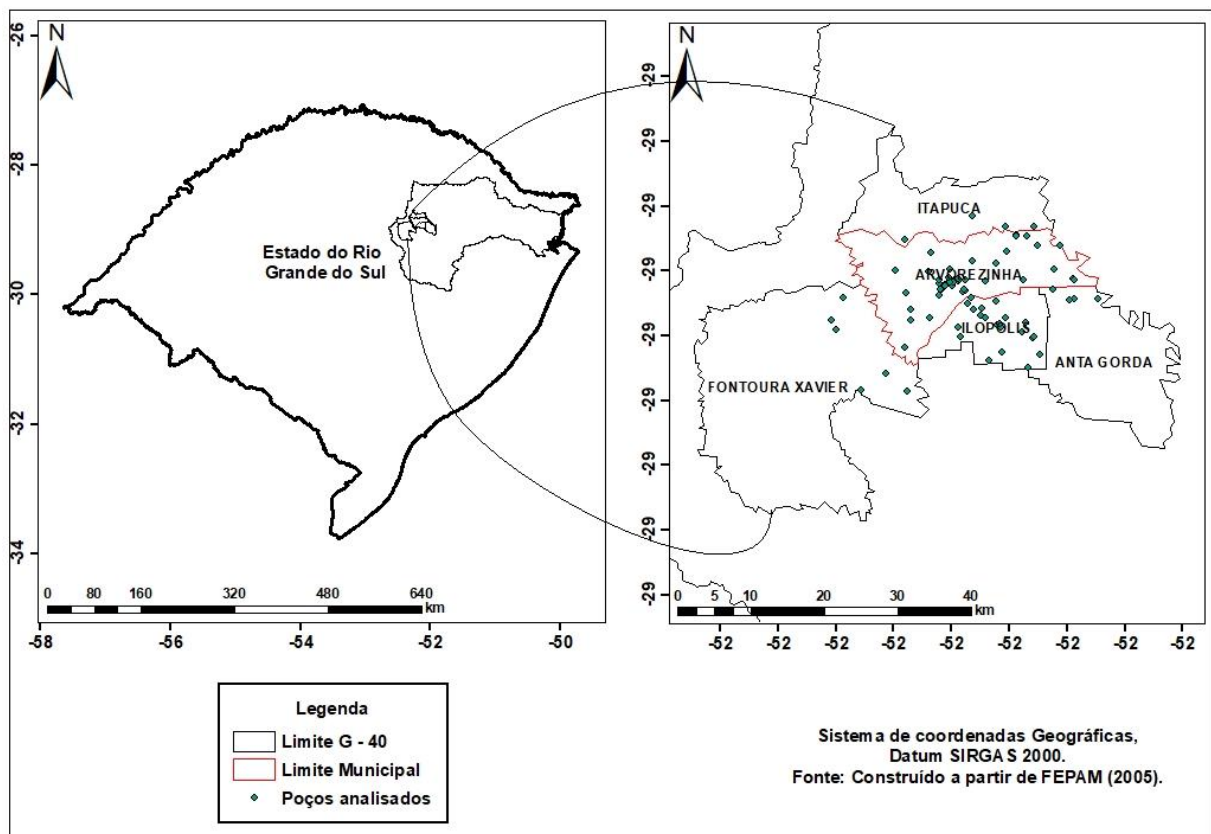
## 4. METODOLOGIA

Nesse item em será demonstrado informações referentes ao andamento dessa pesquisa, como caracterização da área objeto de estudo e métodos utilizados.

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO MUNICÍPIO DE ARVOREZINHA - RS

Esse estudo foi realizado no Município de Arvorezinha - RS (Figura 10), localizado, segundo informações do IBGE (2010), na latitude  $28^{\circ} 52' 23,4''$  sul e longitude  $52^{\circ} 09' 56,2''$  oeste, apresenta uma altitude média em relação ao nível do mar de 750 metros, e uma área total de  $271,643 \text{ km}^2$ . Está a uma distância aproximada de 210 km da capital do Estado, Porto Alegre - RS, o censo demográfico do 2010 (IBGE, 2010) diz que o Município possui uma população de 10.225 habitantes, sendo 38,65 % residente do meio rural e 61,35% ocupando a área urbana, com uma densidade demográfica de  $37,64 \text{ hab.km}^2$ .

Figura 10 - Mapa de localização do município de Arvorezinha - RS.



Fonte: Construído a partir de FEPAM (2005) e SIAGAS (2021).



Em relação as atividades econômicas, o ponto forte da economia do município é a agricultura de pequenas propriedades, sendo as principais de culturas de cultivo: erva-mate, milho, fumo, eucalipto (com a destinação para queima), conforme Arvorezinha (2021) a pecuária (avicultura, bovinocultura e suinocultura) é uma fonte de renda crescente, além do comércio que se apresenta bem desenvolvido, apresenta indústrias fortes nos ramos da erva-mate e artefatos de cerâmica para construção civil (ARVOREZINHA, 2021).

Em relação a hidrologia, o município está inserido 100 % na G - 040 - Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas (GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2018), conforme Figura 10. Essa bacia possui uma área de 26.430 km<sup>2</sup> e uma população estimada para 2020 de 1.383.442 habitantes, sendo a maioria (1.081.261 habitantes) residentes em áreas urbanas (SEMA, 2021). sendo os rios Forqueta e Guaporé os principais recursos hídricos superficiais e atua divisores de territórios com outros municípios.

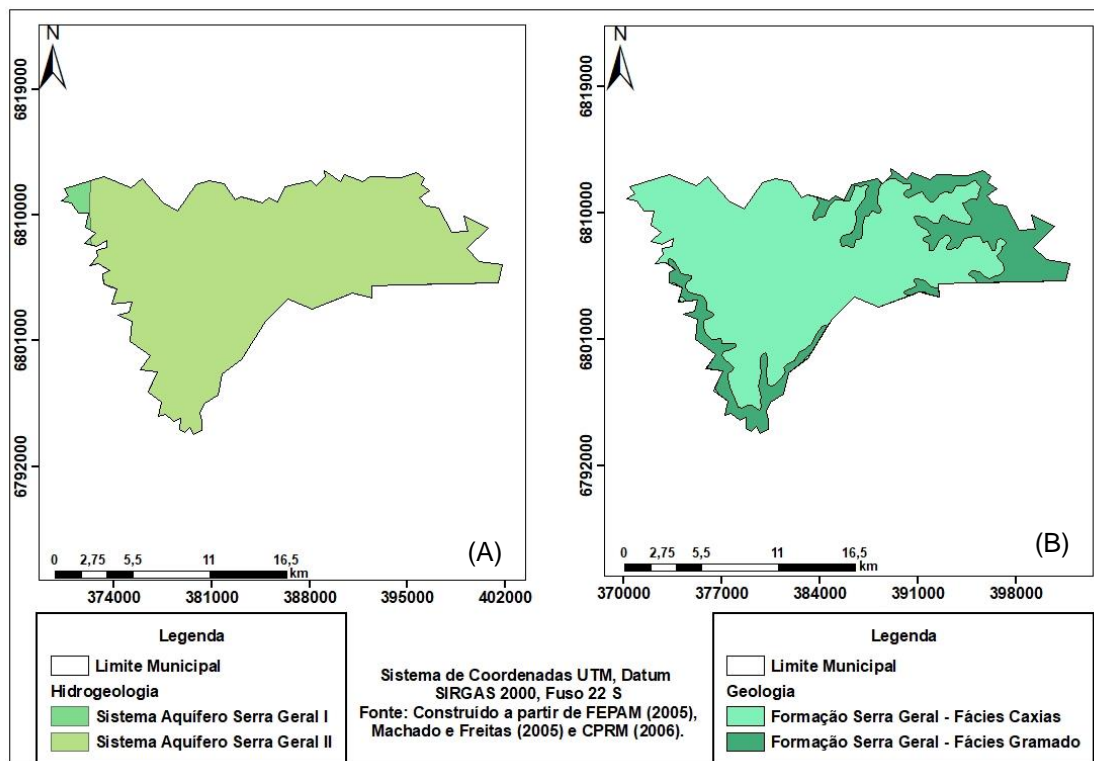
No que se refere a hidrogeologia local (Figura 11A), estão presentes (MACHADO; FREITAS, 2005) o Sistema Aquífero Serra Geral I (SASG I) e II (SASG II). Assim, os autores descrevem essas unidades hidroestratigráficas como:

- Sistema Aquífero Serra Geral 1: Representa um aquífero com alta a média possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fraturas. Ocupa a parte centro-oeste da região dominada pelos derrames da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral no planalto rio-grandense. Delimita-se pelos municípios de Soledade, Tupanciretã, Santo Antônio das Missões, Santa Rosa, Tenente Portela, Nonoai, Erechim e Passo Fundo. Constitui-se principalmente de litologias basálticas, amigdalóides e fraturadas, capeadas por espesso solo avermelhado. As capacidades específicas são muito variáveis, existindo poços não produtivos próximos de outros com excelentes vazões; e
- Sistema Aquífero Serra Geral II: Representa um aquífero com baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fraturas. Este sistema aquífero ocupa a parte oeste do Estado, os limites das rochas vulcânicas com o rio Uruguai e as litologias gonduânicas além da extensa área nordeste do planalto associada com os derrames da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral. Suas litologias são predominantemente riolitos, riodacitos e em menor proporção, basaltos fraturados.

Já em relação a geologia (Figura 11B), CPRM (2006) descreve que a área de estudo está inserida na Formação Serra Geral (Onde derrames de basaltos os quais se intercalam-se com arenitos) Fácies Caxias e Gramado. Assim, os autores descrevem:

- Formação Serra Geral Fácies Caxias (K1 $\alpha$ cx): Derrames de composição intermediária a ácida, textura esfirolítica comum (Tipo carijó), vesículas preenchidas predominantemente por calcedônia e ágata, fonte de mineralização da região; e
- Formação Serra Geral Fácies Gramado (K1 $\beta$ gr): Derrames basálticos intergranulares finos a médios, horizontes vesiculares preenchidos por zeolitas, carbonatos, apofilitas e saponita, intercalações com o arenito Botucatu.

Figura 11 - Mapa hidrológico (A) e geológico (B) presente na área de estudo.



Fonte: (A) FEPAM (2005) e Machado e Freitas (2005) e (B) FEPAM (2005) e CPRM (2006).

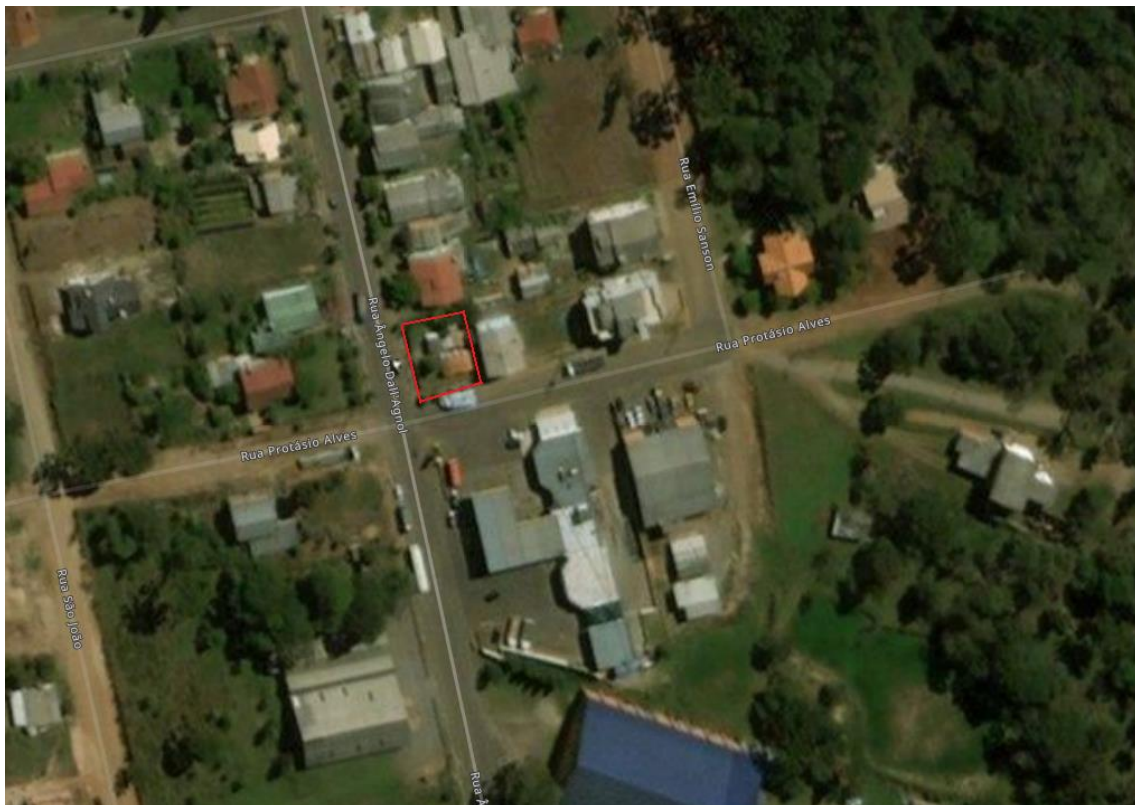
#### 4.2. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

O município não conta com cemitérios administrados pelo poder público. Os dois cemitérios localizados no perímetro urbano são particulares, um deles sendo administrado por uma família e localização na Rua Angelo Dall Agnol e outro de caráter católico localizado na Rua São João.

O cemitério particular da Família Ferri (Figura 12) apresenta uma combinação de construções horizontais e verticais, sendo três lapides de forma semienterrado e cinco capelas, que possuem capacidade de oito gavetas, onde nenhuma das estruturas está preenchida totalmente.

Por ser um cemitério particular, apenas de uma família, ocorre poucos sepultamentos no local, ocorre em média um enterro a cada ano. O local está situado nas coordenadas  $28^{\circ}52'42''$  S e  $52^{\circ}10'23''$  W com uma altura média de 735 metros em relação ao nível do mar. O empreendimento possui 285,00 m<sup>2</sup> de área total do local, sendo 100,00 m<sup>2</sup> de superfície construída.

Figura 12 – Localização do cemitério particular.



Fonte: Construído a partir de GOOGLE (2021).

O cemitério católico possui duas formas de sepultamento, sendo uma de forma horizontal como é feito tradicionalmente com a estrutura estando enterrado, semienterrado ou sobre a superfície, ou sendo dispostos em estruturas verticais, nas chamadas “capelas” ou estruturas em conjunto. A administração do local não soube informar o número exato de sepultamentos realizados por mês, mas estima-se em torno de 1,5 a 2,5 sepultamentos a cada mês.

A área total do empreendimento é de 6.000,00 m<sup>2</sup>, apenas 4.220,00 m<sup>2</sup>, aproximadamente, de superfície construída até o momento. Com as coordenadas 28°52'17" S e 52°10'31" W, com uma altitude média de 730 metros em relação ao nível do mar.

Figura 13 - Cemitério católico localizado na área urbana do município de Arvorezinha - RS.



Fonte: Construído a partir de GOOGLE (2021).

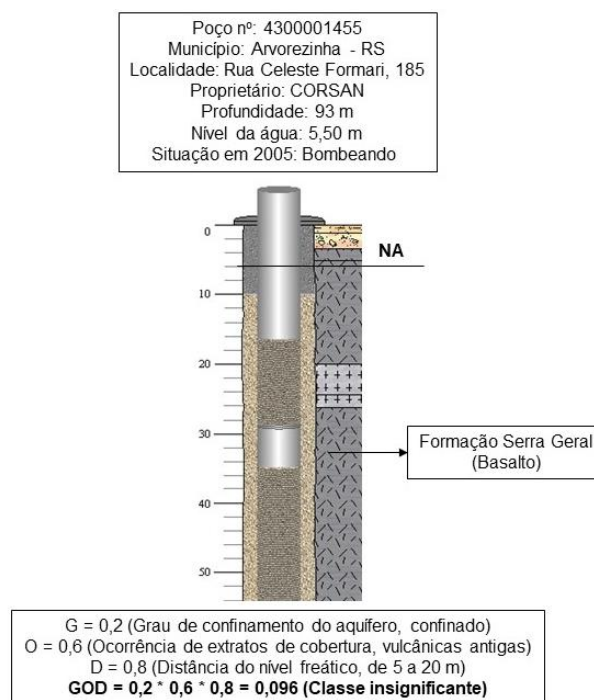
#### 4.3. ESTIMATIVA DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO PELO SISTEMA GOD (FOSTER et al., 2002; 2006) E DO PERIGO PELO MÉTODO POSH (FOSTER et al., 2002; 2006)

Para a estimativa da vulnerabilidade à contaminação, foi utilizado o sistema GOD (FOSTER et al., 2002; 2006). Para isso, foi consultada a base de informações do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), acesso pesquisa geral, disponível em: <[http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa\\_complexa.php](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php)>.

Nessa base de dados, foi utilizado as informações de interesse dos poços disponíveis: Coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM); perfil geológico (para a determinação do grau de confinamento e ocorrência de extratos de superfície) e nível estático da data de perfuração do poço (para a determinação da distância até o nível freático). Foram utilizadas informações de 89 poços, sendo 50 localizados no Município de Arvorezinha, e os 39 demais nos municípios limítrofes de Anta Gorda (4 poços), Fontoura Xavier (6 poços), Ilópolis (25 poços) e Itapuca (4 poços). Na Figura 10, pode ser observada a localização dos poços.

Isso foi necessário em virtude das informações disponíveis para Arvorezinha, não representar a totalidade do Município, além disso, buscou-se definir a escala regional (COSTA et al., 2011), em virtude do fraturamento do aquífero (HEATH, 1982). Na Figura 14, ilustra-se um exemplo de aplicação do método GOD (FOSTER et al., 2002; 2006) na área de estudo.

Figura 14 - Exemplo de aplicação do método GOD (FOSTER et al., 2002; 2006) para um poço no Município de Arvorezinha - RS.



Fonte: Construído a partir de Foster et al. (2002; 2006) e SIAGAS (2021).

A partir do mapa de vulnerabilidade, foram alocadas as atividades potencialmente contaminantes, conforme o método POSH (FOSTER et al., 2002;

2006). Esse método classifica as atividades, conforme o potencial de carga contaminante do subsolo, em elevado, moderado e reduzido. Nesse estudo, foram analisadas as atividades de cemitérios e postos de combustíveis, as quais foram localizadas com auxílio do *Google Earth* (GOOGLE, 2021), e alocadas no mapa de vulnerabilidade.

#### 4.4. TABULAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

Após análise das informações disponíveis no SIAGAS (2021) e aplicação do método GOD (FOSTER et al., 2002; 2006) foi gerada uma planilha eletrônica com as informações de interesse. A partir disso, os dados foram especializados por meio do *software* de geoprocessamento *ArcGIS*<sup>®</sup>, versão 10.2 (Licenciado pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM).

As informações foram interpoladas com auxílio da ferramenta interpolação do *software*. Para isso, utilizou-se o interpolador *Inverse Distance Weighting* (IDW) descrito por Landim (2000) e amplamente utilizado em estudos de hidrogeológicos nessa formação geológica e hidrogeológica (BORBA et al., 2016a; 2016b; BORBA; LÖBLER; SILVÉRIO DA SILVA, 2018; ROSA et al., 2019; BORBA et al., 2020; FERNANDES et al., 2020a; FERNANDES et al., 2020b; LUNARDI et al., 2021). Para isso, foi utilizado como *Datum* o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), conforme preposição do IBGE (2015), fuso 22S e sistema de coordenadas UTM, sendo as informações apresentadas em mapas temáticos.

## 5. RESULTADO E DISCUSSÃO

Esse item irá apresentar e discutir detalhadamente os resultados obtidos.

### 5.1. CEMITÉRIO PARTICULAR

O solo local é classificado como ARGISSOLO VERMELHO Amarelo, sendo considerado um solo de alta resistência a impactos ambientais (FEPAM, 2001), inserido na província geológica/geomorfológica das rochas vulcânicas do planalto (FEPAM, 2014) e seus produtos de intemperização. Além disso, a presença da formação Serra Geral (CPRM, 2006), com predominância do basalto como constituinte, sendo classificado como uma área de alta resistência a impactos ambientais (FEPAM, 2001). Em relação a profundidade do nível freático, no local o nível do lençol freático está entre 19 e 27 m (SIAGAS, 2021). A Figura 15 ilustra o interior da área.

Figura 15 – Vista frontal (A) e vista lateral (B).



Fonte: Autor (2021).

### 5.2. CEMITÉRIO CATÓLICO

Para a melhor apresentação dos resultados, essa área foi dividida em três, sendo classificados em locais 1, 2 e 3 (delimitações indicadas na figura 16), conforme suas particularidades (tipos de sepulturas e tempo de ocupação). O local possui duas entradas, uma principal (Figura 17 A) e outra secundária (Figura 17 B). Esse local

apresenta as mesmas características hidrogeológicas do cemitério partícula, sendo assim está classificado também como uma área com alta resistência a impactos ambientais (FEPAM, 2001). O nível do lençol freático se apresenta entre 0,2 até 7,2 metros (SIAGAS, 2021)

Figura 16 - Delimitações das áreas do cemitério católico.



Fonte: Construído a partir de GOOGLE (2021).

Figura 17- Entrada principal (A) e entrada secundária (B) do cemitério católico.



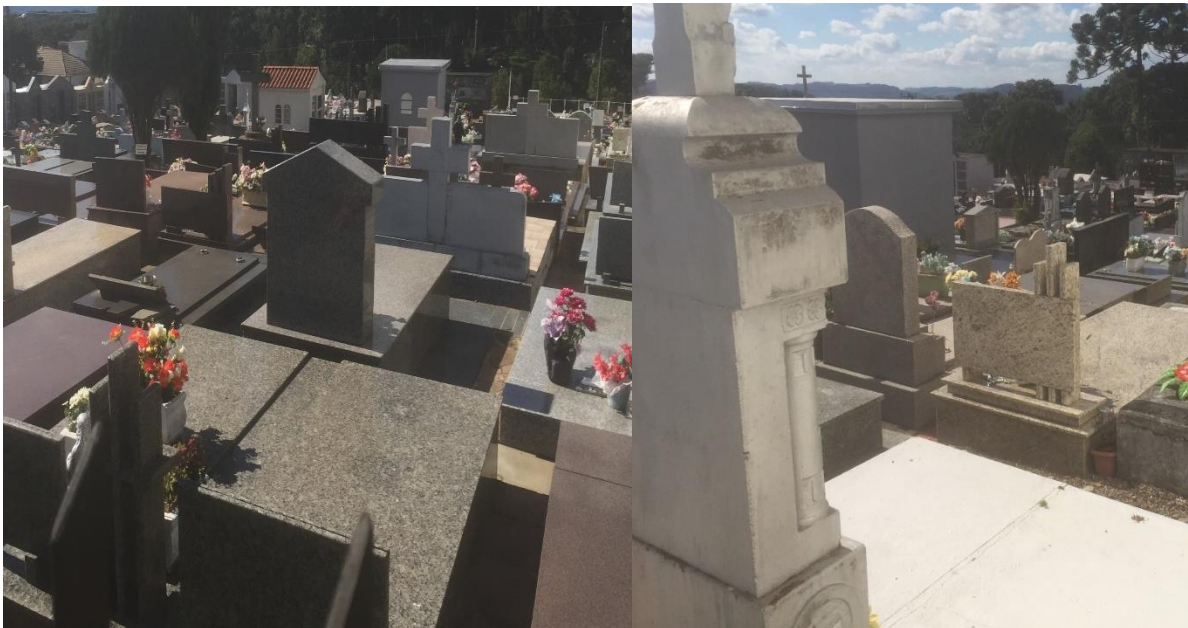
Fonte: Autor (2021).



### 5.2.1. Local 1

Sendo representada pela parte mais antiga do local com área de 2.745 m<sup>2</sup> e que até o momento apresenta o maior número de pessoas sepultadas de aproximadamente 570 (esse número é estimado pois possuem locais com mais de um sepultamento sendo que a estrutura seria destinada apenas para um corpo) também é apenas nessa área que está presente sepulturas de forma horizontal (Figura 18).

Figura 18 - Sepulturas horizontais presentes no cemitério católico.



Fonte: Autor (2021).

São 267 sepulturas semienterradas de forma horizontal (Figura 19A) e 276 sepulturas de forma vertical (Figura 19B), entre capelas e construções coletivas. Como pode ser observado, as sepulturas horizontais, em sua maioria, estão em um bom estado de conservação e sem rachaduras, evitando a entrada de águas oriundas de precipitações e contato de vetores com os corpos em decomposição.

O local passou por alterações nos últimos anos, havendo uma renovação de sepulturas, pois muitas apresentam aberturas e estruturas precárias, além de que não havia impermeabilização do solo em sua base. A área possui também sepulturas

verticais, em sua maioria são apresentadas em forma de capela, algo muito tradicional em cemitérios católicos, construções essas que possui o intuito de manter os corpos de familiares unidos mesmo após a morte em um único local.

Figura 19 - Sepulturas horizontais semienterradas (A) e sepulturas verticais coletivas (B).



Fonte: Autor (2021).

### 5.2.2. Local 2

A construção desta parte do cemitério foi efetuada na parte de trás da primeira área (a mais antiga do local) com seu perímetro de 1.430 m<sup>2</sup>, havendo construções de capelas e sepulturas verticais coletivas. No local, atualmente, podem ser sepultadas 162 corpos, as estruturas são capazes de armazená-los de forma segura sem nenhum perigo de vazamento, no entanto o local não apresenta seus caminhos de circulação todo impermeabilizado. A Figura 20 mostra as sepulturas presentes nessa área.

Figura 20 - Construções presentes na área mais recente do cemitério.



Fonte: Autor (2021).

### 5.2.3. Local 3

A terceiro local, está localizado ao lado do primeiro, apresentando uma área total de 1560 m<sup>2</sup>, sendo que a edificação ocupa 400 m<sup>2</sup>. Seus sepultamentos são realizados em forma vertical, sendo que a construção apresenta quatro andares, conforme Figura 21. O andar subterrâneo tem capacidade para 90 sepultamentos (Figura 22), e os demais pavimentos tem capacidade para 84 corpos (Figura 23).

Figura 21 - Vista frontal da área.



Fonte: Autor (2021).

Figura 22 - Andar subterrâneo com capacidade para 90 corpos.



Fonte: Autor (2021).

Figura 23 - Demais andares com capacidade para 86 corpos.



Fonte: Autor (2021).

Em anexo ao edifício, existem seis sepulturas do tipo jazigo, conforme Figura 24. Além disso, o local possui armazenamento do necrochorume gerado (Figura 25), conforme estabelecido pela CONAMA 335/2003 (BRASIL, 2003).

Figura 24 - Seis sepulturas do tipo jazigo em anexo ao edifício.



Fonte: Autor (2021).

A unidade de armazenamento do necrochorume do local tem capacidade para 20.000 litros, sendo ela esvaziada, quando estiver próximo ao seu limite, por uma empresa terceirizada que fará o tratamento e destinação correta do efluente líquido.

Figura 25 - Local de armazenamento do necrochorume.



Fonte: Autor (2021).

### 5.3. VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO PELO MÉTODO GOD (FOSTER et al., 2002; 2006)

A Tabela 3, juntamente com a Figura 26, ilustram a variação das classes de vulnerabilidade na área do Município de Arvorezinha - RS. Como pode ser observado, a vulnerabilidade variou de insignificante a alta, com predomínio da classe baixa. Nas menores proporções estiveram presentes as classes média e alta. A superioridade da presença das menores classes (insignificante e baixa), se deve principalmente, pelas características geológicas e hidrogeológicas do local, com a presença do basalto e seus produtos de intemperização, além de sua condição confinada na maioria dos poços analisados (APÊNDICE A).

Tabela 3 - Classes de vulnerabilidade e suas respectivas áreas.

<b>Classe de vulnerabilidade</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>% da área</b>
Insignificante	20,98	7,72
Baixa	246,15	90,62
Média	4,07	1,50
Alta	0,44	0,16
Extrema	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>271,64</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Construído a partir de Foster et al. (2002; 2006) e SIAGAS (2021).

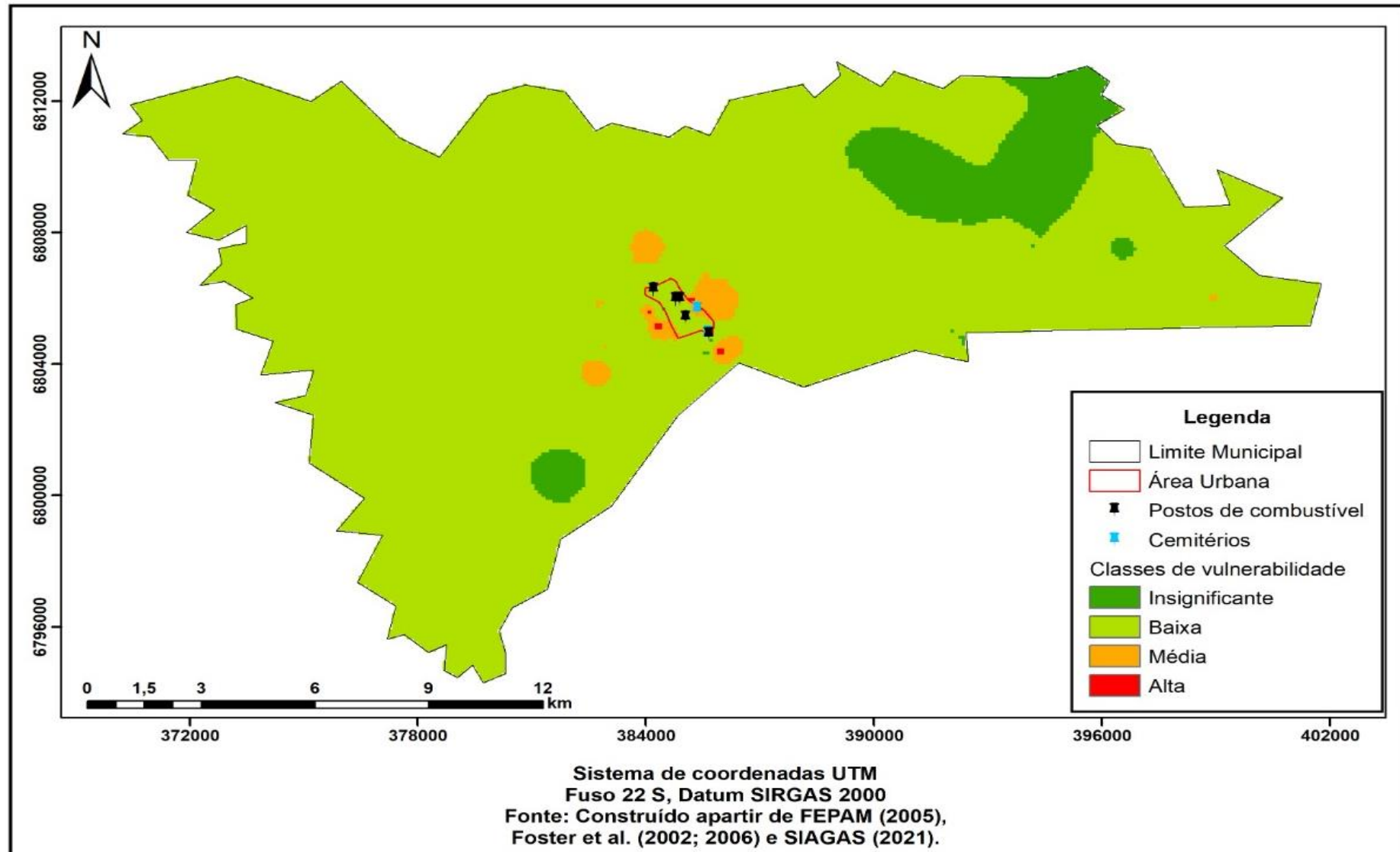
Em estudos realizados em áreas dessas mesmas características geológicas e hidrogeológicas, Borba et al. (2016b) na Bacia Hidrográfica do Rio Passo Fundo - RS, Terra et al. (2016) em Ametista do Sul - RS, Favaretto et al. (2020) em Aratiba - RS, e Fernandes et al. (2020a) em Panambi - RS, todos os autores encontraram predomínio das menores classes de vulnerabilidade (insignificante a baixa). Resultados semelhantes aos encontrados nesse estudo.

Em rochas sedimentares, Kemerich et al. (2010) na cidade de Santa Maria - RS, as áreas de cemitérios estiveram presentes nas classes insignificante a baixa. Crispim et al. (2016) realizou o estudo de vulnerabilidade da cidade Itumbiara - GO, onde as classes insignificante e baixa representaram 85 % da área municipal. Sousa (2015) no cemitério Bom Jardim em Fortaleza - CE, do qual está em funcionamento desde 1994, o autor encontrou vulnerabilidade média.

No que se refere ao potencial de gerar carga contaminante pelo método POSH (FOSTER et al., 2002; 2006), foram identificados dois cemitérios e cinco postos de combustíveis. Sendo que apenas o cemitério particular está inserido na classe de vulnerabilidade média, o cemitério católico está inserido na classe insignificante (Figura 26).

Os postos de combustíveis, conforme o método, possuem um risco moderado, e como estão inseridos em uma classe de vulnerabilidade insignificante, tendem a não apresentar problemas de contaminação. Já os cemitérios apresentam risco reduzido, e embora o cemitério particular esteja em uma área de média vulnerabilidade, seu porte e sistema estrutural não apresentam risco de contaminação. Situação semelhante ocorre com o cemitério católico, que está inserido em uma área de vulnerabilidade classificada como insignificante.

Figura 26 - Variação da vulnerabilidade natural à contaminação no Município de Arvorezinha - RS.





## 6. CONCLUSÃO

A aplicação da vulnerabilidade intrínseca natural à contaminação em escala Municipal em Arvorezinha - RS, indicou variabilidade entre as classes insignificante a alta, com predomínio da classe baixa (Em mais de 90 % da área). Isso se deve, principalmente, pelas características hidrogeológicas do local. Aliado a isso, as atividades contaminantes identificadas estiveram alocadas nas classes média e baixa.

Assim, conclui-se que a área possui características naturais de proteção das águas subterrânea. Nesse contexto, estudos desse cunho temático se tornam interessantes, em virtude do planejamento urbano ou ainda como meio suporte a planos diretores, por exemplo, pois possibilitam mapear a área Municipal e indicar quais áreas estão mais vulneráveis ou não à contaminação.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Águas Subterrâneas O que são?** Disponível em: <<https://www.abas.org/aguas-subterraneas-o-que-sao/>> Acesso em: 19 mar. 2021.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas água e esgotos.** Brasília: ANA, 2015.

ARVOREZINHA. **Dados Gerais.** 2021. Disponível em: <<http://www.arvorezinhars.com.br/municipio/dados-gerais/>> Acesso em: 23 abr. 2021.

ARYA, S.; SUBRAMANI, T.; VENNILA, G.; ROY, P. D. Groundwater vulnerability to pollution in the semi-arid Vattamalaikarai River Basin of south India thorough DRASTIC index evaluation. **Geochemistry**, v. 80, n. 4, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2020.125635>

BARBOZA A. E. C.; ROCHA S. F.; GUIMARÃES W. D. Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero livre localizado na região de Ponta da Fruta, Vila Velha - ES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais...** Florianópolis: SBRM, p. 21 - 26-2007.

BORBA, W. F.; FERNANDES, G. D. A.; TERRA, L. G.; LOBLER, C. A.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Assessment of the Intrinsic Vulnerability to Contamination of the Aquifer in River Basin Passo Fundo of Rio Grande do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ. Impresso)**, v. 39, p. 145-154, 2016. [https://doi.org/10.11137/2016\\_2\\_145\\_154](https://doi.org/10.11137/2016_2_145_154) b

BORBA, W. F.; LOBLER, C. A.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Caracterização das condições naturais das águas subterrâneas no município de São Borja - RS. **Geociências (São Paulo. Online)**, v. 37, p. 75-84, 2018.

BORBA, W. F. DE.; RUCHEL, B.; MENEGAZZO, K.; PEIL, L. Z.; ROSA, C. N. Aplicação do método índice de susceptibilidade para estimativa da susceptibilidade à contaminação na Bacia hidrográfica dos rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo. **Geologia USP. Série Científica**, v. 20, p. 125-136, 2020. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v20-160797>

BORBA, W. F.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; ALLASIA, D. G.; ROSA, C. N.; FAVARETTO, J. R.; RIBEIRO, L. F. T. Geoprocessamento aplicado à determinação do índice de susceptibilidade das captações por poços tubulares do Sistema Aquífero Serra Geral em Frederico Westphalen – Rio Grande do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 39, n. 3, 2016. [http://dx.doi.org/10.11137/2016\\_3\\_79\\_88](http://dx.doi.org/10.11137/2016_3_79_88) a

BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. da. **A integração das águas: Revelando o verdadeiro Aquífero Guarani.** Curitiba: Edição da Autora, 2011. 275p.

BRANCO, S. M. **Água: origem, uso e preservação.** 8. Ed. São Paulo: Moderna, 1993.

BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA nº 336, de 29 de março de 2006. Altera dispositivos da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. **Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 mar. 2006.** Disponível em: <[http://portal.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/17\\_01\\_2011\\_17.47.27.7dc5d81b315787de47e18cb128379567.pdf](http://portal.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/17_01_2011_17.47.27.7dc5d81b315787de47e18cb128379567.pdf)> Acesso em: 23 abr. 2021.

BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA nº 335, de 3 de abril de 2003. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. **Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 mai. 2003.** Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=359>> Acesso em: 23 abr. 2021.

CAMPOS, A. P. S. **Avaliação do potencial de poluição no solo e nas águas subterrâneas decorrente da atividade cemiterial.** 2007. 141f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CARNEIRO, V. S. Impactos causados por necrochorume de cemitérios: meio ambiente e saúde pública. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 1, p. 1-18, 2009.

CHAVES, A. de. **Análise dos recursos hídricos subterrâneos no município de São Luiz Gonzaga/RS.** 2007. 121f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2007.

CHRISTOFIDIS, D. Conflitos e uso sustentável dos recursos hídricos. In: Theodoro, S. H. (org.). **Conflito e uso dos recursos naturais.** Rio de Janeiro: Garamond, 2000.

COMBINATO, D. S.; QUEIROZ, M. M. Morte: Uma visão psicossocial. **Estudos de Psicologia**, v. 11, n.2, p.209-216. Natal, mai/ago de 2006. <https://doi.org/10.1590/S1413-294X2006000200010>

COSTA, M. L. M. C.; COSTA, M. M. R. R.; REGO, J. C. R.; ALBURQUERQUE, J. do P. T. Preposição de critérios de outorga para águas subterrâneas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 105-113, 2011. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v16n1.p105-113>

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: CPRM, 2006.

CRISPIM, D. C.; ARAÚJO, J. V. G.; FERREIRA, N. C.; SOUZA, S. B. S. E. Aplicação do método GOD para estudo de vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas em Itumbiara-GO. In: 20ª EXPOSIÇÃO DE EXPERIÊNCIAS MUNICIPAIS EM SANEAMENTO. **Anais...** Jaraguá do Sul: ASSEMAE, 2016.

DAVIS, M. L.; MASTEN, S. J. **Princípios de Engenharia Ambiental.** Traduzido por Félix Nonnenmacher. Porto Alegre: AMGH, 2016. 854p.

FAVARETTO, J. R.; ALLASIA, D. G.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; BORBA, W. F.; ROSA, C. N.; FERNANDES, G. D. A. Estimativa da Susceptibilidade à

Contaminação do Sistema Aquífero Serra Geral em Aratiba - RS por Diferentes Métodos. **Revista Brasileira de Cartografia (ONLINE)**, v. 72, p. 1-18, 2020. <https://doi.org/10.14393/rbcv72n1-47184>

FEPAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS Roessler. **Mapa de Classificação dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul quanto à Resistência a Impactos Ambientais**. Porto Alegre: FEPAM. 13 p. (n.publ.) Relatório final de consultoria elaborado por Nestor Kämpf. Mapa em meio digital. 2001.

FEPAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS Roessler. 2005. **Base cartográfica digital do RS 1:250.000**. Disponível em: [http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases\\_geo.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp) Acesso em: 01 de abril de 2021.

FEPAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. **Portaria FEPAM Nº 85/2014 - Dispõe sobre o estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade (VRQ) dos solos para 09 (nove) elementos químicos naturalmente presentes nas diferentes províncias geomorfológicas/geológicas do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAM, 2014.

FERNANDES, G. D.; BORBA, W. F.; BOITO, É.; KEMERICH, P. D. C.; SILVA, J. L. S.; DESCOVI FILHO, L. L. V.; HINTERHOLZ, D.; BAUMHARDT, E. Estimativa da vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero em escala municipal: estudo de caso em Panambi/RS. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, p. 126-132, 2020. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2020v6n2ID19111> a

FERNANDES, G. D. A.; DE BORBA, W. F.; SOUZA, E. E. B.; KEMERICH, P. D. C.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; DESCOVI FILHO, L.; HINTEHOLZ, D. ; BAUMHARDT, E. Análise da vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea: comparativo entre a metodologia GOD e DRASTIC. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, p. 45-53, 2020. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2020v6n2ID19080> b

FINEZA, A. G. **Avaliação da contaminação de águas subterrâneas por cemitérios: estudo de caso de Tabuleiro - MG**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 63. 2008.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies**. Washington: Groundwater Management Advisory GW.MATE WB, 2002. 114p.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. São Paulo: Servemar, 2006.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. Riscos de poluição de águas subterrâneas: Uma proposta de avaliação regional. **Águas Subterrâneas**, 1988.

FRANCO, D. R. **Avaliação de indicadores de poluição em águas subterrâneas em duas necrópoles do município de Belo Horizonte – MG**. 2005. 75f. Dissertação (Mestrado em Epidemiologia) - Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

GOOGLE. **Google Earth. Version Pro. 2021**. Imagens do município de Arvorezinha. Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>>. Acesso em: 10 abril de 2021.

HARIYONO, W. P. Vertical Cemetery. *Procedia Engineering*, v. 118, p. 201 - 214, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.419>

HEATH, R. C. **Basic groundwater hidrology**. Denver: Water supply paper 2240 USGS, 1982. 86p.

HIRATA, R.; FERNANDES, A. J. Vulnerabilidade a poluição de aquíferos. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. J.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM/LABHIDRO, 2008. 812p. cap. 5.4, p. 405 a 424.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Nota Técnica: Término do período de transição para adoção no Brasil do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua Realização DE 2000,4 (SIRGAS 2000)**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm>> Acesso em: 01 abr. 2021.

IBGE. **População 2010**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/arvorezinha/panorama>>. Acesso em: 25 mar. 2021.

IDEHEN, O. A Comparative Investigation of Groundwater Contamination in Típico Dumpsites and Cemetery Using Ert and Physicochemical Analysis of Water in Benin Metropolis, Nigeria. **Journal of Geoscience and Environment Protection**, v. 8, p. 72 - 85. <https://doi.org/10.4236/gep.2020.81005>.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Estado do Meio Ambiente- SMA, 2008. 103p.

JONKER, C.; OLIVIER, J. Mineral contamination from cemetery soils: case study of Zandfontein cemetery, South Africa. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 9, n. 2, p. 511 - 520, 2012. <https://doi.org/10.3390/ijerph9020511>

KEMERICH, P. D. C.; DESCOVI FILHO, L. L. V.; UCKER, F. E.; FOLETTTO, C. V. Influência dos cemitérios na contaminação da água subterrânea em Santa Maria – RS. **Águas Subterrâneas**, v. 24, n.1, p.129 - 141, 2010.

KHOSRAVI, K.; SARTAJ, M.; TSAI, F. T. C.; SINGH, V. P.; KAZAKIS, N.; MELESSE, A. M.; PRAKASH, I.; BUI, D. T.; PHAM, B. T. A comparison study of DRASTIC methods with various objective methods for groundwater vulnerability assessment. **Science of The Total Environment**, v. 642, p. 1032 - 1048, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.130>.

LANDIM, P. M. B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. Rio Claro: DGA/ IGCE/UNESP. 2000. 20p.

LEITÃO, T. E.; LOBO FERREIRA, J. P. C. OLIVEIRA, M. M.; MOINANTE, M. J. Poluição de Águas Subterrâneas: Principais problemas, processos de prevenção e de reabilitação. In: 6º SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICILA PORTUGUESA. 2003, **Anais...** Recife: ABRH, 2003.

LEITE, E. B. Análise físico-química e bacteriológica da água de poços localizados próximo ao cemitério da comunidade de Santana, Ilha de Maré, Salvador - BA. **Candombá - Revista Virtual**, v. 5, p. 132-148, jul – dez 2009.

LIVINGSTONE, S.; GRANZ, T.; GUIGUER, N. Managing Ground-water Resources Using Wellhead Programs. **Geoscience Canada**, v. 22, n. 3, 1995. Disponível em: <<https://journals.lib.unb.ca/index.php/GC/article/view/3879/4393>>. Acesso em 05 Mar. 2021.

LUNARDI, S.; DE BORBA, W. F.; FAVARETTO, J.; MARTINS, M.; FACCENDA, H. B. Contamination susceptibility of Serra Geral Aquifer at municipal scale in Brazil. **Social Sciences & Humanities Open**, v. 4, n. 1, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2021.100144>.

MACHADO, L. G. Análise da influência da topografia na variação sazonal de fitofisionomias na bacia do Rio Veríssimo - GO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p.2817-2822.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. **Projeto mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul: escala 1:750.000, relatório final**. Porto Alegre: CPRM, 2005.

MACHIWAL, D.; JHA, M. K.; SINGH, V. P.; MOHAN, C. Assessment and mapping of groundwater vulnerability to pollution: Current status and challenges, **Earth-Science Reviews**, v. 185, 901 - 927, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.08.009>.

MANUEL FILHO, J. Contaminação das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. 3ª ed. Rio de Janeiro: CPRM/LABHIDRO, 2008. Cap. 5.3, p. 381 - 404.

MARION, F. A. Águas subterrâneas, atividades potencialmente contaminantes e o aporte do geoprocessamento na definição de conflitos. **Geoambiente On-Line**, Jataí, v. n. 17, p. 31 - 47, 17 jul. 2011. <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i17.26026>

MOTA JÚNIOR, J. A. P. **Diagnóstico ambiental de cemitérios - estudo de caso São Luís do Maranhão**. 2012. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e

Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2012.

NECKEL, A.; COSTA, C.; MARIO, D. N.; SABADIN, C. E. S.; BODAH, E. T. Environmental damage and public health threat caused by cemeteries: a proposal of ideal cemeteries for the growing urban sprawl. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9, n. 2, p. 216 - 230, 2017. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.009.002.AO05>

NORDH, H.; SWENSEN, G. Introduction to the special feature "The role of cemeteries as green urban spaces". **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 33, p. 56 - 57, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.04.014>.

OROJI, B. Groundwater vulnerability assessment using GIS-based DRASTIC and GOD in the Asadabad plain. **Journal of Materials and Environmental Sciences**, v. 8, n. 6, p. 1809 - 1816, 2018. <https://doi.org/10.26872/jmes.2018.9.6.201>

PACHECO, A. **Meio ambiente e cemitérios**. São Paulo: Senac, 2012.

PACHECO, A. **Cemitério e meio ambiente**. Tese de Livre Docência. Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 2000. 105f.

PACHECO C. E.M., MARINHOS L.W., STRACERI L.Y.A., SHATKOVSKY M., IRIYA A. S., COLUCCI R.; KINOSHITA R. K. **Programa de minimização da contaminação das águas subterrâneas causada por cemitérios** [trabalho de curso de especialização]. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da USP; 1993.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARVOREZINHA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Produto C - diagnóstico técnico-participativo: Arvorezinha**. Arvorezinha: 2017.

REBOUÇAS, A. C. Água subterrânea. In. REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3ª ed. São Paulo, 2006. P. 111-141.

RIO GRANDE DO SUL. **Decreto Nº 53.885, de 16 de janeiro de 2018**. Porto Alegre: Assembleia Legislativa, 2018. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201803/08095109-decreto-53885-2017.pdf>> Acesso em: 05 abr. 2021.

ROSA, C. N. ; TASSI, R.; BORBA, W. F.; FAVARETTO, J. R.; FERNANDES, G. D. A.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Relação entre aquíferos susceptíveis à contaminação e Áreas de Preservação Permanente Hídrica em Ijuí, RS. **Pesquisas em Geociências (Online)**, v. 46, p. e0781, 2019. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.97674>

RUKMANA, B. T. S.; BARGAWA, W. S.; CAHYAD, T. A. Assessment of Groundwater Vulnerability Using GOD Method. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, 477, 2020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/477/1/012020>

SEMA, 2021. **G040 - Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas**. Disponível em: <<https://sema.rs.gov.br/g040-bh-taquari-antas>>. Acesso em: 06 maio 2021.

SIAGAS. SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Pesquisa geral**. Disponível em: <[http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa\\_complexa.php](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php)>. Acesso em: 05 abr. 2021.

SILVA, R. W. C.; MANUEL FILHO, W. Cemitérios: Fonte de contaminação. **Ciência Hoje**. v. 44, n. 263. p. 24 - 29, 2009.

SKÅR, M.; NORDH, H.; SWENSEN, G. Green urban cemeteries: more than just parks. **Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability**, v. 11, n. 3, p. 362 - 382, 2018. <https://doi.org/10.1080/17549175.2018.1470104>.

SPONGBERG, A. L.; BECKS, P. M. Inorganic Soil Contamination from Cemetery Leachate. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 117, p. 313 - 327 2000. <https://doi.org/10.1023/A:1005186919370>.

SOUSA, M. C. de B. **Gestão de aquíferos impactados por necrópoles**. 2015. 103f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2015.

TERRA, L. G.; BORBA, W. F.; FERNANDES, G. D. A.; TROMBETA, H. W.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Caracterização hidroquímica e vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas no município de Ametista do Sul - RS. **Revista Monografias Ambientais (REMOA/UFSM)**, v. 15, p. 94, 2015. <https://doi.org/10.5902/2236130820033>

THOMPSON, B. Cemitérios verticais, espaço urbano e meio ambiente: O novo discurso científico universitário de incentivo a verticalização de cemitério e à cremação. **Primeiros estudos**, n. 7, p. 7 - 27, 2015. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2237-2423.v0i7p7-27>.

TUNDISI, J. G. (coord). **Recursos hídricos no Brasil problemas, desafios e estratégias para o futuro**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014. 90p.



## APÊNDICE A

Ponto	Coordenada UTM		Município	Parâmetro G		Parâmetro G		Parâmetro G		GOD	Vulnerabilidade
	UTME	UTMN		Característica	Nota	Característica	Nota	Característica	Nota		
4300013421	398984	6803472	Anta gorda	Confinado	0,20	Basalto	0,65	7,30	0,80	0,10	Insignificante
4300013423	396421	6804772	Anta gorda	Confinado	0,20	Basalto	0,65	7,80	0,80	0,10	Insignificante
4300013422	398371	6803239	Anta gorda	Confinado	0,20	Basalto	0,65	10,47	0,80	0,10	Insignificante
4300024867	401747	6803473	Anta gorda	Confinado	0,20	Basalto	0,65	17,78	0,80	0,10	Insignificante
4300001816	384437	6805591	Arvorezinha	Confinado	0,20	Solos residuais	0,40	5,88	0,80	0,06	Insignificante
4300015377	385072	6805793	Arvorezinha	Confinado	0,20	Solos residuais	0,40	1,34	0,90	0,07	Insignificante
4300001823	385558	6804325	Arvorezinha	Confinado	0,20	Solos residuais	0,40	1,36	0,90	0,07	Insignificante
4300015375	382967	6804598	Arvorezinha	Confinado	0,20	Solos residuais	0,40	1,46	0,90	0,07	Insignificante
4300015376	382671	6805835	Arvorezinha	Confinado	0,20	Solos residuais	0,40	2,56	0,90	0,07	Insignificante
4300015374	381702	6800734	Arvorezinha	Confinado	0,20	Solos residuais	0,40	2,79	0,90	0,07	Insignificante
4300015393	396558	6807477	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	20,04	0,70	0,09	Insignificante
4300024719	385000	6806125	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	23,04	0,70	0,09	Insignificante
4300012464	390779	6809862	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	23,73	0,70	0,09	Insignificante
4300015381	385671	6804673	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	24,50	0,70	0,09	Insignificante
4300015398	394545	6810693	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	39,90	0,70	0,09	Insignificante
4300015397	390771	6809888	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	45,00	0,70	0,09	Insignificante
4300001455	384574	6805937	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	5,50	0,80	0,10	Insignificante
4300015392	396550	6807476	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	5,80	0,80	0,10	Insignificante
4300015391	392750	6806039	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	6,26	0,80	0,10	Insignificante
4300001819	383709	6805350	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	6,37	0,80	0,10	Insignificante
4300021111	383476	6805172	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	6,37	0,80	0,10	Insignificante
4300001820	383401	6805107	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	6,78	0,80	0,10	Insignificante
4300021110	384449	6805566	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	7,03	0,80	0,10	Insignificante
4300015387	386691	6808557	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	7,61	0,80	0,10	Insignificante
4300015380	382687	6805441	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	9,50	0,80	0,10	Insignificante
4300015399	397177	6810634	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	11,50	0,80	0,10	Insignificante
4300015401	391896	6811941	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	13,56	0,80	0,10	Insignificante
4300015373	381777	6809576	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	13,71	0,80	0,10	Insignificante
4300015400	393194	6811895	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	13,90	0,80	0,10	Insignificante
4300015395	398847	6806131	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	14,70	0,80	0,10	Insignificante
4300015385	378769	6796650	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	17,10	0,80	0,10	Insignificante
4300021108	383836	6806216	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	18,62	0,80	0,10	Insignificante
4300015388	388320	6805765	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	19,67	0,80	0,10	Insignificante

4300015384	379454	6800346	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	0,89	0,90	0,12	Baixa
4300015383	379339	6801804	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	1,54	0,90	0,12	Baixa
4300015378	377484	6807081	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	1,99	0,90	0,12	Baixa
4300021291	377473	6807083	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	2,90	0,90	0,12	Baixa
4300015379	378793	6804129	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	3,25	0,90	0,12	Baixa
4300015382	381492	6806969	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	3,40	0,90	0,12	Baixa
4300024523	391949	6812016	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	3,92	0,90	0,12	Baixa
4300022701	378819	6804078	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	4,60	0,90	0,12	Baixa
4300022941	378842	6804079	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	4,60	0,90	0,12	Baixa
4300015389	389462	6808143	Arvorezinha	Confinado	0,20	Basalto	0,65	4,65	0,90	0,12	Baixa
4300027906	382690	6803816	Arvorezinha	Livre	1,00	Solos residuais	0,40	0,19	0,90	0,36	Média
4300001824	383984	6807339	Arvorezinha	Livre	1,00	Solos residuais	0,40	0,34	0,90	0,36	Média
4300001813	385800	6805825	Arvorezinha	Livre	1,00	Solos residuais	0,40	0,90	0,90	0,36	Média
4300001456	382958	6804520	Arvorezinha	Livre	1,00	Solos residuais	0,40	1,46	0,90	0,36	Média
4300024810	398859	6806098	Arvorezinha	Livre	1,00	Basalto	0,65	41,00	0,70	0,46	Média
4300001817	384060	6805542	Arvorezinha	Livre	1,00	Basalto	0,65	8,44	0,80	0,52	Alta
4300001457	382697	6805830	Arvorezinha	Livre	1,00	Basalto	0,65	15,10	0,80	0,52	Alta
4300001815	385146	6805899	Arvorezinha	Livre	1,00	Basalto	0,65	1,34	0,90	0,59	Alta
4300001814	385145	6805904	Arvorezinha	Livre	1,00	Basalto	0,65	2,00	0,90	0,59	Alta
4300001818	384330	6805150	Arvorezinha	Livre	1,00	Basalto	0,65	2,95	0,90	0,59	Alta
4300024813	385902	6804385	Arvorezinha	Livre	1,00	Basalto	0,65	4,04	0,90	0,59	Alta
4300015028	376542	6793104	Fontoura xavier	Confinado	0,20	Basalto	0,65	21,90	0,70	0,09	Insignificante
4300015027	373558	6790792	Fontoura xavier	Confinado	0,20	Basalto	0,65	34,30	0,70	0,09	Insignificante
4300015021	369941	6800187	Fontoura xavier	Confinado	0,20	Basalto	0,65	11,37	0,80	0,10	Insignificante
4300015022	371322	6803292	Fontoura xavier	Confinado	0,20	Basalto	0,65	18,70	0,80	0,10	Insignificante
4300015029	379115	6790659	Fontoura xavier	Confinado	0,20	Basalto	0,65	19,40	0,80	0,10	Insignificante
4300015020	370417	6799019	Fontoura xavier	Confinado	0,20	Basalto	0,65	3,70	0,90	0,12	Baixa
4300001821	386242	6802710	Ilopolis	Confinado	0,20	Solos residuais	0,40	1,62	0,90	0,07	Insignificante
4300006978	390759	6800711	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	56,00	0,60	0,08	Insignificante
4300014642	385061	6799396	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	72,35	0,60	0,08	Insignificante
4300014911	387876	6802053	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	75,51	0,60	0,08	Insignificante
4300024878	387945	6802034	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	75,51	0,60	0,08	Insignificante
4300025132	387881	6802017	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	75,51	0,60	0,08	Insignificante

4300001806	387821	6801149	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	78,38	0,60	0,08	Insignificante
4300014645	389559	6803098	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	21,28	0,70	0,09	Insignificante
4300014630	390792	6800795	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	21,45	0,70	0,09	Insignificante
4300014640	394093	6798151	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	26,87	0,70	0,09	Insignificante
4300014639	394188	6798231	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	34,93	0,70	0,09	Insignificante
4300024873	386564	6803479	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	5,64	0,80	0,10	Insignificante
4300014644	388300	6800829	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	5,70	0,80	0,10	Insignificante
4300014637	393477	6793983	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	6,00	0,80	0,10	Insignificante
4300014646	393148	6800119	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	6,00	0,80	0,10	Insignificante
4300014632	392676	6798826	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	9,90	0,80	0,10	Insignificante
4300014641	385376	6798098	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	10,40	0,80	0,10	Insignificante
4300001805	389750	6799797	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	10,79	0,80	0,10	Insignificante
4300014638	394927	6795846	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	11,00	0,80	0,10	Insignificante
4300001466	390055	6799913	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	19,48	0,80	0,10	Insignificante
4300014635	390293	6796145	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	1,00	0,90	0,12	Baixa
4300001465	390221	6799517	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	2,95	0,90	0,12	Baixa
4300014636	388817	6794881	Ilopolis	Confinado	0,20	Basalto	0,65	4,68	0,90	0,12	Baixa
4300026952	386904	6801878	Ilopolis	Livre	1,00	Solos residuais	0,40	1,81	0,90	0,36	Média
4300026951	387885	6802025	Ilopolis	Livre	1,00	Basalto	0,65	75,51	0,60	0,39	Média
4300015763	393967	6813207	Itapuca	Confinado	0,20	Basalto	0,65	38,00	0,70	0,09	Insignificante
4300015768	378552	6811376	Itapuca	Confinado	0,20	Basalto	0,65	5,84	0,80	0,10	Insignificante
4300015764	390638	6813223	Itapuca	Confinado	0,20	Basalto	0,65	11,30	0,80	0,10	Insignificante
4300015765	386652	6814683	Itapuca	Confinado	0,20	Basalto	0,65	0,00	0,90	0,12	Baixa