

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

FERNANDO HENRIQUE BRANDÃO LIMA

**INVESTIGAÇÃO GEOELÉTRICA NO ATERRO CONTROLADO DA VILA DO
SEGREDO, MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL – RS**

**Caçapava do Sul
2019**

FERNANDO HENRIQUE BRANDÃO LIMA

**INVESTIGAÇÃO GEOELÉTRICA NO ATERRO CONTROLADO DA VILA DO
SEGREDO, MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL – RS**

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

Orientador: Prof^o. Dr. José Pedro Rebes Lima

Coorientador: Lenon Melo Ilha

Caçapava do Sul

2019

FERNANDO HENRIQUE BRANDÃO LIMA

**INVESTIGAÇÃO GEOELÉTRICA NO ATERRO CONTROLADO DA VILA DO
SEGREDO, MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL – RS**

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

Trabalho de conclusão de curso defendido em:
Banca examinadora:

Prof. Dr. JOSÉ PEDRO REBES LIMA
Orientador
UNIPAMPA

Prof. Dr. IGOR MAGALHAES CLEMENTE
UNIPAMPA

Prof. Dr. ANELISE MARLENE SCHMIDT
UNIPAMPA

RESUMO

Atualmente uma das preocupações das nações é a poluição dos solos e das águas subterrâneas, que ocasiona grande risco à saúde da população. Um dos fatores responsáveis por esta poluição é o depósito de grandes quantidades de lixo de forma indevida nos denominados lixões. O aumento populacional, seguido pelo crescimento da renda familiar que estimula o consumo, ocasiona um aumento significativo na produção de lixo. O município de Caçapava do Sul gera mensalmente 414 toneladas de lixo, que representa uma quantidade de resíduos de 13,8 toneladas por dia. Essa quantidade representa uma geração de 0,543 kg/hab/dia, que fica na média brasileira para cidades com até 30 mil habitantes. O atual aterro controlado está localizado no bairro da Vila do Segredo, e este foi utilizado como lixão no período de dezembro de 1997 a dezembro de 2005. A grande quantidade de lixo ali depositada sofreu um processo de decomposição da matéria orgânica, gerando a presença de lixiviado (chorume), e que por ação gravitacional, percolou pelo solo e alcançou o nível freático local, ocasionando contaminação. Neste estudo foi aplicado o método geofísico eletrorresistividade com objetivo de investigar possíveis contaminações do aquífero na área de transbordo e entorno do aterro controlado. Foi utilizada a técnica de caminhamento elétrico (CE) com os arranjos dipolo-dipolo e wenner-schlumberger, com profundidade média de investigação de 20 e 40 metros, respectivamente. Foram realizados cinco perfis paralelos de caminhamento elétrico (CE), com espaçamento entre eletrodos de 5 metros e comprimento total de 180 metros cada. Estes perfis estão posicionados na direção N-S e perpendiculares à direção preferencial das fraturas na região. Obteve-se um total de 3419 pontos de leituras de resistividade aparente em subsuperfície. Estes dados adquiridos em campo foram processados e obtidos valores de resistividade, por técnica de inversão matemática 2D, que foram apresentados na forma de seções de corte de distribuição geolétrica ao longo dos perfis. A interpretação destas seções indica que as anomalias com valores baixos de resistividade estão associadas com a presença de pluma de contaminação devido ao chorume. As possíveis zonas de contaminação foram identificadas a uma profundidade de até 15 metros, localizada sob o aterro, relacionadas com as possíveis zonas de contaminação associadas às baixas resistividades apresentadas nos perfis geofísicos.

Palavra chave: Geofísica. Contaminação. Aterro. Eletrorresistividade

Abstract

Currently one of the concerns of nations is the pollution of soil and groundwater, which poses a great risk to the health of the population. One of the factors responsible for this pollution is the improper disposal of large amounts of waste in so-called dumps. Population growth, followed by household income growth that stimulates consumption, causes a significant increase in waste production. The city of Caçapava do Sul generates 414 tons of waste per month, which represents a waste amount of 13.8 tons per day. This amount represents a generation of 0.543 kg / inhab / day, which is the Brazilian average for cities with up to 30 thousand inhabitants. The current controlled landfill is located in the Vila do Segredo neighborhood, which was used as a dump from December 1997 to December 2005. The large amount of garbage deposited there underwent a process of decomposition of organic matter, generating the presence of leachate (slurry), and that by gravitational action, percolated through the ground and reached the local water table, causing contamination. In this study, the electroresistivity geophysical method was applied to investigate possible aquifer contamination in the transshipment area and around the controlled landfill. The electric walking technique (EC) was used with the dipole-dipole and Wenner-Schlumberger arrangements. With an average depth of investigation of 20 and 40 meters, respectively. Five parallel profiles of electric walk (CE) were performed, with electrode spacing of 5 meters and total length of 180 meters each one. These profiles are positioned in the N-S direction and perpendicular to the preferred direction of fractures in the region. A total of 3419 points of apparent subsurface resistivity readings were obtained. These field-acquired data were processed and resistivity values were obtained by 2D mathematical inversion technique which were presented in the form of geometry distribution section sections along the profiles. Interpretation of these sections indicates that anomalies with low resistivity values are associated with the presence of leachate contamination plume. Possible contamination zones have been identified at a depth of up to 15 meters, under the landfill, related to the possible contamination zones associated with the low resistivity presented in the geophysical profiles.

Keyword: Geophysics. Contamination. Embankment. Electroresistivity

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização da área de estudo	18
Figura 2- Local de estudo A (Antes, Lixão) e B (Depois, aterro controlado).....	19
Figura 3-alanço Hídrico Mensal da cidade de Caçapava do sul.....	20
Figura 4-Mapa geológico.....	21
Figura 5-Mapa Pedológico de Caçapava do Sul	24
Figura 6-Mapa dos sistemas aquíferos de Caçapava e regiões.....	26
Figura 7- Imagem de satélite da área de estudo com as linhas de medidas e pontos de coleta de água.....	28
Figura 8-Parâmetro utilizados na definição de resistividade.	29
Figura 9-Valores de resistividade de solos e rochas	30
Figura 10-Ilustração dos arranjos Dipolo-Dipolo	31
Figura 11-Esquema de aquisição dos dados utilizando o arranjo Dipolo-Dipolo.....	32
Figura 12-Arranjo Schlumberger.	33
Figura 13-Syscal Pro, (disponível na UNIPAMPA).....	34
Figura 14-Linha 1 de caminhamento de arranjo Dipolo-Dipolo como modelo interpretativo geológico.	41
Figura 15-Linha 1 de caminhamento de arranjo Schlumberger como modelo interpretativo geológico.	41
Figura 16-Linha 2 de caminhamento de arranjo Dipolo-Dipolo como modelo interpretativo geológico.	42
Figura 17-Linha 2 de caminhamento de arranjo Schlumberger como modelo interpretativo geológico.	42
Figura 18-Linha 3 de caminhamento de arranjo Dipolo-Dipolo como modelo interpretativo geológico.	43
Figura 19-Linha 3 de caminhamento de arranjo Schlumberger como modelo interpretativo geológico.	43
Figura 20-Linha 4 de caminhamento de arranjo Dipolo-Dipolo como modelo interpretativo geológico.	44
Figura 21-Linha 4 de caminhamento de arranjo Schlumberger como modelo interpretativo geológico.	44

Figura 22-Linha 5 de caminhamento de arranjo Dipolo-Dipolo como modelo interpretativo geológico.	45
Figura 23-Linha 5 de caminhamento de arranjo Schlumberger como modelo interpretativo geológico.	45
Figura 24-Mapa topográfico da área, com os perfis de caminhamento elétrico (vermelho), pontos de coleta de água (amarelo) e a lagoa de decantação (em branco).	46
Figura 25 – Levantamento estrutural (A). Diagrama de roseta (B).....	47
Figura 26-Locais de coletas das amostras de água.	48

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1- Linhas geofísicas com suas respectivas coordenadas.....	27
Quadro 2-Pontos de coletas e coordenadas geográficas.....	27
Tabela 1-Resultados laboratoriais da água.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB - Eletrodos de corrente

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

CE - Caminhamento elétrico

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

Km - Quilômetros

RSU - Resíduo Sólido Urbano

RS - Rio Grande do Sul

N - Norte

MN - Eletrodo de Potencial

S – Sul

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO.....	12
1.1- Objetivos	14
1.1.1-Geral	14
1.1.2-Específicos.....	15
1.2 - Justificativa.....	15
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3 - ÁREA DE ESTUDO	17
3.1- Localização	17
3.2- Características da área	19
3.3 Clima	20
4 - CONTEXTO GEOLÓGICO, PEDOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO	21
4.1 - Geologia Local	21
4.2 - Pedologia	23
4.3 - Hidrogeologia.....	25
5 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
5.1 - Eletrorresistividade.....	29
5.2.1 - Fundamentos Teóricos.....	29
5.2.2 - Caminhamento Elétrico	30
5.2.3 - Arranjo Dipolo-Dipolo	31
5.2.4 - Arranjo Schlumberger	32
6 - PROCEDIMENTOS DE CAMPO E LABORATORIAL	33
6.1 - Equipamentos e Aquisição.....	33
6.2 - Levantamento Estrutural	34
6.3 - Análises Laboratoriais de Água.....	35
6.3.1 - Análises Químicas.....	35
6.4.1 - pH da Água	35
6.4.2 - Condutividade Elétrica	35
6.4.3 - Alcalinidade Total	36
6.4.4 - Oxigênio Consumido (OC)	36
6.4.5 – Nitrato.....	37
6.4.6 - Fósforo	37
6.4.7 – Dureza.....	37
6.4.7 - Turbidez	38
7 - PROCESSAMENTOS E ANÁLISES	39

8 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
8.1 – Seções de Caminhamento Elétrico	40
8.1.1 Arranjo Dipolo-Dipolo e Schlumberger e modelo interpretativo geoeletrico. ..	40
8.2 – Geologia Estrutural.....	47
8.3 – Análises Químicas.....	47
9 – CONCLUSÃO	50
10 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

1 - INTRODUÇÃO

O crescimento populacional faz com que ocorra o aumento na produção de lixo, tanto nos grandes centros quanto nas pequenas cidades. Dados divulgados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) mostram que a quantidade de lixo produzido no Brasil cresce ano após ano. Segundo um estudo feito em 2016, em 1692 cidades não haviam coleta seletiva, devido à falta de investimentos dos órgãos públicos ou por falta de pesquisa na área. Em 2017, esse número caiu para 1647. Mas, na região Centro-Oeste, por exemplo, a maior parte das cidades 55,2% não tem nenhum tipo de coleta seletiva. Já a região sul do Brasil tem o menor índice com 9,5% das cidades (ABRELPE, 2017).

Segundo Plano Municipal de Saneamento Básico PMSB (2013) o município de Caçapava do Sul-RS gera mensalmente 414 toneladas de lixo, que representa uma quantidade de resíduos de 13,8 toneladas por dia. De acordo com o Instituto Brasileiro de Administração Municipal IBAM (2001) esta quantidade representa uma geração de 0,543 kg/hab/dia, ficando praticamente na média Brasileira para cidades com até 30 mil habitantes, que é de 0,5 kg/hab./dia.

A disposição final adequada de Resíduo Sólido Urbano (RSU) registrou um índice de 59% do montante anual encaminhado para aterros sanitários. As unidades impróprias como lixões e aterros controlados, porém, ainda estão presentes em todas as regiões do país e receberam mais de 80 mil toneladas de resíduos por dia, com um índice superior a 40%, com elevado potencial de poluição ambiental e impactos negativos à saúde (ABRELPE, 2017).

Os depósitos de resíduos sólidos podem ser divididos em três categorias:

Vazadouro a céu aberto (Lixão) que é um local utilizado para disposição do lixo, em bruto, sobre o terreno, sem qualquer cuidado ou técnica especial. O lixão caracteriza-se pela falta de medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública (IBGE, 2002).

Aterro controlado é utilizado para despejo do lixo coletado, em bruto, com cuidado de, diariamente, após a jornada de trabalho, cobrir os resíduos com uma camada de terra, de modo a não causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, bem como minimizar os impactos ambientais (IBGE, 2002).

Aterro sanitário é a destinação final dos resíduos sólidos urbanos através de sua adequada disposição no solo, sob controles técnicos e operacionais permanentes, de modo a que nem os resíduos, nem seus efluentes líquidos e gasosos, venham a causar danos à saúde pública e ao meio ambiente (IBGE, 2002).

O período de estabilização geralmente não é inferior a 15 anos após encerramento da deposição do lixo, vários são os métodos recomendados para realizar o fechamento e remediação dos lixões inativos (POSSAMAI et al., 2007). Para (FARQUHAR, 1989) a contaminação ocasionada pela decomposição do lixo orgânico ocorre por período maior que 30 anos.

Segundo Possamai et al., (2007) um dos principais motivos das contaminações do solo e das águas subterrâneas, ocorre devido a deposição de lixos em locais inapropriados, o que origina uma substância líquida denominada de chorume gerado através de processos químico, físico e biológico da decomposição dos resíduos orgânicos, este líquido pode apresentar elevadas concentrações dos íons cloreto, ferro (Fe) e zinco (Zn). Com a ação da água das chuvas esse material pode percolar nas fraturas das rochas chegando ao lençol freático resultando em problemas ambientais.

Segundo Christensen et al., (1994) a pluma de contaminação dos aterros recebe uma mistura de materiais comerciais e industriais, o lixiviado de aterros pode ser caracterizados através de quatro grupos de poluente.

- Matéria orgânica dissolvida, expressa em demanda química de oxigênio (*DQO*) ou carbono orgânico total (*TOC*), incluindo metano (CH_4), ácidos graxos voláteis e compostos mais refratários como fúlvico e húmico.
- Compostos orgânicos antropogênicos, originários de produtos químicos domésticos ou industriais e presentes em concentrações relativamente baixas no lixiviado os compostos incluem, entre outros, uma variedade de hidrocarbonetos aromáticos, fenóis e alifáticos.
- Macrocomponentes inorgânicos: cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+), amônio (NH_4^+), ferro (Fe^{2+}), manganês (Mn^{2+}), cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}) e carbonato de hidrogênio (HCO_3^-).
- Metais pesados: cádmio (*Cd*), cromo (*Cr*), cobre (*Cu*), chumbo (*Pb*), níquel (*Ni*) e zinco (*Zn*).

Segundo Bennett e Siegel (1987) o fluido poluente em um aquífero anaeróbico é pouco a pouco degradado, com a produção de ácidos graxos que pode reagir ao entrar em contato com o aquífero, com conseqüentes mudanças no fluxo químico próximo ao nível freático. Em um ambiente com baixa oxigenação, materiais inorgânicos contidos no chorume podem ser dissolvidos na água subterrânea.

A quantidade de água subterrânea contaminada resultante da invasão de chorume depende da hidrogeologia da área e da capacidade do substrato, o chorume em contato com a água subterrânea agir com o material do meio formando uma pluma eletricamente condutiva. Além dos limites da pluma, a quantidade de sólidos totais dissolvidos e a condutividade elétrica apresentam valores peculiares aos do ambiente natural (BENNETT E SIEGEL, 1987).

A geofísica é uma importante ferramenta de investigação de áreas contaminadas, oferecendo importantes resultados em estudos ambientais. Métodos como o da eletrorresistividade são eficientes ao mostrarem resultados positivos na detecção de fraturas presentes nas rochas, que estão diretamente ligadas à passagem desses agentes contaminantes, e por ser um método simples, com alta confiabilidade devido ao contraste de propriedades físicas entre os materiais poluentes.

Por meio da técnica de caminhamento elétrico (CE) com arranjo Dipolo-Dipolo e Schlumberger, é possível detectar e analisar os locais que apresentam uma resistividade baixa, que pode estar associada com esse agente contaminante (chorume).

1.1- Objetivos

1.1.1- Geral

Investigar possíveis contaminações na área de transbordo e entorno do antigo aterro controlado na Vila do Segredo, município de Caçapava do Sul, utilizando geofísica, análises estruturais e químicas.

1.1.2- Específicos

- Identificar as possíveis fraturas e descontinuidade na área.
- Determinar possíveis zonas de contaminação, a partir de anomalias geofísicas.
- Integrar as seções/perfis com as análises químicas para corroborar as anomalias resistivas.

1.2 - Justificativa

O estudo no aterro controlado na Vila do Segredo pode identificar os possíveis locais contaminados, servindo de subsídio para uma futura ação de mitigação ambiental.

A área de estudo oferece um marco favorável para a aplicação do método elétrico, pelo provável contraste de propriedades físicas presentes entre as rochas fraturadas, que permitirá uma boa estimativa da geometria do aterro, além de possibilitar a localização de possíveis locais de contaminação.

A contaminação do solo da região pode causar consequências para a própria saúde humana e aos animais das fazendas próximas que consome a água subterrânea local. Isso porque o controle da qualidade das águas subterrâneas é difícil e custoso para os cofres públicos.

O controle da área é um projeto antigo e de importância para a Prefeitura de Caçapava do Sul e comunidade local, no qual este trabalho pode servir de base juntamente com outro estudo geofísico já realizado na área por (DOS SANTOS et al., 2010).

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O método de eletrorresistividade é uma ferramenta de grande importância para caracterizar o meio geológico e detectar anomalias (contaminações, águas subterrâneas, mineralizações) com baixo custo. Desse modo, é possível evitar trabalho desnecessário e propor locais para perfuração e coleta de material para análises químicas, biológicas e geoquímicas (SANTOS, 2015).

Alguns casos onde estiveram presentes estudos geofísicos relacionados diretamente a depósitos de resíduos sólidos inclusive alguns na área.

Ellis & Zuquette (2002) utilizaram métodos geofísicos como sondagem elétrica vertical (SEV) e caminhamento elétrico (CE) para disposição de resíduos sólidos urbanos na cidade de Ribeirão Preto-SP, com propósito de detecção de pluma de contaminação, os resultados mostram que a aplicação dessas duas técnicas permite estudar o volume de resíduos, o fluxo das águas em subsuperfície e avaliar o nível de alteração causado pelos líquidos percolados no meio ambiente.

Estudos por Dos Santos et al., (2010) e Moreira et al., (2011) feitos no aterro controlada na vila do segredo e no Rincão do Bitencourt ambos em Caçapava o Sul-RS, utilizou os métodos geofísicos de eletrorresistividade e potencial espontâneo no caminhamento elétrico com objetivo de detecção de zonas anômalas aos parâmetros físicos, nesses trabalhos foram estipulados que os locais onde se encontram o chorume apresenta uma resistividade inferior a 60 Ω m.

Moura e Mallagutti Filho (2003) com a utilização do caminhamento elétrico (CE) e polarização induzida (IP) no aterro controlado de Rio Claro – SP com o objetivo de avaliar as potencialidades da integração dos métodos na caracterização geoeletrica e mapear a geometria do aterro ficou evidente que a polarizabilidade é sensível à presença de resíduos urbanos, e que o efeito IP é relacionado a materiais polarizáveis como latas e restos eletrônicos.

Abu-Zeid et al., (2004) no aterro sanitário de Camacchio Itália com a utilização da eletrorresistividade com a técnica do caminhamento elétrico (CE) e polarização induzida (IP) impossibilitou o estudo no lençol freático devido à alta salinidade, o efeito da polarização de membrana e presença de metais sob o processo de oxidação/redução.

Braga & Cardinali (2005) descreve os resultados obtidos com sondagem elétrica vertical (SEV) caminhamento elétrico (CE) com dois tipos de arranjos

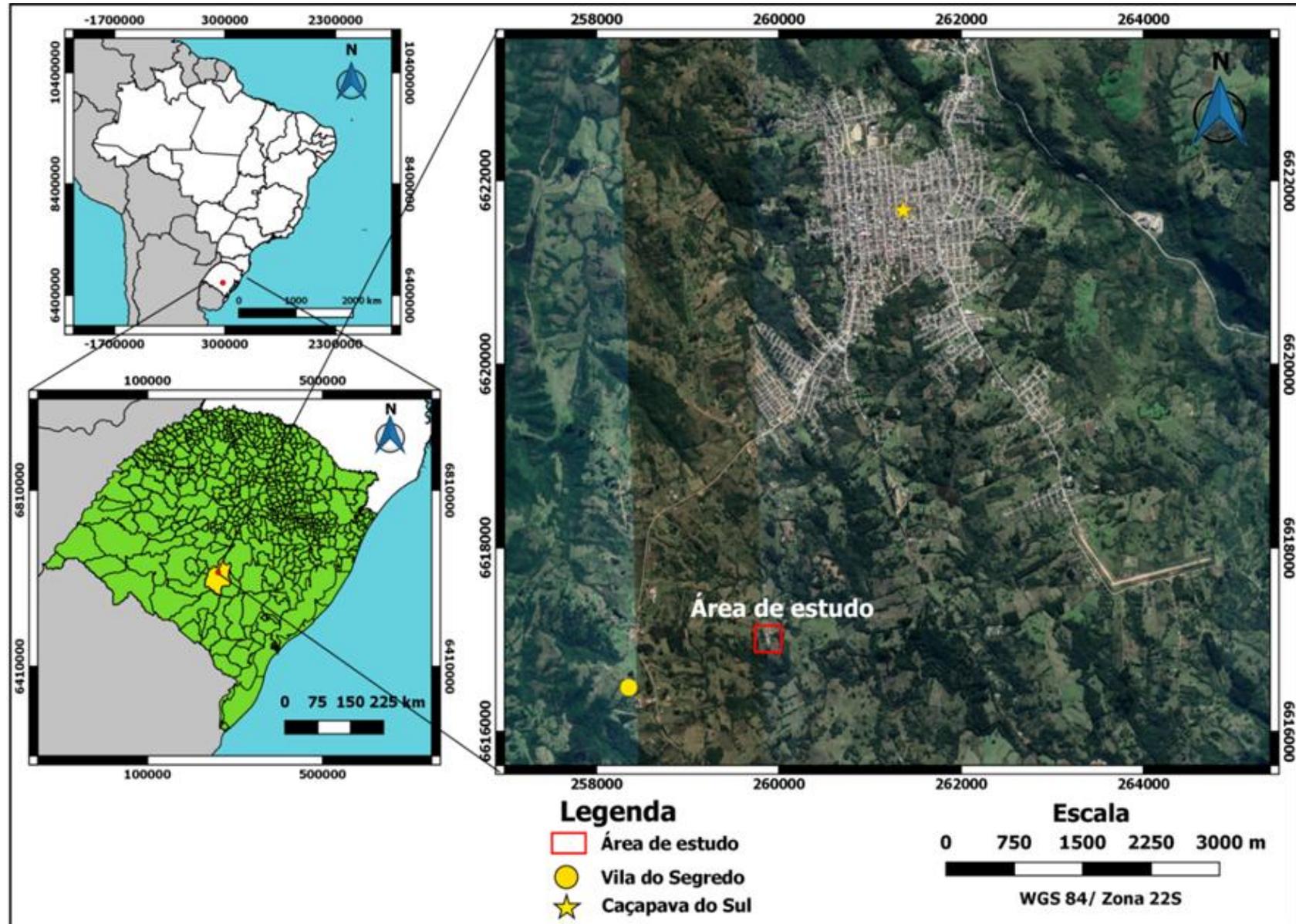
(Dipolo-Dipolo e Gradiente) e polarização induzida (IP) foi feita uma análise da evolução de uma contaminação por derivados de hidrocarbonetos em modelo reduzido com sedimentos arenosos e argiloso a decorrências disso a resistividade dos sedimentos aumentou significativamente, imediatamente após a contaminação, enquanto que a cargabilidade diminuiu sensivelmente.

3 - ÁREA DE ESTUDO

3.1- Localização

A área de estudo o aterro controlado na vila do segredo no município de Caçapava do sul na região central do estado, como uma população estimada de acordo com censo 2018 de 33.812 pessoas, localizada a uma distancia de 260 km de Porto alegre - RS, forma de acesso é feita por meio da BR-290 até o entroncamento com a BR-392, sentido para Caçapava do sul e em seguida toma-se a Rodovia Estadual RS-357, que liga os municípios de Caçapava do Sul e Lavras do Sul. A área está cerca de 6 km a sudoeste do centro da cidade, situada no Km 4 (Figura 1) desta rodovia, a partir da qual é possível acessar a área via estrada auxiliar. O aterro esta cerca de 1500 metros da Vila do Segredo.

Figura 1- Localização da área de estudo



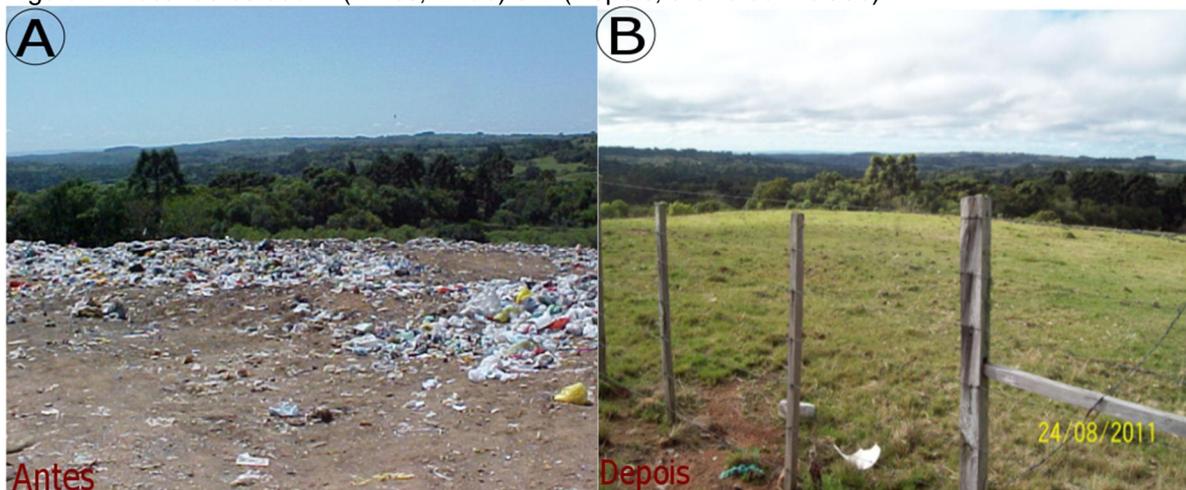
Fonte: autor (2019).

3.2- Características da área

Segundo PMSB (2013) o local começou a receber resíduos em dezembro de 1997 e interrompeu o recebimento em dezembro de 2005. Durante estes 96 meses de atividades, o aterro recebeu cerca de 29.000 toneladas de resíduos sólidos urbanos, o que resultou em poluição ao meio ambiente e transtornos aos moradores próximos, devido à proliferação de insetos e ao forte odor (Figura 2-A).

Nos trabalhos de recuperação da área degradada (Figura 2-B) foi realizado o aterramento da deposição de resíduos, recuperação de taludes nas lagoas de tratamento de percolados, limpeza de bocas-de-lobo e do sistema de drenagem subterrâneo de captação de percolados, recobrimento da vegetação local com plantação de eucaliptos na porção Sul e cercado com arames (PMSB, 2013).

Figura 2- Local de estudo A (Antes, Lixão) e B (Depois, aterro controlado).



Fonte: PMSB (2013)

O aterro controlado está localizado em uma propriedade de 12 hectares, dos quais 5 hectares foram licenciados pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS (FEPAM). Entretanto, apenas uma parte do local licenciado foi usado para deposição do lixo. (DOS SANTOS et al., 2010).

A área de disposição de resíduos consiste em sistema de 5 valas, sequencialmente fechadas. Estas valas foram impermeabilizadas em suas bases e possuem drenos para o escoamento por gravidade dos líquidos gerados por processo de decomposição dos resíduos, sentido à lagoa de decantação. O projeto

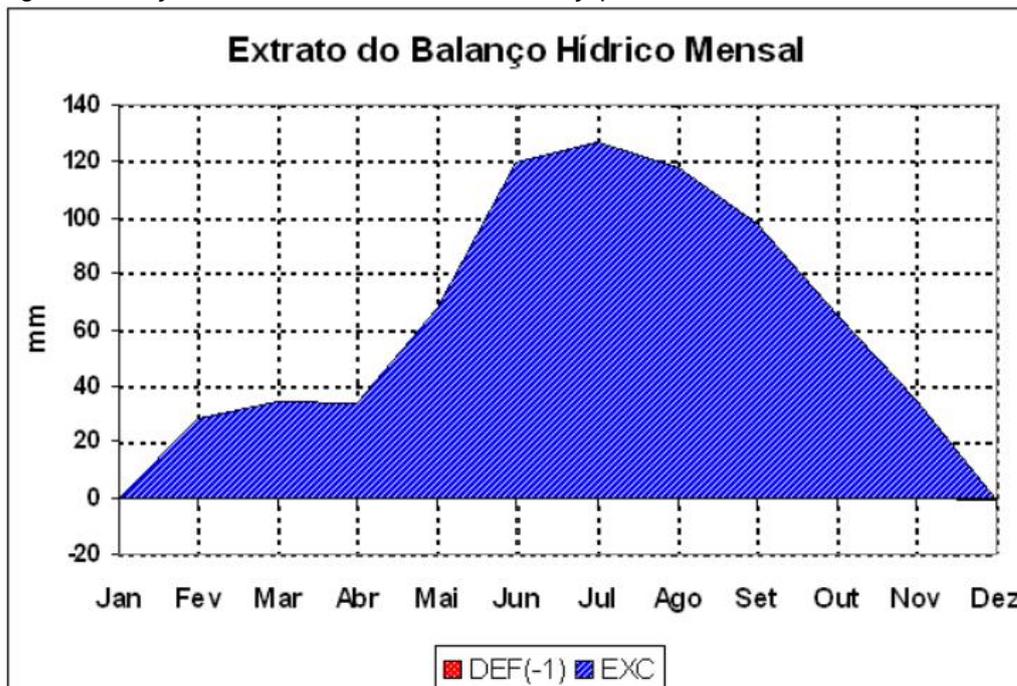
inicial, não implantado, compreende um sistema de recirculação, ou seja, bombeamento dos efluentes da lagoa e reintrodução na área de resíduos enterrados. (DOS SANTOS et al., 2010).

Atualmente o local do aterro ainda recebe resíduos para transbordo em contêineres, e o transporte do lixo se dirige a central de tratamento de resíduos de Santa Maria – RS, a 100 km de Caçapava do Sul, antes esse mesmo lixo se dirigia ao município de Minas do Leão-RS (PMSB, 2013).

3.3 Clima

A cidade de Caçapava do sul corresponde ao clima considerado temperado e úmido, sem período definido de secas e com ocorrência de precipitação de chuvas em todos os meses do ano (Figura 3). Segundo (PMSB 2013) A temperatura média do mês de janeiro é de 22, 1 c, os meses de junho, julho e agosto tem a maior precipitação de chuvas, o mês seco é dezembro, A média anual de precipitação registrada foi de 128 mm. No mês de julho ocorreram os maiores índices pluviométricos (157 mm); no mês de abril foram registradas as menores precipitações (97 mm).

Figura 3-alanço Hídrico Mensal da cidade de Caçapava do sul.



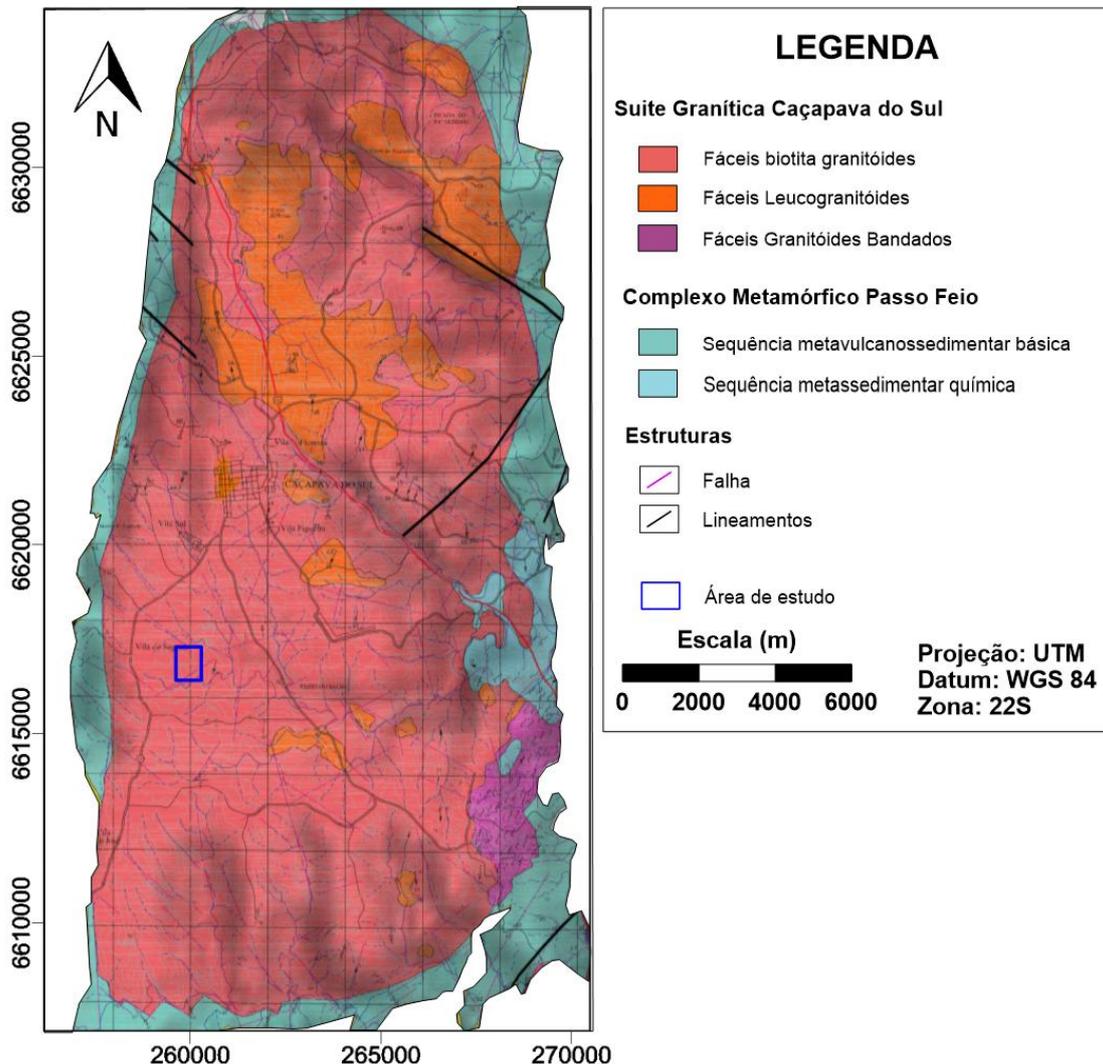
Fonte: EMBRAPA (2010)

4 - CONTEXTO GEOLÓGICO, PEDOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

4.1 - Geologia Local

No contexto geológico (Figura 4), a área está assentada sobre a Suíte Granítica Caçapava do Sul, onde são representados por corpos plutônicos intrusivos nas unidades metamórfica do domínio ocidental que mostra foliações miloítica de forma pervasiva (PORCHER E LOPES, 2000).

Figura 4-Mapa geológico



Fonte: modificado da UFRGS (1990)

Segundo Porcher e Lopes (2000) a Suíte Granítica Caçapava do Sul compreende dois corpos graníticos intrusivos na Associação Metassedimentar da Sequência Metamórfica Vacacaí. Sendo o maior corpo, que empresta a

denominação à suíte, com forma ovalada cujo eixo maior, com cerca de 25 km de extensão por 10 quilômetros de largura máxima, na direção N-S.

Segundo Nardi e Bitencourt (1989), Porcher e Lopes, (2000) a Suíte Granítica Caçapava do sul é constituída predominantemente de monzo e sienogranitos, com participação subordinada a tonalítica representadas principalmente na borda oeste do corpo principais. Que empregam diversos tipos petrográficos em três fácies principais como:

- Biotita granitoides: são rochas de coloração cinza, tornando-se róseas quando intemperizadas contendo teores elevados de biotita e allanita que Predominam nas porções sul, sudoeste e oeste da suíte.
- Leucogranitoides: são rochas de coloração rósea, com pouca quantidade de minerais máficos são localizados na porção norte-nordeste da suíte.
- Granitoides transicionais: ocorrem de preferência na porção central e leste da suíte granítica e apresentam características intermediárias entre os dois primeiros tipos.

As relações de contato das rochas graníticas com as encaixantes, geralmente concordante ou de baixo ângulo com a foliação principal dos metamorfitos, as quais estão frequentemente dobradas ou mostrando estruturas do tipo *pinch and swell*. A foliação milonítica que afeta os granitoides é de maneira geral concordante com a foliação principal da sequência metamórfica que envolve (PORCHER E LOPES, 2000).

Segundo Porcher e Lopes (2000) a constituição mineralógica principal está representada por proporções variadas de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio, sendo biotita o principal mineral varietal, enquanto a hornblenda, alanita e granada são subordinados. Estudos geoquímicos indicam afinidade cálcio-alcalina e composição predominantemente metaluminosa e peraluminosa em rochas mais diferenciadas (NARDI E BITENCOURT, 1989) esses granitoides, predominantemente de granulação média a fina e frequentemente porfiroclásticos.

Segundo Ribeiro et., al., (1966) a suíte granítica Caçapava do sul Este inserida no complexo é regionalmente da Bacia do Camaquã e é totalmente envolvido pelas rochas metavulcânicas e metassedimentares da formação Vacacaí, cujas direções de foliação são geralmente paralelas e sub-paralelas à margem da suíte, concordantes com as estruturas planares do próprio granito. Para (BITENCOURT, 1983). As rochas da suíte granítica Caçapava são bastante fraturadas, com falhas normais de direção NW-SE, com planos subverticais e falhas

com deslocamentos laterais, responsáveis pelo desenvolvimento das zonas cataclásticas.

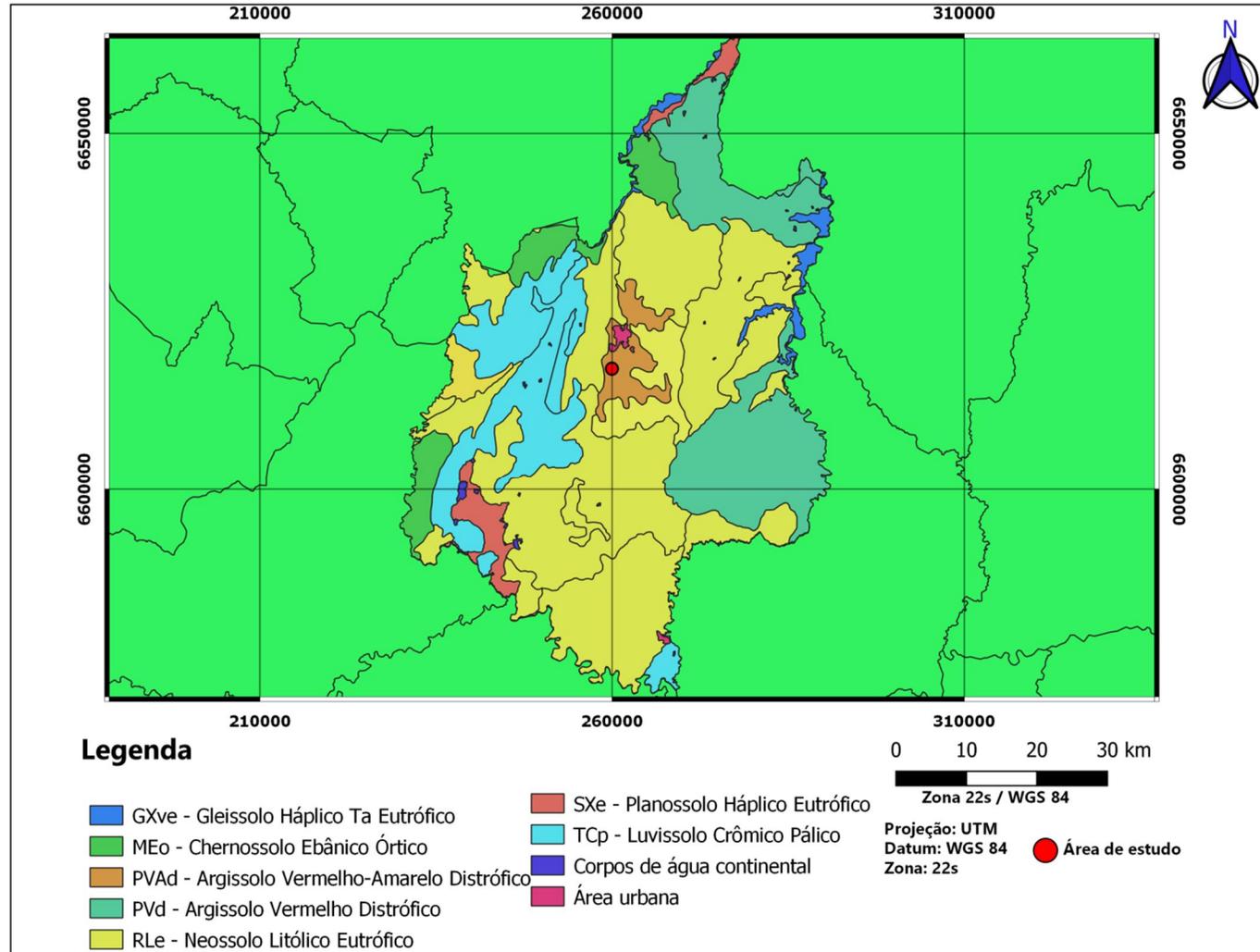
A formação passo feio é uma sequência metamórfica vulcanossedimentar em fácies anfibolito inferior e constituída por ardósias, filitos, xistos pelíticos e magnesianos, mármore, quartzitos, metaconglomerados, rochas cálcio-silicatadas, anfibolitos e subordinadamente metabasaltos, que conserva a estrutura ígnea do protólito (HARTMANN et. al., 2000).

4.2 - Pedologia

Segundo Streck et. al. (2002) e Embrapa (1999) quanto a sua pedologia o estado do Rio Grande do Sul apresenta diversas classes de solos em seu território, consequência de sua diversidade de formações geológicas e da ação climática regional.

A Região de Caçapava do Sul apresenta dentro de seus limites municipais 7 domínios pedológicos conforme o Banco de dados de informação ambiental (BDIA) (Figura 5), segundo (EMBRAPA, 2018) o solo correspondente a área de estudo corresponde ao Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd) solos com processo de acumulação de argila com a grupamento de solos com horizonte B textural que representa um horizonte mineral subsuperficial com textura francoarenosa ou mais fina, em que houve incremento de baixa atividade de argila (fração < 0,002 mm) com atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alumínico. Solos de cor vermelho-amarela. Apresentam saturação por bases menor que 50%.

Figura 5-Mapa Pedológico de Caçapava do Sul



Modificado: Solos do Rio Grande do Sul, (BDIA, 2019).

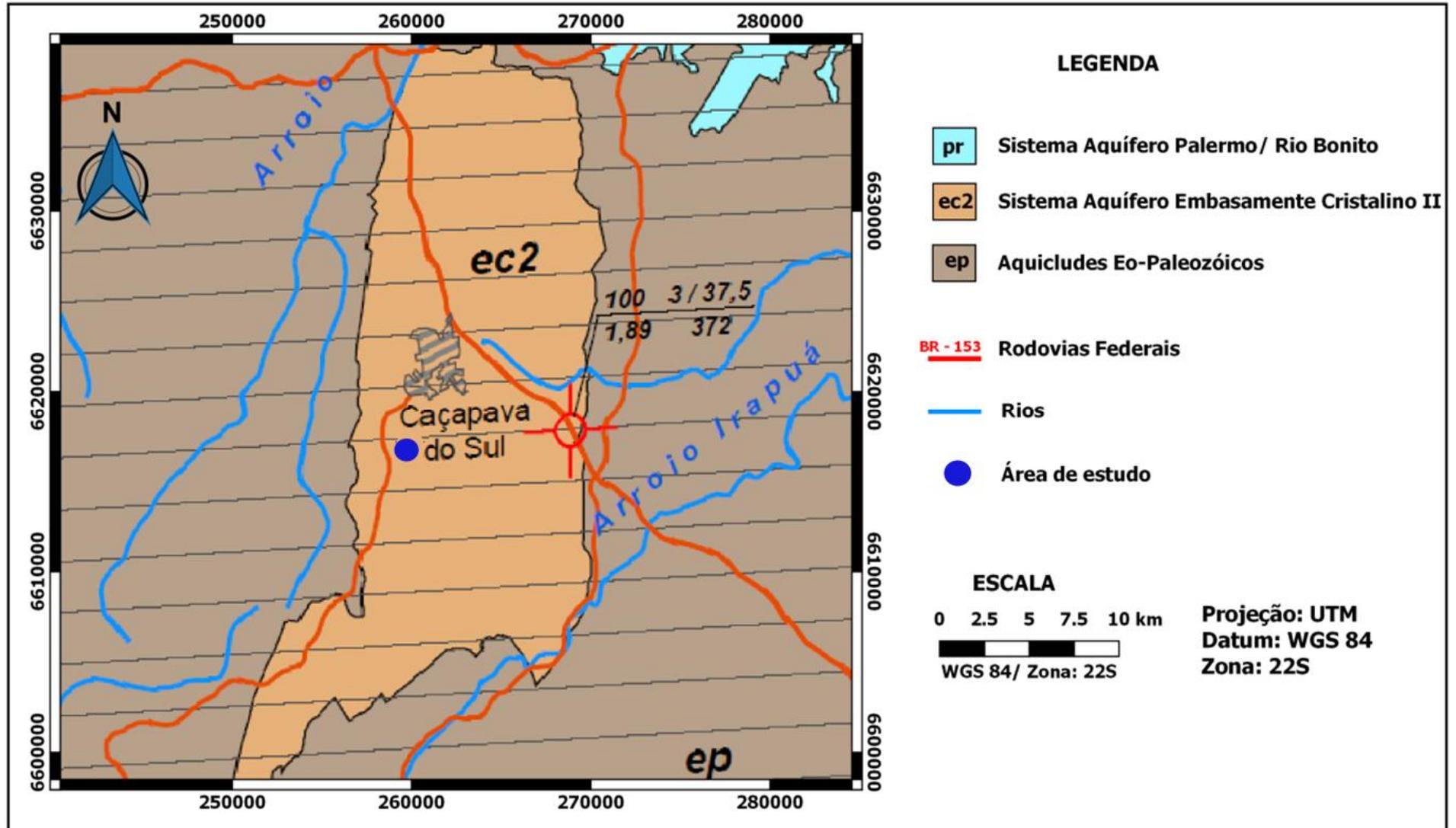
4.3 - Hidrogeologia

Segundo (Bomfim, 2010) o Rio Grande do Sul apresenta sete domínios hidrogeológicos, a área de estudo se encontra no Domínio Cristalino (aquífero fissural). Dentre os demais temos: Domínio Formações Cenozóicas (aquífero poroso), Domínio Bacias Sedimentares (aquífero poroso), Domínio Poroso/Fissural (aquífero misto), Domínio Metassedimentos/Metavulcânicas (aquífero fissural), Domínio Vulcânicas (aquífero fissural), Carbonatos/Metacarbonatos (aquífero fissural)

A área de estudo se encontra no sistema aquífero do embasamento cristalino II (Figura 6), com aquíferos de baixa possibilidade para água subterrânea em rochas, com porosidade intergranular ou por fraturas. Relacionados às rochas graníticas, gnáissicas, andesitos, xistos, filitos e calcários metamorfizados, que estão localmente afetados por fraturas e falhas. Apresentam capacidades específicas inferiores a $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. A salinidade nas áreas não cobertas por sedimentos de origem marinha é inferior a $300 \text{ mg}/\text{L}$, alguns poços sobre rochas graníticas podem apresentar enriquecimento com flúor (MACHADO E FREITAS, 2005).

Os faturamentos em uma rocha granítica por menor que seja possuir uma baixa permeabilidade, diminuindo a potencialidade do aquífero, revela que estes sistemas possuem vulnerabilidade baixa a contaminação e apenas em alguns locais, por exemplo, mais urbanizados ou de deposição de resíduos sólidos como nos lixões, pode existir riscos maiores de poluição (MACHADO E FREITAS, 2005).

Figura 6-Mapa dos sistemas aquíferos de Caçapava e regiões.



Fonte: Extraído do Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul, Machado & Freitas (2005).

5 - MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo foi aplicado o método da eletrorresistividade, com a técnica de caminhamento elétrico (CE) arranjo Dipolo-Dipolo e Schlumberger (Figura 7). As medidas foram adquiridas com o resistímetro Syscal Pro, de 10 canais fabricado pela IRIS Instruments. Foram realizados cinco perfis de caminhamento elétrico (CE), com espaçamento entre eletrodos de 5 metros e comprimento total de 180 metros.

As coordenadas de início e fim dos perfis (Quadro 1) foram adquiridas com GPS de mão, modelo Garmin Etrex 3, que apresentam uma precisão de 2 metros.

Foram adquiridas 5 amostras (Quadro 2) de água em diferentes pontos do aterro, sendo P1, P2 e P3 coletadas na lagoa de decantação, P4 em uma vala próxima a lagoa, e a P5 em um poço tipo cacimba com profundidade média de 2 metros, a aproximadamente 50 metros da área de transbordo.

Quadro 1- Linhas geofísicas com suas respectivas coordenadas.

Linhas	Local	Coordenadas Sul	Coordenadas Norte
1	Fora do aterro	Lat 0259982 Log: 6616947	Lat: 0260003 Log: 6616775
2	Sobre o aterro	Lat: 0259955 Log: 6616947	Lat: 0259983 Log:6616774
3	Sobre o aterro	Lat: 0259963 Log: 6616764	Lat: 0259926 Log:6616927
4	Sobre o aterro	Lat: 0259938 Log: 6616776	Lat:0259922 Log: 6616949
5	Área de trasbordo	Lat: 0259907 Log:6617043	Lat:0259931 Log: 6616862

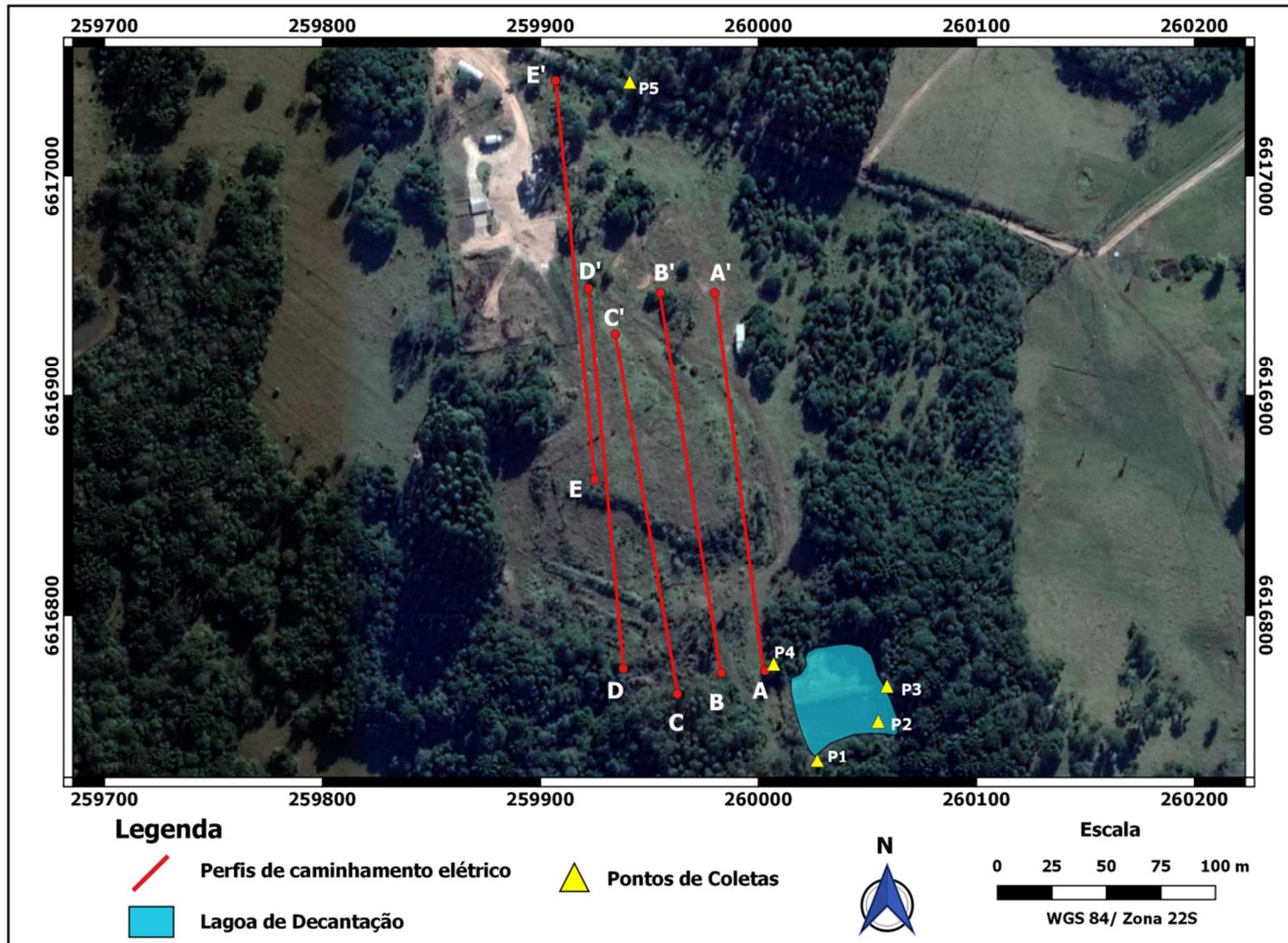
Fonte: autor (2019).

Quadro 2-Pontos de coletas e coordenadas geográficas.

Amostra	Local	Coordenadas
1	Lagoa de decantação	Lat: 0260027 Log: 6616737
2	Lagoa de Decantação	Lat: 0260055 Log: 6616752
3	Lagoa de Decantação	Lat: 0260059 Log: 6616768
4	Vala	Lat: 0260007 Log: 6616778
5	Poço (cacimba)	Lat: 0259941 Log: 6617043

Fonte: autor (2019).

Figura 7- Imagem de satélite da área de estudo com as linhas de medidas e pontos de coleta de água.



Fonte: Modificado Google earth (2019).

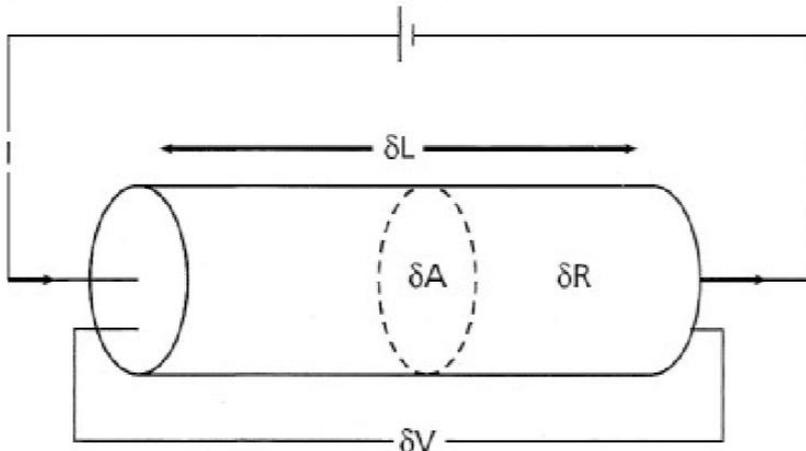
5.1 - Eletrorresistividade

5.2.1 - Fundamentos Teóricos

Segundo Kearey (2009) no método de resistividade, correntes elétricas artificialmente geradas são introduzidas no solo (Figura 8), e as diferenças de potencial resultantes são medidas na superfície. A resistividade de um material é definida como a resistência em ohms entre as faces opostas de um cubo unitário do material. Para um cilindro condutor de resistência δR , comprimento δl e área de seção transversal δA , a resistividade p pode ser definida:

$$p = \frac{\delta R \delta A}{\delta L} \quad \text{Eq. (1)}$$

Figura 8-Parâmetro utilizados na definição de resistividade.



Fonte: (KEAREY et al., 2009)

Equação básica para todas as técnicas geofísicas de eletrorresistividade em função da resistividade elétrica para o semi-espço em terrenos homogêneo e isotrópico e considerando uma disposição de eletrodos simétricos, a resistividade aparente do meio é obtida através da expressão:

$$p = k \cdot \frac{\Delta V_{MN}}{i} \quad \text{Eq. (2)}$$

ρ = Resistividade elétrica.

I = Intensidade de corrente entre os eletrodos A e B

ΔV_{MN} = Diferença de potencial entre os eletrodos M e N

K = fator geométrico

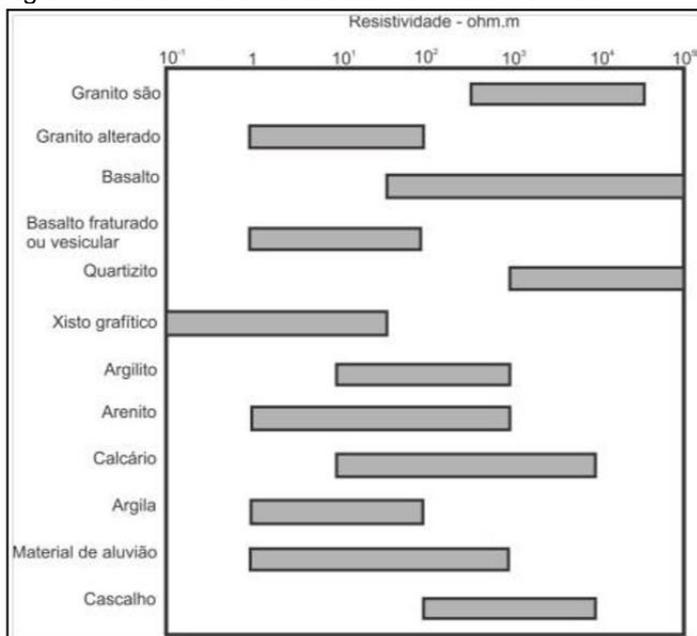
O fator geométrico K do arranjo para uma disposição de eletrodos simétricos pode ser obtidos através da expressão:

$$K = \frac{2\pi}{\left[\frac{1}{AM}\right] - \left[\frac{1}{AN}\right] - \left[\frac{1}{BM}\right] + \left[\frac{1}{BN}\right]} \quad \text{Eq. (3)}$$

No ambiente geológico resistividade é o inverso da condutividade elétrica, e depende da natureza e estado físico do material, pois apenas em casos específicos os minerais condutores ocorrem em rochas em quantidades suficientes para aumentar sua condutividade. A resistividade dos solos e rochas (Figura 9) possui um vasto intervalo de variações, segundo (Elis, 1999) os principais fatores que causam essa variação da resistividade elétrica são:

- composição mineralógica;
- porosidade e temperatura;
- teor em água;
- quantidade e natureza dos sais dissolvidos (STD);

Figura 9-Valores de resistividade de solos e rochas



Fonte: Pinto et al.(2013).

5.2.2 - Caminhamento Elétrico

A técnica de caminhamento elétrico (CE) se aplica no estudo das mudanças laterais de estruturas, como falhas e fraturas, na prospecção de aquíferos e mapeamento de plumas de contaminação no subsolo e outros. Os eletrodos de

corrente e os de potencial são mantidos a uma distância fixa entre si e são progressivamente movidos ao longo da superfície do terreno.

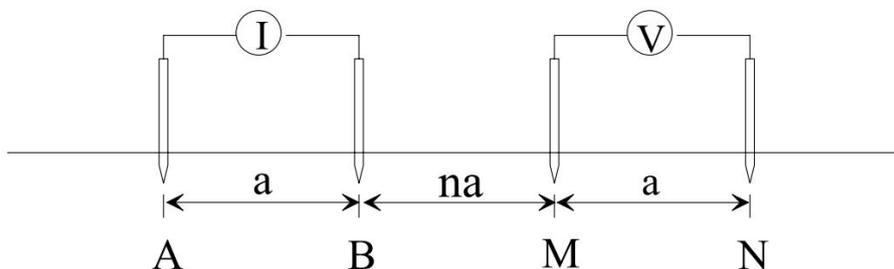
Os resultados obtidos se relacionam entre si através de mapas (a uma ou mais profundidades determinadas), ou de seções (com várias profundidades de investigação - vários níveis de investigação). No desenvolvimento desta técnica, existem vários tipos de arranjo possíveis de serem utilizados, tais como: Dipolo-Dipolo, Polo-Dipolo, Gradiente, Schlumberger, Wenner (Braga, 2006). Nesse trabalho foram utilizados os arranjos Dipolo-Dipolo e Schlumberger.

5.2.3 - Arranjo Dipolo-Dipolo

Segundo Gandolfo (2007) na técnica do caminhamento elétrico, o Dipolo-Dipolo é certamente o mais difundido dentre os diversos arranjos existentes, devido a sua baixa razão sinal ruído e facilidade de manuseio, sendo largamente utilizado em diversas áreas, no trabalho presente vai esta voltado pra os estudos de contaminação de solo.

Na (Figura 10) o espaçamento "a" entre os dois eletrodos de corrente e potencial permanece fixo durante todo o levantamento, sendo esta abertura definida de acordo com o objetivo do trabalho. Os eletrodos são dispostos ao longo de uma mesma linha e posicionados externamente entre si.

Figura 10-Illustração dos arranjos Dipolo-Dipolo

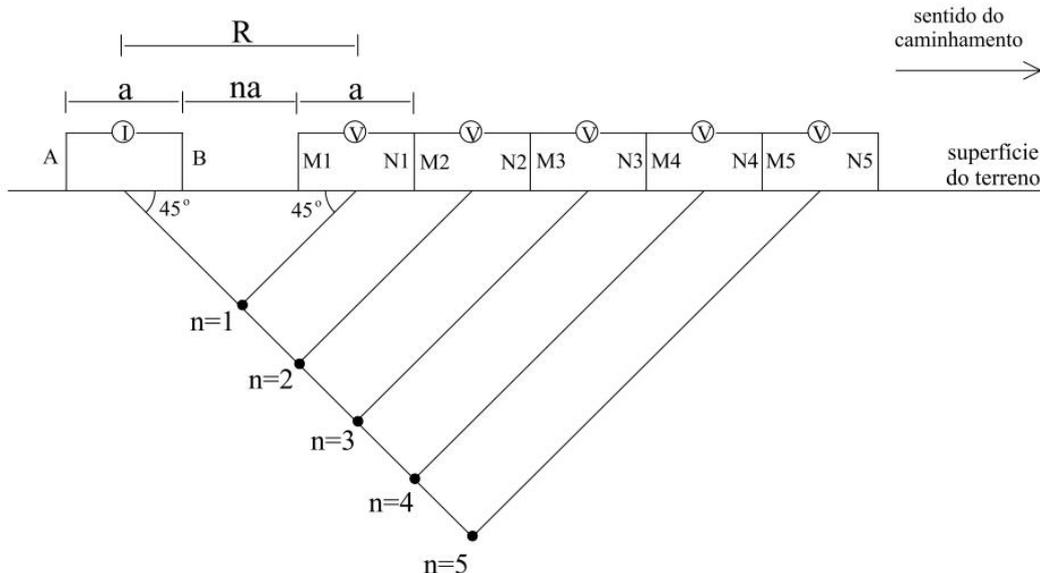


Fonte: (GANDOLFO, 2007)

O caminhamento elétrico Dipolo-Dipolo (Figura 11) é uma técnica geométrica de quatro eletrodos, consistir em dois de injeção de corrente (A e B) e dois de leitura de potencial (M e N). O sistema dos parâmetros geométricos obtidos é efetuado no ponto de distribuição das leituras uma projeção de 45° a partir dos centros dos

dipolos AB e MN, até atingir o ponto médio entre o centro destes dipolos, obtendo a resistividade aparente (Orellana, 1972), feita a leitura, deslocam-se os eletrodos MN no sentido do caminhamento na mesma distância ao longo de uma linha, aumentando a profundidade de investigação. Para obtenção do perfil lateral, são medidos todos os níveis de investigação desejados.

Figura 11-Esquema de aquisição dos dados utilizando o arranjo Dipolo-Dipolo



Fonte: (GANDOLFO, 2007)

Quanto maior for esta distância, maiores profundidades poderão ser alcançadas, tendo como limite de valor aceitável, as leituras de potencial superiores ao nível de ruído presente no local (GANDOLFO, 2007).

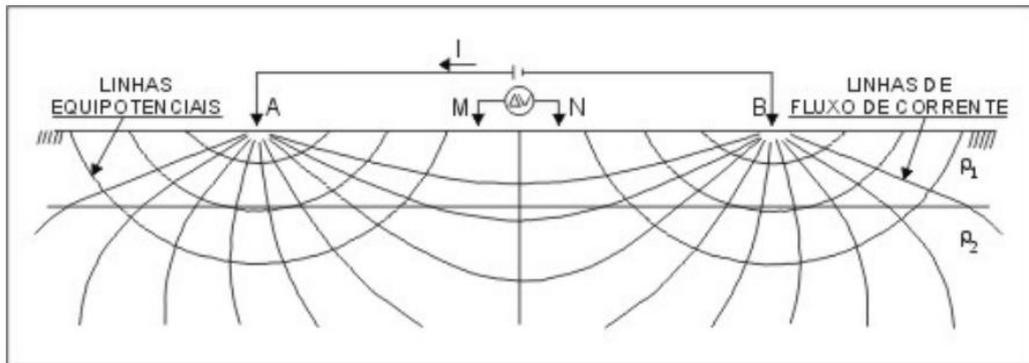
O arranjo Dipolo-Dipolo tem suas vantagens umas das principais é o fato ser um arranjo simétrico e sua facilidade de manuseio em campo, o resultado disso é uma interpretação qualitativa da pseudoseção e como vantagem do Dipolo-Dipolo é a sua baixa razão sinal/ruído (ELIS, 1999).

5.2.4 - Arranjo Schlumberger

Segundo Elis et. al. (2008) o arranjo compreende a configuração de quatro eletrodos, sendo 2 para injetar a corrente (A e B) e 2 para a leitura de diferença de potencial (M e N), todos dispostos de forma alinhada no terreno. A principal característica desse arranjo é que a distância MN deve ser bastante pequena em relação AB, procurando sempre satisfazer a relação $MN \leq AB/5$.

Segundo (Braga, 2007) a corrente elétrica é injetada no solo através do contato direto feito por eletrodos metálicos (Figura 12). A resposta é medida na forma de diferença de potencial (Voltagem), observada também através de contato direto com o solo, tendo-se os valores da corrente e do potencial registrado, é possível estimar a resistividade dos materiais do local investigado, para Telford et al. (1990) deve-se tomar o cuidado de dispor os eletrodos A e M sempre do mesmo lado e esta atento que a distancia MN seja menor que a distância $AB/2$.

Figura 12-Arranjo Schlumberger.



Fonte: TELFORD et al.(1990).

6 - PROCEDIMENTOS DE CAMPO E LABORATORIAL

6.1 - Equipamentos e Aquisição

O equipamento Syscal pro de 10 canais (Figura 13), fabricado pela IRIS Instruments de propriedade da UNIPAMPA é um resistímetro portátil que combina transmissor e receptor. As medições são feitas automaticamente, após a seleção pelo operador, e armazenados na memória do sistema. Ele é capaz de realizar medidas simultâneas de resistividade elétrica, cargabilidade elétrica, voltagem, polarização elétrica induzida e potencial espontâneo (LOKE E BARKER, 1996).

Figura 13-Syscal Pro, (disponível na UNIPAMPA).



Fonte: Autor (2019)

O levantamento estrutural realizados em campo com uma bússola nos afloramentos. As amostra de água foram coletadas em 5 pontos na região.

O perfil de Caminhamento Elétrico (CE) com arranjo Dipolo-Dipolo e Schlumberger, com 180 metros de extensão em cada linha, espaçamentos entre os eletrodos de 5 metros, obtendo um total de 3419 pontos de leituras resistividade.

6.2 - Levantamento Estrutural

As identificações de estruturas geológicas da área ajudaram a entender melhor o contexto geológico do local, auxiliando a interpretação dos resultados geofísicos, como a presença de fraturas e direções dos mergulhos das estruturas.

Segundo (Bicca, 2013) um levantamento dos dados estruturais é realizado sobre perfis aleatórios e em cada ponto descrito são medidas todas as estruturas observadas. A orientação das estruturas para esse trabalho foi obtida com a bússola, e o método utilizado para as medidas foi a “trama” ou *dip direction*, que consiste em medir a direção para qual o plano mergulha e o mergulho do plano.

6.3 - Análises Laboratoriais de Água

A presença do chorume pode alterar a quantidade e concentrações de diversos elementos químicos e biológicos, além de alterar as propriedades físicas da composição. Algumas técnicas como, demanda química de oxigênio (DQO) ou oxigênio consumido (OC) podem colaborar diretamente na identificação desse agente.

Foram coletadas as amostras de água no poço e lagoa de decantação e analisados os seguintes parâmetros: Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade, Alcalinidade Total, Oxigênio consumido, Dureza, Fósforo, Nitrato e Turbidez.

6.3.1 - Análises Químicas

Para as coletas das amostras de água foram utilizados 5 frascos de vidro de 500 ml, previamente descontaminados em solução de HNO_3 a 1% e álcool etílico. A coleta de água foi realizada em 5 pontos.

As coletas ocorreram durante dois dias no laboratório de química da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA).

Os procedimentos e base teórica dos métodos utilizados para detecção das componentes químico-física da água do aterro foram baseados no manual de práticos de análise de água da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2013).

6.4.1 - pH da Água

Para a determinação potencial hidrogeniônico (pH) foi Peagâmetro de bancada, HI2221, marca HANNA instruments, valor do pH varia de 0 a 14, sendo que valores abaixo de 7 a água é considerada ácida e acima de 7, alcalina. Água com pH 7 é neutra, para análise do pH foram utilizados os seguintes materiais: 5 frascos para cada amostra, papel absorvente, soluções de pH conhecido.

6.4.2 - Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica indica a capacidade da água natural de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas que se desagregam em ânions e cátions (LIBÂNIO, 2005).

O equipamento utilizado para esse processo foi o condutivímetro. Para análise da condutividade foram utilizados os seguintes materiais: 5 frasco para cada amostra, papel absorvente, e um valor conhecido de condutividade.

6.4.3 - Alcalinidade Total

A alcalinidade total é a concentração de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos, expressa em termos de carbonato de cálcio ($CaCO_3$). Podemos dizer que a alcalinidade mede a capacidade da água em neutralizar os ácidos.

Para análise da alcalinidade foram utilizados, fenolftaleína, Mistura Indicadora de verde de bromocresol/vermelho de metila, solução de ácido sulfúrico 0,02 N, solução de tiosulfato de sódio 0,9090 N.

Para o cálculo da alcalinidade total utilizou-se a equação 4.

$$c_{CaCO_2} \frac{mg}{l} = \frac{V_{H_2SO_4} \cdot 5000}{V_{amostra}} \quad eq. (4)$$

$V_{H_2SO_4}$ Volume gasto na titulação

$N_{H_2SO_4}$ Normalidade da solução

$V_{amostra}$ Volume usado em cada amostra

6.4.4 - Oxigênio Consumido (OC)

Oxigênio consumido é a quantidade de oxigênio necessário para oxidar a matéria orgânica.

O princípio do método é digerir o excesso de permanganato de potássio em um meio ácido a 80 °C durante 30 minutos. O excesso de permanganato é reagido com um volume de oxalato de sódio equivalente ao volume de permanganato (Funasa, 2013).

Reagentes: ácido sulfúrico, solução-padrão de oxalato de sódio, 0.0125N, solução de permanganato de potássio, 0.1250N.

Fórmula do oxigênio consumido foi feita através da equação 5.

$$OC = \frac{(V_{am} - V_b) \times N \times 8000}{V} \quad eq (5)$$

Onde:

Oc= oxigênio consumido, em mg/l.

V_{am} = volume de $KMnO_4$ gasto para titular a amostra, em ml.

V_b = volume de $KMnO_4$ gasto para titular a prova em branco, em ml.

N = normal idade da solução $KMnO_4$

V = volume de amostra. Em ml

6.4.5 – Nitrato

Os íons de nitrato na maioria das vezes ocorrem em pequenas quantidades nas águas superficiais, mas abrange altas concentrações em águas subterrâneas. Este método baseia-se na leitura direta da densidade óptica da amostra de água, com adição de ácido clorídrico (HCl).

Para análise do nitrato foram utilizados os seguintes materiais: estufa, espectrofotométrico UV/VIS, balão volumétrico de 100 ml, pipetas volumétricas 1, 2, 4, 5 e 7 ml. Reagentes: nitrato de potássio (KNO_3), nitrato de sódio ($NaNO_3$), ácido clorídrico (HCl). Procedimento: transfere quantitativamente as amostras de água para um balão volumétrico seco de 100 ml, adicione 1 ml de ácido clorídrico.

6.4.6 - Fósforo

Segundo a Norma NBR-12772 o fósforo é largamente distribuído no meio ambiente como fosfato inorgânico e combinado organicamente. Como fonte de fosfatos, incluem-se áreas de aplicação de fertilizantes, produtos de água de lavagem, descarte de águas de caldeiras, águas de tratamento industrial. Como o fósforo é nutriente para organismos fotossintéticos, é importante seu controle nos descartes para o meio ambiente. Para a determinação da concentração de fósforo nas amostras foi utilizado o procedimento descrito na NBR-12772, sendo utilizada uma curva analítica de fósforo. Esse procedimento baseia-se na reação fósforo-molibdato e a leitura realizada em espectrofotômetro UV-visível.

6.4.7 – Dureza

A dureza total é pode-se dizer como sendo a soma das concentrações de íons cálcio e magnésio na água, expressos como carbonato de cálcio. Para análise da dureza foram utilizados os seguintes materiais: bureta de 50 ml, pipeta volumétrica, balão volumétrico de 50 ml, becker de 100 ml, frasco Erlenmeyer de

250 ml, solução-padrão de EDTA 0,0125 M, Indicador eriochrome black T, inibidor I - cianeto de sódio P.A em pó, inibidor II - sulfeto de sódio.

Procedimento: 25 mL da amostra e diluir para 50 mL com água destilada em balão volumétrico, transferir para um becker de 100 mL e adicionar 1 a 2 mL da solução tampão para elevar o pH a $10 \pm 0,1$, transferir para um frasco Erlenmeyer de 250 mL e adicionar aproximadamente 0,05 gramas do Indicador negro de eriocromo T, titular com EDTA 0,0125M agitando continuamente até o desaparecimento da cor púrpura avermelhada e o aparecimento da cor azul

6.4.7 - Turbidez

A turbidez da água ocorre devido à presença de materiais sólidos em suspensão, que reduzem a sua transparência. Pode ser ocasionada geralmente presença de algas, matérias orgânicas e várias outras substâncias como o zinco, ferro, manganês e sedimentos, resultantes da ação natural de erosão ou de despejos domésticos e industriais.

O equipamento como o turbidímetro foi utilizado para determinação da turbidez na água através do método Nefelométrico. Para análise da turbidez foram utilizados os seguintes materiais: turbidímetro com nefelômetro, células de amostras de vidro de quartzo, balão volumétrico de 100 ml, filtros de membrana de 0,2 μm .

Reagente: passar água destilada através de um filtro de membrana de 0,02 μm de porosidade. Enxaguar o frasco de coleta pelo menos duas vezes com água filtrada.

Procedimento: calibrar o turbidímetro de acordo com as instruções do fabricante, medida de turbidez menor que 40 UT: agitar a amostra e esperar até que as bolhas de ar desapareçam e coloca no turbidímetro, medida de turbidez acima de 40 UT: diluir a amostra com um ou mais volumes de água isenta de turbidez até que a turbidez da amostra diluída fique entre 30 e 40 UT.

7 - PROCESSAMENTOS E ANÁLISES

As análises químicas da água foram realizadas em conjunto com o técnico responsável no laboratório de química da UNIPAMPA, os procedimentos realizados nas análises seguem o Manual de Procedimentos e Técnicas Laboratoriais Voltados para Análises de Águas e Esgotos Sanitário e Industrial (FUNASA, 2013).

Os dados estruturais obtidos em campo foram processados através do uso do software livre Stereonet, desenvolvido pela Visible Geology para a plotagem de medidas estruturais feitas em campo em uma rede estereográfica.

Os dados de eletrorresistividade 2-D de caminhamento elétrico (CE) com o arranjo Dipolo-Dipolo e Schlumberger foram processados, através do uso do software RES2DINV, fabricado pela Geotomo, que determina automaticamente um modelo de resistividade bidimensional para o meio, a partir dos dados elétricos ao longo de uma linha/seção (FACHIN, 2007).

O processamento com o programa RES2DINV consiste na obtenção dos dados em campo, os dados são automaticamente armazenados na memória do aparelho no formato.DAT compatível com o formato para inversão. Os dados foram analisados de forma análoga e retiradas os pontos fora do padrão esperado, para um melhor ajuste no parâmetro para o modelo de inversão.

Segundo (Gandolfo, 2007) a pseudo-seção pode ser definida como um processo matemático que determina um modelo idealizado de subsuperfície com base em um conjunto finito de dados observados, cuja resposta esteja em concordância com esses valores medidos.

8 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

8.1 – Seções de Caminhamento Elétrico

Segundo Dos Santos et al., (2010) que realizou um trabalho na mesma área de estudo, inferido uma linha de referência, que foi feita fora da área, na estrada de acesso, apresentou valores acima de 60 Ωm . Desta forma, as linhas com valores abaixo desse valor foram consideradas zonas contaminadas. No seguinte estudo vamos usar essa mesma análise.

- Os perfis de solo/rocha da área são caracterizados pelo aumento crescente de resistividade elétrica com a profundidade. Como pode ser observadas nas seções de resistividade das linhas de 1 a 5.
- As fraturas, identificadas por baixas resistividades nos perfis geofísicos, podem contribuir de forma direta para a percolação do chorume, contaminando a água subterrânea (aquífero).
- O horizonte de até 3 metros de profundidade predomina solo, com uma resistividade que varia de 60 a 300 Ωm .
- Em média a 5 metros de profundidade se localiza o saprólito, que são fragmentos de rochas bastante alterados, a resistividade varia de 300 a 2000 Ωm .
- A rocha sã (Granito Caçapava) foi localizada a uma profundidade de até 20 metros, em alguns pontos a rocha se encontra aflorante, com uma resistividade a partir de 2000 Ωm .

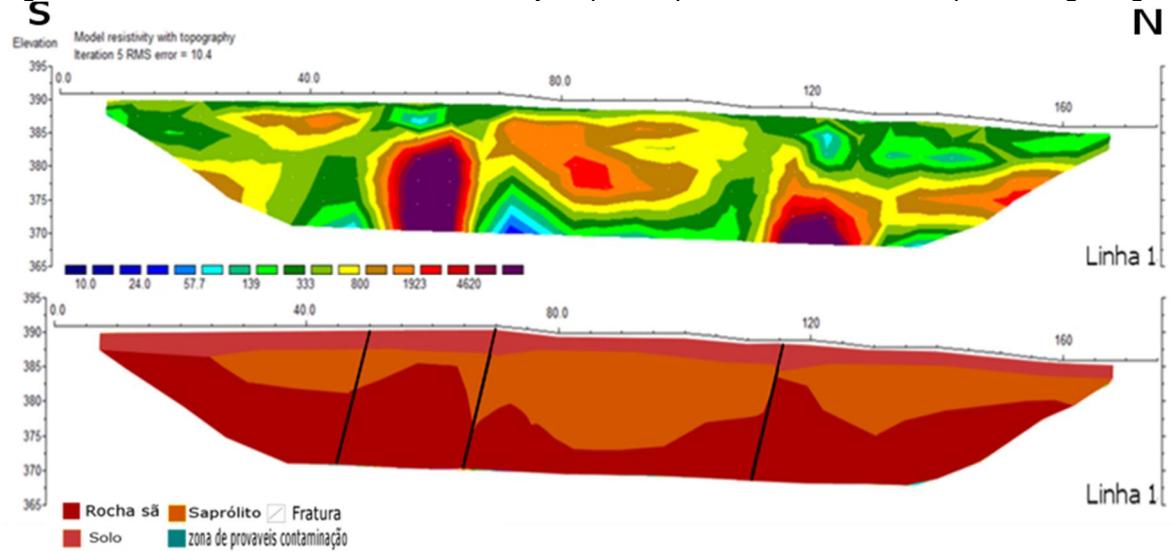
Esses parâmetros de resistividades foram definidos através de trabalhos como, Dos Santos et al. (2010), Gandolfo, (2007) e Pinto et al (2013).

8.1.1 Arranjo Dipolo-Dipolo e Schlumberger e modelo interpretativo geoeletrico.

Linha 1 - localizada ao lado do aterro (Figura 14), os valores variam de 10 a 4620 Ωm o solo se encontra em uma zona de resistividade (60 a 300 Ωm) com profundidade máxima de 1,5 metros. A zona de resistividade de (300 a 2000 Ωm) se encontra o saprólito que é alteração do granito ocasionada pelo intemperismo com profundidade média de 12 metros. Logo abaixo uma zona anômala de alta resistividade que varia de (2000 a 5000 Ωm) associada ao granito, nesse perfil foi

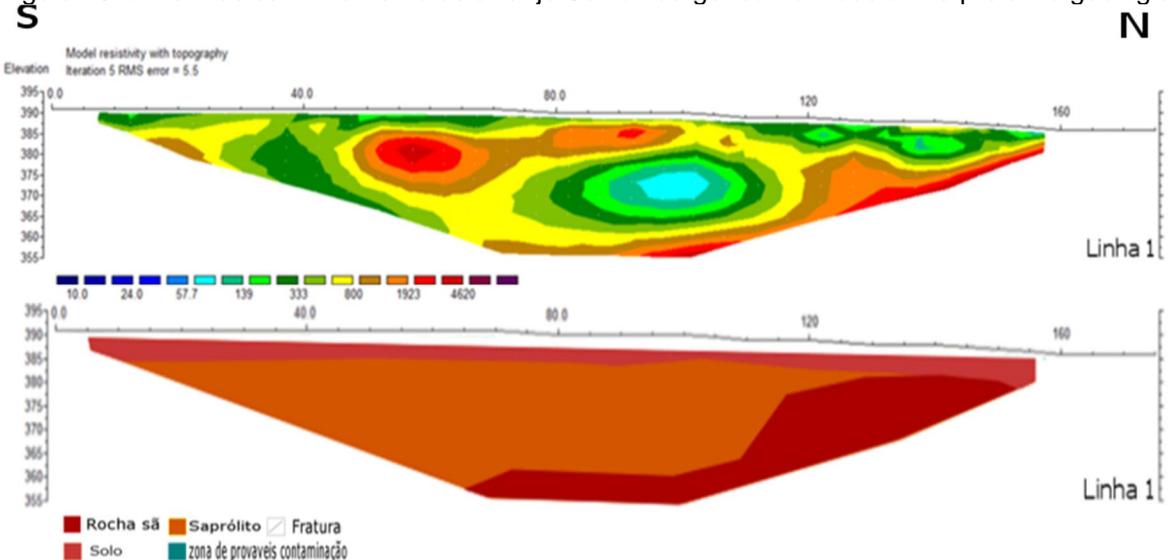
possível a localização de 3 fraturas. No modelo de Schlumberger (Figura 15) devido a baixa resolução não foi possível identificar as fraturas.

Figura 14-Linha 1 de caminhamento de arranjo Dipolo-Dipolo como modelo interpretativo geológico.



Fonte: autor (2019)

Figura 15-Linha 1 de caminhamento de arranjo Schlumberger como modelo interpretativo geológico.

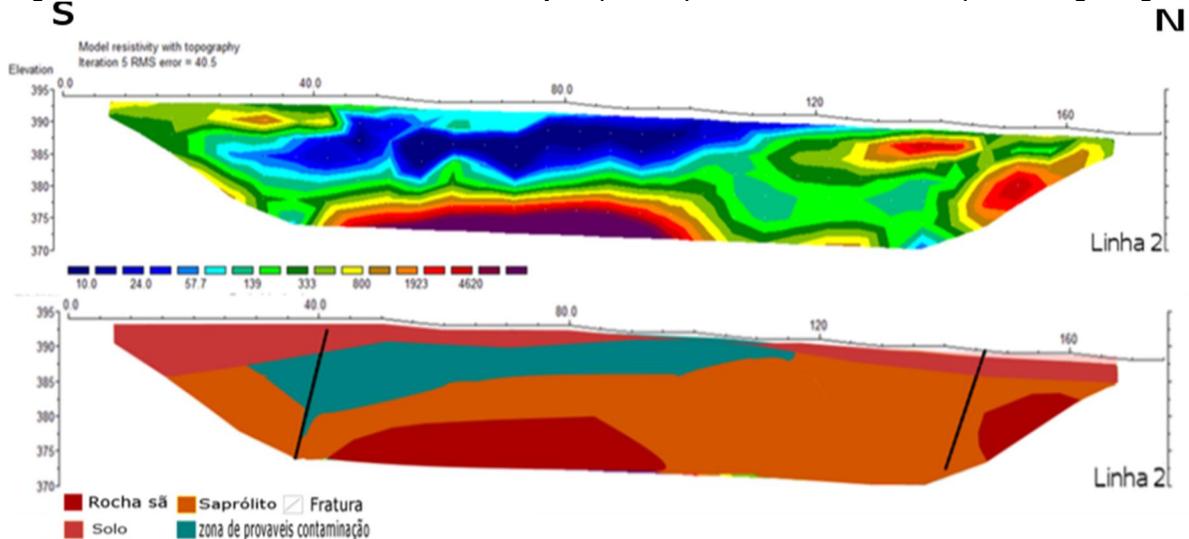


Fonte: autor (2019)

Linha 2 - Localizada a Oeste do aterro (Figura 16) com variação de sua resistividade de 10 a 4620 Ωm , o solo do local está em uma zona de resistividade que varia (60 a 300 Ωm), o saprólito foi localizado ao Sul da linha, com uma resistividade que varia de (300 a 2000 Ωm) que pode chegar a uma profundidade de até 20 metros, o granito está a mais de 14 metros abaixo da zona de baixa resistividade, a zona de baixa resistividade se encontra sobre o aterro, chegando a uma profundidade até 14 metros com extensão de até 75 metros, sua resistividade pode variar de 0 a 60 Ωm .

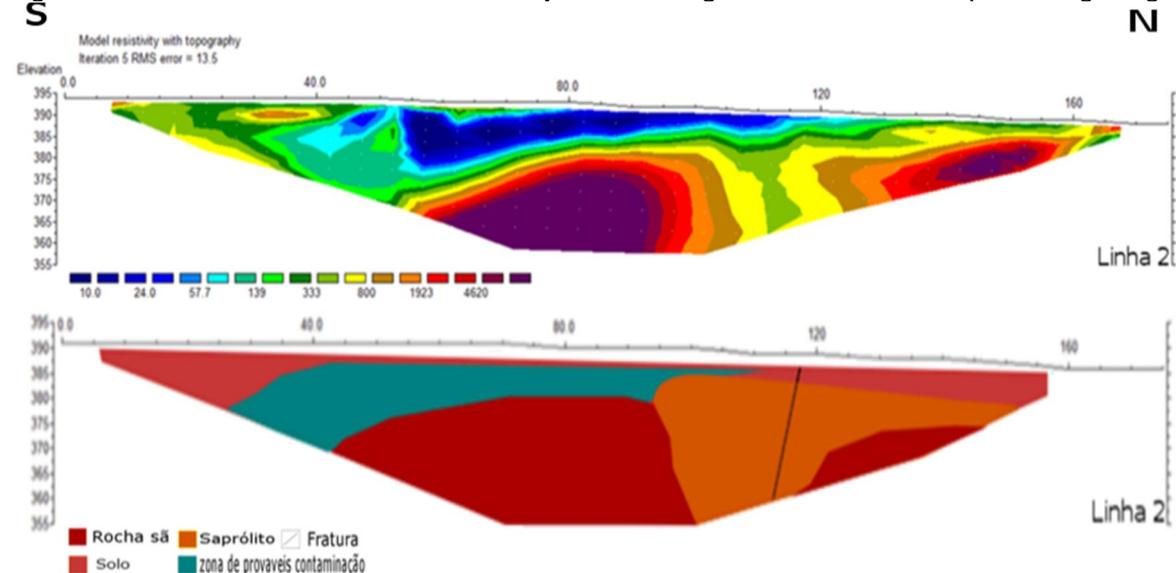
Como modelo de Schlumberger (Figura 17) foi possível identificar fraturas em ambas estruturas.

Figura 16-Linha 2 de caminhamento de arranjo Dipolo-Dipolo como modelo interpretativo geológico.



Fonte: Autor 2019

Figura 17-Linha 2 de caminhamento de arranjo Schlumberger como modelo interpretativo geológico.

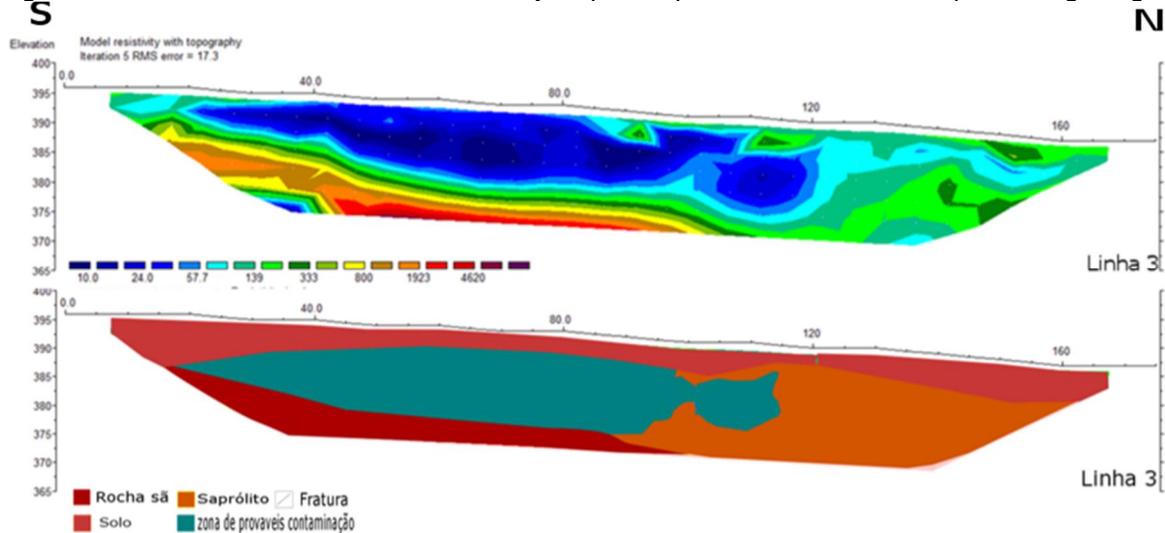


Fonte: Autor 2019

Linha 3 - Localizada sobre o aterro (Figura 18) com variação da resistividade local de (10 a 4620 Ωm), o solo local está em uma zona de resistividade que varia (60 a 300 Ωm) com uma profundidade de até 4 metros a norte da linha, o saprólito com uma resistividade que varia de (300 a 2000 Ωm) que pode chegar a uma profundidade de até 20 metros, o granito está a mais de 15 metros abaixo da zona de baixa resistividade, a zona de baixa resistividade se encontra sobre o aterro, chegando a uma profundidade até 15 metros com extensão de até 115 metros, sua

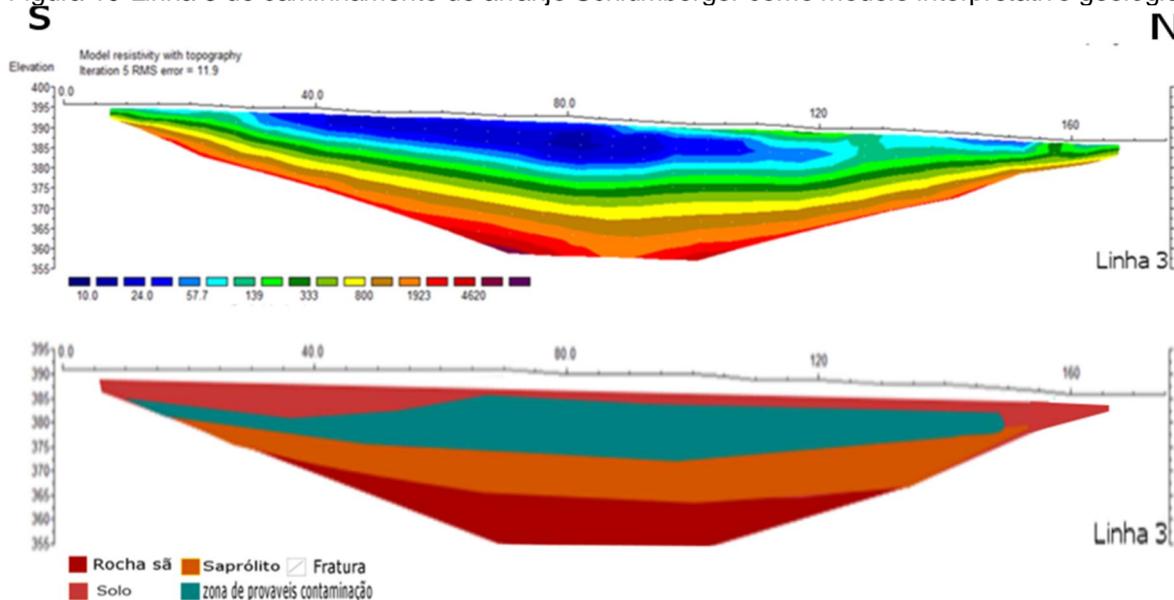
resistividade pode variar de 0 a 60 Ωm . No modelo de Schlumberger (Figura 19) também não foi possível identificar fraturas.

Figura 18-Linha 3 de caminhamento de arranjo Dipolo-Dipolo como modelo interpretativo geológico.



Fonte: autor (2019).

Figura 19-Linha 3 de caminhamento de arranjo Schlumberger como modelo interpretativo geológico.

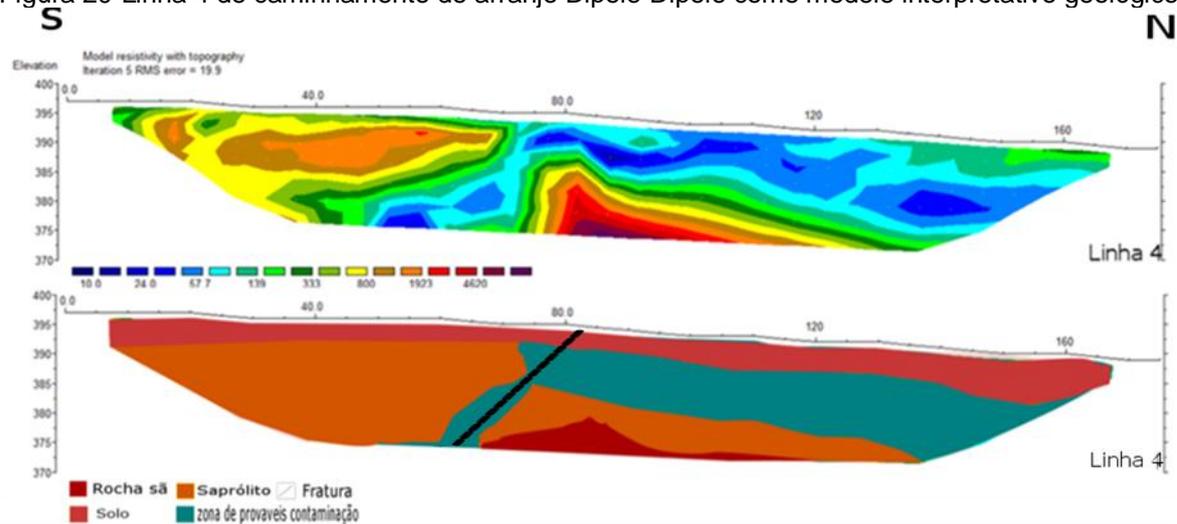


Fonte: autor (2019)

Linha 4 - Localizada a leste do aterro (Figura 20) com variação da resistividade local de 10 a 4620 Ωm , o solo local está em uma zona de resistividade que varia (60 a 300 Ωm) com uma profundidade de até 3 metros, o saprólito foi localizado, mas ao Norte da linha, com uma resistividade que varia de (300 a 2000 Ωm) que pode chegar a uma profundidade de até 20 metros, o granito está a mais de 14 metros abaixo da zona de baixa resistividade, a zona de baixa resistividade se encontra

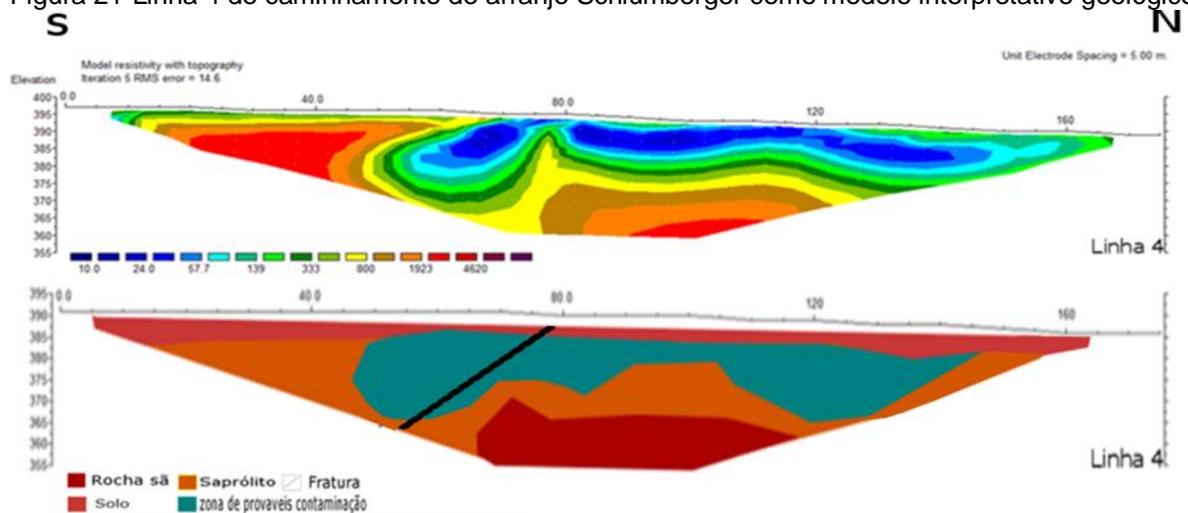
sobre o aterro, chegando a uma profundidade até 15 metros com extensão de até 105 metros sua resistividade pode variar de 0 a 60 Ω m, nessa linha tem a ocorrência de uma possível fratura que pode está contribuindo de forma direta para percolação do chorume no solo. Com o modelo de Schlumberger (Figura 21) foi possível identificar a fratura em mesma direção em ambos os arranjos.

Figura 20-Linha 4 de caminhamento de arranjo Dipolo-Dipolo como modelo interpretativo geológico.



Fonte: autor (2019).

Figura 21-Linha 4 de caminhamento de arranjo Schlumberger como modelo interpretativo geológico.

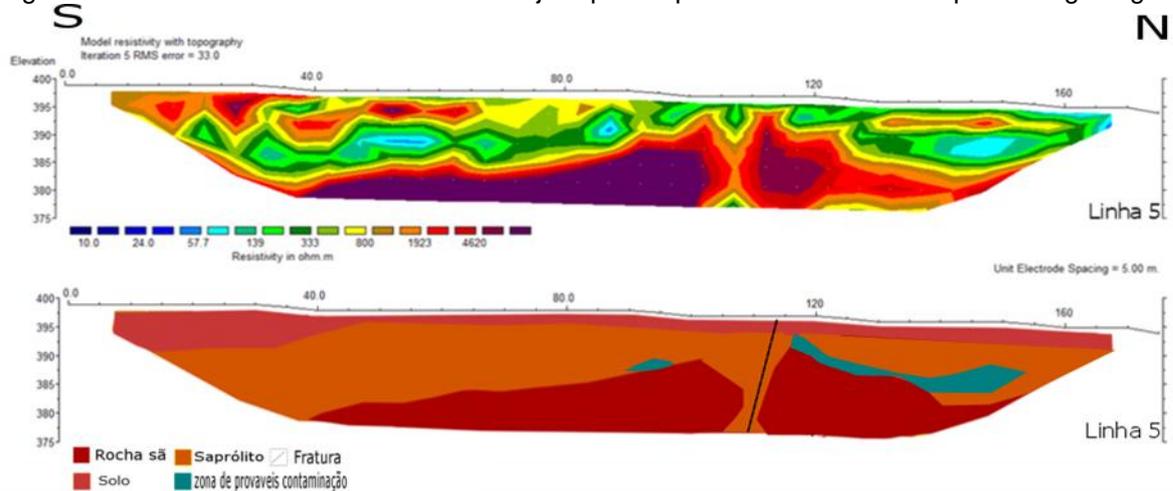


Fonte: autor (2019)

Linha 5 - localizada sobre área de transbordo (Figura 22) com variação da resistividade local de 10 a 4620 Ω m, o solo local está em uma zona de resistividade que varia (60 a 300 Ω m) que chega uma profundidade de 4 metros a Sul, o saprólito foi localizado, mas ao Sul da linha, com uma resistividade que varia de (340 a 2000 Ω m) que pode chegar a uma profundidade de até 20 metros, o granito se localiza a 2 metros de profundidade, o local foi possível a localização de uma fratura sem indícios de contaminação no solo, porém foi possível localiza

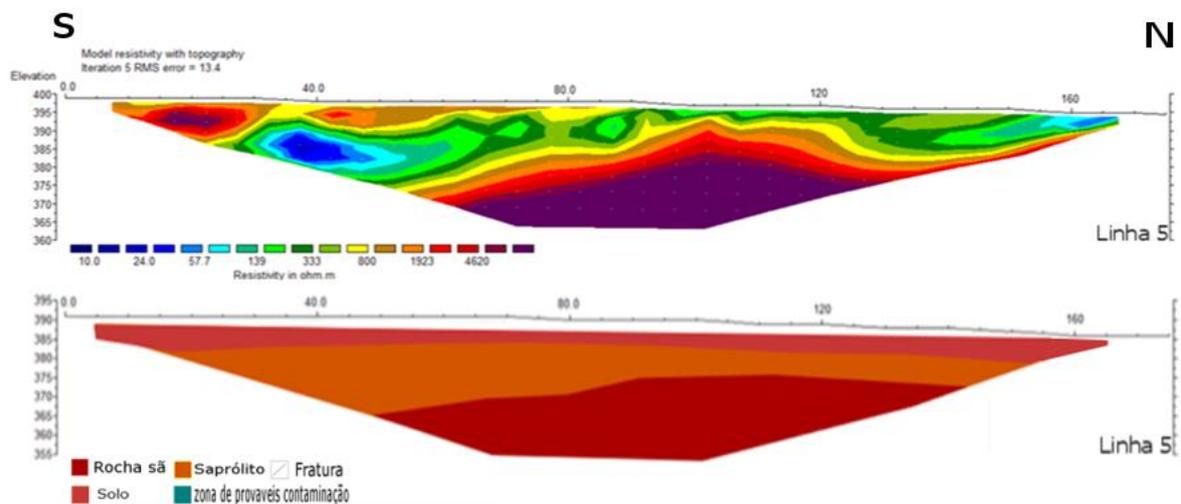
indícios de contaminação a 13 metros de profundidade a norte do perfil. No modelo de Schlumberger (Figura 23) não foi possível identificar a fratura e os locais de possíveis contaminações.

Figura 22-Linha 5 de caminhamento de arranjo Dipolo-Dipolo como modelo interpretativo geológico.



Fonte: autor (2019).

Figura 23-Linha 5 de caminhamento de arranjo Schlumberger como modelo interpretativo geológico.

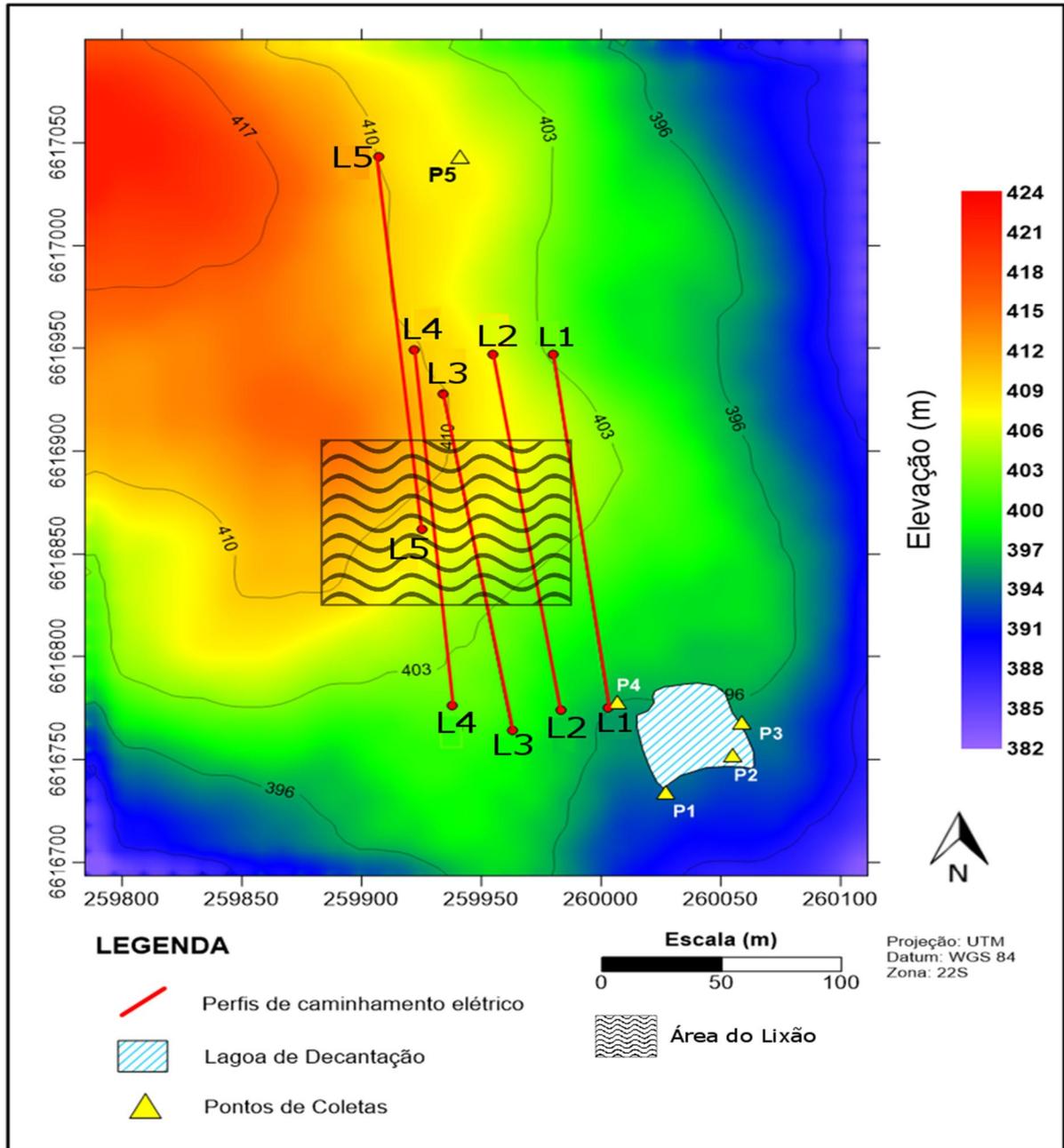


Fonte: autor (2019).

A (Figura 24) apresenta a localização das linhas de caminhamento elétrico em vermelho, o limite do aterro (Lixão) os locais de coleta de água com os pontos amarelos e o limite do aterro (Lixão) no centro do mapa.

As direções preferenciais nos baixos topográficos a sudeste e noroeste estão implicando que o fluxo da pluma de contaminação é conduzido pela topografia.

Figura 24-Mapa topográfico da área, com os perfis de caminhada elétrica (vermelho), pontos de coleta de água (amarelo) e a lagoa de decantação (em branco).

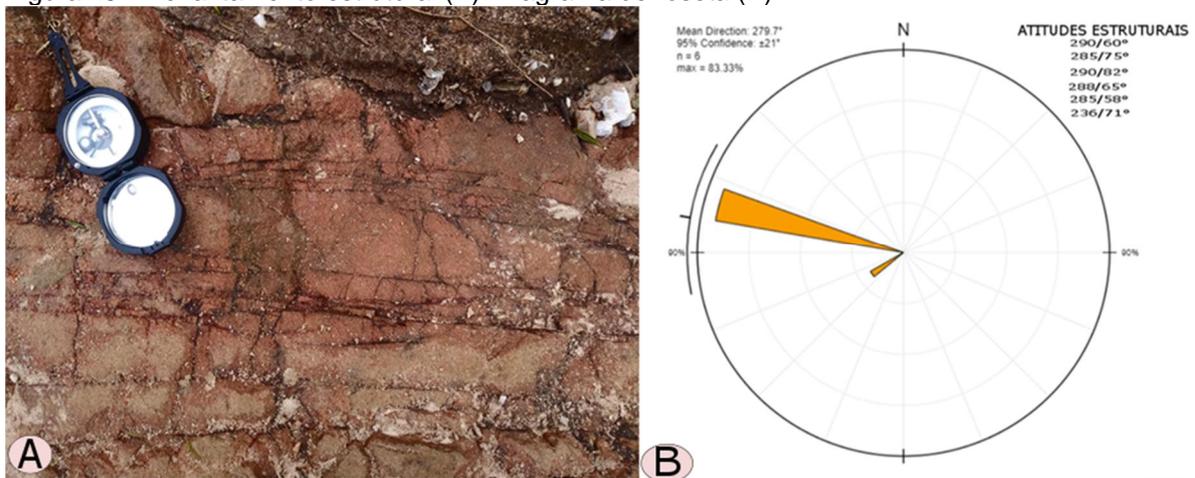


Fonte: autor (2019).

8.2 – Geologia Estrutural

Foram adquiridas medidas estruturais de direção para qual plano mergulha (Figura 25), em rochas aflorantes na estrada de acesso a área em estudo, localizada a aproximadamente 200 metros do aterro foram feitas 6 medidas em direção da fratura. Os dados estruturais estão representados na forma de diagrama de roseta, que indicam o predomínio de direções NW, outros trabalhos foram feitos como de (Dos Santos et al., 2010), que confirma a direção NW de fratura dessas estruturas.

Figura 25 – Levantamento estrutural (A). Diagrama de roseta (B).



Fonte: Autor, (2019).

8.3 – Análises Químicas

Os valores analisados na amostra do Poço tipo cacimba (Ponto P5) não se encontram dentro dos valores estabelecidos para potabilidade segundo (Funasa, 2013), devido o valor elevado de fosforo.

Segundo (Emídio, 2012) o fósforo presente na água pode ser resultado do carreamento do solo e decomposição de matéria orgânica e lixiviação de minerais. Também pode ter origem antropogênica, resultante da escorrência de terras agrícolas fertilizadas e de falhas no tratamento de águas residuais.

O valor alto de fósforo (Ponto P5) pode estar relacionado à decorrência de substâncias agrícolas despejadas na fazenda ao lado ou devido à decomposição da matéria orgânica, o lixiviado de minerais que é facilmente transportado por meio da água chuva que percola nas fraturas das rochas chegando ao nível freático.

Com a provável hipótese de que o aquífero que o poço tipo cacimba (Ponto P5) está inserido esta contaminado, devido à decomposição da matéria orgânica que através das fraturas localizadas na área de transbordo e no aterro contaminou o solo.

As amostras P1, P2 e P3 (Figura 26) que foram coletas em diferentes pontos na lagoa de decantação, mostram que possuem índices de contaminações por decorrência do chorume, principalmente por conta dos valores alto no oxigênio consumido.

O ponto P4 foi coletado em uma vala que está ligada diretamente ao aterro, com as análises da água nesse local, ficam nítido os altos valores nas componentes como condutividade, turbidez, alcalinidade total e oxigênio consumido, que indica que mesmo o aterro estando com suas atividades encerradas a mais de 14 anos, ainda gera materiais provenientes da decomposição da matéria orgânica (chorume).

Figura 26-Locais de coletas das amostras de água.



Fonte: autor (2019).

Embora o aterro mesmo soterrado por uma camada de solo, a lagoa de decantação se encontra visivelmente poluída, porém com todos esses problemas as águas subterrâneas não mostrou valores alterados no oxigênio consumido (OC), porém o alto valor de fosforo mostra contaminação no solo devido ao chorume.

Os dados de potabilidade foram retirados do Cetesb (2001, 2015), Funasa (2013), Libânio (2005), Celligoi (1999).

Tabela 1-Resultados laboratoriais da água.

Parâmetros	Valores Potabilidade	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
pH	6 - 9,5	6,43	6,77	6,82	7,09	6,55
Condutividade ($\mu S/cm$)	< 100	138,8	140,5	177,5	449,1	71,8
Dureza (mg/L)	< 500	43,2978	39,17	70,1012	88,6574	20,618
Oxigênio consumido (mg/L)	< 3	3,8	3,9	3,6	3,9	0,2
Fósforo (mg/L)	< 1	0,8861	0,9471	1, 441	3,2371	8,677
Nitrato (mg/L)	< 10	3,745	4,035	4,3618	16,074	3,607
Alcalinidade total (mg/L)	< 100	65,448	63,630	83,628	245,43	27,27
Turbidez (UTN)	< 5	3,05	7,62	11,2	10,4	3,86

Fonte: Autor (2019).

9 – CONCLUSÃO

Alguns estudos mostram que problemas causados por contaminação (chorume) no solo dos aterros podem acontecer em longos períodos mesmo após o encerramento de suas atividades, a área em estudo que foi encerrada sua atividade em 2005. Os danos ambientais ainda hoje se encontram claramente visíveis pela grande quantidade de lixo depositada.

O caminhamento elétrico em ambos os arranjos apresentam diferenças de 10 a 4620 Ωm , sendo os locais de menos resistividade (10 a 60 Ωm) interpretada como possíveis zonas de contaminação por chorume.

Diante das seções geofísicas na área as linhas 2, 3 e 4 todas as seções de eletrorresistividade apresentaram uma saturação maior com relação às outras, isso devido os mesmo de encontrarem encima do aterro com o maior incide de contaminação.

As anomalias com baixas resistividades na área estão associados aos pacotes de lixo ou saprólito saturados com águas. As possíveis zonas de contaminação estão a uma profundidade de até 15 metros localizada sobre o aterro e alguns locais na área de transbordo.

Análise estrutural corroborou aos levantamentos realizados por outros autores que evidenciaram fraturamentos em direções preferencias a NW, contribuindo assim para fazer o levantamento de forma que as linhas sejam trabalhadas perpendiculares a essas fraturas desta forma vai ter contraste de propriedade física entre rocha/solo.

As análises de água do poço não se encontram dentro dos valores permitidos de potabilidade, e apresentam alterações nos valores de fósforo indicando que o poço tem contaminação.

As análises de oxigênio consumido (OC) tiveram os valores alterados na lagoa de decantação que já era previsto, porém não sofreu alterações significantes no poço tipo cacimba que alguns moradores próximos da área relataram que consumem a água. Mas a alteração no valor de fósforo mostra que está tendo contaminação no nível freático a montante do aterro por decorrência de chorume.

A realização da geofísica nesse tipo de estudo se mostrou bastante eficiente e tende a crescer com o decorrer do tempo, por ser um método rápido e

simples, as localizações das baixas resistividades encontradas foi essencial para localização de possíveis contaminações.

Para trabalhos futuros para melhor entendimento do fluxo da pluma de contaminação, a aplicação do método geofísico do Potencial Espontâneo para determinar direção do fluxo de água subterrânea, outro método que daria mais detalhes é o GPR (Ground Prospection Radar).

10 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE-**Panorama dos Resíduos Sólidos do Brasil**, 2017.

ABU-ZEID, N.; BIANCHINI, G.; SANTARATO, G.; VACCARO, C. 2004. **Geochemical characterization and geophysical mapping of landfills: the Marozzo canal**. Environmental Geology.

BENNETT, P.; SIEGEL, D. I. **Increased solubility of quartz in water due to complexing by organic compounds**. Nature, v. 326, p. 684 – 686, 1987.

BICCA, M. M. **Tectônica e proveniência do grupo Santa Bárbara, região de Minas do Camaquã-RS**. 2013.

BITENCOURT M. F. 1983. **Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS - Geologia e relações com o corpo granítico**. In: Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 1, Porto Alegre.

BOMFIM L. F. C., **Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil em ambiente SIG: Conceção e Metodologia**. XVI Congresso Brasileiro de Água Subterrânea e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços p. 8-10. 2010.

BORTOLIN, J. R. M.; MALAGUTTI FILHO, W. 2010. **Monitoramento temporal de contaminação por chorume usando métodos geoeletricos**. XII International Congress of the Brazilian Geophysical Society.

BRAGA, A. C. O. Módulo: **Métodos geoeletricos aplicados nos estudos de captação e contaminação das águas subterrâneas**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Unesp, Rio Claro/SP, 80p, 2007.

BRAGA, A. C. O.; CARDINALI, M. T. 2005. **Aplicação da resistividade e cargabilidade em estudos e contaminação de sedimentos por derivados de hidrocarbonetos**. Revista Brasileira de Geofísica.

BRAGA, ANTONIO CELSO DE OLIVEIRA. **Métodos da eletrorresistividade e polarização induzida aplicados nos estudos da captação e contaminação de águas subterrâneas: uma abordagem metodológica e prática**. 2006.

CELLIGOI, André. **Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas**. GEOGRAFIA (Londrina), v. 8, n. 1, p. 91-97, 1999.

CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL **Índice de qualidade das águas** São Paulo SP. 2015.

CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. 2001. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo, SP.

CHRISTENSEN, T. H.; KJELDSSEN, P.; ALBRECHTSEN, H. J.; HERON, G; NIELSEN, P. H.; BJERG, P. L. et al. **Attenuation of landfill leachate pollutants in**

aquifers. Critical Review in Environmental Science and Technology, v. 24, n. 2, p. 119-202, 1994.

DOS SANTOS, Ana Carolina Oliveira. **Estudos geoeletricos em aterro controlado no municio de Caapava do Sul-RS**. 2010.

ELIS, V R. **A geofisica como ferramenta para detectar e mapear contaminao**. 1999.

ELIS, V. R. & ZUQUETTE, L.V. 2002. **Caracterizao geofisica de areas utilizadas para disposio de resduos solidos urbanos**. Revista Brasileira de Geociencias.

ELIS, Vagner Roberto; ZUQUETTE, Lázaro Valentim. **Caracterizao geofisica de areas utilizadas para disposio de resduos solidos urbanos**. Revista Brasileira de Geociencias, v. 32, n. 1, p. 119-134, 2017.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificao de solos**. Rio de Janeiro, v. 412, 1999.

EMBRAPA; DOS SANTOS, H. G., JACOMINE, P., DOS ANJOS. **Sistema brasileiro de classificao de solos**. [sl] Braslia. DF, 2018.

EMÍDIO, Vanessa Joana Gomes. **A problemática do fósforo nas águas para consumo humano e águas residuais e soluções para o seu tratamento**. 2012. Tese de Doutorado.

EMPRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Sistema Brasileiro de Classificao de Solos**. Braslia: Embrapa Produo de informao; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

FACHIN, S. J. S. 2007. **Ensaio geoeletricos 2D no antigo lixo de Ribeirao Preto-SP**: avaliao de parametros de aquisio e monitoramento ambiental do problema. IAGUSP.

FARQUHAR G. J. 1989 Leachate: **production and characterization**. Canadian Journal of Civil Engineering.

FUNASA, Brasil. Fundao Nacional de Saude. **Manual de Saneamento**, v. 3, 2013. GANDOLFO, O.C.B., GALLAS, J.D.F. **O arranjo polo-dipolo como alternativa ao dipolo-dipolo em levantamento 2D de eletroresistividade**. Revista Brasileira de Geofisica, 17 de Agosto de 2007.

HARTMANN, L. A.; PORCHER, C. C.; REMUS, M. V. D. 2000. **Evoluo das rochas metamorficas do Rio Grande do Sul**. UFRGS.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA,. **Pesquisa nacional de saneamento basico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

KEAREY, P.; BROOKS, M. & HILL, I. 2009. **Geofísica de Exploração**. Tradução Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo: Oficina de Textos. Título Original: Na introduction to geophysical exploration.

LIBÂNIO, M. (2005). **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas, SP: Editora Átomo. 444p.

LOKE, M. H.; BARKER, R. D. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. **Geophysical Prospecting**, v. 44, p. 131152, 1996.

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

MOREIRA, César Augusto; OLIVEIRA, Monica Teixeira de; SILVA, Ariveltom Cosme da. **Estudo geofísico em aterro controlado disposto sobre rochas fraturadas**. Revista Ambiente & Água, p. 180-190, 2011.

MOURA, Helyelson Paredes; MALAGUTTI FILHO, Walter. **Métodos de Eletroresistividade e de Polarização Induzida Aplicados na Área de Disposição de Resíduos Urbanos: Aterro Controlado de Rio Claro, SP**. Geociências, v. 22, n. Esp, 2003.

NARDI, L.V.S; BITENCOURT, M.F., 1989. Geologia, **petrologia e geoquímica do complexo granítico de Caçapava do sul, RS**. Revista Brasileira de Geociência. V. 19, n.2, p. 153-169.

NBR 12772- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **Água: Determinação de fósforo**. 1992.

ORELLANA E. **Prospeccion geoelectrica**: en corriente continua. 2a edição. Espanha: Paraninfo, 1972.

PINTO, L. G. R.; OLIVEIRA, C. E. S.; FARIA, B. M.; ANDRADE, J. B. F. 2013 **Estudos Geométricos (Sondagem Vertical e Caminhamento Elétrico) em Sedimentos Aluvionares do Rio Madeira - Município de Porto Velho-RO**. CPRM.

PMSB-Plano Municipal de Saneamento Básico–**Prefeitura Municipal de Caçapava, 2013**.

PORCHER, C. A.; LOPES, R. da C.. **Cachoeira do Sul – Folha SH.22-Y-A**. Relatório Final, Brasília: CPRM, 2000. 147 p.

POSSAMAI, F. P.; VIANA, E.; SCHULZ, H. E.; COSTA, M. M.; CASAGRANDE, E. **Lixões inativos na região carbonífera de Santa Catarina: análise dos riscos à saúde pública e ao meio ambiente**. Ciência & Saúde Coletiva, v. 12, n. 1, p. 171-179, 2007.

SANTOS, R. B. A. **Caracterização geofísica de área sob influência de necrópole no município de Caçapava do Sul – RS**. Trabalho de Conclusão de Curso, UNIPAMPA, Geologia, p 30-42, 2015.

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do, SHINEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. 2002. EMATER/RS; UFRGS.

TELFORD, William Murray et al. **Applied geophysics**. Cambridge university press, 1990.