

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**ATHOS MATHEUS DE CASTRO FERREIRA**

**ANÁLISE QUÍMICA DE SOLOS E ÁGUA PARA CARACTERIZAÇÃO  
AMBIENTAL DE UM ANTIGO LIXÃO NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL –  
RS.**

**Caçapava do Sul, 2020.**

**ATHOS MATHEUS DE CASTRO FERREIRA**

**ANÁLISE QUÍMICA DE SOLOS E ÁGUA PARA CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL  
DE UM ANTIGO LIXÃO NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL – RS.**

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

Orientador: Prof. Dra. Cristiane Heredia Gomes.

**Caçapava do Sul, 2020.**



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal do Pampa

**ATHOS MATHEUS DE CASTRO FERREIRA**

**ANÁLISE QUÍMICA DE SOLOS E ÁGUA PARA CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DE UM  
ANTIGO LIXÃO 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:

16 de dezembro e 2020.

Banca examinadora:

---

Prof. Dra. Cristiane Heredia Gomes

Orientador

UNIPAMPA

---

Geofísico Lenon Ilha

UNIPAMPA

---

Prof. Me. Luiz Delfino Teixeira Albarnaz

UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **LENON MELO ILHA, Técnico de Laboratório Área**, em 16/12/2020, às 21:08, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CRISTIANE HEREDIA GOMES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/12/2020, às 09:56, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **LUIZ DELFINO TEIXEIRA ALBARNAZ, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/12/2020, às 10:03, 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](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0429309** e o código CRC **621FAAB6**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

## **AGRADECIMENTO**

Aos meus pais primeiramente por darem todo o suporte necessário nesta etapa da minha vida, por poderem suprir todas as necessidades e que sempre foram exemplos de profissionais e excelentes pessoas.

Aos meus irmãos José Lucas Lênin de Castro Ferreira e João Gilberto de Castro Ferreira que me incentivaram a buscar o que sempre quis e sempre acreditaram na minha capacidade.

À Universidade Federal do Pampa e ao corpo docente, em especial à Prof.<sup>a</sup> Dra. Cristiane Heredia Gomes, que dedicou tempo e empenho para a realização deste trabalho. Aos demais, agradeço o conhecimento adquirido e a força de vontade de tentar passar o máximo que puderam nas mais adversas situações.

Aos meus irmãos de martelo, Jéssica Botelho, Hamilton Reis, Rodrigo Gentil, Saulo Lopes, Fernanda e Ana, pela paciência e compreensão. Pelas noites de estudo e por todos os momentos em que passamos nesses anos, que levarei para o resto da vida.

Ao Bruno Campos, Victória Silveira, Lenon Ilha, Fabiano Madrid e a todos os outros que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

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) .

F383a Ferreira, Athos Matheus de Castro

**ANÁLISE QUÍMICA DE SOLOS E ÁGUA PARA CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DE UM ANTIGO LIXÃO NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL – RS.** / Athos Matheus de Castro Ferreira.

55 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-- Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2020.

"Orientação: Cristiane Heredia Gomes".

1. Geoquímica. 2. Resíduos Sólidos. 3. Geoquímica. 4. Saúde.

“É melhor tentar e falhar, que preocupar-se ver a vida passar. É melhor tentar, que ainda que em vão sentar-se fazendo nada até o final. Eu prefiro na chuva caminhar, que em dias frios em casa me esconder. Prefiro ser feliz embora louco, que em conformidade de viver. ” - Martin Luther King Jr.

## RESUMO

O impacto sobre a saúde humana por água, rochas e minerais é conhecido há vários anos, mas no Brasil ainda há uma escassez de estudos sistemáticos e multidisciplinares sobre a relação entre processos geológicos e a saúde humana, principalmente no campo da Geologia Médica. No entanto, nos últimos anos tem havido um ressurgimento do interesse por este campo de estudo. Geólogos e profissionais da saúde pública, em conjunto, fizeram importantes contribuições para a compreensão de novos caminhos de exposição e causas de problemas de saúde ambiental, tais como: exposição a níveis tóxicos de elementos químicos, deficiências de elementos traços, exposição a poeiras/poluição e compostos químicos na água potável. No Brasil e principalmente em cidades interioranas, tais como Caçapava do Sul-RS, o controle e o conhecimento científico sobre a disposição de resíduos sólidos domiciliares, que podem gerar diversas consequências ao meio ambiente e ao homem, é escasso ou inexistente. A falta de estudos prévios e a constante fiscalização podem ocasionar na contínua poluição do solo, do ar e de águas superficiais e subterrâneas. O conhecimento sobre as características do solo nos permite prever, avaliar e o caracterizar quanto a sua saúde. As concentrações anômalas, sejam elas superior ou inferior a legislação brasileira vigente, de alguns elementos químicos podem ser nocivos a biota regional e, conseqüentemente ao ser humano. Assim, o acompanhamento periódico de locais propensos à poluição é necessário. Este trabalho visa caracterizar quanto a geoquímica o solo de uma área em Caçapava do Sul-RS, localizada em uma zona rural denominada Rincão dos Paz, a partir de amostras coletadas em um lixão aterrado que esteve em uso durante um período de 14 anos. Apesar do esforço de aterrar os resíduos depositados, a ação do tempo fez com que o material sobreposto fosse remobilizado. Isto criou superfícies de escape que carregaram parte do solo, deixando o antigo resíduo exposto em alguns pontos da área. A partir da coleta e análise de 17 amostras de solo, através do método de Espectrometria de Fluorescência de Raios X com Dispersão Indutiva (EDXRF), foi constatado existência de alguns elementos como o Fe, Al, e Cd que podem estar relacionados a fontes antrópicas. A aquisição de 5 amostras de água das vertentes proximais a área de estudo, e análise de suas características hidroquímicas identificaram pequenas variações em relação ao pH, dureza total, condutividade elétrica e alcalinidade dos recursos hídricos regionais, podendo ter relação com o antigo lixão. Apesar de evidenciar uma correlação, é necessário a realização de análises mais específicas para atestar a qualidade da água e do solo da região.

**Palavras-Chave:** Resíduos Sólidos; Solo; Geoquímica; Saúde.



## **ABSTRACT**

The impact on human health by water, rocks and minerals has been known for several years, but in Brazil there is still a shortage of systematic and multidisciplinary studies on the relationship between geological processes and human health, especially in the field of Medical Geology. However, in recent years there has been a resurgence of interest in this field of study. Together, geologists and public health professionals, have made important contributions to understanding of new exposure pathways of exposure and causes of environmental health problems, such as: exposure to toxic levels of chemical elements, trace element deficiencies, exposure to dust/pollution and chemical compounds in drinking water. In Brazil, especially in interior cities, such as Caçapava do Sul – RS, control and scientific knowledge about the disposal of household solid waste, which can generate several consequences for the environment and man, is scarce or nonexistent. The lack of previous studies and constant monitoring can lead to continuous pollution of soil, air, surface and ground water. Knowledge about soil characteristics allows us to predict, evaluate and characterize its health. The anomalous concentrations, superior or inferior to the current Brazilian legislation of some chemical elements can be harmful to the regional biota and, consequently, to human being. Thus, periodic monitoring of sites prone to pollution is necessary. This work aims to characterize the geochemistry of the soil in an area in Caçapava do Sul – RS, from samples collected in a landfilled dumping ground that has been in use for 14 years. Despite the effort to landfill the deposited waste, the action of time caused remobilization of the overlapped material. That created escape surfaces that carried part of the soil, leaving the old residue exposed locally in some areas. From the collection and analysis of 17 soil samples through X-ray Fluorescence Spectroscopy with Inductive Dispersion (EDXRF), some elements such as Fe, Al, and Cd were found to be related to anthropogenic sources. The acquisition of 5 samples of water from the proximal slopes of the study area and analysis of their hydrochemical characteristics identified small variations of pH, total hardness, electrical conductivity and alkalinity of the regional water resources, which may be related to the old dumping ground. Although showing evidences of correlation, it is necessary to carry out more specific analyses to ascertain the water and soil quality of the region.

**Keywords:** Solid Waste; Soil; Geochemistry; Health.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo em relação ao município de Caçapava do Sul .....	17
Figura 2 – Mapa geológico regional da área de estudo.....	18
Figura 3 – Mapa geológico de detalhe da área de estudo .....	20
Figura 4 – Gráfico de precipitação média mensal para o município de Caçapava do Sul.....	21
Figura 5 – Gráfico das temperaturas médias mensais para o município de Caçapava do Sul .....	21
Figura 6 – Mapa pedológico com hidrografia da área de estudo .....	23
Figura 7 – Classificação de Goldschimdt.....	27
Figura 8 – Imagem com distribuição espacial dos pontos de coleta de solos e destaque para o antigo lixão.....	29
Figura 9 – Imagem com a distribuição espacial dos pontos de coleta de água e destaque para o antigo lixão.....	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise de EDXRF para as amostras analisadas .....	36
Tabela 2 – Sumário Estatístico.....	37
Tabela 3 – Coeficiente de Correlação de Pearson: <i>Background</i> .....	39
Tabela 4 – Coeficiente de Correlação de Pearson: Antigo Lixão .....	40
Tabela 5 – Resultado das Análises de Água .....	41

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**EDXRF** - Espectrometria de Fluorescência de Raios-X com Dispersão Indutiva

**CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**NE** – Nordeste

**NE - SW** – Nordeste-Sudoeste

**NW – SW** – Noroeste-Sudoeste

**N – NE** – Norte-Nordeste

**E** – Leste

**ESRG** – Escudo Sul-Rio-Grandense

**SG** – Terreno São Gabriel

**FUNASA** – Fundação Nacional da Saúde

**PNRS** – Política Nacional dos Resíduos Sólidos

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
2.1 Objetivos Gerais .....	16
2.2 Objetivos Específicos .....	16
<b>3. JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>16</b>
<b>4. ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>17</b>
4.1 Geologia Regional .....	18
4.2 Geologia Local .....	21
4.3 Aspectos Fisiográficos .....	22
4.3.1 Clima.....	23
4.3.2 Geomorfologia .....	24
4.3.3 Pedologia.....	24
4.3.4 Hidrografia.....	25
<b>5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>26</b>
5.1 Resíduos Sólidos .....	26
5.2 Contaminação do Solo e Água .....	27
5.3 Mobilidade de Elementos Químicos.....	28
<b>6. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
6.1 Análise por Espectrometria de Fluorescência de Raios-X com Dispersão Indutiva (EDXRF) .....	32
6.2 Análise Estatística .....	33
<b>6.2.1 Coeficiente de Correlação de Pearson .....</b>	<b>33</b>
6.3 pH.....	34
6.3 Condutividade Elétrica .....	34
6.4 Dureza .....	35
6.5 Alcalinidade .....	35
<b>7. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>36</b>

7.1 Solos.....	36
7.1.1 Análise de Correlação de Pearson.....	40
7.2 Recursos Hídricos.....	44
7.2.1 Potencial Hidrogeniônico.....	44
7.2.2 Condutividade Elétrica.....	45
7.2.3 Alcalinidade .....	45
7.2.4 Dureza Total.....	46
<b>8. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>46</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de resíduos sólidos é algo que acompanhou o ser humano desde os primórdios e vem sendo estudado constantemente com o passar dos anos. Segundo Eigenheer (2009, p. 16), “os problemas com dejetos e lixo não eram tão complexos enquanto o homem vivia em grupos nômades. O problema se dá com a fixação em aldeias principalmente em cidades, que começaram a ser formadas por volta de 4.000 a.C”. Os processos civilizatórios levaram o homem a se fixarem em grandes grupos, exigindo a criação de utensílios para promover o seu conforto e, assim, gerando resíduos sólidos e os primeiros lugares de destinação a eles. O crescimento populacional desordenado, êxodo rural e a centralização em grandes polos mercantis foram cruciais para desestabilizar o aporte de resíduos produzidos.

Com o acesso à informação e a maior contribuição da comunidade científica, que foram obtidos com os avanços da revolução industrial, a população global começou a se preocupar gradativamente com a produção e o destino dado aos resíduos gerados. Sendo que, somente na segunda metade do século XX tais assuntos começaram a ganhar maior notoriedade.

No Brasil, houve gradativas mudanças significativas nas políticas públicas de destinação dos resíduos sólidos ao longo da história, e apesar de serem estipuladas por normas, a pouca fiscalização fez com que diversos locais clandestinos fossem criados. Segundo Velozo et al. (2006), o depósito de lixo doméstico, industrial e de serviços de saúde, sem um prévio estudo geológico e hidrológico é um fenômeno nocivo a sociedade, uma vez que promove a degradação do meio ambiente (VELOZO, et al., 2006).

É incontestável que a manutenção da saúde do solo e água são de interesse antrópico, uma vez que são recursos naturais preciosos e interferem direta ou indiretamente na qualidade de vida regional. Para Aguiar (2008), o desgaste da qualidade física do solo pode ser indicado pela baixa porosidade, maior resistência à penetração de raízes e redução das suas capacidades de reter líquidos e componentes químicos, tendo impactos diretos nos processos para que o solo exerça corretamente suas funções.

A constante fiscalização e monitoramento dos parâmetros geoquímicos e físicos do solo e da água são de fundamental importância para manutenção da saúde do meio ambiente. Para isso, a caracterização dos parâmetros geoquímicos é uma ferramenta que se mostra útil. Neste estudo

adota-se a Espectrometria de Fluorescência de Raios-X com Dispersão Indutiva (EDXRF) e análise hidroquímica da água para correlacionar com a legislação vigente.

Atualmente a cidade de Caçapava do Sul não conta com coleta seletiva e destina seus resíduos sólidos a cidades vizinhas. No passado, os resíduos sólidos gerados na cidade eram depositados em locais impróprios, podendo levar a poluição do meio ambiente. No caso do antigo lixão do presente trabalho, esteve em operação durante 14 anos e desde 1994 não é destinado resíduos para a área.

Diante da problemática abordada, os dados adquiridos serão disponibilizados para estudo, com fim de compreender a evolução da situação da área, assim como evitar e/ou mitigar possíveis futuras contaminações ambientais referentes a disposição de resíduos sólidos no município.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos Gerais**

O objetivo geral deste estudo é analisar a composição geoquímica do solo de um antigo lixão e as características físico-químicas da água dos arroios próximos à área de estudo no município de Caçapava do Sul – RS.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Para tal fim, os objetivos específicos são:

- Realizar análise de EDXRF em amostras de solo e utilizar métodos estatísticos para atestar a correlação de elementos;
- Realizar análises físico-químicas de água como pH, condutividade, dureza e alcalinidade;
- Analisar os dados obtidos e correlacionar com a legislação vigente de modo a tentar achar evidências da possível influência antrópica sobre a região.

## **3. JUSTIFICATIVA**



Este estudo se justifica pela importância da compreensão dos processos e impactos que a ação antrópica submete ao meio ambiente, principalmente no município de Caçapava do Sul. O ser humano cada vez mais interfere nos ciclos naturais, causando diversas vezes desequilíbrios maléficos ao funcionamento do meio em que vive. É de fundamental importância estudar as possíveis causas de tais problemas para extinguir ou mitigar os danos gerados, assim como analisar e identificar os impactos de curto a longo prazo.

A integração de conhecimentos de diversos ramos da geologia deve cada vez mais ser recorrente, pois suprem e agregam ao conhecimento científico mutuamente. No campo da geologia médica não é diferente, e vem tendo destaque nos últimos anos devido sua importância em atuar em áreas pouco difundidas e estarem relacionadas diretamente com a preservação da vida e da saúde do meio ambiente.

Este trabalho visa integrar e enriquecer o conhecimento científico no ramo da geologia médica, uma vez que dados desse viés ainda são escassos em áreas destinadas a deposição de resíduos, assim como servir como base para a análise das intrínsecas relações entre geologia e saúde. Também visa contribuir com o município em questões concernentes à saúde pública, de modo a conscientizar a população local.

#### **4. ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo do presente trabalho, situa-se na zona rural do município de Caçapava do Sul – RS. Segundo o IBGE (2010), situa-se na mesorregião sudeste do estado, inserida na microrregião das Serras do Sudeste. O município está localizado aproximadamente 260 km a sudoeste de Porto Alegre e possui 33.690 habitantes (IBGE, 2010).

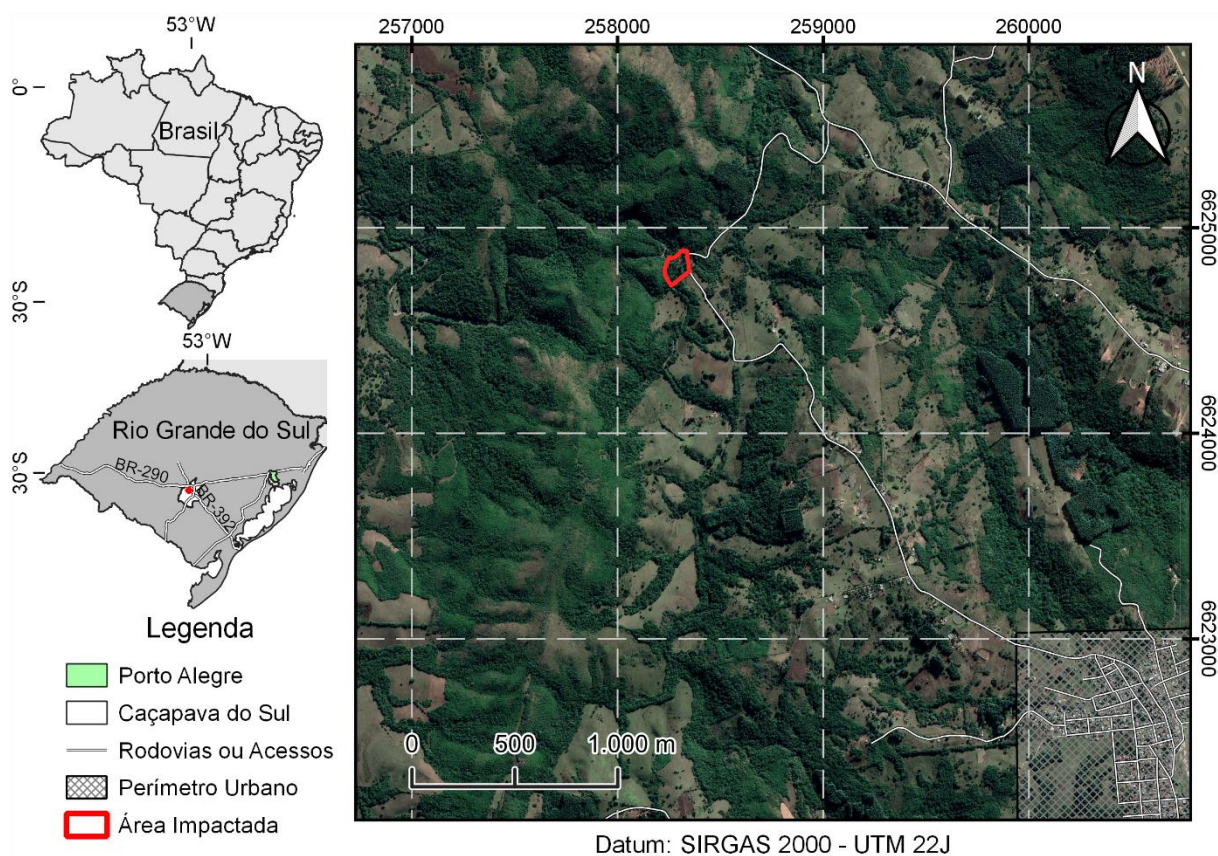
A principal rota de acesso a Caçapava do Sul, a partir de Porto Alegre, se dá pela BR – 290, que corta o estado em direção Leste – Oeste, percorrendo cerca de 240 km até a ramificação com a BR – 392, seguindo aproximadamente 15 km até a entrada do município.

O acesso principal à área de estudo, a partir do Forte Dom Pedro II, é dado pela Rua João Carlos O. Tôres (3,4 km). Após o fim da mesma, segue-se aproximadamente 750 metros em uma estrada vicinal, sem nome segundo populares, até a região de estudo (Figura 1).

A área compreende um antigo lixão de resíduos sólidos domésticos, que se encontra desativado e duas ramificações de corpos d'água proximais oriundas do Arroio dos Lanceiros. Foi

destinado ao local aproximadamente 20.000 toneladas de resíduos sólidos urbanos em uma área de 1,3 hectares, sendo posteriormente compactada, aterrada e reconfigurada com a plantação de gramíneas e leguminosas (Prefeitura Municipal de Caçapava do Sul, 2010).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo em relação ao município de Caçapava do Sul.



Fonte: IBGE (2010); Google Earth, (2019).

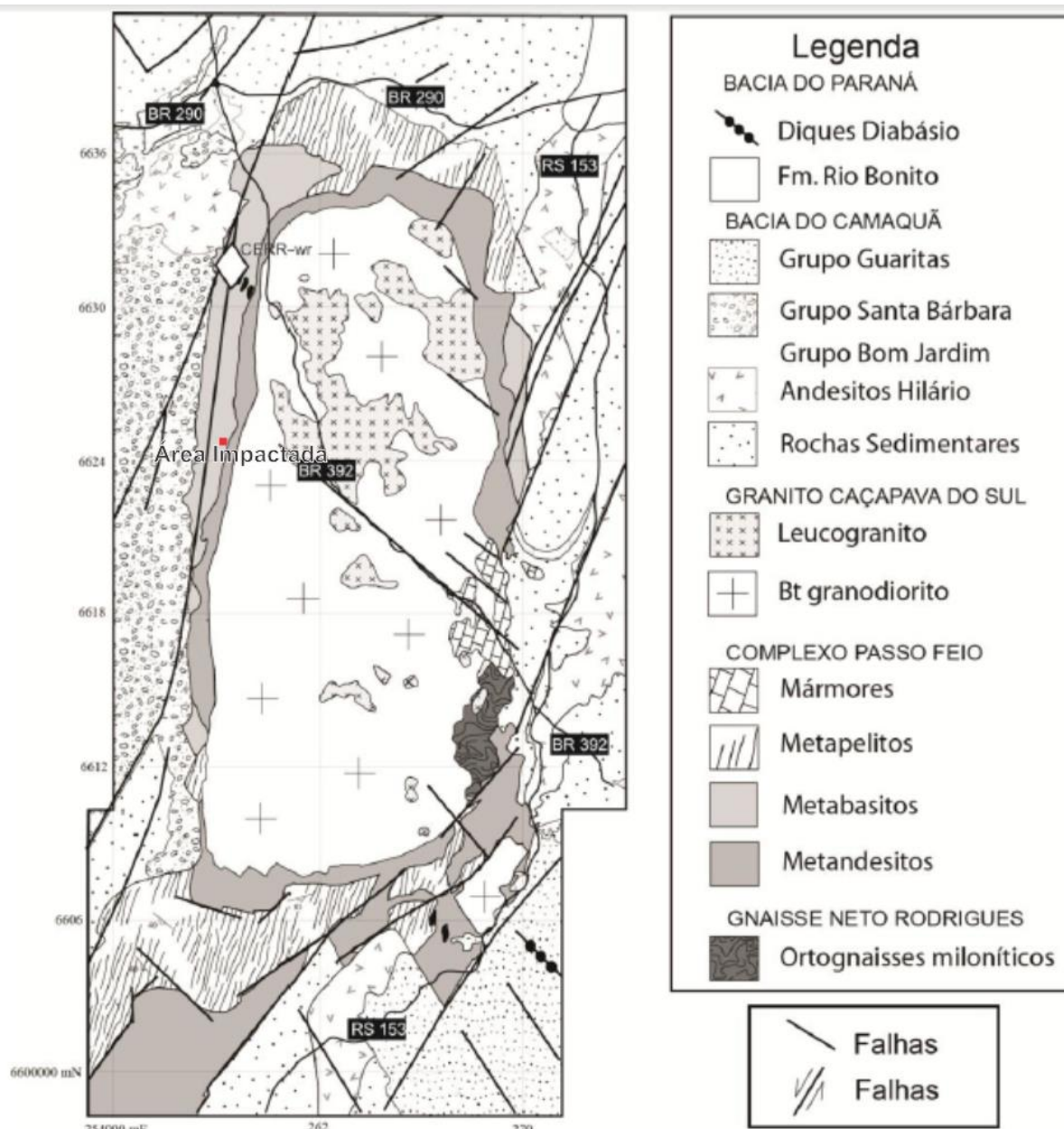
#### 4.1 Geologia Regional

A área de estudo se localiza na região de Caçapava do Sul, no contexto geológico do Escudo Sul-rio-grandense (ESRG), inserida no Terreno São Gabriel (SG) (HARTMANN et al., 2007) (Figura 2). O ESRG representa a porção meridional da Província Mantiqueira predominantemente por terrenos arqueanos a neoproterozóicos, que variam entre 2,26 a 535 Ma (SOLIANI JR, 1986; HARTMANN et al., 2007).

O SG ocorre ao norte da Zona de Cisalhamento Ibaré e a oeste da Sutura Caçapava, com idades neoproterozóicas, sendo coberto na direção N-NW por rochas provenientes da Bacia do Paraná (SOLIANI JR, 1986; HARTMANN et al., 2007).

Segundo Leite e Hartmann (1997), o embasamento é composto por gnaisses de composição diorítica, trondjemitos e tonalitos oriundos do Complexo Cambaí onde sua proveniência possivelmente de ambientes de arcos de ilha. As associações evidenciam um ambiente de margem passiva de *back-arc*, ofiolitos, arcos plutônicos e vulcão-sedimentares variando entre 1Ga e 700 Ma, podendo estar relacionados a acreção de arcos vulcânicos à margem do microcontinente encantadas (Chemale Jr., 2000; Phillip et. al., 2008; Saalman et. al., 2005).

Figura 2 - Mapa geológico regional da área de estudo.



Fonte: Modificado e Philipp et al., (2011).

Para Hartmann et al., (2008), o TG pode ser dividido em quatro unidades: o Complexo Palma, que é composto por rochas metavulcânicas ultramáficas e metassedimentares de aproximadamente 0,6-1,3 Ga; o Complexo Cambaí, que consistem nas rochas que embasam o TG, formadas principalmente por gnaisses de composição diorítica e granodiorítica com intercalação de anfibolitos, metapelitos, gabros metamorfisados e mármore de idades que variam entre 680 e

735 Ma (Babinski et al., 1996); e o Complexo Bossoroca, composto por rochas vulcânicas e vulcanoclásticas andesíticas a dacíticas de idades 753 Ma (Hartmann et al., 2008).

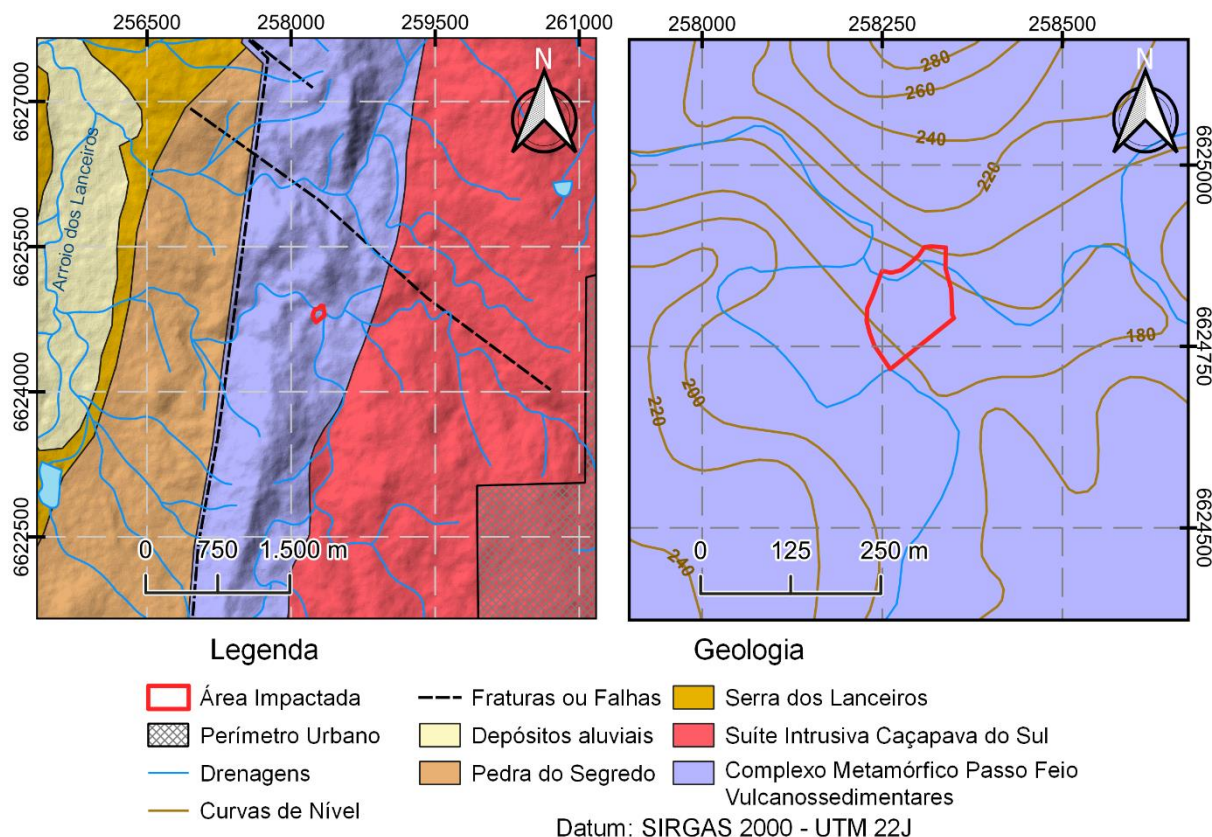
## 4.2 Geologia Local

A área de estudo está inserida no SG, localizada encaixante à borda da Suíte Granítica Caçapava do Sul, pertencente ao Complexo Metamórfico Passo Feio (Figura 3). E segundo Bitencourt (1983), ocorre na forma de uma sequência de metapelitos, filitos, anfibolitos, quartzitos, metaconglomerados, rochas metavulcanoclásticas, metavulcânicas, mármore, rochas calcicilissiclásticas, quartzitos magnesianos e rochas quartzo-feldspáticas metamorfisadas (Bitencourt, 1983).

Tais rochas foram intrudidas por um batólito granítico pós colisional de aproximadamente 562 Ma, primeiramente descrito por Lenz (1941), e posteriormente por Ribeiro (1966) e Bitencourt (1983), onde explica as relações entre a rocha encaixante e rocha intrusiva (Bitencourt, 1983).

Bitencourt (1983) diferenciou dois eventos principais de metamorfismo regional oriundos da intrusão da suíte granítica. Sendo que o primeiro denominado pela autora como: M1 – de fácies anfibolito, zona da estauroлита. Cujo características petrogenéticas das rochas encontradas na região devido a associação de andaluzita, sugere que o evento ocorreu em baixa pressão e alta temperatura. Já o M2 – consiste em um evento retrogressivo, de fácies xisto verde junto a um grande evento deformacional (Bitencourt, 1983). Ainda descreve dois grandes eventos deformacionais regionais simultâneos aos M1 e M2. E posteriormente um terceiro, resultando na geometria da estrutura antiformal regional, onde o núcleo encontra-se a suíte granítica Caçapava do Sul.

Figura 3 - Mapa geológico de detalhe da área de estudo.



Fonte: adaptado de CPRM, (2015).

Na área de estudo, que se situa mais a NW - W da suíte granítica de Caçapava do Sul, Ribeiro et al., (1966 e 1970) mapeou e classificou a porção como de domínio metavulcanossedimentar, onde comprovou a proveniência clástica dos sedimentos metamorfisados.

O polígono da área de estudo encontra-se em uma escarpa de declividade acentuada, onde nenhuma rocha aflora aparentemente e no curso da drenagem encontra-se diversos tipos de rochas roladas como por exemplo: anfíbolitos, metaconglomerados e leucogranitos oriundos das litologias que circundam a área.

### 4.3 Aspectos Fisiográficos

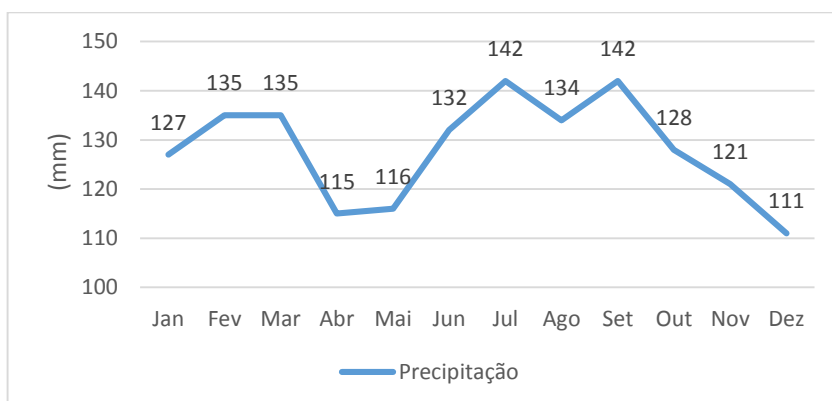
A cidade de Caçapava do Sul compreende uma área de 3.047,1 km<sup>2</sup> com elevações proximais a 440 metros de altitude (IBGE, 2010).

### 4.3.1 Clima

O clima da região central do estado, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (1936) é caracterizado como subtropical Cfa, cujas principais características são: clima úmido com precipitação durante todo o ano e sem estação seca definida e por sua vez classificado como clima temperado úmido com verão quente.

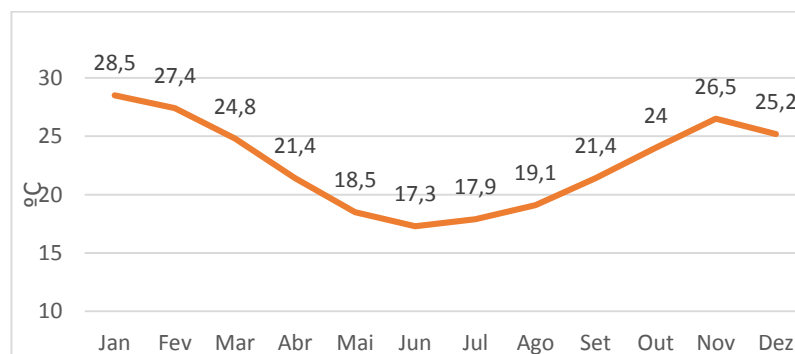
Segundo o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC, 2011) a média anual de precipitação é de 1533 mm, onde os meses de maior pluviosidade são de julho a setembro (maior precipitação ocorre em julho, com médias de 142 mm) e o mês mais seco é dezembro com apenas 111 mm em média (Figura 4). A temperatura média anual da cidade é de 17,6 °C, tendo a média das temperaturas máximas e mínimas correlatas aos períodos de maior e menor pluviosidade, respectivamente (Figura 5).

Figura 4 – Gráfico da Precipitação Média Mensal para o município de Caçapava do Sul.



Fonte: Embrapa (2010).

Figura 5 – Gráfico das temperaturas médias mensais para o município de Caçapava do Sul.



Fonte: Embrapa (2010).

### 4.3.2 Geomorfologia

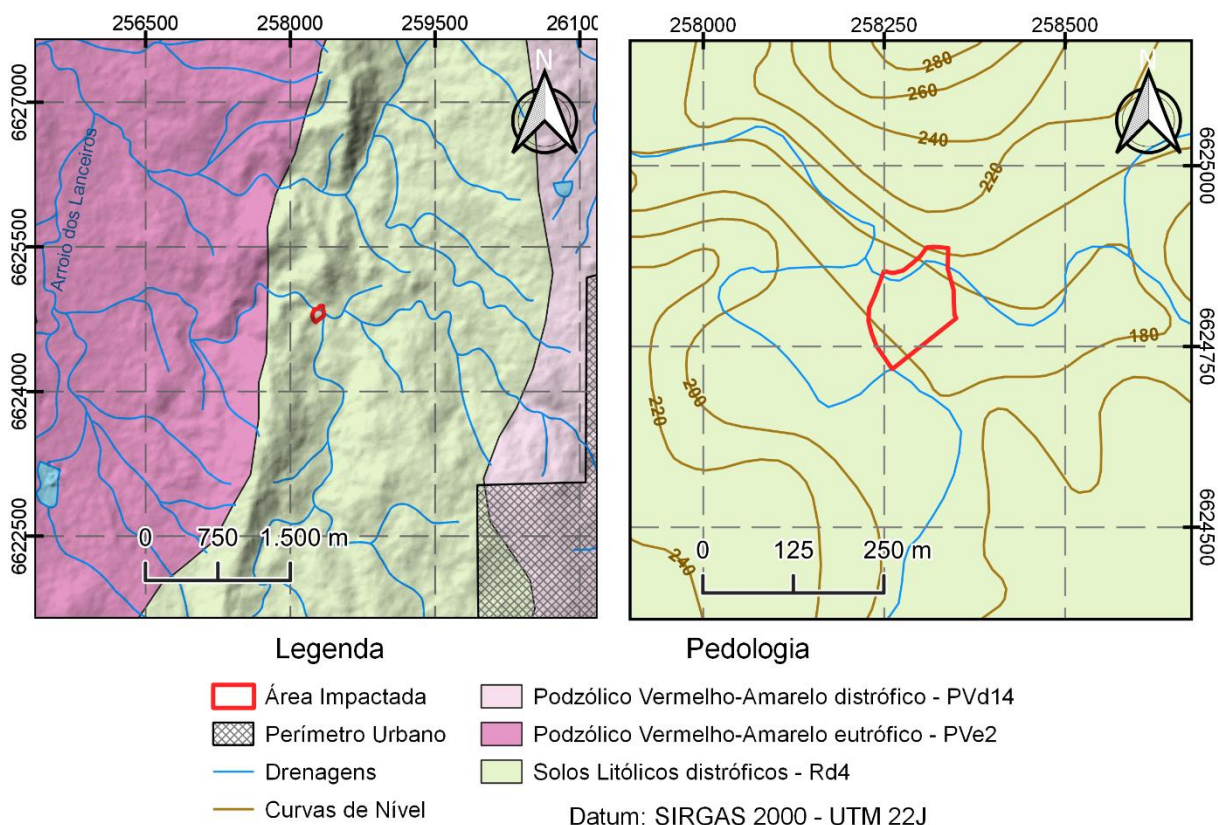
Segundo o projeto RADAMBRASIL (1986), o município de Caçapava do Sul apresenta três diferentes domínios morfoestruturais: Depósitos Sedimentares, Bacias e Coberturas Sedimentares e Embasamentos em Estilos Complexos. Dentro desses domínios é possível classificar três regiões geomorfológicas distintas: Planície Continental, Depressão Central e Planalto Sul-rio-grandense. A Planície Continental, compreende as unidades alúvio-coluvionares, a Depressão Central compreende as unidades oriundas da depressão do Rio Jacuí e o Planalto Sul-rio-grandense engloba as unidades remanescentes do Planalto Canguçu-Caçapava do Sul e Planalto Marginal.

### 4.3.3 Pedologia

De acordo com a Embrapa (2006), no município de Caçapava do Sul é possível distinguir dez unidades de solo mapeadas. Na área de estudo, predomina a ocorrência de Solos Litólicos Distróficos (Figura 6). São solos pouco desenvolvidos, resultado do intemperismo do substrato rochoso apresentando contato lítico nos primeiros 50 centímetros. Ocorre principalmente em relevos de declividade mais acentuada, onde a pouca profundidade que atinge, e sua associação a fragmentos líticos limita sua utilização.

Figura 6: Mapa pedológico com hidrografia da área de estudo.





Fonte: Embrapa (2010).

#### 4.3.4 Hidrografia

A região de Caçapava do Sul abrange duas bacias hidrográficas e três sub bacias, sendo que duas delas estão atreladas a Bacia Hidrográfica do Guaíba (Sub bacia do Baixo Jacuí e Vacacaí-Vacacaí Mirim) e uma delas está inserida na Bacia Hidrográfica Litorânea (Sub bacia do Camaquã) (SEMA, 2014).

A área de estudo encontra-se na Sub bacia Vacacaí-Vacacaí Mirim, situada na região centro-ocidental do Rio Grande do Sul. Abrange uma área de 11.077,34 km<sup>2</sup> com 16 municípios e atende aproximadamente 384.000 habitantes. Os principais corpos hídricos que compõem a Sub-bacia são: os rios Vacacaí, rio dos Corvos, São Sepé, Vacacaí-Mirim, arroio Igá e Acangupa. A vazão média proximal a foz no rio Vacacaí é de 110,44 m<sup>3</sup>/s e a descarga específica média é de 0,016 m<sup>3</sup>/s/km<sup>3</sup>. Apresenta unidades de conservação em diversos municípios durante seu curso, onde sua aplicabilidade está inerente a irrigação, pesca, pecuária e abastecimento público (SEMA, 2014).

O município de Caçapava do Sul apresenta aproximadamente 30% de sua área inserida na Sub-bacia Vacacaí-Vacacaí Mirim, onde em suas proximidades residem 5.341 pessoas, sendo que 2.825 residem em área urbana e 2.516 em área rural (SEMA, 2008).

## 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a realização deste trabalho, foram feitas pesquisas em âmbito prévio e trabalho de campo, de modo a tentar entender as particularidades da área de estudo. Assim como, fundamentar uma revisão bibliográfica que abrangesse os problemas e estabelecer uma metodologia que fosse condizente com a problemática abordada para posterior análise de dados e discussões.

### 5.1 Resíduos Sólidos

No Brasil, apesar de existir diversas políticas públicas para a destinação correta de resíduos sólidos é iminente a existência de vários lugares para deposição de resíduos ilegais ou sem algum controle, que podem afetar diretamente o meio ambiente e a população. Segundo Aguiar (2001), assim como a investigação do comportamento físico-químico dos resíduos, deve-se desenvolver novos métodos para que os malefícios sejam melhores entendidos.

Dos lugares a serem destinados os resíduos, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), define três tipos de locais onde são destinados os resíduos sólidos: Lixão, Aterros Controlados e Aterros Sanitários.

Para Ribeiro e Lima (2000), os **Lixões** são caracterizados como vazadouros a céu aberto, sem controle ambiental e nenhum tratamento direto do lixo, onde o acesso da população não é controlado e a disposição sobre o solo pode gerar a contaminação dos lençóis freáticos e drenagens proximais. Os **Aterros Controlados** são caracterizados por possuírem algum tipo de controle na deposição dos resíduos, tendo como principal característica o isolamento do perímetro, acesso restrito, cobertura dos resíduos com terra e controle de entrada de resíduos. Contudo, mesmo assim, não atendem a Política Nacional de Resíduos Sólidos (2012). Os **Aterros Sanitários**, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente, é o sistema mais adequado da gestão de resíduos sólidos, pois segue os parâmetros estipulados pela PNRS, tais como: sistema de impermeabilização do solo

e controle do lençol freático, cobertura diária dos resíduos que ali forem destinados, distância de cursos d'água e centros populacionais e planejamento prévio de uma vida útil.

No Brasil, na PNRS (2012) os resíduos podem ser classificados de acordo com a sua forma de produção e periculosidade. Os mais comuns são os domiciliares, que consistem em rejeitos perecíveis (ou não) de pequeno porte (restos de alimentos, papel, produtos de limpeza, embalagens, etc.). Também existem resíduos comerciais, públicos, resultante de serviços hospitalares e saúde, resíduos industriais, agrícola e entulhos, cuja necessidade de manejo e controle especial varia de acordo com a classe atribuída ao resíduo.

De acordo com a CETESB, geralmente, apenas resíduos que necessitam de algum controle especial são destinados para aterros sanitários. Os demais, vão para destinos comuns, como aterros controlados e lixões.

## **5.2 Contaminação do Solo e Água**

Segundo Dyminski et al. (2006), um contaminante pode ser um produto encontrado em um determinado meio, em concentrações em níveis abaixo do tolerável em relação aos critérios adotados. Já um poluente, consiste em um produto encontrado em um meio, acima do tolerável em relação aos critérios adotados.

Para uma área de estudo, a PNRS (2012) utiliza a definição de área contaminada como área ou local onde há contaminação causada pela disposição regular ou irregular de quaisquer substâncias ou resíduos. Para Braga et al. (2005), a degradação do solo é gerada através das atividades econômicas, industriais, comerciais e de serviços. E pode ser dada de diversas formas, como líquida, gasosa ou sólida. Na fase sólida, a quantidade e a dificuldade de dispersão são os principais causadores de degradação ambiental.

Segundo a Resolução nº 420/2009 do CONAMA, “dispõe sobre os critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas”, e foi utilizada para comparação dos resultados obtidos nos ensaios deste estudo. Nela estão assegurados os valores orientadores com fim de prevenir a contaminação dos solos e águas subterrâneas, assim como corpos de água estratégicos para o abastecimento urbano. No anexo A, constam os valores de qualidade de referência estipulados pela resolução.

A Resolução nº 357/2005 do CONAMA, “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências”, e também foi utilizada neste estudo para comparação dos resultados obtidos em relação ao pH e a classificação do tipo de afluente analisada. As demais metodologias, como alcalinidade, dureza total e condutividade elétrica, não são fatores que qualifiquem somente a qualidade de um recurso hídrico, porém nos provém uma melhor compreensão das características químicas estudadas assim como a relação com o contexto ambiental em que se está inserido (FUNASA, 2014).

### 5.3 Mobilidade de Elementos Químicos

A mobilização de elementos químicos no meio ambiente é dada através de processos físicos, químicos ou biológicos. As intrínsecas relações entre tais processos resultam na pedogênese, processo de degradação de material rochoso para formação de solos juvenis (DACHAUFOR, 2012). De acordo com ESPÍNDOLA (2010), as compreensões de tais processos são de fundamental importância para entender o processo de evolução do relevo e paisagem de uma região, pois são dinâmicos e estão sempre se modificando.

Para Smith (1999), os minerais abundantes da crosta terrestre são os provenientes de metais para o ambiente e os processos a que estão sujeitos não os destroem, apenas os transformam e os movem para ambientes mais distais. De acordo com Licht (1998), os espaços vazios inter-granulares são os principais meios de migração e redistribuição de material na dispersão de zonas profundas. Em ambientes superficiais, além dos vazios inter-granulares, há uma forte contribuição de áreas com grande aporte de sedimentos e/ou material orgânico, como por exemplo, nos afluentes e lagos (ROSE, et al., 1979).

Para Goldschmidt (1937), os elementos químicos apresentam afinidades que irão determinar o comportamento de migração de acordo as condições ambientais a que estão submetidos. Após observação de diferentes grupos, o autor supracitado separou em grupos cujo as afinidades são semelhantes conseguindo classifica-los em: litófilos, siderófilos, calcófilos e atmófilos (Figura 7).

Figura 7 – Classificação de Goldschmidt.

GRUPO

CLASSIFICAÇÃO DE GOLDSCHMIDT

1	IA	H	IIA																		VIIIA	He									
2		Li	Be																		III A	B	IV A	C	V A	N	VIA	O	VII A	F	Ne
3		Na	Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII B	IB	IIB										Al	Si	P	S	Cl	Ar					
4		K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr												
5		Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe												
6		Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn												
7		Fr	Ra	Ac																											
					La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu												
					Ac	Th	Pa	U	Nu	Pu																					

*Litófilo*
 *Siderófilo*
 *Calcófilo*
 *Atmófilo*

Fonte: White, 2005.

As afinidades observadas por White (2005) indicam que os elementos litófilos apresentam uma afinidade com minerais silicatados – abundantes da crosta terrestre; os siderófilos apresentam afinidade com o Fe – abundante em camadas mais profundas; os calcófilos apresentam afinidade com o enxofre – portanto relacionado aos sulfetos; os atmófilos apresentam afinidade com minerais expostos à gases atmosféricos – estando relacionados a organismos vivos (WHITE, 2005).

A mobilidade química de elementos ocorre de acordo com a facilidade de dispersão em um meio em relação ao seu potencial iônico, sendo este fundamental para formação das rochas e minérios. As trocas iônicas e o tamanho do raio são os principais fatores contribuintes para tais processos, uma vez que são eles que indicam uma compatibilidade e/ou não de ligação entre elementos para a formação de minerais (Goldshmidt, 1937).

Para Martinelli (2013), identificação da ação antrópica na mobilidade química de elementos está atrelada a lixiviação e percolação de material no perfil do solo uma vez que pode reagir com os elementos e migrar para camadas mais profundas e/ou distais, ficando retidos em espaços vazios ou atingir o lençol freático elevando as concentrações de tal (ais) elementos.

Importante salientar que apesar da preocupação da contaminação do solo, existem porções solúveis de metais que podem ser bioacumulados por seres vivos que vivem na região, desde a base da cadeia alimentar até o topo, alguns deles apesar de serem micronutrientes essenciais para a vida, como os metais pesados, em altas concentrações podem ocasionar distúrbios no organismo (VIRGA, 2007).

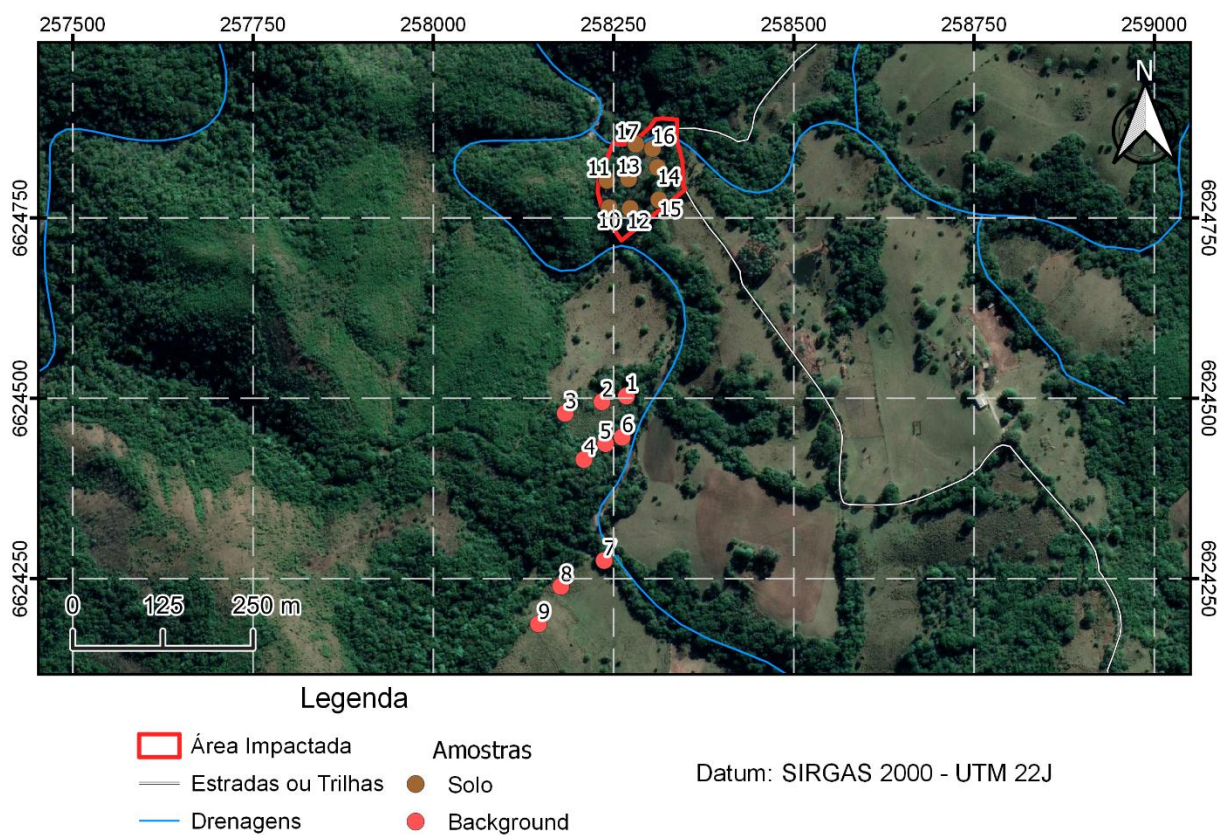
## 6. MATERIAIS E MÉTODOS

A amostragem foi realizada através de estudo prévio da bibliografia e dois dias de campanha de campo no mês de novembro, com a finalidade de adquirir amostras de solo e água para posterior análises físico-químicas.

A sistemática utilizada para a amostragem dos solos visou dividir em dois diferentes grupos: as amostras de 1 a 9 foram condicionadas em áreas circundantes (*background*) ao antigo lixão, de modo a representar dados normais e/ou sem influência deste. E as amostras de 10 a 17 sobrepostas a área reconfigurada do antigo lixão, de modo que compreendam todo o perímetro (Figura 8).

As amostragens de solo foram realizadas através de um trado manual, com profundidades de 30 cm, atingindo em todas as amostras o horizonte B do solo. Posteriormente acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados. No Laboratório de Mineralogia e Petrografia da UNIPAMPA, cada amostra foi separada em formas de polipropileno e deixadas 24 horas na estufa em temperatura constante de 50°C, de modo a eliminar impurezas. Após a secagem, cada amostra foi quarteada e separadas 50 gramas para as análises por Espectrometria de Fluorescência de Raios-X com Dispersão Indutiva (EDXRF), realizadas no laboratório de Lavra Planejamento e Tratamento de Minérios da UNIPAMPA.

Figura 8 – Imagem com a distribuição espacial dos pontos de coleta de solos e destaque para o antigo lixão.

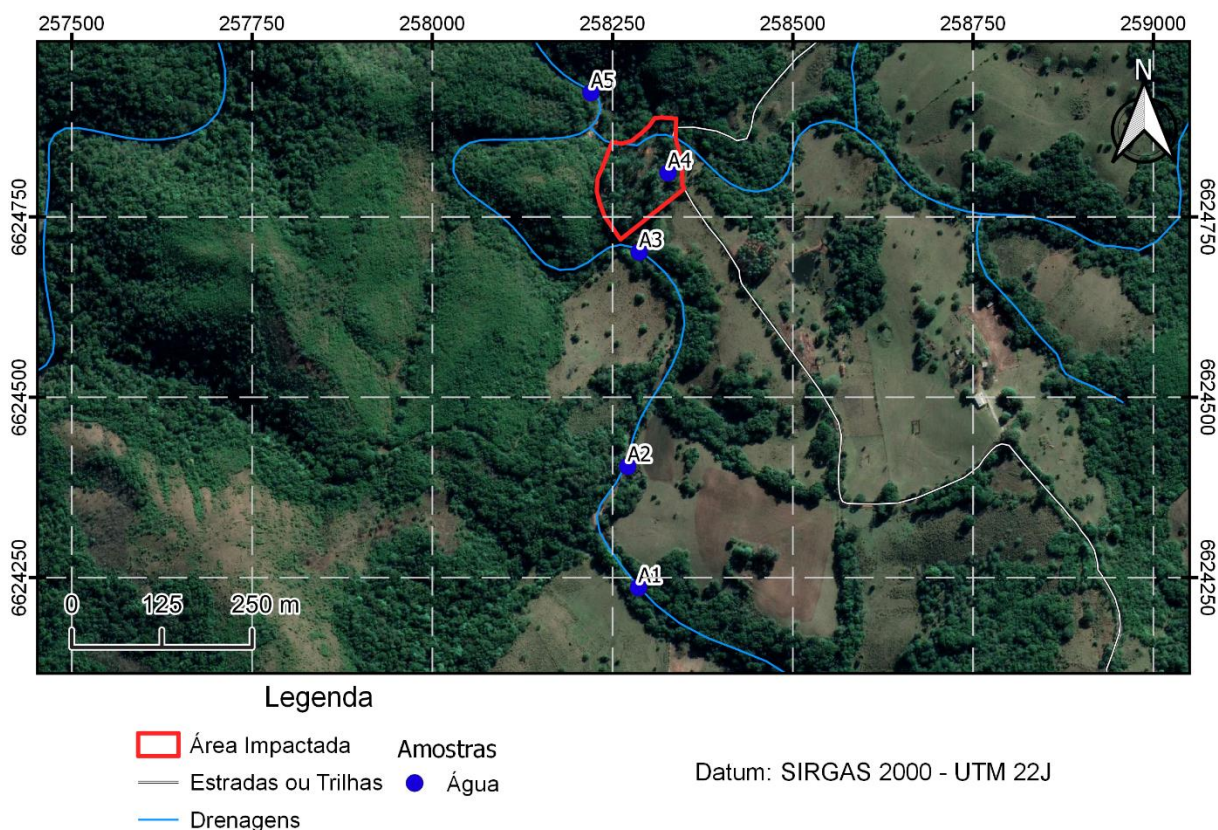


Fonte: Google Earth (2019).

A sistemática utilizada para amostragem de água visou coletar amostras nas vertentes circundantes ao antigo lixão, de modo a seguir a jusante do curso d'água, para tentar captar as eventuais variações físico-químicas que a área de estudo pode submeter aos recursos hídricos superficiais locais, sendo coletadas em 5 pontos distintos (Figura 9).

Todas as amostragens realizadas neste trabalho foram georreferenciadas através de um GPS portátil, utilizando o Dátum SIRGAS2000, em sistemas de coordenadas UTM e de propriedade da Universidade.

Figura 9 – Imagem com a distribuição espacial dos pontos de coleta de água e destaque para o antigo lixão.



Fonte: Google Earth (2019).

### 6.1 Análise por Espectrometria de Fluorescência de Raios-X com Dispersão Indutiva (EDXRF)

O EDXRF visa caracterizar a estrutura química composicional em uma amostra (solo, rocha, etc). Consiste em um meio de análise não destrutivo, portátil e simultâneo, ou seja, é possível realizar a análise de vários elementos químicos em conjunto. O emprego deste método é viável para diversas situações devido sua natureza prática, barata e confiável de exercer a análise proposta.

O método consiste na excitação de uma amostra desconhecida, através da emissão de raios-x ou raios gama, fazendo com que os elementos químicos presentes da amostra desconhecida recebam energia e, com que os elétrons de camadas mais interiores se desloquem para camadas exteriores (NASCIMENTO FILHO, 1999). A perda dessa energia potencial extra faz com que os elétrons retornem a sua camada de origem, emitindo energia característica fluorescente de cada elemento. Neste momento, as energias características são captadas por um analisador com cristais



monocromados através da difração dos raios-x. Com os dados captados, são geradas as análises a partir de emissão espectroscópica característica (BRUKER, 2008; SULLASI et al., 2014).

Com o acervo disponível, o equipamento pode diferenciar as amostras em relação a associação de elementos químicos presentes na amostra (qualitativo) ou na proporção de um elemento ou uma associação de elementos químicos presentes em uma amostra (quantitativo) (BRUKER, 2008).

## 6.2 Análise Estatística

Através das análises adquiridas com o EDXRF e análises químicas de água, o tratamento dos dados foi realizado através de estatística univariadas através de sumário estatístico e bivariadas através do Coeficiente de Pearson (apenas para solo), ambas análises realizadas no *software* Microsoft Excel 2016.

De acordo com Carvalho (2003), a análise estatística para monitoramento ambiental é a ferramenta que busca atenuar os erros, assumindo as incertezas do tratamento estatístico de acordo a cada aferição, e assim melhorar a confiabilidade dos dados obtidos. Também, segundo o autor, os valores de desvio padrão são os que melhor representam as amostragens, uma vez que representa o grau de dispersão de uma população amostral, onde quanto mais proximal a 0, mais homogêneo são os dados.

Desta forma, a análise estatística univariada, serve para melhor conhecimento do comportamento da população amostral através de máximos e mínimos, média e desvio padrão, melhorando a confiabilidade dos dados, sendo representado por sumário estatístico.

### 6.2.1 Coeficiente de Correlação de Pearson

A análise bivariada foi realizada através do Coeficiente de Correlação de Pearson cujo finalidade é analisar duas variáveis distintas quanto a sua similitude, de modo a quantificar a semelhança entre si apresentam. A equação (1) abaixo, demonstra o cálculo para obtenção dos valores analisados.

$$\rho = \frac{\frac{1}{n}\sum(X_i - M_x)(Y_i - M_y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (\text{Equação 1}).$$

Onde na equação os valores  $X_i$  e  $Y_i$  são os valores das variáveis analisadas,  $M_x$  e  $M_y$  as médias das variáveis analisadas, e os  $\sigma_x$  e  $\sigma_y$  os desvios padrões de cada variável respectivamente.

O coeficiente varia de valores entre -1 e 1, onde o valor mais proximal a 1, indica maior similitude linear entre as amostras observadas. Em contrapartida, os valores negativos apresentam menos ou nenhuma similitude linear entre si. É importante salientar que o coeficiente de correlação é apenas uma forma de associar duas variáveis numericamente, não estando relacionado a causa-efeito (MUKAKA, 2012).

Desta forma, neste trabalho, será considerado amostras com alta similitude as que apresentarem coeficiente de correlação valores acima de 0,7.

### 6.3 pH

O Potencial hidrogeniônico (pH) consiste em uma escala numérica adimensional que permite analisar a água conforme sua natureza (neutra, ácida ou básica). Essa escala compreende valores entre 0 a 14, sendo 7 um valor neutro. Acima de 7 temos valores básicos (alcalinos) e abaixo de 7 temos valores ácidos (FUNASA, p.21, 2014).

Isso ocorre devido a dissociação da água em íons de hidrogênio e hidroxila. A solução aquosa terá uma natureza dita ácida caso a proporção de  $H^+$  for superior a proporção hidroxila, da mesma forma, a solução aquosa que houver maior proporção de hidroxila é dita básica. As soluções cujo proporcionalidade apresentarem iguais, terá uma natureza neutra.

Utiliza-se a expressão matemática abaixo para calcular a natureza da solução aquosa em que  $[H^+]$  é denotado em forma de mol/L.

$$pH = -\log [H^+] \quad (\text{Equação 2}).$$

### 6.3 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica consiste na capacidade do material estudado a conduzir ou transmitir corrente elétrica, em função da presença de substâncias dissolvidas (FUNASA, p.20 2014). Em meios aquosos é expressa em forma numérica que representa a facilidade ou dificuldade

de a corrente elétrica passar pela água. É dependente diretamente da concentração iônica e temperatura. Sua função é quantificar os sais dissolvidos na água. Portanto, quanto maior a proporção de sais dissolvidos, maior a condutividade elétrica. Segundo a FUNASA (2014), águas naturais apresentam teores de condutividade entre 10 e 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Em contrapartida, em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (FUNASA, p. 20, 2014).

Portanto, trata-se de um indicador de poluentes eficiente, uma vez que quanto mais impura a água, tende-se a apresentar condutividade elétrica mais elevada.

#### 6.4 Dureza

A dureza indica a presença e a quantidade de cátions multivalentes em solução na água. Os cátions mais frequentemente associados a dureza são os de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ . Em menor escala encontra-se  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Sr}^{+2}$  e  $\text{Al}^{+3}$ . A origem da dureza está associada a dissolução natural de minerais circundantes a região encontrada (rochas calcárias), ou ação antrópica (efluentes industriais) (FUNASA, p.22, 2014).

A dureza da água é expressa em mg/L de equivalente em carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), e é classificada como branda para porções <50 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , moderada para porções entre 50 e 150 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , dura para porções entre 150 a 300 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  e para números maiores que 300 mg/L como muito dura. A equação 2 é utilizada para o cálculo de dureza total de uma amostra (FUNASA, p. 22, 2014).

$$\text{mgCa/L} \times \text{CaCO}_3 = \frac{(V - Vb) \times f \times 0,01 \times 100,00}{Va} \quad (\text{Equação 3}).$$

Sendo, V = volume (ml) EDTA utilizado na solução amostrada; Vb = volume (ml) EDTA para teste em branco para controle; f = volume utilizado de EDTA para fator de correção e Va = volume da amostra a ser analisada (ml) (ABNT, 1992).

#### 6.5 Alcalinidade

A alcalinidade indica a quantidade de íons na água que reagem para neutralizar os íons de hidrogênio. Basicamente, consiste na capacidade da água em neutralizar ácidos, expressando assim a capacidade de tamponamento da água (condições de resistir a mudanças do pH) (FUNASA, 2014).

Consegue-se diferenciar os constituintes da água conforme o número do pH. Por exemplo, para água com soluções com pH entre 4,4 e 8,3 é composto apenas de bicarbonatos; entre 8,3 e 9,4 é composto por carbonatos e bicarbonatos; para números acima disso, é composto por hidróxidos e carbonatos (FUNASA, 2014).

Valores elevados de alcalinidade estão diretamente ligados a processos de decomposição de matéria orgânica e a alta taxa respiratória de micro-organismos devido a dissolução e liberação do gás carbônico (CO<sub>2</sub>) na água (KATO, 1983).m

A alcalinidade é expressa por mg/L de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>). As águas naturais encontram-se com alcalinidade entre 30 a 500 mg/L de CaCO<sub>3</sub> (FUNASA, p. 21, 2014).

## **7. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **7.1 Solos**

As características químicas do solo de determinada região estão diretamente ligadas a litologia regional, as concentrações minerais dos solos são um reflexo dos processos de intemperismo físico-químico a que as rochas são submetidas. Portanto, são ditas em condições normais. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2009), área contaminada é aquela onde há contaminação causada pela disposição regular ou irregular de quaisquer resíduos ou substâncias. Para os solos, pode ser considerado contaminado aquele em que apresenta elevadas concentrações de determinado elemento químico levando em consideração as condições normais.

De acordo com a Tabela 1, que apresenta os resultados obtidos com auxílio do método de EDXRF, todas as concentrações dos elementos químicos potencialmente nocivos ou que necessitam de algum controle específico, encontram-se abaixo dos valores máximos de referência de qualidade apresentados no Anexo A (CONAMA, 2009).

Entretanto, comparando as amostras realizadas de *background* com as amostras referentes ao antigo lixão, através da análise estatística dos dados, as médias globais de Mg, Al, Cl, Ti, Cr, Fe, Co, Cd, Ce e Hf estão ligeiramente superiores na área do antigo lixão (Tabela 2).

O desvio padrão, segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), indica um grau de variação de um conjunto populacional, sendo uma ferramenta bastante útil para estudar a heterogeneidade amostral. Um alto desvio padrão, proximais a 1 indica uma maior variabilidade dos valores aferidos, em contrapartida, um desvio padrão baixo, proximais a 0 indica que os valores estão mais proximais à média global do conjunto.

De acordo com a Tabela 2, os elementos que apresentam menor heterogeneidade nas amostragens, tanto no *background* quanto na área de estudo, são: Si, Al, Mg e Fe, portanto, um desvio padrão alto; podendo ser resultado do intemperismo que age diferente em cada localidade devido a característica do solo litólico distrófico apresentado na região, caracterizado por serem solos juvenis e trazem consigo a assinatura das rochas fontes, demonstrando a heterogeneidade das composições litológicas que circundam a área de estudo (EMBRAPA, 2006). Os outros elementos, apresentam comportamento mais homogêneo e não apresentam caráter nocivo para o ser humano, assim para com o ambiente. Desta forma, no caráter quantitativo médio, a ênfase é observar o comportamento dos metais potencialmente nocivos estipulados resolução supracitada, sendo eles o Cu, Cd, Co, Cr e Mo (CONAMA, 2009).

O Cu foi detectado apenas na amostra 16. O Cd não foi detectado apenas na amostra 4, pertencente ao *background*, em todas as outras a concentração é variável, sendo que as médias globais são mais elevadas para a área do antigo lixão. A origem deste elemento pode estar associada aos objetos destinados ao antigo lixão, pois a deposição inadequada de baterias e pilhas pode estar diretamente relacionada as concentrações mais elevadas (MARTIN, 2009). Por se tratar de um metal pesado com capacidade de bioacumulação, é importante o controle de tal elemento, pois o contato contínuo com este metal pode levar a diversas enfermidades como o câncer e diminuição da função reprodutiva de espécies, sendo mais nocivo aos animais que vivem na região (SOARES, 2007). É um elemento que é resistente ao intemperismo, podendo se concentrar no solo com o passar do tempo, assim como o Rh e Pd.

O Co foi encontrado em todas as amostras, onde as concentrações apresentam médias mais altas no antigo lixão (3800 ppm), tendo seu uso também relacionado a fabricação de baterias, porém, sua presença é benéfica em pequenas quantidades para os bovinos da região (Graham,

1991). O Cr também apresenta médias mais altas no antigo lixão (0,011%), apesar de ter papel fundamental para funcionamento do organismo, está ligado a dermatites e se prolongado contato pode ser cancerígeno e além de estar presente em alimentos e em suplementos alimentares, a ingestão em excesso pode levar à óbito (ATSDR, 2010).

O Mo por sua vez, obteve médias mais altas no *background* (90ppm), e também é um microelemento essencial para a vida, porém podem ser nocivos para o ser humano, uma vez que partículas disseminadas no ar podem afetar o trato respiratório, causa irritação do trato digestivo e sistema reprodutor masculino e pode causar câncer em todo o trato respiratório. (ATSDR, 2017).

Também obtiveram valores médios globais relativamente altos o Mg, presente basicamente pela ocorrência de serpentinitos, calcários dolomíticos e olivinas. Já Rh e o Ce, são minerais elementos terra rara, associados a formação de monazita e bastnazita associadas aos carbonatitos que ocorrem na região. (CERVA-ALVES, 2017).

Tabela 1 – Análises de EDXRF para as amostras investigadas.

	Amostra	mE	mS	(%)								mg/kg <sup>-1</sup> (ppm)									
				Mg	Al	Si	K	Ca	Mn	Fe	Ti	S	Cl	Cr	Co	Cu	Mo	Rh	Cd	Ce	Hf
BACKGROUND	1	258268	6624503	3,300	19,210	34,300	0,820	0,790	0,120	5,820	0,920	ND	500	ND	2700	ND	100	3000	1100	4000	ND
	2	258234	6624495	5,550	23,610	43,100	0,820	0,610	0,110	7,040	1,140	200	500	100	3900	ND	100	2300	900	3000	100
	3	258183	6624479	3,530	21,280	34,400	1,000	0,740	0,140	8,990	1,360	ND	500	100	4400	ND	100	2400	100	3500	100
	4	258209	6624415	3,370	17,620	27,500	1,000	1,540	0,120	6,280	0,790	500	800	100	2800	ND	100	3300	ND	4700	200
	5	258239	6624437	4,210	18,880	29,500	1,180	1,110	0,140	7,790	0,860	100	600	200	3700	ND	100	3000	1000	5300	ND
	6	258262	6624446	1,990	17,820	33,900	1,890	2,990	0,040	2,690	0,340	100	600	ND	1100	ND	ND	3300	1100	2400	ND
	7	258237	6624275	2,000	21,320	40,400	1,210	1,020	0,130	5,990	1,200	ND	600	ND	2900	ND	100	2500	800	2500	100
	8	258177	6624239	1,770	17,530	32,800	0,840	0,700	0,160	8,180	1,630	ND	600	100	3900	ND	100	2800	1200	4200	100
	9	258146	6624187	1,380	22,500	32,300	1,300	0,240	0,150	8,210	1,150	ND	700	100	3900	ND	100	2700	1100	4600	200
ANTIGO LIXÃO	10	258244	6624764	2,930	24,170	34,400	1,280	0,160	0,100	7,590	1,290	ND	700	100	3600	ND	100	2800	1200	3500	200
	11	258241	6624802	7,630	21,060	32,900	0,540	1,230	0,070	6,310	0,620	100	600	100	3000	ND	ND	2800	900	4800	100
	12	258273	6624763	1,730	22,500	28,600	0,950	0,220	0,150	9,670	1,310	ND	700	200	4500	ND	100	2700	900	5500	200
	13	258271	6624804	1,470	22,870	29,800	1,200	0,340	0,100	8,500	1,270	ND	700	100	3900	ND	100	2800	1000	4700	200
	14	258311	6624820	3,960	25,090	34,700	1,210	0,290	0,150	10,600	1,640	ND	600	100	5500	ND	100	2200	1000	2800	100
	15	258313	6624775	2,870	21,340	30,800	1,250	0,580	0,120	8,480	1,310	ND	600	100	4000	ND	100	2900	1300	3800	200
	16	258304	6624846	3,820	23,060	32,200	1,260	0,770	0,100	7,710	1,200	100	700	100	3700	100	100	2800	1000	4200	ND
	17	258281	6624852	2,800	17,550	35,600	1,120	1,510	0,090	5,630	0,650	100	500	100	2600	ND	ND	3200	1100	5000	ND

Fonte: Autor.

Tabela 2 – Sumário Estatístico das análises de EDXRF para as amostras investigadas.

Sumário Estatístico									
<i>Background</i>					Antigo Lixão				
Elementos	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Média	Elementos	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Média
Mg	5,55	1,38	1,35	3,011	Mg	7,63	1,47	1,91	3,401
Al	23,61	17,53	2,26	19,974	Al	25,09	17,55	2,3	22,206
Si	43,1	27,5	4,87	34,24	Si	35,6	28,6	2,49	32,37
S	0,05	0	0,016	0,009	S	0,01	0	0,0051	0,003
Cl	0,08	0,05	0,01	0,06	Cl	0,07	0,05	0,0074	0,064
K	1,3	0,82	0,339	1,18	K	1,28	0,54	0,25	1,101
Ca	2,99	0,24	0,801	1,08	Ca	1,51	0,16	0,499	0,638
Ti	1,63	0,34	0,37	1,04	Ti	1,64	0,62	0,35	1,16
Cr	0,02	0	0,0066	0,008	Cr	0,02	0,01	0,0035	0,011
Mn	0,16	0,04	0,035	0,123	Mn	0,15	0,07	0,028	0,11
Fe	8,99	2,69	1,88	6,77	Fe	10,6	5,63	1,63	8,06
Co (ppm)	4400	1100	1002,64	3200	Co (ppm)	5500	2500	889,62	3800
Mo (ppm)	100	0	33	90	Mo (ppm)	100	0	46,29	80
Rh (ppm)	3300	2300	368,93	2800	Rh (ppm)	3200	2200	276,45	2780
Cd (ppm)	1200	0	36,2	910	Cd (ppm)	1300	900	14,07	1060
Ce (ppm)	5300	2400	1017,35	3800	Ce (ppm)	5000	2800	885,5	4290
Hf (ppm)	200	0	78,17	90	Hf (ppm)	200	0	88,64	130
					Cu (ppm)	100	0	35,36	10

### 7.1.1 Análise de Correlação de Pearson

A análise do Coeficiente de Correlação de Pearson representa uma ferramenta útil para relacionar os elementos e a sua origem. São consideradas coeficientes de correlação forte, apenas os valores positivos superiores a 7,0. Nas tabelas, tais coeficientes encontram-se destacados para melhor identificação (MUKAKA, 2012).

Na tabela 3, referente ao *background*, há uma correlação positiva forte entre os elementos: K e Ca (0,751), Ti e Mn (0,831), Ti e Fe (0,807), Ti e Co (0,819), Ti e Mo (0,712), Cr e Ce (0,737), Mn e Fe (0,908), Mn e Co (0,853), Mn e Mo (0,893), Fe e Co (0,979), Fe e Mo (0,812), Co e Mo (0,806).

Na tabela 4 referente ao antigo lixão, há uma correlação positiva forte entre os elementos: Al e Cl (0,703), Al e Ti (0,824), Al e Fe (0,751), Al e Co (0,768), Al e Mo (0,777),



Ca e S (0,883), Cl e Mo (0,726), Ti e Mn (0,804), Ti e Fe (0,919), Ti e Co (0,906), Ti e Mo (0,928), Fe e Mn (0,904), Fe e Co (0,984), Fe e Mo (0,789), Co e Mn (0,886) e Co e Mo (0,728).

As correlações positivas são condizentes com a proveniência metassedimentar ou metavulcanossedimentar da rocha fonte, possivelmente sendo relacionadas a minerais do grupo dos piroxênios, nesossilicatos, filossilicatos, alumnossilicatos e anfibólitos, devido afinidade química e a compatibilidade com regiões de metamorfismo tanto de contato como regional, (Morimoto 1988, Deer et al. 1992).

Apesar do Al ser o terceiro metal mais abundante da litosfera, é possível observar uma correlação positiva com diversos elementos na área do antigo lixão, as altas concentrações de alumínio podem estar relacionadas à acidez do solo, e são nocivas para a fixação das raízes das plantas, criando escarpas e zonas onde o material aterrado pode verter e expor o material ali depositado (SOUSA, et al., 2008).

Tabela 3 – Coeficiente de Correlação de Pearson – *Background*.

Elementos	Amostras Solo: Background																	
	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Cu	Mo	Rh	Cd	Ce	Hf
Mg	1	0,297	0,257	0,393	-0,394	-0,464	-0,150	-0,070	0,408	-0,048	0,170	0,290	ND	0,283	-0,262	-0,228	0,085	-0,206
Al	0,297	1	0,691	-0,258	-0,351	-0,195	-0,581	0,330	0,040	0,208	0,368	0,499	ND	0,357	-0,841	0,182	-0,266	0,295
Si	0,257	0,691	1	-0,326	-0,628	-0,138	-0,202	0,251	-0,408	-0,152	-0,096	0,081	ND	0,026	-0,738	0,291	-0,755	-0,120
S	0,393	-0,258	-0,326	1	0,603	-0,078	0,309	-0,399	0,226	-0,237	-0,201	-0,203	ND	ND	0,429	-0,895	0,222	0,386
Cl	-0,394	-0,351	-0,628	0,603	1	0,243	0,184	-0,233	0,188	0,071	-0,072	-0,187	ND	ND	0,542	-0,656	0,430	0,640
K	-0,464	-0,195	-0,138	-0,078	0,243	1	0,751	-0,678	-0,278	-0,679	-0,641	-0,675	ND	-0,852	0,429	0,141	-0,349	-0,222
Ca	-0,150	-0,581	-0,202	0,309	0,184	0,751	1	-0,802	-0,357	-0,871	-0,851	-0,873	ND	-0,893	0,679	-0,171	-0,390	-0,405
Ti	-0,070	0,330	0,251	-0,399	-0,233	-0,678	-0,8024	1	0,246	0,831	0,807	0,819	ND	0,712	-0,707	0,240	0,133	0,373
Cr	0,408	0,040	-0,408	0,226	0,188	-0,278	-0,3570	0,246	1	0,518	0,680	0,657	ND	0,438	-0,090	-0,092	0,737	0,187
Mn	-0,048	0,208	-0,152	-0,237	0,071	-0,679	-0,8709	0,831	0,518	1	0,908	0,853	ND	0,893	-0,439	0,046	0,600	0,426
Fe	0,170	0,368	-0,096	-0,201	-0,072	-0,641	-0,6410	0,807	0,680	0,908	1	0,979	ND	0,812	-0,575	0,100	0,551	0,421
Co	0,290	0,499	0,081	-0,203	-0,187	-0,675	-0,8729	0,819	0,657	0,853	0,979	1	ND	0,806	-0,698	0,132	0,434	0,392
Mo	0,283	0,357	0,026	ND	ND	-0,852	-0,8930	0,712	0,438	0,893	0,812	0,806	ND	1	-0,497	-0,196	0,516	0,426
Rh	-0,262	-0,841	-0,738	0,429	0,542	0,429	0,6791	-0,707	-0,090	-0,439	-0,575	-0,698	ND	-0,497	1	-0,300	0,306	-0,212
Cd	-0,228	0,182	0,291	-0,895	-0,656	0,141	-0,1712	0,240	-0,092	0,046	0,100	0,132	ND	-0,196	-0,300	1	-0,176	-0,525
Ce	0,085	-0,266	-0,755	0,222	0,430	-0,349	-0,3897	0,133	0,737	0,600	0,551	0,434	ND	0,516	0,306	-0,176	1	0,220
Hf	-0,206	0,295	-0,120	0,386	0,640	-0,222	-0,4047	0,373	0,187	0,426	0,421	0,392	ND	0,426	-0,212	-0,525	0,220	1

Fonte: Autor.

Tabela 4 – Coeficiente de Correlação de Pearson – Antigo Lixão.

Elementos	Amostras Solo																	
	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Cu	Mo	Rh	Cd	Ce	Hf
Mg	1	-0,075	-0,075	0,582	-0,306	-0,701	-0,701	-0,488	-0,352	-0,493	-0,374	-0,262	0,088	-0,584	-0,124	-0,272	-0,111	-0,372
Al	-0,075	1	-0,162	-0,592	0,703	0,309	-0,849	0,824	0,052	0,488	0,751	0,768	0,150	0,777	-0,832	0,018	-0,614	0,410
Si	0,378	-0,162	1	0,396	-0,594	0,100	0,431	-0,269	-0,611	-0,308	-0,407	-0,254	-0,028	-0,464	0,024	0,330	-0,475	-0,578
S	0,582	-0,592	0,396	1	-0,417	-0,423	0,883	-0,799	-0,293	-0,683	-0,765	-0,698	0,488	-0,745	0,474	-0,368	0,355	-0,856
Cl	-0,306	0,703	-0,594	-0,417	1	0,204	-0,743	0,514	0,339	0,204	0,429	0,335	0,339	0,726	-0,295	-0,256	0,008	0,487
K	-0,701	0,309	0,100	-0,423	0,204	1	-0,449	0,629	-0,244	0,353	0,326	0,316	0,256	0,668	-0,057	0,666	-0,519	0,063
Ca	0,503	-0,849	0,431	0,883	-0,743	-0,449	1	-0,893	-0,338	-0,667	-0,820	-0,760	0,107	-0,906	0,614	-0,158	0,390	-0,728
Ti	-0,488	0,824	-0,269	-0,799	0,514	0,629	-0,893	1	0,172	0,804	0,919	0,906	0,045	0,928	-0,726	0,308	-0,602	0,464
Cr	-0,352	0,052	-0,611	-0,293	0,339	-0,244	-0,338	0,172	1	0,571	0,397	0,295	-0,143	0,218	-0,110	-0,466	0,553	0,342
Mn	-0,493	0,488	-0,308	-0,683	0,204	0,353	-0,667	0,804	0,571	1	0,904	0,886	-0,143	0,655	-0,639	0,108	-0,262	0,342
Fe	-0,374	0,751	-0,407	-0,765	0,429	0,326	-0,820	0,919	0,397	0,904	1	0,984	-0,087	0,789	-0,826	0,035	-0,402	0,471
Co	-0,262	0,768	-0,254	-0,698	0,335	0,316	-0,760	0,906	0,295	0,886	0,984	1	-0,068	0,728	-0,895	0,063	-0,514	0,362
Cu	0,088	0,150	-0,028	0,488	0,339	0,256	0,107	0,045	-0,143	-0,143	-0,087	-0,068	1	0,218	0,037	-0,179	-0,040	-0,570
Mo	-0,584	0,777	-0,464	-0,745	0,726	0,668	-0,906	0,928	0,218	0,655	0,789	0,728	0,218	1	-0,502	0,274	-0,427	0,522
Rh	-0,124	-0,832	0,024	0,474	-0,295	-0,057	0,614	-0,726	-0,110	-0,639	-0,826	-0,895	0,037	-0,502	1	0,119	0,588	-0,204
Cd	-0,272	0,018	0,330	-0,368	-0,256	0,666	-0,158	0,308	-0,466	0,108	0,035	0,063	-0,179	0,274	0,119	1	-0,635	0,200
Ce	-0,111	-0,614	-0,475	0,355	0,008	-0,519	0,390	-0,602	0,553	-0,262	-0,402	-0,514	-0,040	-0,427	-0,635	-0,635	1	-0,050
Hf	-0,372	0,410	-0,578	-0,856	0,487	0,063	-0,728	0,464	0,342	0,342	0,471	0,362	-0,570	0,522	-0,204	0,200	-0,050	1

Fonte: Autor.

## 7.2 Recursos Hídricos

Quanto aos recursos hídricos, os resultados das análises hidroquímicas são uma ferramenta importante para diferenciar os valores anômalos de origem natural ou antrópica. A Tabela 5 apresenta os valores medidos de pH e Condutividade Elétrica, e os valores analisados de Alcalinidade, Dureza Total. Segundo a Resolução nº 357/2005 do CONAMA, a água analisada pode ser classificada como – Classe 1: águas destinadas ao abastecimento e consumo humano com desinfecção, preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

Tabela 5 – Resultados das análises de água para as amostras investigadas.

Amostra	mE	mS	Classificação	pH	Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Alcalinidade (mg $\text{CaCO}_3$ )	Dureza Total (mg $\text{CaCO}_3$ )	Classificação de Dureza
1	258286	6624236	Arroio	7,36	186,8	72	81,22	Moderada
2	258271	6624404	Arroio	7,41	184,2	74	91,37	Moderada
3	258287	6624701	Arroio	7,8	185,4	78	95,43	Moderada
4	258327	6624811	Arroio	7,1	188,7	80	99,48	Moderada
5	258220	6624922	Arroio	7,6	198,8	72	89,33	Moderada

Fonte: Autor.

### 7.2.1 Potencial Hidrogeniônico

De acordo com a Resolução do CONAMA nº 357 (2005), os valores normais de pH para a Classe 1 variam entre 6 e 9. As amostras analisadas apresentam valores de pH variando entre 7,1 e 7,8 (Tabela 5), portanto todos os valores se enquadram na resolução supracitada. Os valores de pH apresentam-se mais elevados nas amostras 3 e 5 (7,8 e 7,6, respectivamente). Estas amostras coincidem com os pontos de coletas no início do antigo lixão e logo após a esse, respectivamente.

O valor mais baixo de pH é referente a amostra 4 (7,1), sendo que sua disposição ocorre concomitante ao antigo lixão. Segundo a Agência Nacional de Águas (2009), valores baixos de pH (entre 6 e 7), podem estar relacionados ao aumento de matéria orgânica na água e a consequente liberação de gás carbônico e redução do oxigênio, podendo ser oriundo da eutrofização.

### 7.2.2 Condutividade Elétrica

A legislação brasileira não estipula valores máximos de condutividade elétrica para classificar a potabilidade da água. Porém, afluentes sob efeitos eutróficos apresentam condutividade elétrica superior a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (FUNASA, 2014).

Valores normais deste parâmetro para águas doces, em média, não devem ultrapassar 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Apesar de não identificar quais são os íons dissolvidos na água, é um importante indicador da possível presença de poluentes. Segundo Esteves (2011), o uso do solo pode modificar a composição da água, refletindo nos sólidos dissolvidos e conseqüentemente na condutividade elétrica.

Nos pontos amostrados, os valores de condutividade elétrica variaram de 184,2 a 198,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabela 5). Estes valores podem ser oriundos da lixiviação dos íons de Ca e do Mg presentes nas litologias proximais mais altas, sendo composta principalmente por mármore, e carbonatitos que encaixam rochas anfíbolíticas na região, elevando assim o valor de condutividade elétrica da água (CERVA-ALVES, 2017).

### 7.2.3 Alcalinidade

Segundo a FUNASA (2014), os valores normais para águas naturais variam entre 30 e 500 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ . Nas amostras investigadas, os valores obtidos de alcalinidade total variaram de 72 a 80 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  (Tabela 5), condizentes com o sugerido por FUNASA (2014). O valor mais elevado de alcalinidade obtido foi observado na amostra 4 (80 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ), onde a vertente encontra-se circundando o antigo lixão.

Apesar da alcalinidade não ser um parâmetro para a classificação de potabilidade da água, segundo a FUNASA (2014), consegue-se diferenciar os íons constituintes da água conforme o número do pH. Por exemplo, para água com soluções com pH entre 4,4 e 8,3 é composto apenas de bicarbonatos. Desta forma o pH encontra-se entre 7-8 em todas as amostras, indica a presença predominantemente de bicarbonatos (FUNASA, 2014).

Também a alta alcalinidade pode contribuir em um gosto menos palatável à água devido à alta quantidade de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, assim como está relacionado a emissão de poluentes nas afluentes (KATO, 1983).

#### 7.2.4 Dureza Total

Segundo a classificação de dureza total para águas da FUNASA (2014), todas as amostras se enquadram na classificação de moderadamente duras (Tabela 5). Nos pontos de coletas, os valores de dureza total variaram de 81,22 a 99,48 mg/L, sendo que a amostra 4 (99,48) apresenta o valor mais elevado para a dureza total. De acordo com a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, o valor padrão máximo aceito para o consumo humano é de 500 mg/L, portanto todas as amostras, em relação a dureza total, não conferem nenhum risco a saúde.

A dureza moderada é condizente com o pH e a constituição da água, predominantemente formada por bicarbonatos. Há um aumento nas aferições da dureza total, onde os valores aumentam conforme o curso da afluente, e em direção ao antigo lixão, mas é impreciso dizer se há alguma correlação (KATO, 1983).

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados, o solo na área de interesse apresenta maiores concentrações de Al, Si, Fe, Mg, Cd, Rh e Ce, onde estão de acordo com as características litológicas da região de acordo com a ocorrência das rochas proximais, sendo elas: carbonatitos, mármore, serpentinitos e anfíbolitos.

A água apresenta características hidroquímicas atendendo os padrões estipulados pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA, nos quesitos analisados, podendo ser classificada como uma água moderadamente dura. Com o pH variando entre 7,1 e 7,8 e sendo alcalina. Este último podendo ter relação com eutrofização provocada pela presença de microrganismos e plantas aquáticas.

Sugere-se a análise da água de poços artesianos alocados na região para fins de comparação, assim como observar os níveis de profundidade do lençol freático da região, de modo a tentar prevenir alguma contaminação, bem como a educação ambiental para que locais

como o antigo lixão sejam devidamente tratados e quando possível remediados. Também se sugere o controle com estudos periódicos, através de outros métodos, tanto para as águas superficiais e subterrânea quanto dos solos que possam sofrer influência de antigos locais destinados a deposição de resíduos sólidos.

Desta forma, as análises realizadas constataram que os parâmetros analisados encontram de acordo com a normalidade para o contexto ambiental em que estão inseridos e corroboram com a litologia circundante que influenciaram diretamente na formação pedogenética da área de estudo, e que o antigo lixão não promove aumentos significativos de elementos potencialmente nocivos ao ser humano e biodiversidade local.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 6457**. Amostras de Solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, 2016.

ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 6502**. Rochas e Solos, 1995.

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Política Nacional dos Resíduos Sólidos, 2010.

ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 10.004**. Resíduos Sólidos – Classificação, 2004.

ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 12.621**. Águas, determinação da dureza total, 1992.

AGUIAR, Maria Ivanilda. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. Dissertação de Mestrado, UFV - Universidade Federal de Viçosa, 79p. 2008.

ARAÚJO, A. S. F. E; MONTEIRO, R. T. R. **Indicadores biológicos de qualidade do solo**. Bioscience Journal, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry, **A-Z Index**, US, 2010.

BERKHOUT, F.; SMITH, D. 1999. **Products and the environment: an integrated approach to policy**. European Environment, v. 9, n. 5, p. 174-185, 1999.

BABINSKI, Marly, **Juvenile Accretion at 700-750 Ma in Southern Brazil**, 1996;

BITENCOURT, Maria de Fátima; NARDI, Lauro Valentim Stoll. **Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian Shear Belt**. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v 30, p. 184-187, 2000.



BITENCOURT, Maria de Fátima. **Metamorfitos da Região de Caçapava do Sul – RS, Geologia em Relação com o Corpo Granítico**. Atas do I Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, p. 35-47, setembro 1983.

BLUM, W. E. H.; SANTELISES, A. A. **A concept of sustainability and resilience based in soil functions**. In: GREENLAND, D. J.; SZABOLCS, I. (Org.) Soil resilience and sustainable land use. Wallingford: CAB. p. 535-542, 1994.

BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 313 p, 2005.

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Fundação Nacional de Saúde – Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que trabalham em ETA’S. Brasília 2014.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Resolução CONAMA número 357/2005. Brasília, 2005.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Resolução CONAMA número 420/2009. Brasília, 2009.

BRASIL, Lei N° 12.305 de 02 de agosto de 2010 - **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**. European Commission, (1996).

BRUKER, **Manual do fabricante**, 2008. <<https://www.bruker.com/pt/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis/>>. Acesso dia 12/10/2020.

CARVALHO, M. A. G, **Métodos Estatísticos para análise de dados de monitoração ambiental, tese de doutorado**, IPEN, 2003.

CERVA-ALVES, T. **Geologia dos carbonatitos ediacaranos de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.

Companhia de Tecnologia Ambiental de São Paulo – CETESB. **Indicadores de Qualidade das águas**, 1997.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2015. **Mapa Geológico Simplificado do Brasil**.

CHALCH, V.; LEITE, W. C. de A.; FERNANDES JUNIOR, J. L.; CASTRO, M. C. A. A. **Gestão e Gerenciamento dos Resíduos Sólidos**. São Carlos (SC), 2002. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento da USP, (Apostila).

CHEMALE JR, Farid. **Evolução Geológica do Escudo Sul-Rio-Grandense**, UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

DEER W.A., Howie R.A., Zussman J. **An introduction to rock forming minerals**. Harlow: Longman. 696 p (1992).

DUCHAUFOR, R. **Pedology: pedogenesis and classification**. Springer Science & Business Media, 2012.

DO BRASIL, CPRM – Serviço Geológico. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, 2015**.

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M.A. 1996. **Soil health and sustainability**. Advances in Agronomy, 1996.

DYMINSKI, Andréa Sell. **Contaminação de solos e águas subterrâneas**. Curitiba: Centro de Estudos de Engenharia Civil - CESEC, 2006.

EGENHEER, Emílio Maciel. **A História do Lixo - A Limpeza Urbana Através dos Tempos**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, p. 16, 2009.

EMBRAPA, Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 2006. Acesso dia 27/05/2020 <<https://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>>.

ESPÍNDOLA, C.R., **A Pedologia e a Evolução das Paisagens**, Revista Instituto Geológico, 2010.

ESTEVES, F.A, **Fundamentos de Limnologia**, Rio de Janeiro, Interciência, 2011.

FUNASA. **Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos em ETA's**, 116p, 2014.

GOLDSCHMIDT, V. M. 1954 **Geochemistry**. Claredon Press, Oxford. P 730.

GRAHAM, T W., **Trace element deficiencies in Cattle. Veterinary Clinics of North America, Food Animal Practice**, V. 7, n. 1, p.153-215, 1991.

HARTMANN, L. A., TAKEHARA, L., LEITE, J. A., MCNAUGHTON, N. J., & VASCONCELLOS, M. A. **Fracture sealing in zircon as evaluated by electron microprobe analyses and back-scattered electron imaging. Chemical Geology**, 141 (1-2), 67-72, 1997.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2010.  
<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/cacapava-do-sul>> Acesso dia 10/10/2020.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, **Clima Monitoramento do Brasil – CPTEC**, 2011.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, 2020.

KATO, M. T. “Alcalinidade”. **Curso Qualidade da Água, do Ar e do Solo**. Escola de Engenharia Mauá. São Caetano do Sul/SP, 1983.

KATO, M. T. “Dureza”. **Curso Qualidade da Água, do Ar e do Solo**. Escola de Engenharia Mauá. São Caetano do Sul/SP, 1983.

KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate** (The geographic system of climates) 1936.

KÖPPEN, W., R. Geiger (Hrsg.): **Handbuch der Klimatologie, Bd. 1, Teil C**. – Borntraeger, Berlin, 44 pp 1936.

LEITE, Jayme Alfredo Dexheimer; HARTMANN, Léo Afraneo; CHEMALE JR, Farid; McNAUGHTON, N. J. **SHRIMP U/Pb Zircon geochronology of Neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes in southernmost Brazil**. International Geology Review, 1998.

LICHT, 1998 LICHT, O. A. B.. **Prospecção geoquímica: princípios, técnicas e métodos/ Otávio Augusto Boni Licht**. - Rio de Janeiro: CPRM, 1998.

LOPES, Carina Graciniana; PIMENTEL, Márcio Martins; PHILIPP, Ruy Paulo; GRUBER, Leonardo; JUNGES, Sérgio Luiz. **Provenance of the Passo Feio Complex, São Gabriel Terrane, Dom Feliciano Belt, Southern Brazil, implications for the tectonic setting of depositon, age of the São Gabriel Arc and origin of Paleoproterozoic detrital zircons (3.3-3.63 Ga.** *Journal of South American Earth Science*, 2015.

MORIMOTO, N. **Nomenclature of pyroxenes.** *Mineralogy and Petrology*, 39(1):55-76 (1988).

MARTINELLI, A.C, **Avaliação da lixiviação de cádmio e níquel provenientes da degradação de bateria níquel-cádmio em uma coluna de solo**, 2013.

MUKAKA, M.M., **A Guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research**, 2012.

NASCIMENTO FILHO, Virgílio Franco. **Técnicas analíticas nucleares de fluorescência de raios x por dispersão de energia (EDXRF) e por reflexão total.** Piracicaba, Departamento de Física e Meteorologia; CENA, 1999.

PAIM, Paulo Sérgio Gomes; CHEMALE JR, Farid; LOPES, Carina Graciniana. **A Bacia do Camaquã, geologia do Rio Grande do Sul.** CIGO/UFRGS, Porto Alegre p. 231-274, 2000.

PHILIPP, R., BITENCOURT, M. F. & JUNGES, S. **Isótopos de Nd dos Complexos Neoproterozóicos Cambaí e Cambaizinho, Terreno Vila Nova: implicações para a evolução do Cinturão Dom Feliciano no RS.** Congresso Brasileiro de Geologia, 44. 1, 2008.

PHILIPP, Ruy Paulo; PIMENTEL, Márcio Martins; CHEMALE JR., Farid. **Tectonic Evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology.** *Brazilian Journal of Geology*, 46 p. 86-104, junho 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAÇAPAVA DO SUL, **Relatório técnico – Elaboração do plano ambiental municipal de Caçapava do Sul – RS**, 2010.

RADAMBRASIL, Folhas SH. 21, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra, 1986.

RIBEIRO T.F., LIMA S. C. **Coleta Seletiva de lixo domiciliar – estudos de casos.** Caminhos de Geografia, vol. 1, n. 2, p 49-69, 2000.

ROSE et al. (1979 A. W. ROSE, H. E. HAWKES & J. S. WEBB 1979. **Geochemistry in Mineral Exploration.** Second edition. xvii + 657 pp., numerous figs. London, New York, Sydney, San Francisco: Academic Press.

SAALMAN, **Sm–Nd isotope geochemistry of metamorphic volcano-sedimentary successions in the São Gabriel Block, southernmost Brazil: evidence for the existence of juvenile Neoproterozoic oceanic crust to the east of the Rio de la Plata craton.** Precambrian Research, p.107-202, 2005).

SEMA, Secretaria de Meio Ambiente e Infraestrutura do RS, Notas Técnicas, 2014.

SEMA, Secretaria de Meio Ambiente e Infraestrutura do RS, Notas Técnicas, 2008.

SOARES, R., **Agregação e distribuição da matéria orgânica em solos de Terra Preta de Índio da Amazônia Central.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense.107 p, 2007.

SOLIANI JR, E. **Os dados geocronológicos do Escudo Sul-rio-grandense e suas implicações de ordem geotectônica.** 1986.

SOUSA, D.M.G., REIN, T.A. & LOBATO, E. **Solubilidade e eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos avaliados com a cultura da soja em um Latossolo de Cerrado.** Brasília, 2008.

SULLASI, H. L.; OLIVEIRA JUNIOR, P. J. De; CAMPOS, J. R. de O.; SOUZA, R. E. de; SANTOS, C. D. F. **A Técnica de Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia (EDFRX) e sua Aplicação em Amostras de Moedas Antigas.** <<http://www.fumdham.org.br/wp-content/uploads/2016/09/6-a-tecnica-de-fluorescencia-de-raios-x-por-dispersao-de-energia-edxrf-e-sua-aplicacao-em-amostras-de-moedas-antigas.pdf?x49464>>, 2014. Acesso dia 27/08/2020.

VELOZO, R. **Caracterização Geológico-Geotécnica do lixão desativado de São Carlos – SP, com auxílio da Geofísica.** Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo – USP, p.1, 2006.

VIRGA, R. H., **Avaliação de contaminação por metais pesados em amostras de siris azuis**, UNISANTOS, 2007.

WHITE, W.M. **Geochemistry**. Oxford: Blackwell-Wiley, 2005. 672p.

**ANEXO A – VQR's para Solos Resolução CONAMA 420/2009.**

Substâncias	Solo mg.kg <sup>-1</sup> = 1mg/kg = 1ppb			
	Prevenção	Agrícola	Residencial	Industrial
Al	n/a	n/a	n/a	n/a
Sb	2	5	10	25
As	15	35	55	150
Ba	150	300	500	750
Bo	n/a	n/a	n/a	n/a
Cd	1,3	3	8	20
Pb	72	180	300	900
Co	25	35	65	90
Cu	60	200	400	600
Cr	75	150	300	400
Fe	n/a	n/a	n/a	n/a
Mn	n/a	n/a	n/a	n/a
Hg	0,5	12	36	70
Mo	30	50	100	120
Ni	30	70	100	130
Ag	2	25	50	100
Se	5	n/a	n/a	n/a
V	n/a	n/a	n/a	1000
Zn	300	450	1000	2000

Fonte: adaptado da resolução 420/2009 do CONAMA.