



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE GEOGRAFIA

IGOR ALVES MORALES

**INVESTIGAÇÃO DE PLUMAS DE CONTAMINAÇÃO E DIAGNÓSTICO EM  
SUBSUPERFÍCIE ATRAVÉS DE MÉTODOS GEOELÉTRICOS - CEMITÉRIO  
MUNICIPAL DE MONTE CARMELO, MINAS GERAIS**

Monte Carmelo - MG

2023

IGOR ALVES MORALES

**INVESTIGAÇÃO DE PLUMAS DE CONTAMINAÇÃO E DIAGNÓSTICO EM  
SUBSUPERFÍCIE ATRAVÉS DE MÉTODOS GEOELÉTRICOS - CEMITÉRIO  
MUNICIPAL DE MONTE CARMELO, MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a  
Universidade Federal de Uberlândia, exigência  
parcial para obtenção do título de bacharel em  
Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Rodrigo Almeida

Monte Carmelo - MG

2023

IGOR ALVES MORALES

**INVESTIGAÇÃO DE PLUMAS DE CONTAMINAÇÃO E DIAGNÓSTICO EM  
SUBSUPERFÍCIE ATRAVÉS DE MÉTODOS GEOELÉTRICOS – CEMITÉRIO  
MUNICIPAL DE MONTE CARMELO, MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a  
Universidade Federal de Uberlândia, exigência  
parcial para obtenção do título de bacharel em  
Geologia.

Monte Carmelo 20 de outubro de 2023

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Emerson Rodrigo Almeida (UFU) – Orientador

---

Prof. Dra. Liliane Ibrahim (UFU)

---

Prof. Dr. Fabrício Aníbal Corradini (UFTM)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Sueli e Nivaldo, que sempre foram minha fonte de inspiração de força e determinação e por todo apoio para que eu concluísse a minha graduação.

À minha irmã Brena, pelo apoio e carinho.

Ao meu orientador, Dr. Emerson Rodrigo Almeida que não mediu esforços e dedicação para conseguirmos o equipamento para o estudo, e seus ensinamentos e direcionamentos imprescindíveis para o trabalho.

Ao Prof. Dr. Fabrício Aníbal Corradini, da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), pelo empréstimo do instrumento de campo à UFU para a aquisição dos dados para esta pesquisa.

Ao Sr. Arlindo André Filho e demais funcionários da Funerária São Vicente de Paulo pela colaboração para a realização dos trabalhos de campo na área de estudo.

Aos colegas de curso Simone e Fernando que compareceram e ajudaram nos levantamentos de campo, desafiando o sol e o cansaço.

Aos integrantes do BDP, minha segunda família, em especial o Eugênio, Matheus, Tufim, e Victor Hugo, que me acompanharam durante toda a graduação.

Ao Gustavo Chaves, com quem eu tive o prazer de compartilhar inúmeros momentos em sua breve passagem por essa vida.

Este trabalho marca o fim e o início de um novo ciclo, a todos que fizeram parte dessa trajetória e tornaram esse sonho possível: OBRIGADO!

## RESUMO

O necrochorume é um líquido viscoso gerado a partir da decomposição de cadáveres, logo no primeiro ano após o óbito. Este material é rico em sais minerais, substâncias orgânicas e inorgânicas degradáveis, além de microorganismos patogênicos potencialmente tóxicos que podem provocar riscos à saúde humana quando consumidos. O conhecimento sobre os impactos ambientais gerados pelo necrochorume é relativamente recente e tem os cemitérios como o seu principal proliferador. A cidade de Monte Carmelo apresenta um histórico-cultural antigo, com o cemitério municipal ativo desde 1935, o que implica que muitos sepultamentos foram realizados sem o devido planejamento ambiental, possibilitando a eventual formação de plumas de contaminação. A suscetibilidade do necrochorume de alcançar o lençol freático, contudo, depende da permeabilidade do solo/rocha, topografia do local e da profundidade do lençol freático. Quando esse material está presente no ambiente geológico, ele pode ser diagnosticado através de métodos geoeletricos devido a sua baixa resistividade em relação aos solos e rochas. Este trabalho de conclusão de curso consiste na investigação geofísica de subsuperfície para eventualmente reconhecer plumas de contaminação em respostas anômalas de eletrorresistividade no Cemitério Municipal de Monte Carmelo, Minas Gerais, além de avaliar o índice de vulnerabilidade do lençol freático diante de contaminantes através dos parâmetros de condutância longitudinal de Dar Zarrouk. Os dados foram adquiridos através de Sondagens Elétricas Verticais (SEV's) e Caminhamentos Elétricos (CE). As anomalias de baixa resistividade em contraste com os materiais mais resistivos nos caminhamentos elétricos foram interpretadas como possíveis zonas de contaminação pelo necrochorume. A partir da profundidade do lençol freático, espessura e resistividade da zona não saturada adquiridos nas sondagens elétricas verticais, identificou-se através do cálculo de condutância longitudinal de Dar Zarrouk que o ambiente geológico apresenta características de alta condutividade hidráulica e mobilidade do possível contaminante. Esses dados reforçam a necessidade de amostragens de solo para análise da quantidade de íons e bactérias para fins confirmativos da presença do contaminante.

**Palavras-chaves: Cemitérios; Necrochorume; Monte Carmelo; Eletrorresistividade; Parâmetros de Dar Zarrouk.**

## ABSTRACT

Necroleachate is a viscous liquid generated from the decomposition of corpses, within the first year after death. This material is rich in mineral salts, degradable organic and inorganic substances, as well as potentially toxic pathogenic microorganisms that can cause risks to human health when consumed. Knowledge about the environmental impacts generated by necroleachate is relatively recent and has cemeteries as its main proliferator. The city of Monte Carmelo has an ancient historical-cultural history, with the municipal cemetery active since 1935, which means that many burials were carried out without due environmental planning, allowing the eventual formation of contamination plumes. The susceptibility of necroleachate to reach the water table, however, depends on the permeability of the soil/rock, the topography of the site and the depth of the water table. When this material is present in the geological environment, it can be diagnosed using geoelectric methods due to its low resistivity in relation to soils and rocks. This course completion work consists of the geophysical investigation of the subsurface to eventually recognize contamination plumes in anomalous electroresistivity responses in the Municipal Cemetery of Monte Carmelo, Minas Gerais, in addition to evaluating the groundwater vulnerability index to contaminants through the parameters of Dar Zarrouk longitudinal conductance. The data was acquired through Vertical Electrical Soundings (SEV's) and Electrical Paths (CE). The low resistivity anomalies in contrast to the more resistive materials in the electrical paths were interpreted as possible zones of contamination by necroleachate. From the depth of the water table, thickness and resistivity of the unsaturated zone acquired in vertical electrical surveys, it was identified through Dar Zarrouk's longitudinal conductance calculation that the geological environment presents characteristics of high hydraulic conductivity and mobility of the possible contaminant. These data reinforce the need for soil sampling to analyze the amount of ions and bacteria to confirm the presence of the contaminant.

**Keywords: Cemeteries; Necrolecheate; Monte Carmelo; Electroresivity; Parameters of Dar Zarrouk.**

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de localização da área alvo do estudo. ....	5
<b>Figura 2.</b> Evolução Urbana do município de Monte Carmelo entre 1900 até 2016. Em A o cemitério municipal fora da malha urbana, construído em 1935. Em B, a rápida expansão urbana aliada a atividade cerâmica e incentivos à agricultura. Na Figura C e D ilustra a integração do Cemitério Municipal à malha urbana. ....	6
<b>Figura 3.</b> Extravasamento de necrochorume no cemitério municipal de Rio Claro, São Paulo. ....	15
<b>Figura 4.</b> Fluxo da pluma de contaminação com relação a densidade do necrochorume e a água. ....	16
<b>Figura 5.</b> Situações de vulnerabilidade de contaminação da água subterrânea. ....	17
<b>Figura 6.</b> Disposição dos eletrodos na superfície do terreno e fluxo de corrente. ....	19
<b>Figura 7.</b> Faixa de variações nos valores de resistividade em solos, sedimentos e rochas. ....	20
<b>Figura 8.</b> Diagrama da sondagem elétrica vertical de arranjo Schlumberger. ....	21
<b>Figura 9.</b> Esquema do caminhamento elétrico de arranjo polo-dipolo. ....	22
<b>Figura 10.</b> Fluxo de corrente elétrica nas camadas. ....	23
<b>Figura 11.</b> Faixa de proteção dos aquíferos a partir dos valores de condutância longitudinal unitária. ....	24
<b>Figura 12.</b> Mapa geológico da área de estudo. ....	25
<b>Figura 13.</b> Mapa de localização dos poços. ....	27
<b>Figura 14.</b> Perfis litológicos descritivos de poços próximos a área de estudo. ....	28
<b>Figura 15.</b> Mapa de solos presentes no município e na área de estudo. ....	29
<b>Figura 16.</b> Locais destinados aos sepultamentos no Cemitério Municipal de Monte Carmelo. A) Vala para sepultamento direto ao solo. B) Valas em estruturas de concreto (carneiros). ....	30
<b>Figura 17.</b> Cavidades observadas sobre alguns dos sepultamentos no local de aquisição do perfil denominado CE02. ....	31
<b>Figura 18.</b> Reservatório que faz parte do sistema de abastecimento hídrico da cidade. ....	31
<b>Figura 19.</b> Mapa de localização dos levantamentos geofísicos. ....	32
<b>Figura 20.</b> Mapa de curvas de nível da área de estudo e limites dos levantamentos geofísicos. ....	33

<b>Figura 21.</b> Instrumentação e ferramentas de campo. <b>A)</b> Resistivímetro, baterias e cabos. <b>B)</b> Eletrodos, cabo com garras tipo "jacaré" e martelo.....	34
<b>Figura 22.</b> <b>A)</b> Espaçamento AB no corredor principal do cemitério da SEV01. <b>B)</b> Ponto central da investigação da SEV02. ....	35
<b>Figura 23.</b> Locais dos caminhamentos elétricos, em <b>A)</b> CE01 e <b>B)</b> CE02.....	36
<b>Figura 24.</b> Exemplo de ajuste do modelo geoeétrico no IPI2win. ....	37
<b>Figura 25.</b> Dados do levantamento CE01 distribuídos em blocos retangulares. ....	38
<b>Figura 26.</b> Curva bilogarítimica da resistividade aparente vs espaçamento AB/2 da SEV01 e seu modelo geoeétrico interpretado.....	40
<b>Figura 27.</b> Curva bilogarítimica da resistividade aparente vs espaçamento AB/2 da SEV02 e seu modelo geoeétrico interpretado.....	41
<b>Figura 28.</b> Pseudo-seções de resistividade aparente medida em campo (acima), resistividade aparente calculada a partir do modelo inverso (centro) e o modelo inverso (abaixo) do CE01. ....	42
<b>Figura 29.</b> Pseudo-seções de resistividade aparente medida em campo (acima), resistividade aparente calculada a partir do modelo inverso (centro) e o modelo inverso (abaixo) do CE02. ....	43
<b>Figura 30.</b> Possíveis caminhos de infiltração do CE02.....	46
<b>Figura 31.</b> Localização das anomalias mais condutivas e indicação de uma possível continuidade entre ambas. ....	47

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Composição aproximada de um homem adulto de 70kg.....	11
<b>Tabela 2.</b> Variação da resistividade elétrica para cada material geológico proposto. ....	39
<b>Tabela 3.</b> Valores de resistividade e espessura das camadas que compõe a zona não saturada da área e seus valores calculados de condutância longitudinal. ....	44

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	2
<b>1.1. Localização da Área Pesquisada .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Justificativa .....</b>	<b>5</b>
2. OBJETIVOS.....	7
<b>2.1. Objetivo geral.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2. Objetivos específicos.....</b>	<b>7</b>
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	7
<b>3.1. Aspectos Gerais e Históricos dos Cemitérios .....</b>	<b>7</b>
<b>3.2. Cemitérios Tradicionais .....</b>	<b>9</b>
<b>3.3. Processos Transformadores de Cadáveres.....</b>	<b>9</b>
<b>3.4. Necrochorume.....</b>	<b>11</b>
<b>3.5. Aspectos Legais dos Cemitérios.....</b>	<b>12</b>
<b>3.6. Cemitérios como Fonte Potencial de Contaminação .....</b>	<b>14</b>
<b>3.7. Geofísica Aplicada em Estudos Ambientais.....</b>	<b>17</b>
<b>3.8. Método da Eletrorresistividade.....</b>	<b>18</b>
3.8.1. Sondagem Elétrica Vertical - Schlumberger .....	21
3.8.2. Caminhamento Elétrico – Polo-Dipolo .....	22
<b>3.9. Parâmetros de Dar Zarrouk.....</b>	<b>23</b>
<b>3.10. Contexto Geológico, Hidrogeológico e Pedológico.....</b>	<b>24</b>
3.11.1. Geologia .....	24
3.10.1. Hidrogeologia.....	26
3.12.1. Solo.....	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
<b>4.1. Área de Estudo.....</b>	<b>30</b>
<b>4.2. Aquisição de Dados.....</b>	<b>32</b>
<b>4.3. Processamento dos Dados .....</b>	<b>36</b>

<b>4.4. Interpretação dos Dados.</b> .....	38
<b>5. RESULTADOS</b> .....	39
<b>5.1. Sondagem Elétrica Vertical</b> .....	39
<b>5.2. Caminhamento Elétrico</b> .....	41
<b>5.3. Avaliação da Vulnerabilidade Natural</b> .....	43
<b>6. DISCUSSÃO</b> .....	44
<b>6.1. Sondagem elétrica Vertical</b> .....	44
<b>6.2. Caminhamento Elétrico</b> .....	45
<b>6.3. Avaliação da Vulnerabilidade Natural</b> .....	47
<b>7. CONCLUSÃO</b> .....	48
<b>8. REFERÊNCIAS</b> .....	50

## 1.INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais são algumas das grandes preocupações mundiais e minimizar a sua problemática é um dos desafios do século XXI pois está atrelado à evolução da sociedade e ao desenvolvimento econômico. Diversas substâncias sólidas e líquidas consequentes da urbanização podem contribuir para a degradação do meio ambiente, provocando impactos na qualidade de vida da população e colocando em risco a saúde pública.

O problema da poluição das águas subterrâneas, em particular, requer grande atenção por exigir técnicas complexas e demoradas de despoluição e remediação, além da lenta renovação dos reservatórios subterrâneos, podendo estes permanecerem contaminados por longos períodos ou mesmo se tornando irrecuperáveis. A contaminação de águas subterrâneas pode se dar por diversas maneiras, destacando-se a infiltração das fossas sépticas, vazamento de esgotos no subsolo, má disposição de resíduos (industriais, hospitalares, domésticos) e a contaminação decorrente da percolação do necrochorume, resultante dos cemitérios (USTRA, 2008). A falta de planejamento dos cemitérios provoca grandes problemas socioambientais, principalmente quando são implantados sem os cuidados geológicos e hidrogeológicos, gerando alterações físico-químicas e biológicas no meio ambiente (PACHECO, 2000).

Embora já na década de 1970 houvesse conhecimento de ocorrências de epidemias de febre tifoide em Berlim e Paris ligadas diretamente à contaminação da água subterrânea pelo necrochorume originado em cemitérios localizados a jusante de recargas hídricas (SILVA; FILHO, 2008), a preocupação ambiental em relação aos cemitérios no Brasil se iniciou no final do século XX, através de estudos como o de Pacheco, Mendes e Hassuda (1988) cujo o trabalho avaliou a contaminação do solo e lençol freático por micro-organismos proliferadores gerados na decomposição dos cadáveres de quatro cemitérios na cidade de São Paulo através de análises da qualidade da água, enfatizando a importância da proteção das águas destinadas ao consumo humano (PACHECO, MENDES e HASSUDA, 1988). A partir desse olhar crítico, vários trabalhos foram desenvolvidos (MARTINS *et al.*, 1991; MIGLIORI, 1994, MARINHO, 1998; PACHECO, 2000; SILVA E FILHO, 2008).

Matos (2001) relata a detecção de bactérias e vírus em amostras do lençol freático no cemitério de Nova Cachoeirinha, em São Paulo, descrevendo que os resultados obtidos na Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e da condutividade elétrica foram maiores nas regiões próximas aos sepultamentos, e estabelecendo estas como as principais fontes de contaminação na área. Análises físico-químicas realizadas em amostras de água subterrânea

extraídas do lençol freático sob a área do cemitério Santa Inês, localizado em Vila Velha (ES) e em operação desde meados do século XX, indicaram índices elevados de compostos nitrogenados, o que foi considerado indicativo da presença de matéria orgânica nos seus primeiros estágios de decomposição (NEIRA *et al.*, 2008).

Sabe-se então que a integração dos cemitérios às malhas urbanas pode trazer complicações à saúde pública quando há contaminação das águas subterrâneas por substâncias orgânicas, inorgânicas e microrganismos patogênicos oriundos do necrochorume. O consumo dessas águas captadas por poços pode provocar fortes distúrbios gastrointestinais, tais como vômitos, cólicas e diarreia. No Brasil, as doenças mais comuns geradas por esse tipo de contaminação são hepatite, leptospirose, febre tifoide e a cólera. (MATOS, 2001). Diante disso, técnicas investigativas de possíveis plumas de contaminação em cemitérios devem ser aplicadas para que medidas mitigadoras sejam usadas a tempo de reduzir ou remediar os impactos causados pelo necrochorume à saúde humana.

Métodos geofísicos vem se mostrando eficazes para esse tipo de investigação, pois a presença de contaminantes no material geológico pode alterar suas características de resistividade e cargabilidade proporcionando anomalias perceptíveis em dados obtidos com métodos elétricos e eletromagnéticos (USTRA, 2008). A característica não invasiva e o baixo custo destas investigações em relação aos estudos que requerem amostragem geológica direta tornam a abordagem geofísica eficaz e eficiente. Silva *et al.*, (2009) aplicaram o método da eletrorresistividade para investigar e delimitar áreas potencialmente contaminadas por necrochorume no cemitério municipal de Vila Rezende, Piracicaba – SP através de 16 sondagens elétricas verticais (SEVs) e 12 caminhamentos elétricos (CEs). Os baixos valores de resistividades obtidos em alguns locais permitiram identificar áreas prováveis de contaminação.

Silva (2018) avaliou os metais potencialmente tóxicos presentes na zona não saturada do cemitério Nossa Senhora Aparecida, no município de Piedade – SP, buscando identificar a presença da contaminação por metais na zona não saturada do local. Os dados geofísicos coletados na área de estudo com métodos elétricos e eletromagnéticos indicaram a ocorrência de anomalias condutivas na região não saturada, associadas a possíveis caminhos preferenciais para percolação de água, enquanto análises químicas minuciosas apontaram concentrações elevadas de Pb, Co, Cr, Cu, Ni, Ba e Zn em amostras de solo do cemitério e possivelmente decorrentes da decomposição dos caixões devido à degradação dos adereços metálicos e dos vernizes utilizados na conservação da madeira.

Barros et al. (2022) também utilizaram SEVs e CEs para mapear problemas de contaminação do aquífero Adamantina na cidade de Urânia – SP em locais próximos a poços em que foram observadas quantidades elevadas de nitrato, a córregos que abastecem o município e dentro da área urbana em campanhas realizadas em 2018, 2019 e 2020. Os modelos geoeletricos possibilitaram o mapeamento das zonas saturada e não saturada, e das interfaces litológicas. A avaliação da vulnerabilidade do aquífero pelos parâmetros de condutância longitudinal de Dar Zarrouk indicaram áreas suscetíveis a contaminação em função do material mais arenoso e permeável na zona não-saturada e das profundidades mais rasas para a zona saturada.

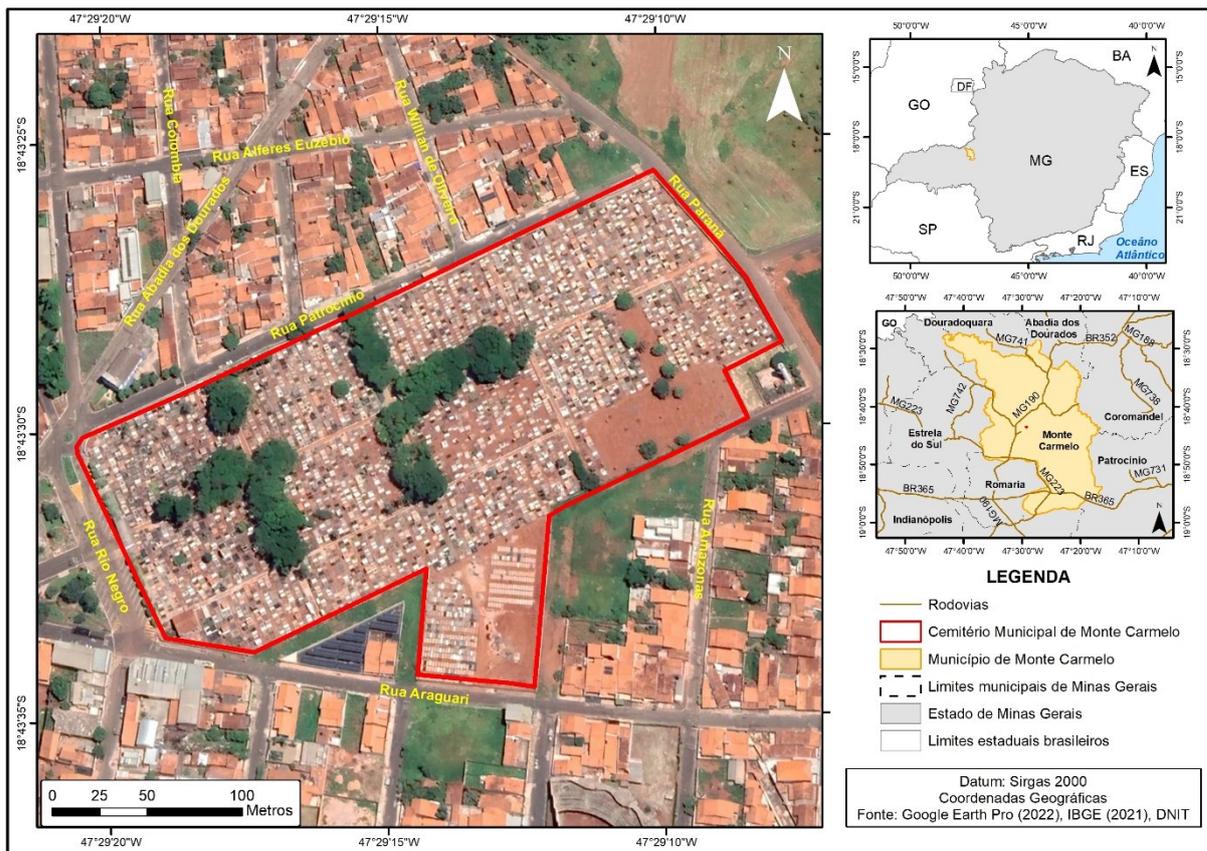
O presente trabalho constitui-se na aquisição e análise de dados de SEVs e CEs no Cemitério Municipal de cidade de Monte Carmelo, MG, para avaliação da possibilidade de contaminação do solo e do lençol freático. O modelo geoeletrico e a avaliação da vulnerabilidade através dos parâmetros de Dar Zarrouk fornecerão informações que poderão auxiliar no diagnóstico ambiental da área de estudo.

### **1.1. Localização da Área Pesquisada**

O cemitério está inserido no município brasileiro de Monte Carmelo, Minas Gerais, Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto do Paranaíba (Figura 1). O município se encontra a 493 quilômetros da capital mineira, Belo Horizonte, a 447 quilômetros de Brasília, Distrito Federal, e é acessível pelas rodovias MG-223, MG-190, BR-352 e BR-365.

Segundo o censo do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia), em 2019 a população de Monte Carmelo era de 47.809 habitantes. O município é referência nacional na produção de telhas, tijolos, artefatos cerâmicos e grãos de café de altíssima qualidade (IBGE 2019).

**Figura 1.** Mapa de localização da área alvo do estudo.



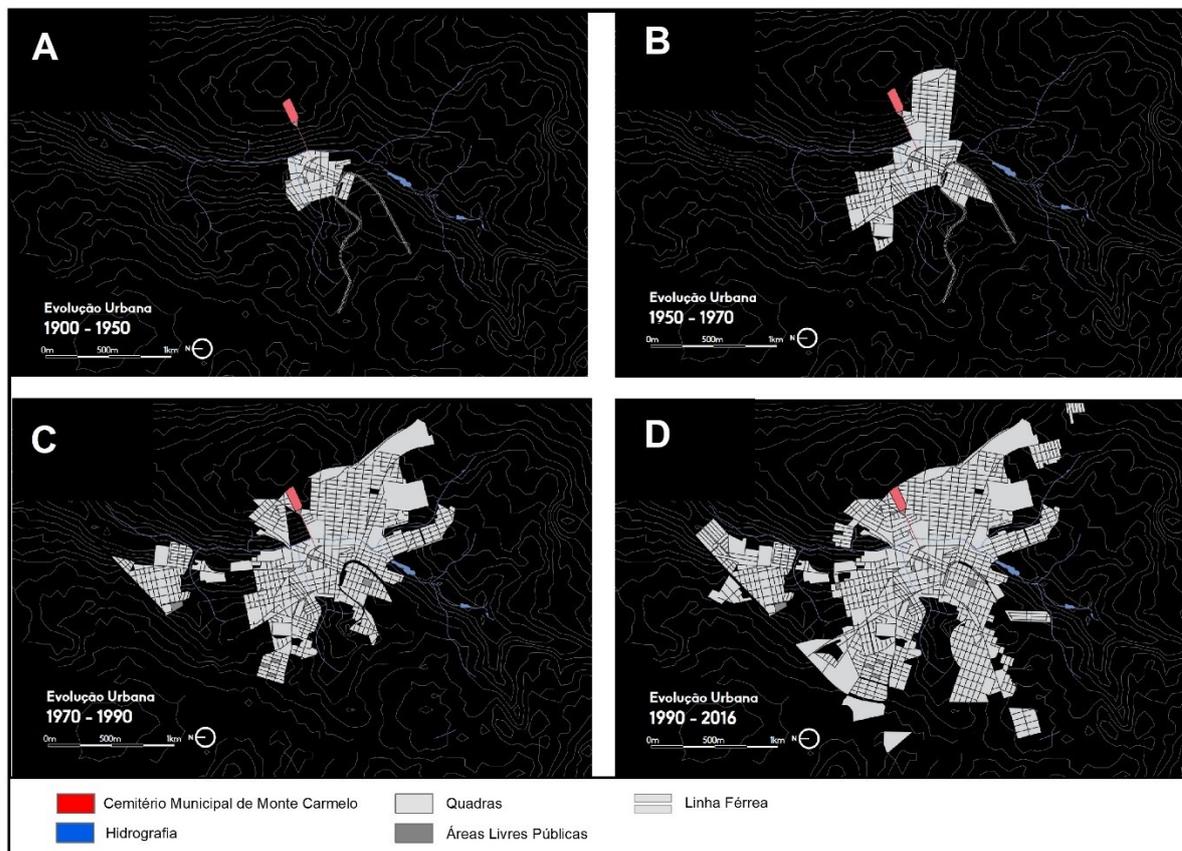
Fonte: O Autor (2023).

## 1.2. Justificativa

Os cemitérios não tiveram a atenção necessária como outras atividades poluidoras, sendo que apenas em 03 de abril de 2003, foi promulgada a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 335 que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios horizontais e verticais a serem implantados no Brasil. Com a promulgação dessa resolução, esses estabelecimentos passam a ser vistos como potenciais poluidores, fiscalizados e licenciados pelos órgãos ambientais estaduais.

O Cemitério Municipal de Monte Carmelo, MG, foi fundado em 1935 fora da aglomeração urbana da cidade (Figura 2A), ligado à cidade pela Avenida da Saudade. Com o desenvolvimento da atividade cerâmica e incentivos à agricultura, que trouxeram cafeicultores para região, houve uma expansão da malha urbana da cidade (Figuras 2B-D), o que levou à aproximação dos moradores ao cemitério. (MOTA, 2016)

**Figura 2.** Evolução Urbana do município de Monte Carmelo entre 1900 até 2016. Em A o cemitério municipal fora da malha urbana, construído em 1935. Em B, a rápida expansão urbana aliada a atividade cerâmica e incentivos à agricultura. Na Figura C e D ilustra a integração do Cemitério Municipal à malha urbana.



Fonte: Modificado de Mota (2016).

Entre 2020 e 2021 o Brasil passou por grandes problemas sanitários devido à pandemia de SARS-CoV-2 que provocou doenças respiratórias afetando diretamente os idosos e aqueles com condições saúde frágeis provocando um número de óbitos maior do que as taxas de mortalidade típicas (BRASIL, 2023). Novas variantes do vírus, com taxas de transmissão ainda maiores que as primeiras fizeram com que o vírus se espalhasse por todo o território brasileiro, aumentando o número de sepultamentos e consequentemente o aumento considerável na geração de necrolixiviados.

Como a área de estudo se encontra em atividade desde muito antes da criação da norma nacional que preza pelos cuidados sobre os impactos causados pelos cemitérios e está atualmente integrada à malha urbana do município (ver Figura 2D), e considerando ainda o aumento de óbitos devido à pandemia da COVID-19 (MONTE CARMELO, 2022), é essencial a investigação da situação ambiental em subsuperfície no local.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

O objetivo geral desse trabalho de conclusão de curso consiste em realizar uma investigação geofísica em subsuperfície através do método de eletrorresistividade na detecção de eventuais anomalias que possam indicar a presença de plumas de necrochorume. Os resultados têm como finalidade elaborar um modelo geoeletrico da área do cemitério proporcionando informações relacionadas à suscetibilidade de contaminação do lençol freático.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Realizar coletas dados geofísicos por meio de métodos de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e Caminhamentos Elétricos (CE).
- Identificar a profundidade da zona saturada.
- Interpretação geológica das camadas subjacentes através do modelo geoeletrico obtido a partir dos dados de resistividade aparente.
- Estimar qualitativamente o índice de vulnerabilidade à contaminação do lençol freático.
- Localizar possíveis anomalias associadas à baixa resistividade elétrica correlacionadas plumas de contaminação (necrochorume).

## **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **3.1. Aspectos Gerais e Históricos dos Cemitérios**

A palavra cemitério vem no grego *koimetérion* que significa dormitório, e do latim *cometeriu*, designada ao lugar onde se dorme, onde enterram ou guardam os mortos. Os cemitérios também são conhecidos como necrópole, carneira, sepulcrário, campo-santo, cidade dos pés e última morada (MATOS, 2001; CAMPOS, 2007).

De acordo com Zandona (2019) os costumes de sepultar os mortos existem desde a pré-história, e relatos arqueológicos registram que os Neandertais já tinham essa cultura de enterrar ou até mesmo cobrirem os corpos com pedras.

Devido a questões culturais do cristianismo na Idade Média, os sepultamentos passam a ser praticados em igrejas, paróquias, abadias, mosteiros, e conventos dentro de cidades, dependendo da situação socioeconômica-política. Aos cidadãos que não dispunham de

recursos, eram enterrados aos redores da igreja, em estradas, pátios externos e campos afastados (PACHECO, 2000).

No século XVIII, as igrejas e seus arredores passaram a enfrentar problemas de superlotação e insalubridade, sendo responsáveis por focos de contaminação causadores de doenças graves, preocupando médicos que passaram a recomendar o isolamento dos mortos a fim de protegerem os vivos (PACHECO, 2000; OSMAN E RIBEIRO, 2007)

Em 1801 D. João VI proíbe os sepultamentos em igrejas de Portugal e em terras sob seu domínio, incluindo o Brasil. Tal proibição gerou inúmeros protestos por meio dos fiéis cristãos por acreditarem que os laços com o mundo dos vivos continuariam a existir e as orações dos fiéis que ali frequentavam, seriam estendidas aos que estavam enterrados (OSMAN e RIBEIRO, 2007; ZANDONA, 2019).

Por insistências de médicos, no ano de 1828 é promulgada a lei imperial que impedia o sepultamento dentro dos templos sagrados e exigia que, daquele momento em diante, os cemitérios deveriam ser construídos distantes das áreas urbanas, tomando características semelhantes às de hoje (PACHECO, 2000).

Com o passar dos anos, o crescimento populacional e o desenvolvimento industrial, responsáveis por fomentarem o aumento urbano, lavaram à aproximação das cidades aos cemitérios, que antes se encontravam afastados. Por questões de logística, cemitérios públicos começaram a ser implantados dentro de perímetros urbanos com medidas restritivas prezando pela saúde pública. Entretanto, houve pouca preocupação com a possibilidade de contaminação ambiental, sendo os cemitérios construídos sem estudos prévios do meio físico (ZANDONA, 2019).

O silêncio sobre os impactos que os restos mortais poderiam causar ao meio ambiente perdurou até meados do século XX, rompido após estudos que alertaram sobre os impactos causados ao solo, atmosfera e aos recursos hídricos e, conseqüentemente, ao bem-estar da população (SILVA, 2018).

Na década de 1990 o geólogo pesquisador Lezíro Marques da Silva percorreu mais de 600 cemitérios pelo Brasil, onde 75% desses apresentaram discordância legal e negligências operacionais que acarretam problemas sanitários e ambientais (SILVA, 1998). No mesmo ano, a Organização Mundial de Saúde – OMS (1998) demonstrou grande preocupação sobre os impactos que as necrópoles são capazes de causar ao meio ambiente através do acúmulo de substâncias orgânicas, inorgânicas e microrganismos patogênicos que poderiam vir a

contaminar os solos e aquíferos, evidenciando a necessidade de mais pesquisas a respeito do assunto.

### **3.2. Cemitérios Tradicionais**

Os cemitérios tradicionais, conhecidos também como horizontais, são constituídos por acessos pavimentados, pouca ou nenhuma arborização, túmulos semienterrados, jazigos, capelas, objetos e esculturas religiosas, peças funerárias, onde os cadáveres são enterrados diretamente ao solo (CAMPOS, 2007; ZANDONA, 2019).

Os métodos construtivos dessas necrópoles facilitam o processo de decomposição dos corpos devido a inumação direta ao solo, porém desvantagens em relação à disposição do necrochorume no meio ambiente (CAMPOS, 2007). Além da possibilidade de contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas estes empreendimentos ocupam grandes áreas, apresentam alto custo de manutenção, afetam a estética urbana e propiciam a proliferação de insetos como mosquitos transmissores de doenças e baratas, bem como de aracnídeos como escorpiões (PACHECO, 2000; CAMPOS, 2007).

### **3.3. Processos Transformadores de Cadáveres**

Os cadáveres sepultados em cemitérios normalmente estão sujeitos a fenômenos transformativos destrutivos como a autólise e a putrefação, ou, fenômenos transformativos conservadores sob certas condições ambientais como por exemplo a mumificação e a saponificação (SILVA, 1995; PACHECO, 2000; MATOS, 2001; SILVA e FILHO, 2008).

De acordo com Silva e Filho (2008), a autólise se manifesta logo após a morte com o interrompimento das trocas nutritivas das células que ocasionam a sua própria destruição, desencadeando a acidificação do meio.

A putrefação é a ação responsável pela destruição dos tecidos do corpo por bactérias e enzimas. Esse processo ocorre de forma gradual e resulta na dissolução dos tecidos em gases, líquidos e sais (MATOS, 2001).

De acordo com Silva (1995) e Pacheco (2000) o processo natural da putrefação ocorre gradualmente em períodos e segue a sequência de:

- a) Período de coloração – Início da putrefação a partir de microrganismos aeróbios, anaeróbios e facultativos no intestino grosso. A manifestação destes ocasiona o acúmulo de gases no órgão provocando o uma mancha verde abdominal que

posteriormente se difunde pelo resto do corpo. Essa coloração é produto da reação do gás sulfídrico ( $H_2S$ ) com a hemoglobina.

- b) Período gasoso – os gases desenvolvidos no interior do corpo se difundem e criam um aspecto volumoso no cadáver devido à pressão exercida por esses gases, que por fim, promovem a ruptura das paredes abdominais. Essa fase ocorre durante um período de 3 a 4 semanas, liberando no final do seu estágio gases cadavéricos, como: gás sulfúrico, dióxido de carbono, amônia, metano e outros.
- c) Período coliquativo – ocorre a dissolução pútrida das partes moles do corpo que resulta a formação de um líquido denso e escuro, o necrochorume. A dissolução ocorre pela ação conjunta de micro-organismos putrefativos e fauna cadavérica, essa última, formada por insetos e lavas.
- d) Período de esqueletização – estágio de liberação do fósforo sob a forma de fosfina ( $PH_3$ ) pelo resíduo de matéria orgânica dos ossos. Na presença de oxigênio atmosférico, ocorre a reação com a fosfina originando um processo luminoso de curta duração conhecido como “fogo fátuo”. Os ossos perdem primeiramente a osseína, restando apenas o carbonato de cálcio ( $CaCO_3$ ). Esse período pode durar vários meses ou vários anos dependendo das condições ambientais presentes.

Existe um conjunto de fatores que modificam a condição natural do processo putrefativo e que podem retardar os processos transformadores. Esses fatores podem ser intrínsecos ao cadáver ou fatores extrínsecos ligados ao meio ambiente, sejam eles temperatura, umidade, ventilação e solo.

Dentre os fenômenos transformativos conservativos, a mumificação é conhecida pela dessecação e desidratação do corpo cadavérico, que de forma natural, ocorre em ambiente de clima quente, seco, de baixa umidade e solos arenosos semelhante a regiões desérticas. Ainda em solos calcários a mumificação pode existir através da fossilização incipiente pela substituição catiônica do sódio e potássio pelo cálcio (PACHECO, 2000).

Já a saponificação é a hidrólise da gordura com a liberação de ácidos graxos (triglicerídeos) que inibem a ação de bactérias putrefativas e conseqüentemente retardam o processo de decomposição. A saponificação resulta na produção da adipocera em diversos órgãos e tecidos do corpo, substância com características de uma massa mole e branca e aspecto de cera (MATOS, 2001). Esse fenômeno é favorecido por aqueles ambientes quentes, úmidos, anaeróbios e com a presença de bactérias endógenas como é o caso de solos muito argilosos (SILVA, 1995).

### 3.4. Necrochorume

O CONAMA (2003) descreve o necrochorume com um líquido biodegradável produto da coliquação dos corpos cadavéricos. O tempo necessário para a decomposição total do corpo varia conforme o tipo de solo e humidade que pode estar relacionada com o fator climático e perdurando cerca de 3 anos em ambientes tropicais e aproximadamente 10 anos para aqueles em climas temperados (POUNDER, 1995 *apud* MATOS, 2001). O necrochorume apresenta coloração castanho-acinzentada, constituído por 60% de água, 30% de sais e 10% de substâncias orgânicas altamente tóxicas como a putrescina ( $C_4H_{12}N_2$ ) e a cadaverina ( $C_5H_{14}N_2$ ), que podem ser degradadas, gerando amônia ( $NH_4^+$ ). É mais viscoso que a água, com densidade média de  $1,23 \text{ g/cm}^3$ , forte cheiro, polimerizável e grau variado de patogenicidade (SILVA, 1995; SILVA, 1998; PACHECO, 2000).

Segundo Silva (1995) a produção deste efluente segue uma relação de 0,60 l/kg, portando, um indivíduo que pesa 70 kg produz em média 40 litros de necrochorume. A composição corporal de um homem adulto de 70 kg está representada na tabela 1. Um homem adulto pode produzir aproximadamente 2 kg de nitrogênio que, quando em contato com as substâncias presentes no solo, transforma-se em nitrato, que é altamente poluente (ZANDONA, 2019).

**Tabela 1.** Composição aproximada de um homem adulto de 70kg.

<b>Substância</b>	<b>Quantidade</b>
Carbono	16.000 g
Nitrogênio	1.800 g
Cálcio	1.100 g
Fósforo	500 g
Enxofre	140 g
Potássio	140 g
Sódio	100 g
Cloreto	95 g
Ferro	4,2 g
Água	70 – 74%

Fonte: Modificado de Dent e Knight (1998)

A toxidade do necrochorume não é decorrente somente das substâncias orgânicas, ainda podem ser encontrados elevados números de bactérias heterotróficas, proteolíticas e lipolíticas, microrganismos patogênicos e o vírus (SILVA E FILHO, 2008).

Segundo Matos (2001), os principais microrganismos presentes no produto da coliquação são:

- a) **Protozoários:** *Cryptosporidium parvum*, *Entamoeba histolytica* e *Giardia lamblia*;
- b) **Bactérias:** *Escherichia coli*, *Legionella pneumiphila*, *Leptospira interrogans*, *Salmonella typhi*, *Shigella dysenteriae S. flexneri*, *S. sonne* e *Vibrio cholerae*;
- c) **Vírus:** Adenovírus, Agente Norwalk, Coxsackie humano A1 a A22, A24, B1 a B6, Echo humano, Hepatite A, Poliovírus humano 1, 2, 3, Reovírus 1, 2, 3 e Rotavírus grupo B.

Matos (2001) ainda destaca e as principais doenças e efeitos para o corpo humano vinculadas a esses microrganismos são:

- a) **Causadas por Protozoários:** Gastreterite e Amebíase;
- b) **Causadas por Bactérias:** Diarreia, Dores abdominais, Pneumonia Febre, Leptospirose, Febre tifoide, Disenteria e Cólera; e
- c) **Causadas por Vírus:** Infecções respiratórias, Gastreterite, Vômito, Diarreia, Doenças respiratórias, Meningite, Miocardite, Erupções cutâneas, Febre, Hepatite, Paralisia, Infecções do trato respiratório superior, Enterite em crianças e bebês.

### 3.5. Aspectos Legais dos Cemitérios

A legislação brasileira que regulamenta a implantação e operação de cemitérios, veio a existir a partir da publicação no dia 28 de maio de 2003 da resolução nº 335 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA que dispõe em âmbito federal, o licenciamento ambiental de cemitérios horizontais e verticais a serem implantados no país. Essa resolução dispõe critérios para a implantação de novos cemitérios e adequação daqueles que já estavam em atividade antes da legislação vigorar. Alguns critérios em destaque definidos pela resolução do CONAMA (2003) estão descritos a seguir.

Para a fase de licença prévia do licenciamento ambiental, devem ser apresentados documentos que contemplam a caracterização da área do empreendimento, plano de implantação e operação do empreendimento. Já na fase de implantação, é necessário a planta

do empreendimento junto ao memorial descritivo assinado por um profissional habilitado, como também, o projeto que contempla medidas mitigadoras e de controle ambiental.

Em empreendimentos de cemitérios horizontais, como é o caso do cemitério municipal de Monte Carmelo, a Resolução exige:

- estabelecer 1,5 metros de distância entre as sepulturas e o lençol freático, medido no fim das estações de cheias e, caso essa exigência não possa ser atendida, as sepulturas devem ocorrer acima do nível natural do terreno;
- Adotar técnicas e práticas que permitam a troca gasosa, a fim de proporcionar condições adequadas para a decomposição dos corpos;
- Manter um recuo mínimo de 5 metros do local de sepultamento em relação ao perímetro do cemitério, podendo ser ampliando dependendo das condições hidrogeológicas presentes.
- A implantação do cemitério deverá estar em uma distância segura de corpos d'água;
- Apresentar sistema de drenagem adequado e eficiente;
- O solo do fundo das sepulturas deve ser constituído por materiais pouco permeáveis, com coeficiente de permeabilidade entre 10 – 5 e 10 – 7 cm/s. Caso a permeabilidade seja maior, a sepultura deve estar 10 metros acima do lençol freático.

No caso de encerramento das atividades, o responsável pelo empreendimento deve previamente requerer o pedido de licença e apresentar o Plano de Encerramento de Atividade, contendo medidas de recuperação da área.

Em março de 2006 o CONAMA publicou a Resolução nº 368, trazendo reformulações acerca do tema, proibindo a instalação de cemitérios em área de preservação permanente (APP) ou áreas que causem supressão de Mata Atlântica, em estágio médio, avançado ou de regeneração e em terrenos geologicamente sensíveis como os cársticos que levam o aparecimento de cavernas, cavidades, sumidouros e rios subterrâneos (CONAMA, 2006).

No dia 17 de novembro de 2008 foi promulgada a Resolução CONAMA nº 402 que modifica os Art. 11 e 12 da resolução nº 368/2006 atribuindo a responsabilidade dos órgãos ambientais estaduais e municipais de fornecerem a licença da implantação de novos cemitérios e estabelecerem critérios de adequações até dezembro de 2010 aqueles já existentes antes de 2003 (ZANDONA, 2019).

### **3.6. Cemitérios como Fonte Potencial de Contaminação**

Para o Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, a contaminação de forma geral ocorre quando há a introdução no meio ambiente de organismos patogênicos, substâncias tóxicas ou outros elementos, em determinadas concentrações que possam afetar à saúde pública, meio ambiente ou outro bem a proteger (COPAM, 2008).

Os cemitérios podem ser comparados a aterros sanitários por receberem resíduos orgânicos, mas com o agravante do “resíduo hospitalar” que integra a composição corporal dos cadáveres. As substâncias químicas hospitalares nos corpos variam conforme os tipos de medicamentos utilizados no tratamento médico e ainda existem aqueles indivíduos que carregam consigo elevadas quantidades de metais pesados provindos de próteses e resíduos nucleares de exames hospitalares. Todas essas substâncias farão parte do produto da coliquação e algumas reagirão com as substâncias orgânicas presentes nos corpos (CARNEIRO, 2009).

Os riscos de contaminação do subsolo a partir da decomposição de cadáveres em cemitérios depende da vulnerabilidade do meio físico em que atua e por isso se faz necessário o estudo geológico, geotécnico e hidrogeológico antes da construção do empreendimento (SILVA, 1995). Porém, Pacheco e Matos (2000) afirma que a implantação dos cemitérios na maioria das vezes é feita em terrenos de baixo valor imobiliário, ou em relevos inadequados para outros tipos de empreendimentos, não levando em conta a vulnerabilidade do meio físico que poderá ocasionar impactos primários e secundários ao meio ambiente. Os impactos primários são aqueles que afetam o lençol freático e águas superficiais sob a presença de um contaminante. Já os impactos secundários ocorrem a partir da formação de maus cheiros provocados pela emissão dos gases funerários, decorrente da má confecção dos jazigos (Figura 3) e sepulturas por inumação levando em consideração a cobertura ideal, profundidade e tipo de solo (PACHECO E MATOS, 2000).

**Figura 3.** Extravasamento de necrochorume no cemitério municipal de Rio Claro, São Paulo.



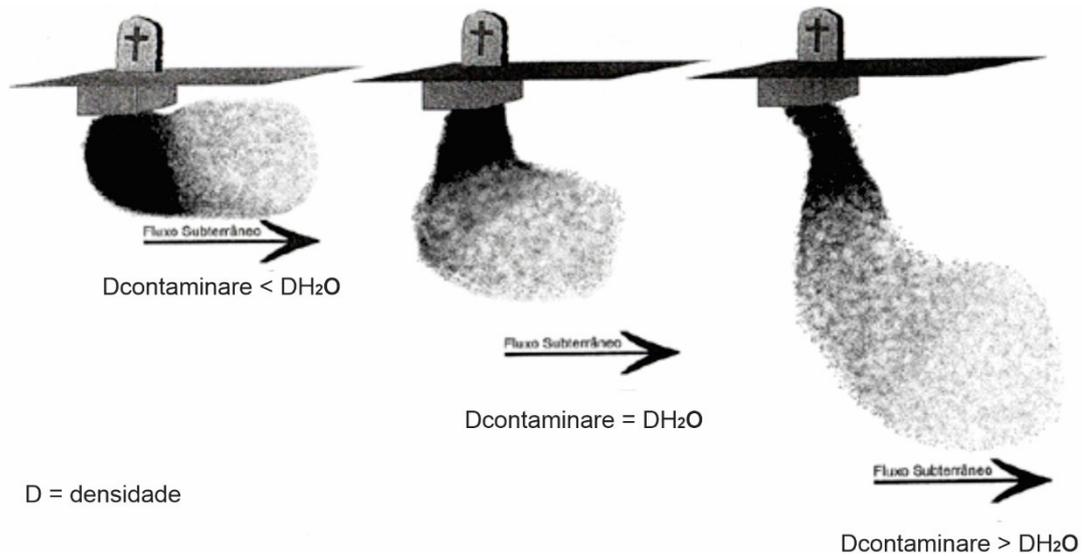
Fonte: Xavier (2015).

Barbosa e Coelho (2006) citam três fatores que devem estar presentes no ambiente para haver risco de contaminação:

- fonte de contaminação decorrente das sepulturas;
- Formas de exposição e caminhos que levam esse poluente até o alvo;
- Alvo (meio ambiente e população).

A característica de viscosidade e densidade do necrochorume proporcionam a formação de plumas de contaminação no solo e sua velocidade de disseminação e distâncias de propagação dependem da condutividade hidráulica do meio. De acordo com Pacheco (2000), o necrochorume se beneficia das águas das chuvas que infiltram e percolam no solo como veículo de transporte até camadas mais profundas podendo atingir o lençol freático (Figura 4).

**Figura 4.** Fluxo da pluma de contaminação com relação a densidade do necrochorume e a água.



Fonte: Pacheco (2000).

A zona não-saturada é formada por partículas sólidas e espaços vazios que podem estar preenchidos por água ou ar e por isso também são conhecidas como zona de aeração, diferente da zona saturada que é preenchida somente com água. O efluente presente na zona não-saturada apresenta um potencial hidráulico maior conforme a sua permeabilidade e tende a se movimentar em um fluxo vertical. Quando esse efluente chega na zona saturada, a velocidade de percolação diminui e o fluxo ocorre horizontalmente (SILVA e FILHO, 2008).

O tipo do material geológico que compõe a zona não-saturada tem um papel fundamental na diminuição dos riscos à contaminação das águas subterrâneas. Solos espessos que apresentam alta aeração, baixa alcalinidade e alto índice de vazios entre as partículas sólidas funcionam como filtrantes do contaminante (SILVA E FILHO, 2008).

Segundo Miotto (1990), essas características físico-químicas criam condições ideais para interceptar, adsorver e eliminar bactérias e vírus, e para adsorver e biodegradar compostos orgânicos. O mecanismo de filtração tem grande eficácia principalmente com bactérias, por estas serem maiores. O fato de os vírus serem muito menores, o mecanismo de adsorção é mais importante. A adsorção ocorre a partir da troca iônica entre as argilas e as substâncias orgânicas, aumentando a capacidade de sorção dos micro-organismos nas partículas sólidas e evitando que cheguem à zona saturada (MATOS, 2001; SILVA E FILHO, 2008).

A figura 5 exemplifica três situações distintas de vulnerabilidade do meio físico em relação aos sepultamentos. A situação A é a única que está de acordo com as exigências

estabelecidas pela CONAMA. Mesmo estando em um solo de permeabilidade mediana, a presença de solos com pouca ou média permeabilidade na zona não saturada promovem uma baixa mobilidade do efluente cadavérico que, somados à distância suficiente até o topo do lençol freático, permitem a metabolização e eliminação das substâncias presentes no necrochorume antes ele alcance a zona saturada. Já a situação B configura um caso de extrema vulnerabilidade, pois o cemitério foi implantado em um local de topografia irregular, com nível freático quase aflorante e material geológico de baixa permeabilidade, que caracterizam condições ideais para os fenômenos transformativos como o da saponificação. Em C, o sepultamento ocorre em um material geológico de alta permeabilidade e sua profundidade em relação ao nível freático está abaixo dos valores recomendados (SILVA E FILHO, 2008; ZANDONA, 2019).

**Figura 5.** Situações de vulnerabilidade de contaminação da água subterrânea.



Fonte: Bortolassi (2012 *apud* Zandona, 2019)

### 3.7. Geofísica Aplicada em Estudos Ambientais

A geofísica aplicada é baseada em um conjunto de técnicas físicas e matemáticas empregadas para exploração do subsolo, principalmente recursos naturais como por exemplo o petróleo, minerais e água subterrânea (BRAGA, 2006).

Para Orellana (1972), a geofísica é a ciência que estuda as estruturas do interior da Terra, localizando e delimitando um determinado corpo através dos contrastes de alguma de suas

propriedades físicas com o meio circundante, medidas que podem ser levantadas a partir da superfície do terreno, furos de sondagem ou em levantamentos aéreos.

A aplicação da geofísica para fins ambientais é mais recente e tem despertado o interesse de pesquisadores em estudos que envolvem áreas de solos, rochas e águas subterrâneas contaminadas por substâncias orgânicas e inorgânicas resultante de resíduos sanitários e/ou vazamento de combustíveis (BRAGA, 2006).

Segundo a CETESB (1999) os levantamentos geofísicos em estudos de áreas contaminadas têm como objetivo identificar se há a presença do contaminante em subsuperfície, bem como, caracterizar o contexto geológico e hidrogeológico do local.

O contaminante é observado por meio de anomalias, que são desvios significativos do padrão normal das medidas geofísicas de uma seção e sua identificação contribui para que medidas mitigadoras sejam realizadas.

A CETESB (1999) indica ainda que os métodos geoeletricos são os mais adequados em investigações de contaminantes presentes nos solos e nas águas subterrâneas através dos métodos de geo-radar (GPR), eletromagnético indutivo (EM), eletrorresistividade (ER) e a magnetometria.

De acordo com Braga (2006) os métodos geoeletricos são classificados seguindo os critérios de métodos, técnicas e arranjos geométricos de investigação, podendo ser definidos como:

- Métodos: Determinado a partir do parâmetro físico que será medido (eletrorresistividade, polarização induzida, potencial espontâneo).
- Técnicas: Tipo de investigação empregada (sondagens, caminhamentos ou perfilagens).
- Arranjo: disposição dos eletrodos o qual vão auxiliar no desenvolvimento do levantamento geofísico (Schlumberger, Wenner, dipolo-dipolo, Polo-dipolo, Polo-Polo, etc..).

Neste estudo será utilizado o método de eletrorresistividade, descrito a seguir.

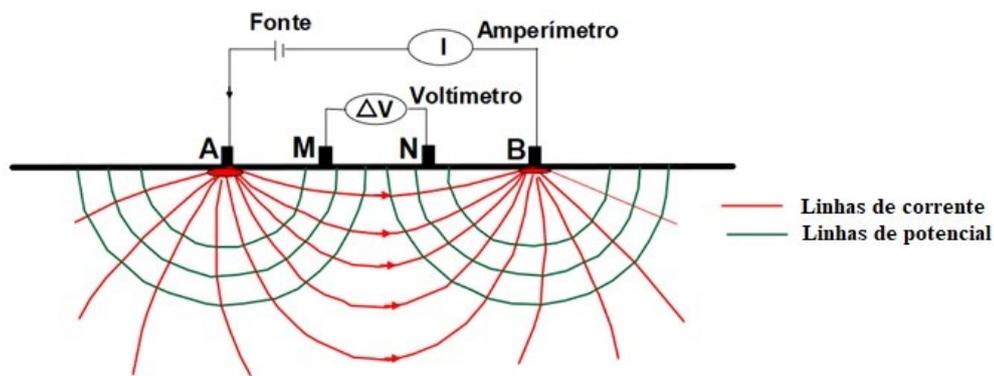
### **3.8. Método da Eletrorresistividade**

O método de eletrorresistividade é comumente utilizado para a aplicação de estudos ambientais e hidrogeológicos diante da sua sensibilidade à identificação de variações de propriedades elétricas do material geológico. Na presença de necrochorume e outros contaminantes os materiais geológicos sofrem alterações significativas dos seus parâmetros

naturais de resistividade elétrica (XAVIER, 2015). A resistividade do material na área sob investigação é medida a partir do fluxo de corrente elétrica gerada artificialmente por baterias ou geradores (ORELLANA, 1972).

O sistema é composto por quatro eletrodos, onde dois (A e B) são responsáveis por injetar corrente elétrica contínua e outros dois (M e N) são responsáveis por medir a diferença de potencial (d.d.p.) em coordenadas pré-estabelecidas (ORTEGA, 2006) (Figura 6).

**Figura 6.** Disposição dos eletrodos na superfície do terreno e fluxo de corrente.



Fonte: Feitas Filho (2006)

Em meios isotrópicos e homogêneos a resistividade elétrica dos materiais em subsuperfície é dada pela relação entre a d.d.p. medida e o conhecimento da corrente elétrica fornecida pela fonte (FREITAS FILHO, 2006). Esta relação corresponde a uma aplicação da lei de Ohm considerando-se também a geometria do arranjo de eletrodos empregado, cuja equação é:

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} K \quad (1)$$

em que  $\rho$  é a resistividade elétrica do material através do qual a corrente elétrica circula ( $\Omega.m$ ),  $\Delta V$  é a d.d.p. medida entre os eletrodos MN (V),  $I$  é a corrente elétrica fornecida pela fonte (A) e  $K$  é o fator geométrico que leva em consideração as distâncias entre os eletrodos AMNB do arranjo, dado por

$$K = \frac{2\pi}{(AM)^{-1} - (AN)^{-1} - (BM)^{-1} + (BN)^{-1}} \quad (2)$$

Porém, sabe-se que o material presente abaixo da superfície da Terra é heterogêneo e anisotrópico devido à complexidade geológica. Dessa forma, deve-se considerar que o valor

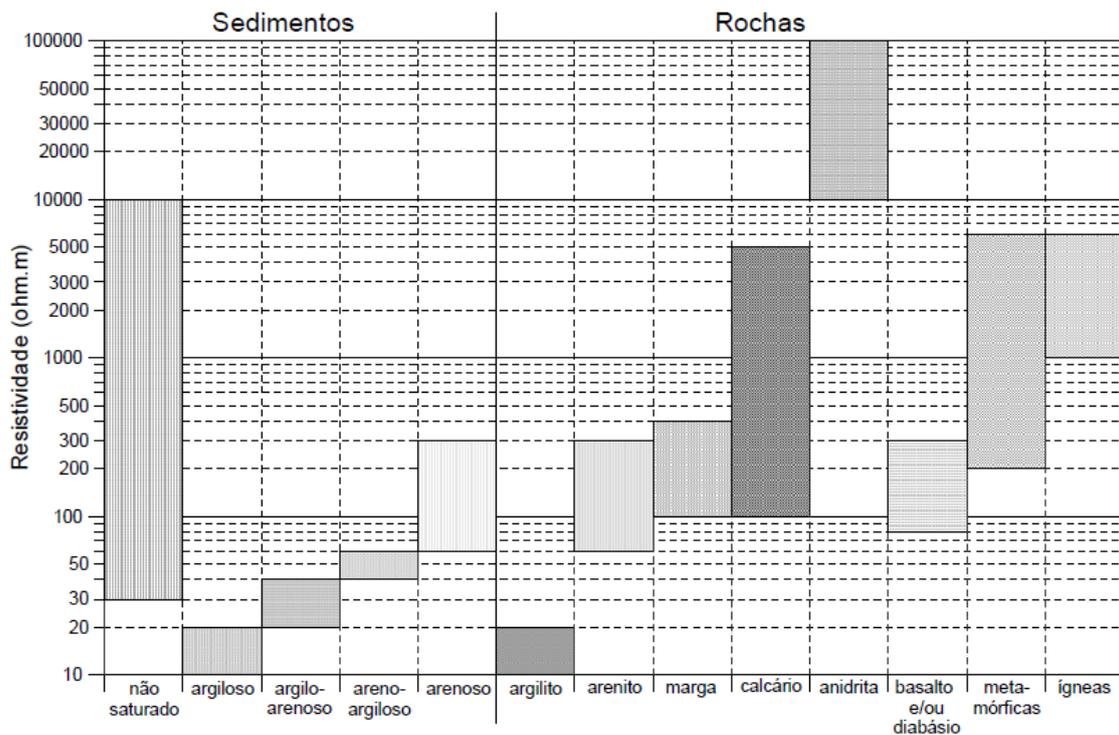
medido para cada posição dos eletrodos corresponde à uma resistividade elétrica aparente ( $\rho_a$ ). Sabendo disso, a equação (1) é reescrita como:

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} K \quad (3)$$

A análise e interpretação dos dados de resistividade aparente permitem elaborar modelos geoeletricos da região de estudo das variações de resistividade estimada para os materiais geológicos em função da profundidade e da distância sob a superfície. A partir do modelo geoeletrico é possível identificar as diferentes anomalias dos materiais em subsuperfície representadas através de valores de maior e menor resistividade, as quais podem ser correlacionadas às estruturas e condições geológicas do local investigado (GUERRA, 2010).

Segundo Ustra (2008) a resistividade dos solos e das rochas pode sofrer variações em função da sua composição mineralógica (Figura 7), porosidade/fraturas, teor em água, além da quantidade dos sais dissolvidos e sua natureza. Entre esses fatores, o grau de saturação do material e a quantidade de sais dissolvidos na água são os mais significativos, pois favorecem a condução da corrente elétrica e, conseqüentemente, levando a diminuição da resistividade da rocha. Portanto, um mesmo tipo litológico pode apresentar diversas variações de resistividades.

**Figura 7.** Faixa de variações nos valores de resistividade em solos, sedimentos e rochas.



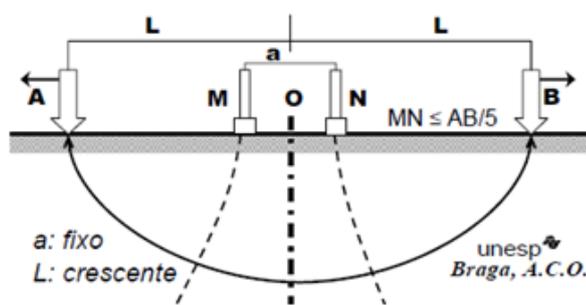
Fonte: Braga (2006).

### 3.8.1. Sondagem Elétrica Vertical - Schlumberger

A Sondagem Elétrica Vertical (SEV) tem a finalidade de fornecer um modelo geoeletrico unidimensional que possibilite a investigação da variação da resistividade dos materiais geológicos em função da profundidade. O arranjo empregado nesse trabalho foi arranjo Schlumberger devido à sua praticidade de operação, uma vez que requer um número menor de realocação de eletrodos de potencial do que o arranjo Wenner (TELFORD; GELDART; e SHERIFF, 1990). Segundo Braga (2006) as leituras neste tipo de arranjo estão menos suscetíveis a variações laterais dos parâmetros físicos medidos, irregularidades na superfície e ruídos por fontes artificiais, resultando numa interpretação mais próxima da realidade.

No arranjo Schlumberger a distância entre os eletrodos AB se expande gradativamente a cada ponto de medida enquanto a distância entre os eletrodos MN é mantida fixa enquanto for possível medir uma d.d.p. apreciável dentro dos limites do instrumento utilizado, sendo aumentada apenas quando a d.d.p. medida apresenta um valor abaixo deste limite. As medidas são adquiridas mantendo-se a simetria do arranjo em relação a um ponto central, definido como ponto das coordenadas da sondagem (Figura 8). A profundidade teórica da investigação é estimada empiricamente como sendo igual a 1/4 até 1/5 da distância máxima de afastamento entre os eletrodos AB (BRAGA, 2006).

**Figura 8.** Diagrama da sondagem elétrica vertical de arranjo Schlumberger.



Fonte: Braga (2006).

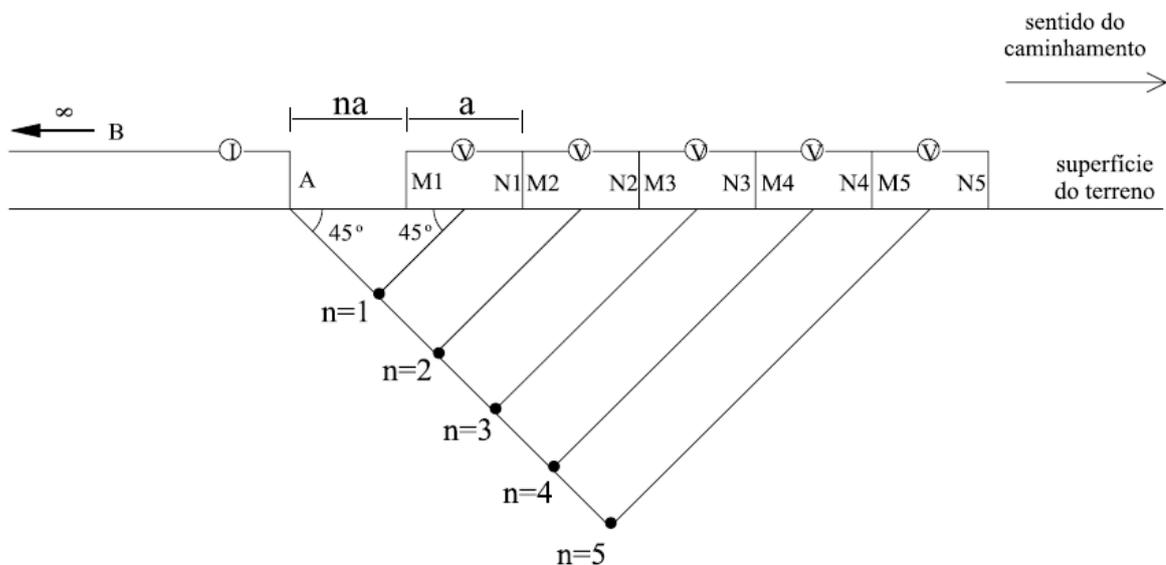
### 3.8.2. Caminhamento Elétrico – Polo-Dipolo

O Caminhamento Elétrico (CE) busca a investigação da continuidade lateral do cenário geológico ou de um determinado alvo na região de interesse. Esse método será utilizado no trabalho para a investigação e delimitação de possíveis plumas de contaminação.

O CE com arranjo polo-dipolo consiste em três eletrodos móveis ao longo do perfil de caminhada, sendo um de corrente (A) e dois de potencial (M e N) (Figura 9). A abertura do dipolo de medida de potencial se mantém constante ( $a = MN$ ), enquanto o eletrodo de corrente B é mantido fixo em um ponto distante o suficiente dos demais eletrodos para que possa ser considerado como estando localizado a uma distância infinita (GANDOLFO e GALLAS, 2007). Este procedimento continua até que se obtenha dados ao longo de todo o perfil de interesse.

A execução das medidas consiste em manter fixo o eletrodo de corrente (A) e afastando os eletrodos de potencial (MN) entre os eletrodos constante durante todo o perfil de interesse móveis profundidade da investigação cresce à medida que aumenta a distância expressa por “n a” dos eletrodos. Este procedimento continua até que se obtenha dados ao longo de todo o perfil de interesse.

**Figura 9.** Esquema do caminhamento elétrico de arranjo polo-dipolo.



Fonte: Gandolfo e Gallas (2007).

### 3.9. Parâmetros de Dar Zarrouk

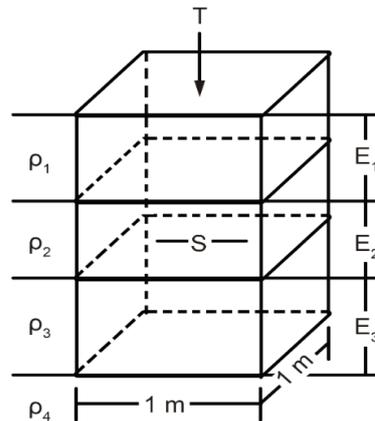
Esses parâmetros são utilizados para auxiliar na interpretação qualitativa do modelo geoeletrico final e estimar o grau de proteção natural do aquífero frente à contaminação. O cálculo é realizado a partir da aquisição dos valores de resistividade, espessura das camadas e a profundidade da zona saturada, e seu resultado é conhecido como condutância longitudinal (BRAGA, 2008).

Conforme Braga (2006), em um levantamento geoeletrico a corrente elétrica que circula em subsuperfície pode tomar sentido perpendicular ou paralela às camadas geológicas. Quando perpendiculares, as camadas se comportam como condutores em série, onde as resistências elétricas serão somadas. No fluxo paralelo (Figura 10), as resistências não podem ser somadas, sendo conveniente utilizar a sua inversa, a condutância longitudinal unitária dada por:

$$S = \sum_i^n \frac{E_i}{\rho_i} \quad (4)$$

em que  $S$  é a condutância longitudinal unitária dada em Siemens (S),  $n$  é o número de camadas do modelo geoeletrico,  $E_i$  é a espessura da  $i$ -ésima camada do modelo geoeletrico (m) e  $\rho_i$  é a resistividade elétrica estimada para a  $i$ -ésima camada do modelo geoeletrico ( $\Omega.m$ ).

**Figura 10.** Fluxo de corrente elétrica nas camadas.



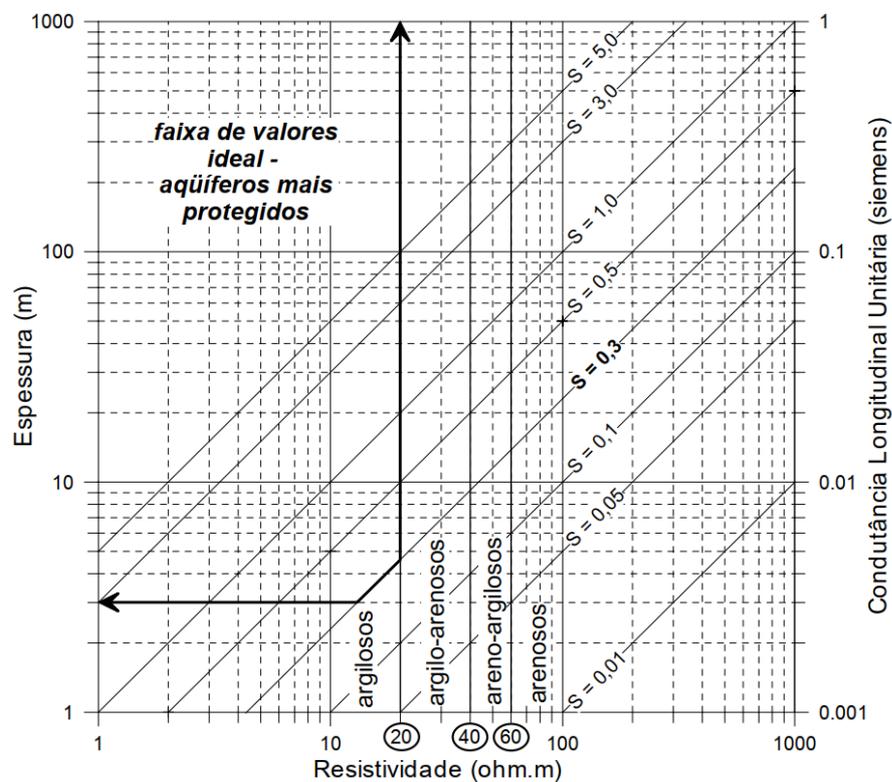
Fonte: Orellana (1972).

Os valores da condutância longitudinal unitária das camadas que estão logo acima do aquífero vão estimar o seu grau de proteção natural frente a um contaminante migrando de forma vertical. Quanto maior o valor da condutância longitudinal unitária, maior o grau de proteção devido à espessura da camada sobrejacente, pois isto acarretará uma lenta percolação

do contaminante através da mesma. Os valores de baixa resistividade da camada também podem ser um bom indicativo, pois os materiais argilosos apresentam baixa permeabilidade (BRAGA, 2008).

Considerando as relações desses parâmetros, os valores de  $S \geq 1,0$  Siemens para as camadas sobrejacentes ao aquífero são os mais protegidos frente a contaminantes e aqueles abaixo de 0,3 Siemens apresentam extrema vulnerabilidade (Figura 11) (BRAGA, 2006).

**Figura 11.** Faixa de proteção dos aquíferos a partir dos valores de condutância longitudinal unitária.



Fonte: Braga (2006).

### 3.10. Contexto Geológico, Hidrogeológico e Pedológico

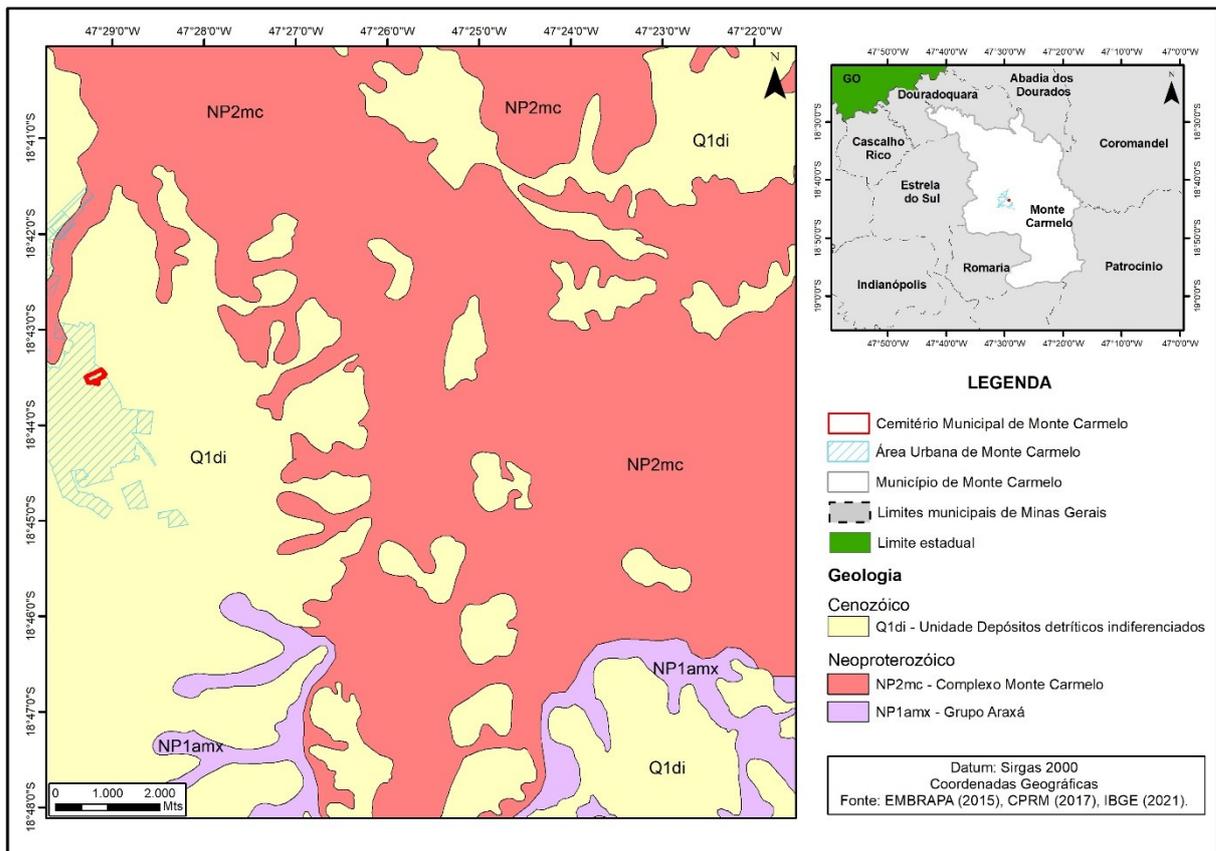
#### 3.11.1. Geologia

A cidade de Monte Carmelo está situada no contexto da Faixa de Dobramentos Brasília no que se refere ao Domínio Interno da Faixa Brasília Meridional, sendo essa uma das faixas orogênicas que compõe a Província Tocantins (UHLEIN *et al.*, 2012; VALERIANO *et al.*, 2004), compreendendo sequências de rochas metassedimentares, metavulcânicas, ofiolíticas

(BROD *et al.* 1992) e rochas graníticas intrusivas (SEER e MORAES, 2013), sendo esse setor representado pelo Grupo Araxá, Complexo Monte Carmelo e Complexo Abadia dos Dourados (FUCK, *et al.*, 1994; FÉBOLI, 2017). Em algumas porções, o embasamento se encontra encoberto por rochas da Bacia do Paraná, o qual se configura como do tipo intracratônica de deposição sedimentar-magmática, cuja espessura pode atingir alguns milhares de metros (MILANI *et al.*, 2007).

Segundo o mapeamento geológico 1:100.000 folha Monte Carmelo – SE.23-Y-A-V realizado pela CPRM a área de estudo está inserida na unidade formada por coberturas detríticas indiferenciadas formadas por sedimentos arenosos, areno-argilosos e argilo-siltosos, inconsolidados, localmente com ocorrência de canga e níveis de cascalho (CPRM, 2015). Próximo à área de estudo afloram rochas do Complexo Monte Carmelo e do Grupo Araxá.

**Figura 12.** Mapa geológico da área de estudo.



Fonte: O Autor (2023)

O Grupo Araxá foi definido por Barbosa *et al.*, (1970) como uma extensa faixa litológica constituída por rochas metassedimentares essencialmente representadas por micaxistos e quartzitos

com intercalações de anfíbolitos, dividindo a unidade em A e B. Definiu-se a unidade A composta por quartzitos, micaxistos granádíferos e xistos feldspáticos, podendo conter turmalina e cordierita. A unidade B foi diferenciada por conter intercalações de quartzitos e lentes de mármore (BARBOSA *et al.*, 1970).

Seer (1999) enfatiza que essas rochas sofreram metamorfismo de fácies xisto verde à anfíbolito. Para Seer *et al.* (2007), o Grupo Araxá na região de Monte Carmelo é representado por um sistema de escamas tectônicas separadas por zonas de cisalhamento sub-horizontais, com direção geral NW, agrupadas na *Nappe* Monte Carmelo. Conforme a folha Monte Carmelo – SE.23-Y-A-V (CPRM, 2017) as rochas do respectivo grupo presentes próximos à área de estudo são (Granada)-micaxistos com presença com níveis de quartzitos e turmalinitos.

O complexo Monte Carmelo corresponde a um batólito que se estende entre as cidades de Abadia dos Dourados e Monte Carmelo (SEER e MORAIS, 2013). Ocorre na forma de intrusão granítica de caráter sintectônica em micaxistos do grupo Araxá, com intercalações de anfíbolitos, ocasionalmente apresentando veios pegmatóides associados ao desenvolvimento de zonas de cisalhamento de baixo ângulo em regime compressional (BROD *et al.*, 1991; FEBOLI, 2017; SEER e MORAIS, 2013). Os granitoides podem ser classificados em quatro litotipos principais descritos como tonalitos, granodioritos, sienogranitos e monzogranitos, apresentando cor cinza esbranquiçada a amarelada, granulação fina a grossa, equigranular e texturas variando de granoblástica, porfiroclástica inequigranular, cataclástica e milonítica (PINHO *et al.*, 2017; SEER e MORAIS, 2013).

### 3.10.1. Hidrogeologia

O contexto hidrogeológico da cidade de Monte Carmelo é formado por embasamento fraturado indiferenciado que engloba uma série de tipos litológicos abrangendo os metassedimentos, granitos e rochas vulcânicas. Mais distante da área do estudo, são encontradas as unidades sedimentares do Grupo Bauru, prevalecendo o sistema aquífero livre a semiconfinado (CPRM, 2015).

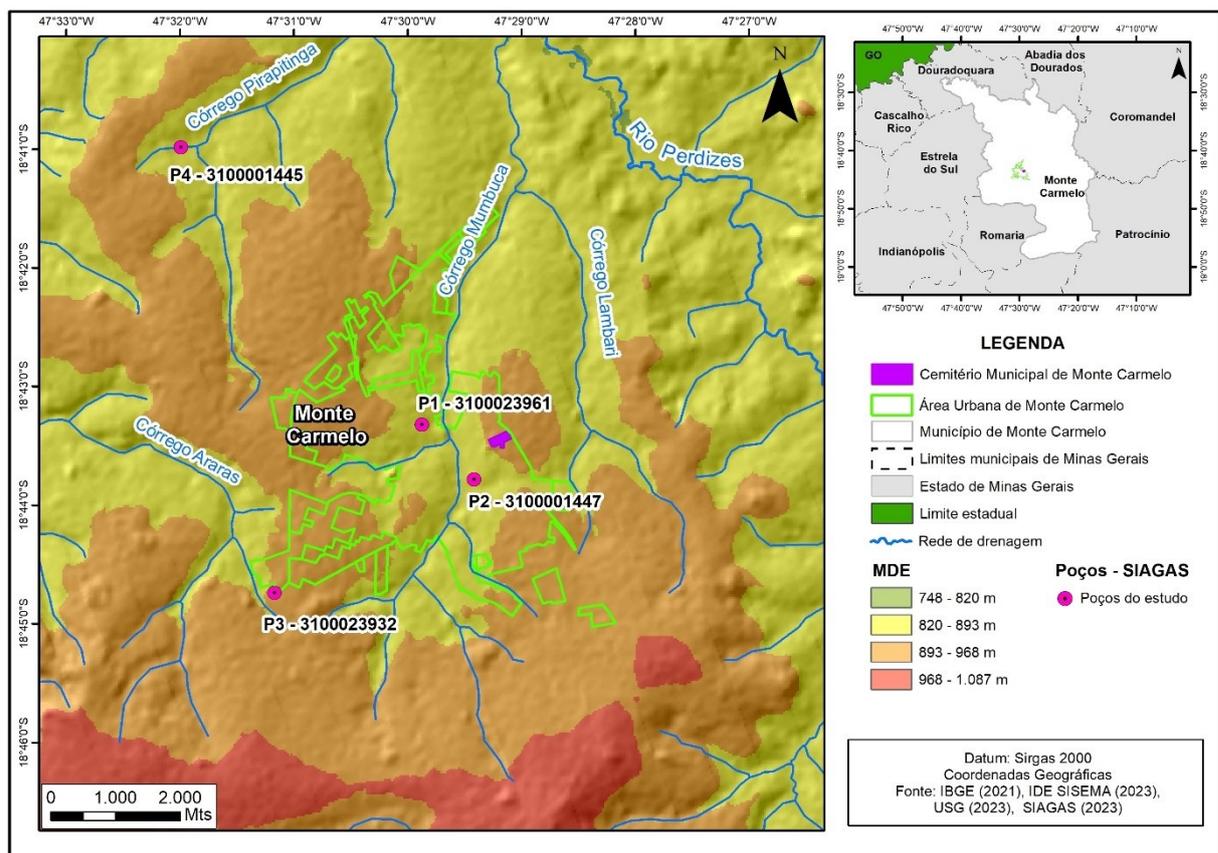
O município está inserido na bacia do Rio Paranaíba que compreende a bacia hidrográfica o Rio Perdizes, sendo essa responsável por 55% do abastecimento hídrico da cidade captando água dos seus tributários: córregos Mumbuca, Santa Bárbara e Lambari. Os outros 45% são de poços tubulares profundos (PMSB, 2013).

O município contém 82 poços cadastrados no banco de dados da plataforma do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas – SIAGAS que disponibiliza informações sobre

localização, perfil litológico, hidrogeológico e construtivo, dentre outras menos relevantes para o estudo em forma de fichas técnicas. Porém apenas 17 destes apresentam o perfil geológico. São observadas 4 unidades geológicas distintas: basaltos da Formação Serra Geral, arenitos da Formação Marília, granitos do Complexo Monte Carmelo e micaxistos do Grupo Araxá (SIAGAS, 2023).

Foram selecionados 4 poços para serem utilizados como parâmetros hidrogeológico e litológico em subsuperfície (Figura 13). Os poços P1, P2 e P3 se encontram na área urbana do município e foram escolhidos considerando a proximidade do cemitério. Já o P4 foi selecionado para obtenção de informações das variações litológicas em profundidade até alcançar a unidade xistosa do Grupo Araxá presente na folha Monte Carmelo – SE.23-Y-A-V.

**Figura 13.** Mapa de localização dos poços.



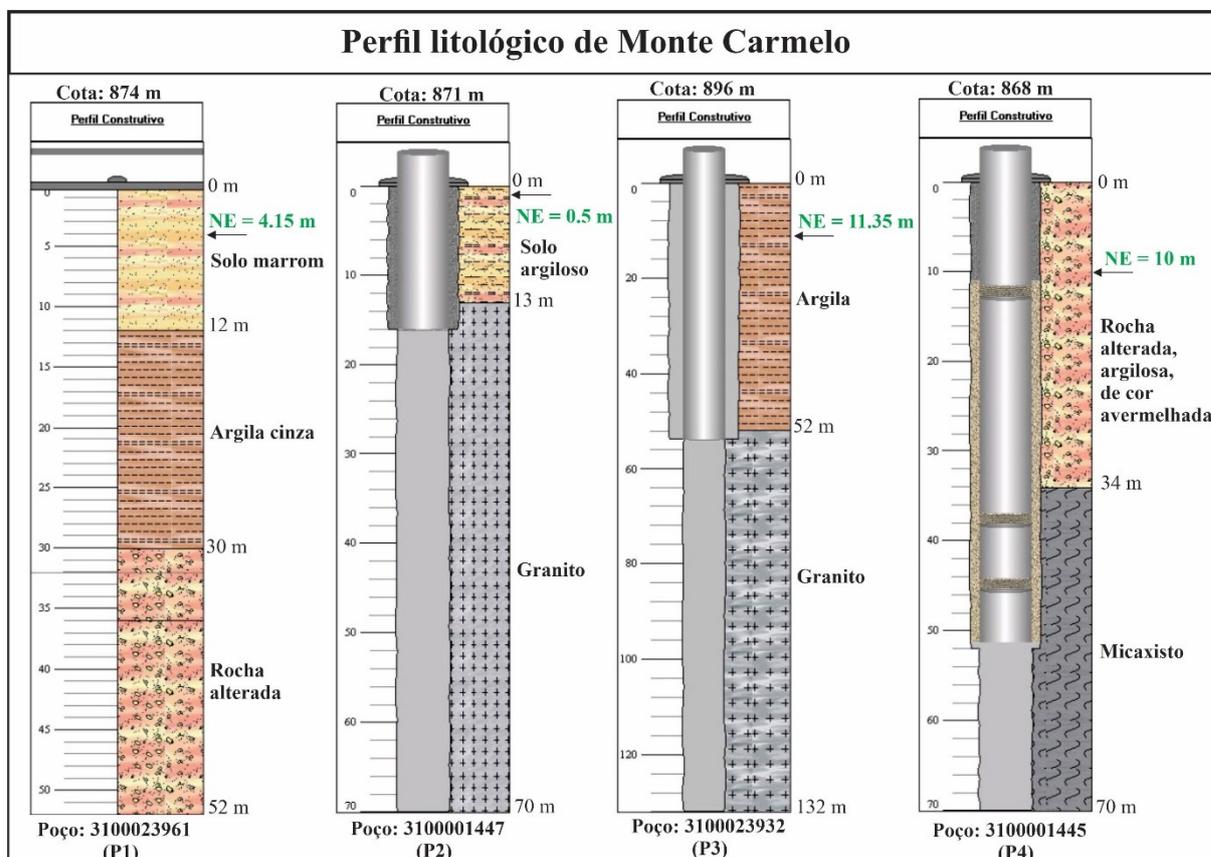
Fonte: O Autor (2023)

Os poços P1 e P2 apresentam um espesso perfil de solo que inicia da superfície do terreno até o material rochoso e foram caracterizadas como solo, solo argiloso ou solo de alteração. O embasamento granítico do Complexo Monte Carmelo foi observado em 13 metros

de profundidade no poço P2, localizado à jusante da área de estudo e próximo ao córrego Mumbuca, e seu nível estático (NE) em 0.5 metros. No poço P3, o granito foi atingido em 52 metros de profundidade e o NE em 11.35 metros. A grande variação da profundidade do embasamento é devido a diferença da cota altimétrica entre os poços, de 871 metros do P2 para 896 metros do poço P3. Já o cemitério, está em média a 900 metros de altitude.

O poço P3 registrou o micaxisto do Grupo Araxá em 34 metros de profundidade e o NE em 10 metros. O poço P1 contém 52 metros de perfuração e não atingiu o embasamento rochoso.

**Figura 14.** Perfis litológicos descritivos de poços próximos a área de estudo.

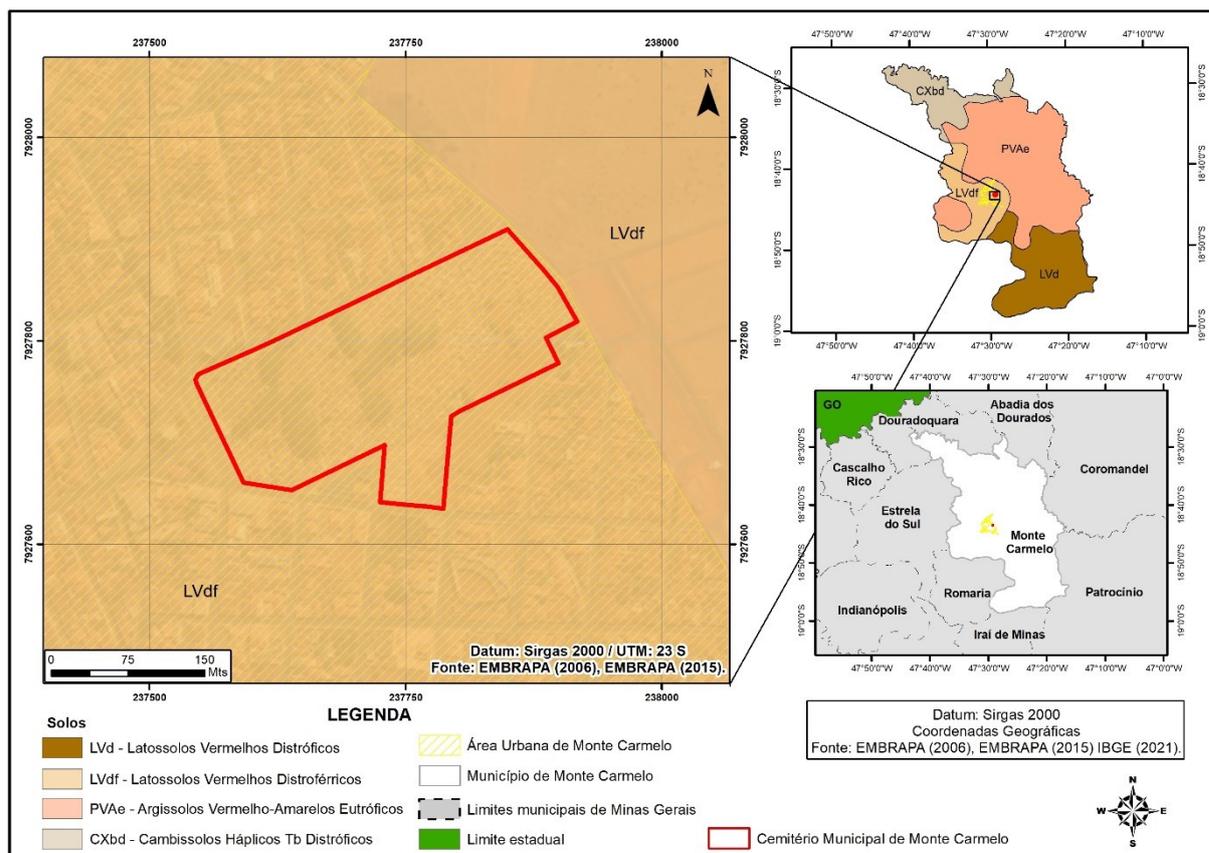


Fonte: Modificado de SIAGAS (2023).

### 3.12.1. Solo

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (2006), na cidade de Monte Carmelo ocorrem latossolos, cambissolos e argissolos, embora os latossolos ocupem a totalidade da área de estudo como demonstrado na figura 15.

**Figura 15.** Mapa de solos presentes no município e na área de estudo.



Fonte: O Autor (2023).

Os latossolos são normalmente solos profundos, bem evoluídos, com atuação expressiva dos intemperes, constituídos por argilominerais resistentes e/ou óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. O critério para classificar um latossolo é a presença de um horizonte B incipiente e que procede para um horizonte A com um aumento quase nulo ou pouco acentuado no teor de argila (SIBCS, 2018).

A EMBRAPA (2006) ainda classifica os solos presentes na área de estudo (Figura 15) seguindo o terceiro nível categórico como latossolos vermelhos distrofêrricos. Esses solos apresentam características de baixa saturação ( $V < 50\%$ ) e altos teores de óxido de ferro ( $Fe_2O_3$ ), ambos na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) (SIBCS, 2018).

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 4.1. Área de Estudo

O cemitério atualmente possui aproximadamente de 53.000 m<sup>2</sup> de área. Desde então, foram realizados aproximadamente 46.000 sepultamentos, uma média de 523 sepultamentos/ano ou 1,4 por dia (informação verbal<sup>1</sup>). A área do cemitério é dividida em blocos semirregulares onde seus sepultamentos são realizados em estruturas de concreto conhecidos como carneiros (Figura 16B) e outros diretamente ao solo (Figura 16A). Em ambos os casos a eventual percolação do necrochorume ocorre diretamente no solo.

**Figura 16.** Locais destinados aos sepultamentos no Cemitério Municipal de Monte Carmelo. **A)** Vala para sepultamento direto ao solo. **B)** Valas em estruturas de concreto (carneiros).



Fonte: O Autor (2023).

O solo presente na área de estudo é o latossolo vermelho e corresponde com o mapeamento feito pela EMBRAPA (2006). Os sepultamentos realizados diretamente ao solo ocorrem em valas de aproximadamente 90 cm de profundidade destinadas àqueles indivíduos que, por condições financeiras ou opção dos familiares, não tiveram o investimento necessário para o sepultamento em carneiras. Ainda foram observadas cavidades sobre alguns sepultamentos no local (Figura 17). O retrabalhamento do solo e a formação dessas estruturas deixa o ambiente ainda mais vulnerável à percolação das águas das chuvas, que podem facilitar o transporte do necrochorume em profundidade.

<sup>1</sup> Coveiros e funcionários presentes no local durante a aquisição dos dados.

**Figura 17.** Cavidades observadas sobre alguns dos sepultamentos no local de aquisição do perfil denominado CE02.



Fonte: O Autor (2023).

O abastecimento hídrico do empreendimento é responsabilidade do Departamento Municipal e Água e Esgoto – DMAE e uma das suas unidades de distribuição urbana faz vizinhança com o cemitério (Figura 18). Não há informações sobre a existência de poços de captação presente na unidade.

**Figura 18.** Reservatório que faz parte do sistema de abastecimento hídrico da cidade.

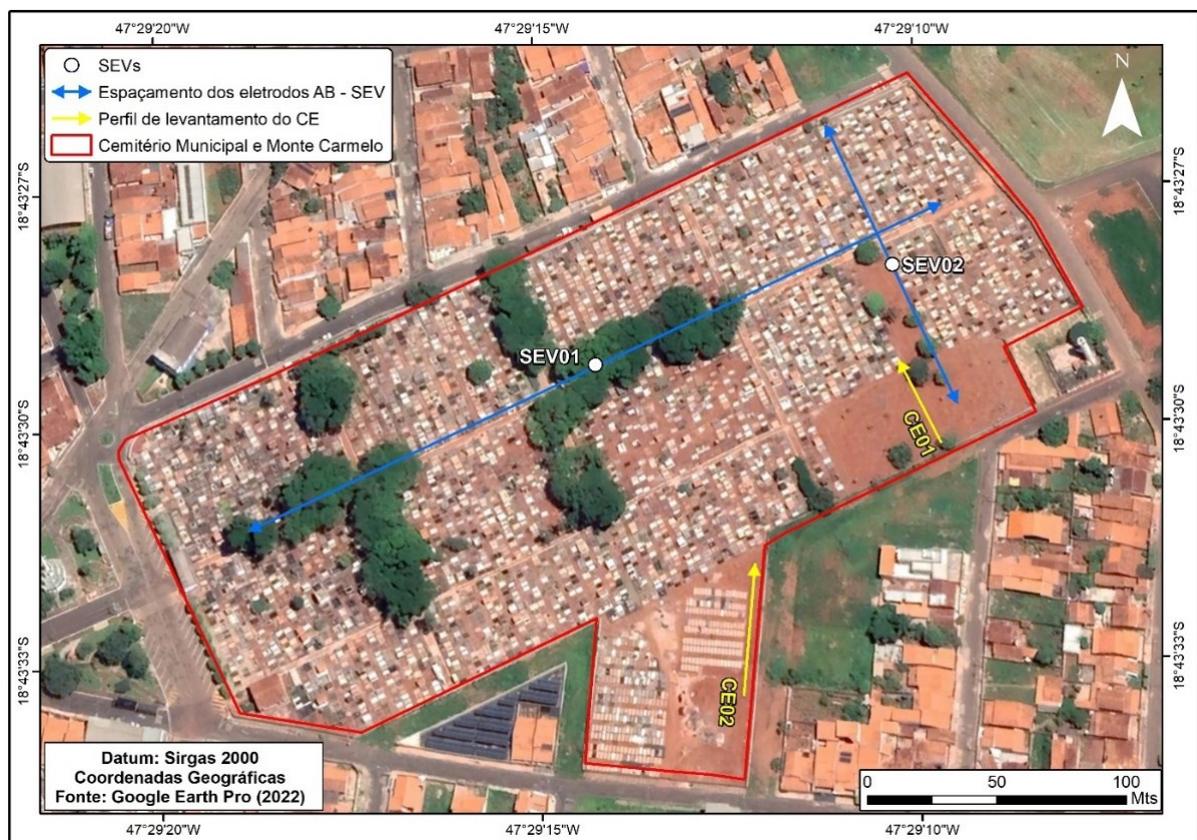


Fonte: O Autor (2023).

## 4.2. Aquisição de Dados

Para a caracterização do estudo foi aplicado o método da eletrorresistividade utilizando-se 2 levantamentos de sondagem elétrica vertical (SEV) por meio do arranjo Schlumberger e 2 de caminhamento elétrico (CE) através do arranjo polo-dipolo (Figura 19). Os levantamentos de campo foram realizados nos dias 21, 22 e 23 de junho de 2023, período seco do ano. Segundo as estações pluviométricas da Cooxupé (2023) o mês de junho choveu apenas 38 mm nos dias 15 e 16.

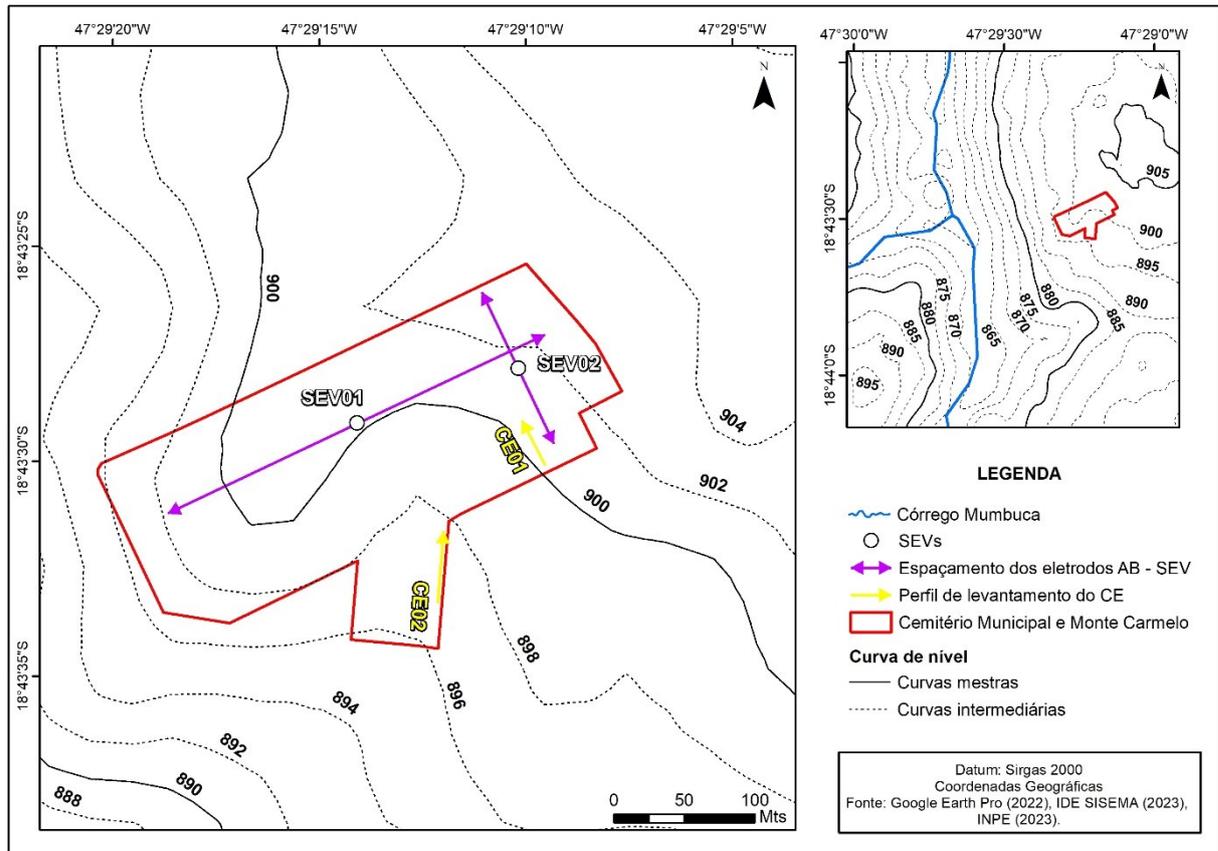
**Figura 19.** Mapa de localização dos levantamentos geofísicos.



Fonte: O Autor (2023).

A superfície do terreno do cemitério apresenta baixa declividade, com cotas mais altas de 902 metros e mais baixas entre 896 metros e seguem diminuindo sentido ao córrego Mumbuca. A figura 20 demonstra que os espaçamentos dos eletrodos da SEV01 foram realizados acompanhando a declividade do terreno, podendo sofrer pequenas distorções dos dados. Os caminhamentos elétricos e a SEV02 foram levantados perpendicular ao gradiente topográfico.

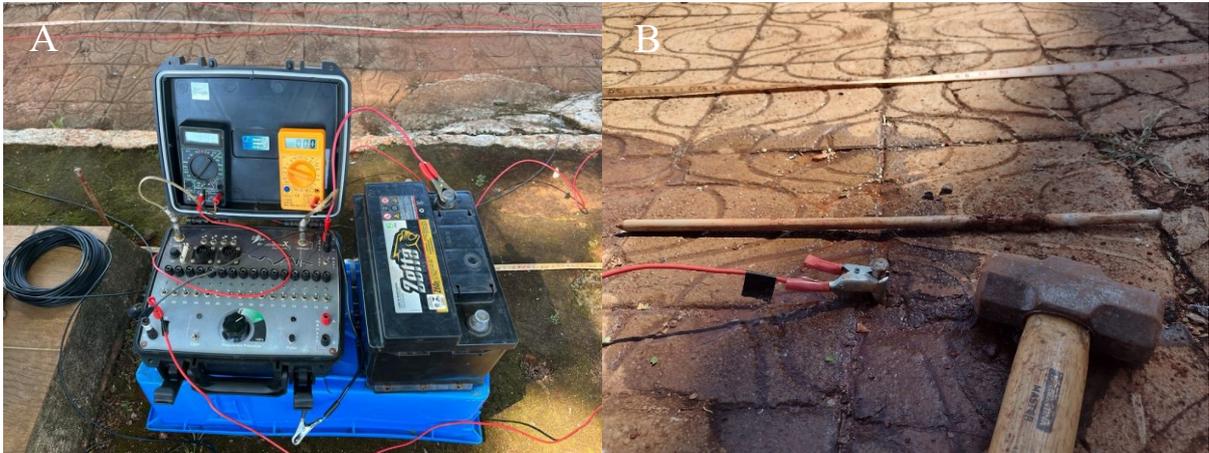
**Figura 20.** Mapa de curvas de nível da área de estudo e limites dos levantamentos geofísicos.



Fonte: O Autor (2023).

O equipamento utilizado para aquisição dos dados foi o Resistivímetro *X5Xtal Control* (Auto Energia), que constitui o módulo de potência e que requer dois multímetros externos para medida dos valores de corrente elétrica e diferença de potencial. Os multímetros usados foram um modelo ET-1000 (Minipa) e um modelo DT830B (Kokay) para medida do potencial elétrico e da corrente elétrica, respectivamente (Figura 21A). Apesar de serem modelos diferentes, ambos possuem as mesmas funcionalidades. A fonte de corrente utilizada foi uma bateria Z60d 12V/60Ah (Zetta). A figura 21B ilustra a necessidade observada de se aprofundar o eletrodo no solo em determinados pontos da aquisição para que se pudesse conseguir um valor aceitável para a resistência de contato.

**Figura 21.** Instrumentação e ferramentas de campo. **A)** Resistivímetro, baterias e cabos. **B)** Eletrodos, cabo com garras tipo "jacaré" e martelo.



Fonte: O Autor (2023).

As SEVs foram executadas com a finalidade de fornecer modelos geoeletricos unidimensionais (1D) da variaçao da resistividade elétrica em profundidade para a interpretação das condições geológicas em subsuperfície e determinar o nível freático.

A técnica de levantamento consistiu na execução do arranjo de eletrodos Schlumberger. A SEV01 foi locada no corredor principal do cemitério com intuito de obter uma maior abertura dos eletrodos AB e, conseqüentemente, maiores profundidades de investigação. O ponto central desta sondagem localiza-se nas coordenadas geográficas  $18^{\circ}43'29.22''S$  e  $47^{\circ}29'13.93''W$ . O espaçamento AB/2 iniciou em 1 metro aumentando gradativamente até 147 metros devido à limitação imposta pela potência máxima do instrumento. A SEV02 foi alocada nas coordenadas geográficas  $18^{\circ}43'28.02''S$  e  $47^{\circ}29'10.01''W$  e seu espaçamento AB/2 iniciou em 1,5 metros com um espaçamento máximo de 60 metros devido aos muros que delimitam a área do cemitério. Ambas as SEVs estão representadas na figura 22.

**Figura 22.** A) Espaçamento AB no corredor principal do cemitério da SEV01. B) Ponto central da investigação da SEV02.



Fonte: O Autor (2023).

Os CEs tiveram como objetivo a investigação da continuidade lateral do cenário geológico raso para identificar e delimitar possíveis plumas de contaminação. Foram realizados 2 perfis estrategicamente em locais onde os sepultamentos ocorrem diretamente ao solo, por serem os mais vulneráveis à contaminação pela percolação de necrochorume. Os CEs foram alocados ainda em locais com sepultamentos de épocas diferentes. O CE1 foi realizado em uma área com sepultamentos relativamente mais antigos (5 a 15 anos), enquanto o CE2 foi realizado em uma área com sepultamentos mais recentes (1 a 2 anos) e sendo parte destes destinados a óbitos decorrentes da infecção por SARS-CoV-2 durante o período de emergência sanitária.

O arranjo proposto inicialmente para a aquisição dos dados foi o dipolo-dipolo pela maior resolução proporcionada e facilidade operacional em campo, porém após a aquisição dos primeiros pontos de dados observou-se a rápida redução da razão sinal/ruído na aquisição dos níveis mais profundos, limitando a investigação em profundidade. Como alternativa, foi empregado arranjo polo-dipolo que fornece uma melhor razão sinal/ruído a maiores profundidades de investigação. Por outro lado, o arranjo polo-dipolo apresenta maiores distorções dos alvos de investigação devido ao uso de um único eletrodo de corrente (GANDOLFO E GALLAS, 2007)

Cada levantamento consistiu em um perfil de 10 níveis de investigação em profundidade e eletrodos móveis com abertura ( $a=MN$ ) igual a 1. O eletrodo de corrente (B) foi posicionado fixo na distância considerada infinita, a 95 m de distância do início de cada CE. O CE01 iniciou nas coordenadas geográficas  $18^{\circ}43'30.28''S$  e  $47^{\circ}29'9.39''W$  e obteve um perfil de investigação

de 35 metros, já o CE02 teve início nas coordenadas geográficas  $18^{\circ}43'33.46''\text{S}$  e  $47^{\circ}29'12.02''\text{W}$  e contou com um perfil de 50 metros de extensão.

**Figura 23.** Locais dos caminhamentos elétricos, em **A)** CE01 e **B)** CE02.



Fonte: O Autor (2023).

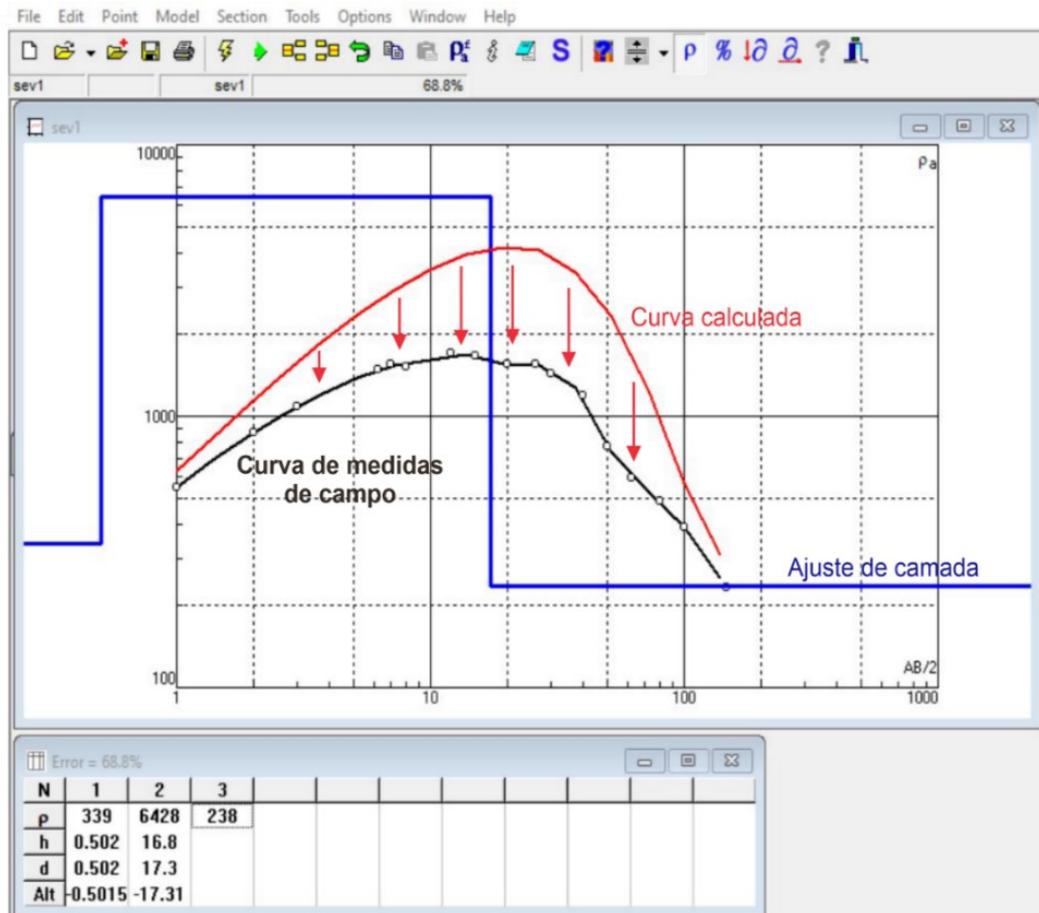
#### 4.3. Processamento dos Dados

As medidas de resistividades obtidas nos levantamentos de campo foram compiladas e posteriormente processadas em *softwares* apropriados. A modelagem e inversão dos dados de campo foram utilizadas para gerar modelos mais prováveis da distribuição da resistividade em subsuperfície.

A inversão dos dados das SEVs foi realizada através do programa IPI2Win versão 2.1 (Geoscan-M Ltda) que permitiu gerar um modelo geológico final através do ajuste mais próximo da curva calculada à curva da resistividade aparente medida em campo (Figura 24).

Diante disso, introduziu-se o número de camadas mínimo necessário para que as curvas se ajustem o máximo buscando o menor erro quadrático médio (*Root Mean Square* - RMS) possível. Os ajustes podem ser feitos de forma automática ou manual, sendo que o ajuste lateral influencia na espessura da camada e o ajuste vertical no valor da resistividade aparente.

Figura 24. Exemplo de ajuste do modelo geolétrico no IPI2win.

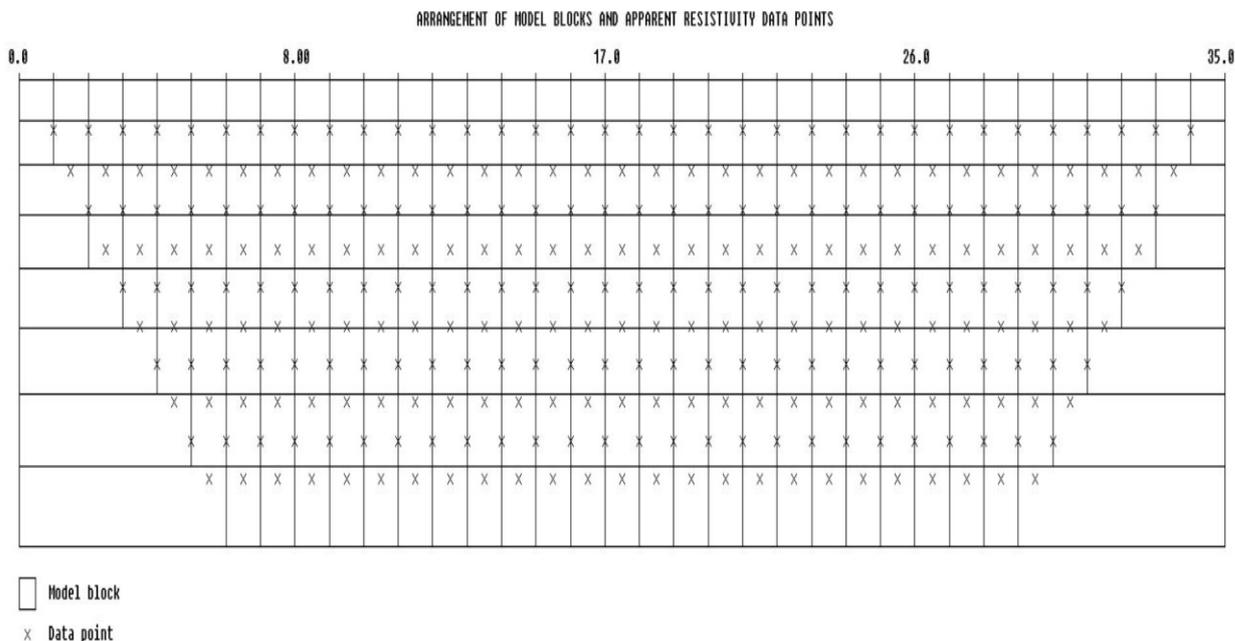


Fonte: O Autor (2023).

Para o processamento e inversão dos dados dos CEs utilizou-se o RES2DINV versão 4.10.3 (Geotomo – Malásia). O programa divide o modelo em blocos retangulares de tamanhos iguais em conformidade com a distribuição dos dados na pseudo-seção de resistividade como demonstrado na figura 25.

A diferença entre a pseudo-seção gerada pelo programa dos valores de resistividade aparente medidos em campo é exposta pelo valor do RMS que pode ser maior quando há pontos com medidas imprecisas que sofreram interferências de ruídos intrínsecos presentes a área ou pelo mal contato dos eletrodos dificultando o processamento dos dados afim de gerar um modelo mais preciso. O *software* permitiu visualizar os pontos imprecisos através de um histograma e eliminá-los de forma sistemática. O modelo gerado após a eliminação dos pontos foi comparado com o modelo original para que o ajuste fosse coerente com as medidas de campo, evitando erros interpretativos que poderiam enviesar os dados.

**Figura 25.** Dados do levantamento CE01 distribuídos em blocos retangulares.



Fonte: Modificado de RES2DINV versão 4.10.3 (2023).

#### 4.4. Interpretação dos Dados.

A interpretação dos dados geofísicos é um trabalho muito subjetivo já que uma mesma litologia pode apresentar uma grande variação dos valores médios de resistividade elétrica. Diante disso, é fundamental a compreensão do contexto geológico da área.

As informações variações litológicas em profundidade referente às unidades geológicas presentes no município foram obtidas a partir dos poços cadastrados na plataforma do SIAGAS para auxiliar no modelo geoeletrico final das SEVs. É importante frisar que não existem poços perfurados na área de estudo para a calibração precisa do modelo, o que torna a interpretação geofísica menos precisa.

A partir do conhecimento bibliográfico sobre a geologia do município, foi elaborada uma tabela (Tabela 2) com uma estimativa para a faixa de variação de resistividade elétrica das respectivas litologias, seguindo os valores de referência pré-estabelecidos por Braga (2006) e Reynolds (1997).

**Tabela 2.** Variação da resistividade elétrica para cada material geológico proposto.

<b>Material</b>	<b>Resistividade (Ohm.m)</b>
Solo muito seco	30 – 10000
Argilas	1 – 100
Areia e cascalho	20 – 225
Solo areno-argiloso	30 – 215
Solo arenoso	60 – 1050
Solo laterítico	120 - 750
Granito	1000 - 6000
Granito intemperizado	300 - 500
Micaxisto	20 - 40000

Fonte: Modificado de Reynolds (1997) e Braga (2006).

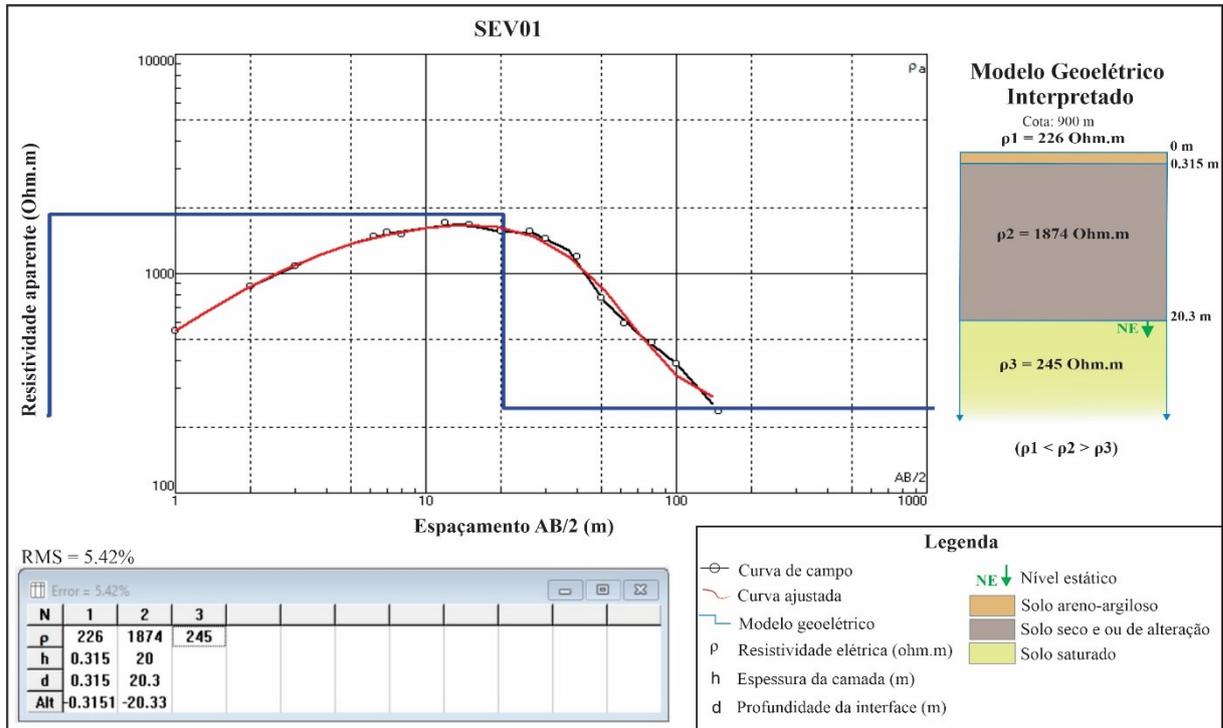
## **5. RESULTADOS**

### **5.1. Sondagem Elétrica Vertical**

As SEVs estão expressas em curvas bilogarátmicas. Os resultados apresentaram um comportamento similar, com aumento gradual dos valores de resistividade elétrica aparente de acordo com o aumento da abertura AB até encontrar uma redução nos valores devido à influência da zona saturada na última camada.

A SEV01 (Figura 26) foi modelada com 3 camadas geoeletricas ( $\rho_1 < \rho_3 < \rho_2$ ) com um erro quadrático médio de 5.42% e com a interface mais profunda identificada à profundidade de 20.3 metros. As três primeiras camadas geoeletricas correspondem à zona não saturada, e a zona de saturação é vista a partir da terceira camada.

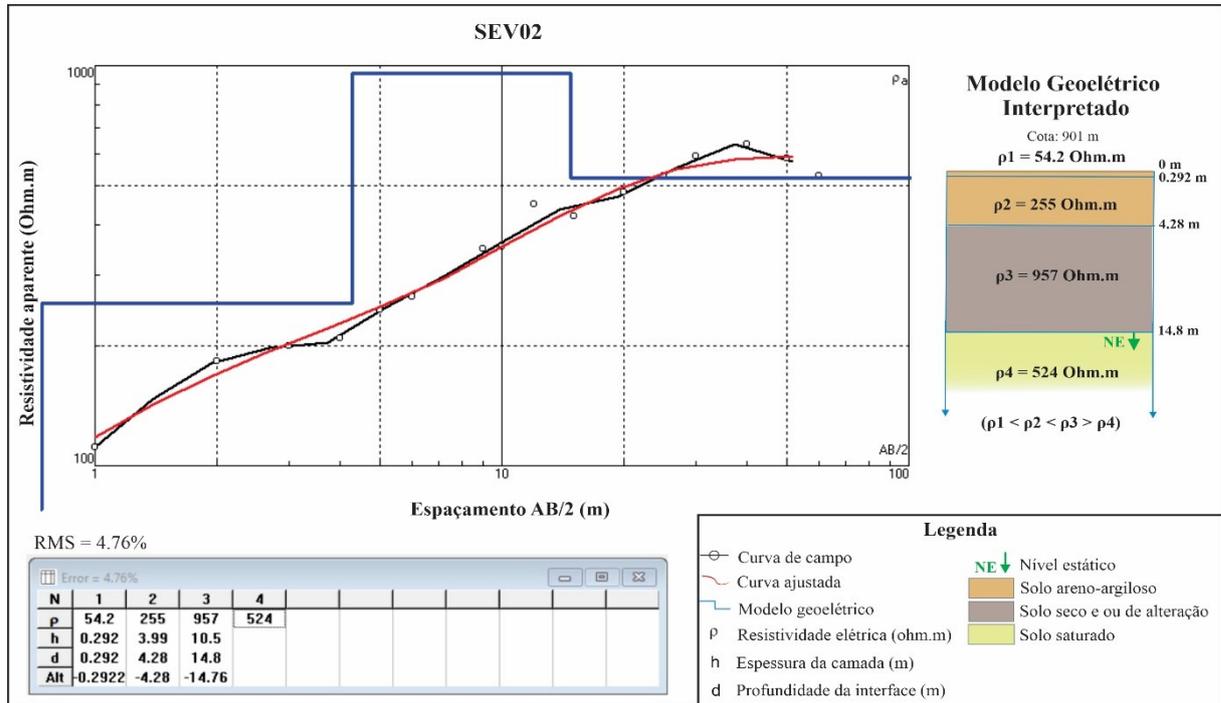
**Figura 26.** Curva bilogarítmica da resistividade aparente vs espaçamento AB/2 da SEV01 e seu modelo geoeétrico interpretado.



Fonte: O Autor (2023).

A interface mais profunda da SEV02 (Figura 27) foi determinada à profundidade de 14.8 metros e utilizou-se 4 camadas para o modelo geoeétrico ( $\rho_1 < \rho_2 < \rho_4 < \rho_3$ ) com um erro quadrático médio de 4.76%. A zona não saturada da SEV02 corresponde as 3 primeiras camadas e a zona de saturação é vista na quarta camada.

**Figura 27.** Curva bilogarítmica da resistividade aparente vs espaçamento AB/2 da SEV02 e seu modelo geoeétrico interpretado.



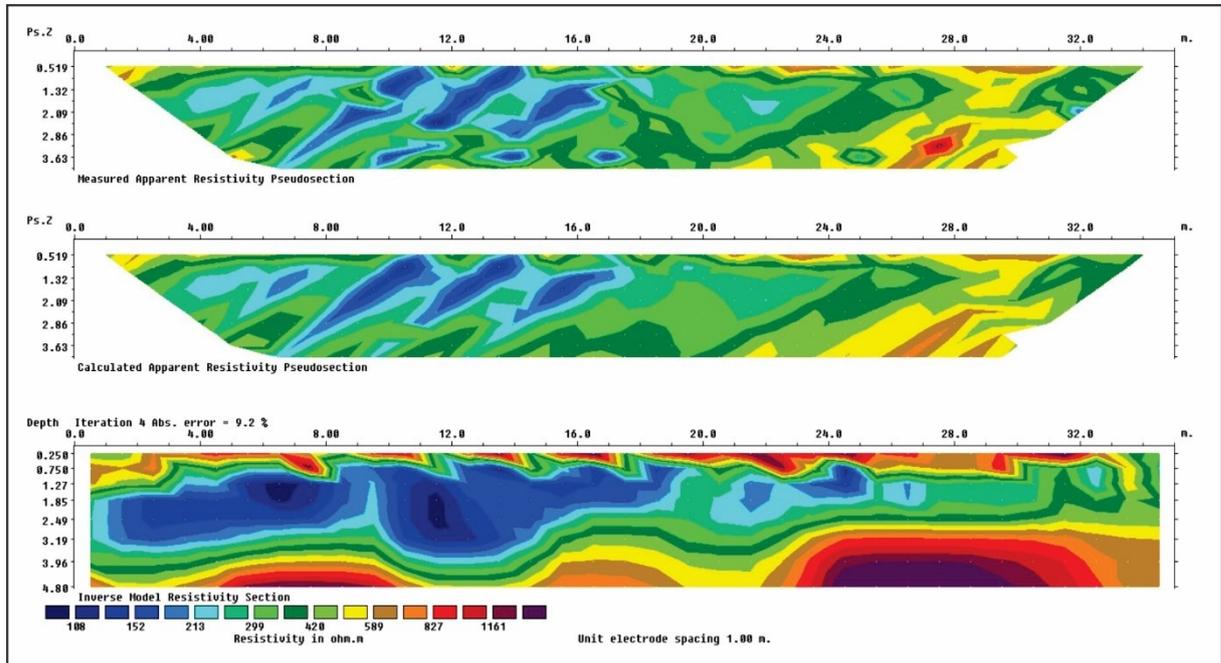
Fonte: O Autor (2023).

## 5.2. Caminhamento Elétrico

A partir dos dados dos perfis de caminhamento elétrico realizados foram geradas pseudo-seções das resistividades aparentes obtidas em campo, de resistividade aparente calculada pelo melhor modelo inverso e o modelo inverso propriamente dito. Os limites resistivos/condutores fundamentaram a interpretação prévia do ambiente geológico em subsuperfície.

O CE01 (Figura 28) obteve um perfil de investigação de 35 metros de comprimento e as variações de resistividade permitiram observar zonas anômalas de baixa resistividade (104 a 213 Ohm.m) que ascende desde a superfície, percolando sobre o solo areno-argiloso superficial (299 a 589 Ohm.m). Os materiais mais resistíveis (827 a 1161 Ohm.m) são observadas após 3.19 metros e de forma mais pontual na superfície do terreno e em profundidades rasas.

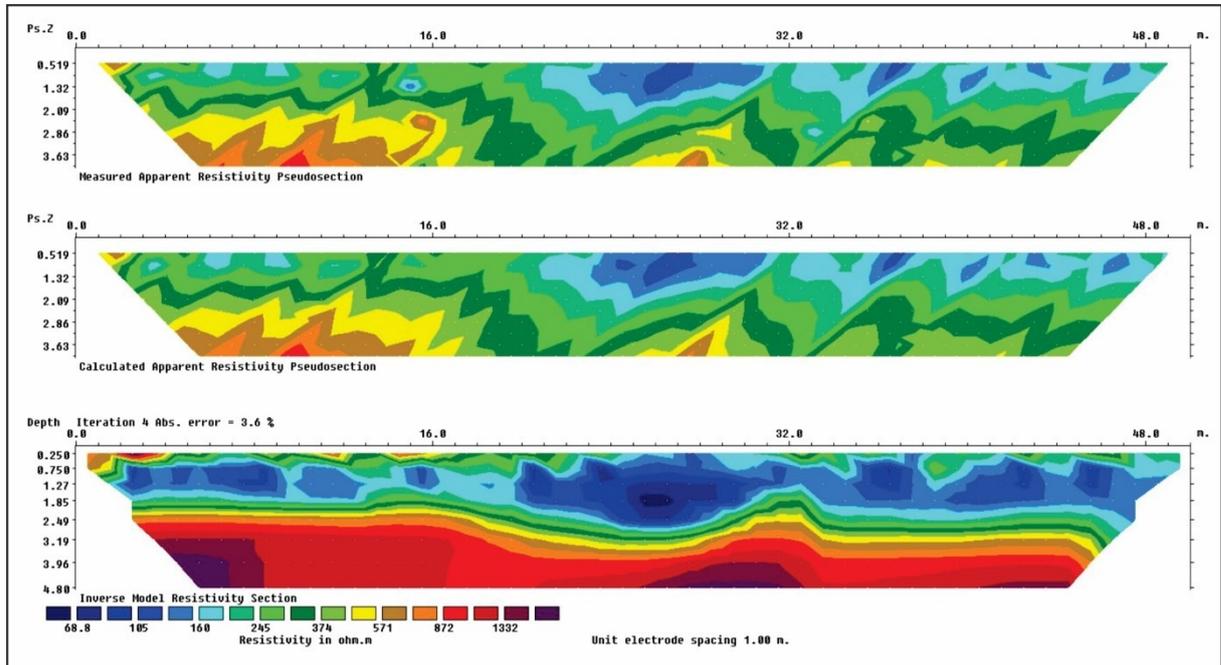
**Figura 28.** Pseudo-seções de resistividade aparente medida em campo (acima), resistividade aparente calculada a partir do modelo inverso (centro) e o modelo inverso (abaixo) do CE01.



Fonte: O Autor (2023).

O perfil de investigação do CE02 (Figura 29) foi maior, com 50 metros. Os materiais mais condutivos (68.8 a 160 Ohm.m) ascendem desde a superfície até 2,49 metros de profundidade e os mais resistivos ocupam principalmente as camadas mais profundas da seção e pontualmente na superfície.

**Figura 29.** Pseudo-seções de resistividade aparente medida em campo (acima), resistividade aparente calculada a partir do modelo inverso (centro) e o modelo inverso (abaixo) do CE02.



Fonte: O Autor (2023).

Os valores mais baixos são encontrados próximos de 1,85 metros de profundidade nas duas investigações.

### 5.3. Avaliação da Vulnerabilidade Natural

A partir dos dados das sondagens elétricas verticais entre os valores da resistividade elétrica da zona não saturada e sua espessura, foi feita uma análise acerca da vulnerabilidade do lençol freático frente a uma eventual carga de necrochorume. Os índices de condutância longitudinal (S) foram calculados segundo a Equação 4 e apresentados na tabela 3.

**Tabela 3.** Valores de resistividade e espessura das camadas que compõe a zona não saturada da área e seus valores calculados de condutância longitudinal.

SEVs	$\rho$ (Ohm.m)	E (m)	S (Siemens)
SEV01	$\rho_1 = 226$	$E_1 = 0.315$	0,0096
	$\rho_2 = 1874$	$E_2 = 20$	
SEV02	$\rho_1 = 54.2$	$E_1 = 0.292$	0,0011
	$\rho_2 = 255$	$E_2 = 3.99$	
	$\rho_3 = 957$	$E_2 = 10.5$	

Fonte: O Autor (2023).

## 6. DISCUSSÃO

Os resultados das investigações geofísicas se mostraram eficientes para o estudo preliminar da espessura e resistividade das litologias que compõe a zona não saturada, identificação do nível estático e de plumas de contaminação através de zonas anômalas de baixa resistividade. Através dos dados obtidos, ainda foi previamente definido a vulnerabilidade de contaminação do aquífero.

### 6.1. Sondagem elétrica Vertical

A partir dos valores de resistividade obtidos nas sondagens elétricas foi realizada a interpretação da variação litológica em profundidade. As camadas superficiais são associadas ao latossolo vermelho com característica areno-argilosa por apresentarem valores mais baixos de resistividade, possivelmente devido à presença de argilominerais. Na SEV02 observa-se valores de 54 Ohm.m nos primeiros 30 centímetros e pode indicar a presença de sais do necrochorume que promovem a diminuição da resistividade elétrica do solo ou uma concentração de argilominerais e/ou saturação em água.

As resistividades aumentam em uma camada de solo com frações granulométricas maiores e de baixa saturação. Na SEV01 essa camada foi observada mais próxima da superfície, à profundidade de 0,315 m e com resistividade estimada em 1874 Ohm.m, e em 4,28 metros de profundidade na SEV02, com resistividade de 957 Ohm.m. Essa camada foi interpretada como um perfil de alteração da rocha que compõe o embasamento sendo mais resistivo na presença de frações mais grosseiras.

O nível d'água no local é encontrado após essa camada mais resistiva, caracterizado por uma camada mais condutiva. Na investigação mais profunda (SEV01), foi observado o aumento da saturação do solo após os 20 metros de profundidade visto pela tendência de queda da resistividade. Na SEV02 o NE foi observado em profundidades mais rasas, de 14.8 metros.

As diferenças dos valores de resistividade e profundidade entre as duas investigações podem estar relacionadas com os levantamentos de campo. A SEV01 foi realizada acompanhando a declividade do terreno, podendo sofrer pequenas distorções dos dados pelo efeito 2D, o que ocorre de forma menos significativa na SEV02 (ver Figura 20).

A tendência que os valores de resistividade aparente das curvas de campo dos levantamentos apresentam de diminuir em profundidade indicam que as profundidades de investigação não foram suficientes para alcançar o embasamento, já que as rochas não alteradas são bem resistivas e, portanto, seria esperado um aumento nos valores de resistividade aparente.

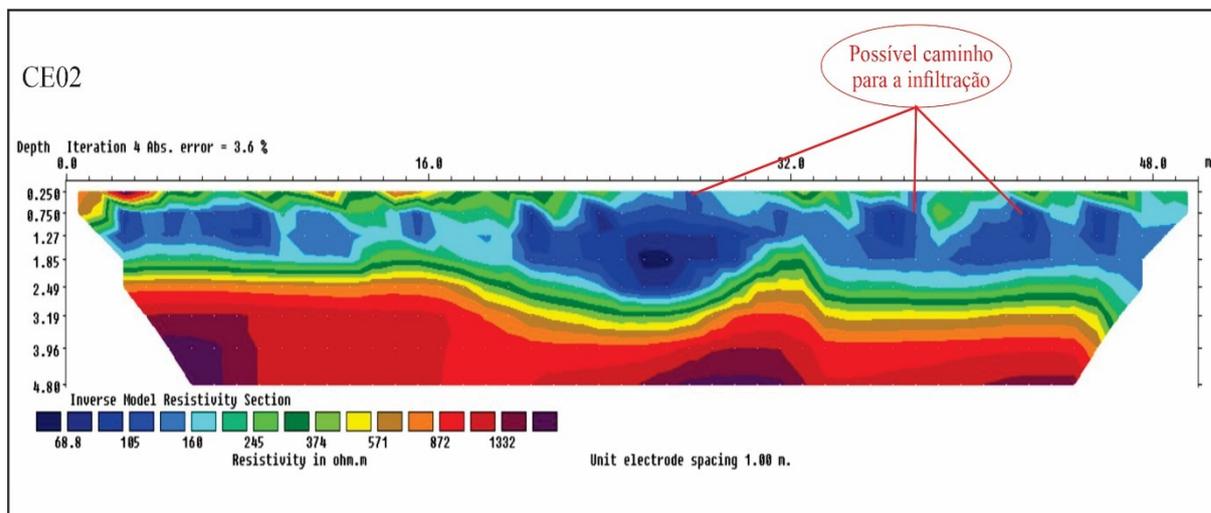
## **6.2. Caminhamento Elétrico**

A porção mais condutiva do CE01, localizada nos primeiros 20,0 m deste perfil entre as profundidades de 0,75 m e 3,19 m, corresponde à porção mais próxima do limite SW do cemitério. Note-se que a anomalia condutiva diminui em extensão à medida que as distâncias aumentam, o que corresponde às coordenadas mais próximas das carneiras, onde os sepultamentos não são feitos diretamente no solo. Altos valores de resistividade (827 a 1161 Ohm.m) são encontrados após 3,19 m de profundidade devido à baixa saturação do solo e aumento granulométrico. Observa-se a ocorrência de pequenas anomalias de alta resistividade aproximadamente equidistantes próximas à superfície (profundidades menores do que 0,75 m), as quais foram interpretados como sendo causadas pelos túmulos, visto que o levantamento foi realizado entre as fileiras de sepulturas (ver Figura 23).

As zonas anômalas de baixa resistividade relacionadas ao solo saturado em água e/ou presença de sais dissolvidos atingiram valores ainda menores (68.8 a 105 Ohm.m) no CE02. Similarmente ao observado no CE01 a anomalia condutiva ficou restrita a profundidades de até 3,0 m, porém no CE02 a anomalia condutiva ocorre em toda a extensão do perfil permeando o solo areno-argiloso não saturado, definido como a faixa de resistividade estimada entre 245 e 671 Ohm.m. Os materiais mais resistivos interpretados anteriormente como sendo do solo com frações granulométricas maiores estão dispostos a partir de 3.19 metros de profundidade e tiveram suas resistividades estimadas em 872 a 1332 Ohm.m. Observa-se no CE02 possíveis canais de infiltração pela faixa baixa resistividade que está percolando pelo solo superficial

(Figura 30). Essas infiltrações ocorrem facilmente no local devido a presença de cavidades formadas por seres que convivem no local e que retribuem o solo e são encontradas próximo a esse levantamento (ver Figura 17).

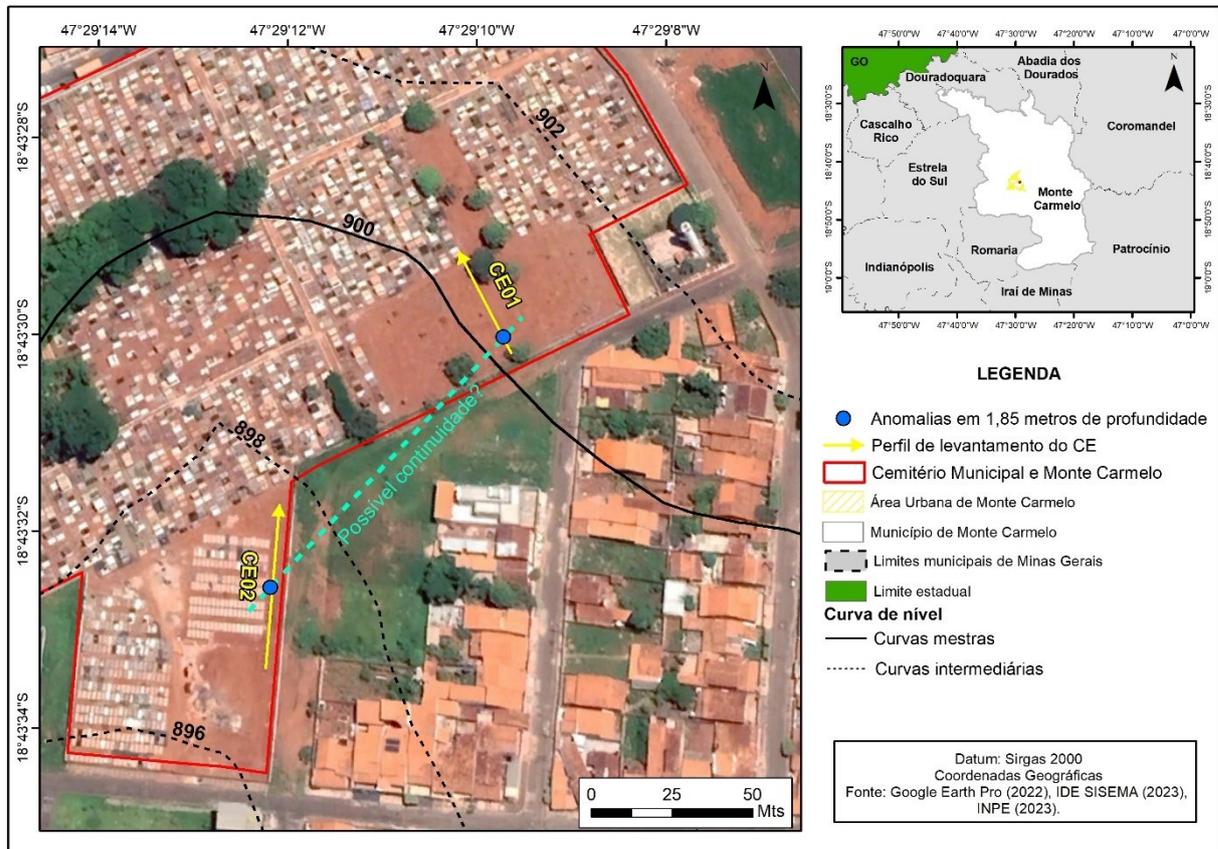
**Figura 30.** Possíveis caminhos de infiltração do CE02.



Fonte: O Autor (2023).

Os valores mais condutivos dos dois caminhamentos (68.8 a 105 Ohm.m) ocorrem como picos de baixa resistividade. Esses picos são observados em 1,85 m de profundidade, com uma extensão da ordem de 1 m de diâmetro em ambos os perfis. Tais anomalias são de difícil interpretação, pois poderiam estar associadas a pontos com maior concentração de sais provenientes do necrochorume ou maior concentração de argilominerais. A similaridade da profundidade e extensão das anomalias em ambos os CEs sugerem ainda que ambas possam estar relacionadas a uma fonte comum, que se estenderia continuamente sob o local acompanhando a declividade do terreno (Figura 31). Possíveis interpretações incluem a presença de um caminho preferencial natural para percolação de fluidos no material geológico ou mesmo a presença de estruturas artificiais (tubulações, galerias pluviais, conduítes elétricos, etc.). Contudo, em vista das limitações técnicas impostas pelo método geofísico utilizado e da distância significativa entre os locais dos CEs, não é possível fazer uma interpretação mais assertiva para a causa destas anomalias, sendo necessários levantamentos complementares com métodos que permitam investigações com maior resolução para que a causa das anomalias possa ser estabelecida.

**Figura 31.** Localização das anomalias mais condutivas e indicação de uma possível continuidade entre ambas.



Fonte: O Autor (2023).

### 6.3. Avaliação da Vulnerabilidade Natural

A avaliação foi realizada qualitativamente segundo o diagrama apresentado na Figura 11. Dessa forma, quanto maior for o valor da condutância longitudinal, maior será seu grau de proteção, sendo esse parâmetro associado às camadas que sobrepõe a zona saturada.

Os dados mostrados na tabela 3 foram interpolados no ábaco de Braga (2006) das faixas de valores dos aquíferos mais/menos protegidos (Figura 29). Os valores menores que 0,3 Siemens são considerados ambientes mais vulneráveis a contaminação pela característica de alta condutividade hidráulica que proporciona a rápida mobilidade do efluente. A SEV02 se encontra dentro do ábaco em faixas de extrema vulnerabilidade. Já a SEV01, não se enquadrando devido sua alta resistividade da zona não saturada que ultrapassa o limite estipulado de 1000 Ohm.m, mas, ainda está abaixo de 0,3 Siemens, sendo vulnerável à percolação de contaminantes.

## 7. CONCLUSÃO

As aplicações das sondagens elétricas verticais se mostraram eficazes para estimar a espessura e a resistividade das camadas, fundamentando a interpretação sobre as variações litológicas e profundidade do lençol freático pelas mudanças dos materiais mais resistivos/condutivos.

Os resultados foram comparados com os dados de poços próximos ao cemitério e mostram similaridade com os perfis de solo profundos. A profundidade do NE foi observada em 14.8 m e 20 m enquanto nos poços esta profundidade varia entre 0.5 m e 4 m para os poços mais próximos do córrego Mumbuca e 11 m para o poço que está em cota compatível com a cota dos levantamentos realizados no cemitério. As fichas descritivas dos poços indicam que o embasamento da área é representado pelo granito do Complexo Monte Carmelo devido à sua proximidade. Porém, não foi possível detectar a rocha sã nos modelos geoeletricos.

As SEVs foram fundamentais para o entendimento da vulnerabilidade do meio geológico de contaminação frente à disposição do necrochorume, de acordo com a resistividade e espessura das camadas que sobrepõem o lençol freático. A partir do cálculo da condutância longitudinal da zona não saturada pode-se inferir uma fragilidade significativa para a área.

Os resultados obtidos nos levantamentos de caminhamento elétrico apresentaram variações de resistividade entre 68.8 e 1332 Ohm.m, sendo os níveis mais condutivos interpretados como possíveis zonas de concentração do necrochorume, em função da presença de sais que constituem sua composição e de metais conforme apontado no estudo realizado por Silva (2018). Não se pode descartar a possibilidade de os baixos valores serem do aumento de argilominerais após o solo superficial, ou da saturação do solo em água. No entanto, os baixos índices de chuva durante o mês dos levantamentos diminuem a probabilidade da saturação do solo por meio da água meteórica. A análise química de amostras de solo retiradas nos pontos anômalos poderia ser utilizada para verificar a presença de argilominerais nas profundidades correspondentes às baixas resistividades ou a presença de contaminantes decorrentes da decomposição cadavérica.

Observou-se ainda que a profundidade da zona saturada é maior do que 14,0 m em ambas as SEVs, enquanto os CEs indicaram a zona condutiva anômala restrita a profundidades menores do que 3,5 m. Esta diferença indica que as anomalias identificadas nos CEs possivelmente decorrentes da presença do necrochorume não estão alcançando a zona saturada. Entretanto, é possível que haja variação do NE para profundidades mais rasas durante o período

chuvoso (Setembro a Março) e que, juntamente com a água que percola a partir da superfície, o necrochorume possa eventualmente entrar em contato com a zona saturada. Considerando-se esta observação, e diante da fragilidade apontada pelo cálculo da condutância longitudinal, recomenda-se que seja realizado o monitoramento ambiental contínuo da área para evitar eventuais ocorrências futuras que possam comprometer a zona saturada.

O cemitério está de acordo com as normas estabelecidas pela resolução nº 335 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA no ano de 2003 que exigem um distanciamento mínimo de 1.5 metros dos sepultamentos do lençol freático e de 10 para ambientes com condutividade hidráulica maior, porém a ocorrência de sepultamentos diretamente ao solo pode facilitar a disposição do efluente cadavérico e a proliferação de seres que vivem em locais insalubres, características que devem ser levadas em consideração devido à proximidade da população.

Diante disso, recomenda-se que sejam feitas sondagens de solo nos locais onde as investigações geofísicas apontaram uma possível presença do necrochorume, para análise da quantidade de íons e bactérias. A implantação de poços de monitoramento no interior do cemitério também é fundamental para o controle da qualidade da água subterrânea, diante da vulnerabilidade identificada para a zona saturada.

## 8. REFERÊNCIAS

AMARANTE, E. M. S. **Avaliação geofísica da contaminação subterrânea no entorno do cemitério municipal de Alagoinhas-BA**, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil., 2013.

BARBOSA, O., BRAUN, O.P.G., DYER, R.C., CUNHA, C.A.B.R. **Geologia da região do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral/Divisão de Fomento da Produção Mineral, Boletim 136, 140 p., 1970.

BARBOSA, M.C.; COELHO, H. **Impacto ambiental dos cemitérios horizontais e sua relação com o controle sanitário nas áreas urbanas**. 2006. Disponível em: <<http://www.biossegurancahospitalar.com.br/files/ImAmbCem.doc>> Acesso em: 06 de maio de 2023.

BARROS, M. F. S. et al. Geoelectrical anomalies associated to groundwater contamination in Urânia (SP, Brazil). **Journal of Applied Geophysics**. v. 206, n. 11, 2022.

BRAGA, A. C. O. **Métodos da eletrorresistividade e polarização induzida aplicados nos estudos da captação e contaminação de águas subterrâneas: uma abordagem metodológica e prática**. 2006. 126 p. Tese (Livre-Docência na Disciplina Métodos Geométricos Aplicados à Hidrogeologia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

BRAGA, A. C. O. Estimativa da vulnerabilidade natural de aquíferos: uma contribuição a partir da resistividade e condutância longitudinal. **Revista Brasileira de Geofísica**, p. 61-69, 2008.

BORTOLASSI, C. C. **Cemitérios: Fontes Potencialmente Poluidoras**. Passo Fundo: Universidade De Passo Fundo, 2012.

BRASIL - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA 335/2003 Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios**. Disponível em <<http://conama.mma.gov.br/>>. Acesso em 22 de novembro de 2022.

BRASIL - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA 368/2006 Altera dispositivos da Resolução N° 335, de 3 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios**. Disponível em <<http://conama.mma.gov.br/>>. Acesso em 22 de março de 2023.

BRASIL - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA 402/2008 Altera os artigos 11 e 12 da Resolução n° 335, de 3 de abril de 2003**. Disponível em <<http://conama.mma.gov.br/>>. Acesso em 22 de março de 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Painel Coronavírus**. Disponível em: <https://covid.saude.gov.br>. Atualizado em: 25/01/2023. Acesso em 26 de janeiro de 2023.

BROD, A. *et al.* Tectonoestratigrafia da Faixa Brasília na região do Alto Paranaíba. In: Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 3., 1991, Cuiabá. **Anais...** p. 155-168.

BROD, J.A. *et al.* Geoquímica da Sequência Vulcano-Sedimentar de Abadia dos Dourados e Complexo Chapada dos Perdizes, Triângulo Mineiro – MG. **Revista Escola de Minas**, v. 45, n. (1,2), p. 164 – 166, 1992.

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

CARNEIRO, V. S. Impactos causados por necrochorume de cemitérios: meio ambiente e saúde pública. **Águas Subterrâneas**, v. 4, p. 1-18, 2009.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Métodos Geofísicos.** São Paulo, 1999.

CHAVES, M. L. S. C.; Dias, C. H. **Geologia da Folha Estrela Do Sul, SE.23-Y-AIV, Escala 1:100.000.** Mapa e Texto Explicativo. Belo Horizonte, CODEMIG p. 63, 2017.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2015. **Programa Geologia do Brasil. Carta Geológica Preliminar: Folha SE-23-Y-A-V – Monte Carmelo.** Escala 1: 100000.

DARDENNE, M. A. The Brasília Fold Belt. In: CORDANI, U. G. et al. (Eds.). **Tectonic Evolution of South America.** 1. ed. Rio de Janeiro: 31° *International Geological Congress*, 2000.

FREITAS FILHO, L. S. F. **Prospecção de Água Subterrânea no Município de Novo Repartimento – PA Aplicando Métodos Elétricos e Eletromagnéticos.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará, 49 p., 2006.

FÉBOLI, W. L. Complexo Abadia Dos Dourados. In: PINHO, J. M. M.; FEBOLI, W. L.; SIGNORELLI, N. (Eds). *Geologia e Recursos Minerais Das Folhas Cabeceira Grande, Unáí, Ribeirão Arrojado, Serra Da Aldeia, Serra Da Tiririca, Paracatu, Guarda-mor, Arrenegado, Coromandel, Lagamar, Monte Carmelo Patos De Minas. Projeto Vazante – Paracatu, Estado De Minas Gerais E Goiás.* Belo Horizonte: CPRM-BH, p 48-59., 2017.

FUCK, R. A. **A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins.** SBG, Simp. Geol. Centro-Oeste, v. 4, n. June, p. 184–187, 1994.

GUERRA, K. J. **Aplicação de método geofísico em estudo hidrogeológico, no município de Nova Lima - MG, caracterização de aquíferos em área urbana.** Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. 143 p., 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE: **Cidades: Monte Carmelo – MG, 2022.** Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/monte-carmelo.html>>. Acesso em 27 dezembro. 2022.

GANDOLFO, O. C. B.; GALLAS, J. D. F. 2007. O Arranjo polo-dipolo como alternativa ao dipolo-dipolo em levantamentos 2D de eletrorresistividade. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, n. 3, p. 227-235.

MARINHO, A.M.C.P. **Contaminação de aquíferos por instalação de cemitérios. Estudo de caso do Cemitério São João Batista, Fortaleza**. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, 88 p., 1998.

MARTINS, M.T.; PELLIZARI, V.H.; PACHECO, A.; MYAKI, D.M.; ADAMS, C.; BOSSOLAN, N.R.S.; MENDES, J.M.B.; HASSUDA, S. Qualidade bacteriológica de águas subterrâneas em cemitérios. **Revista de Saúde Pública**, v. 25, n. 1, p. 47-52., 1991.

MATOS, B. A. **Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo**. 2001. 115 p. Tese (Doutorado em Recurso Mineral e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MIGLIORINI, R. B. **Cemitérios como fonte de poluição em aquíferos. Estudo do Cemitério Vila Formosa na Bacia Sedimentar de São Paulo**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências da USP, São Paulo, 74p., 1994.

MILANI, E. J., MELO, J. H. G. de, SOUZA, P. A. de, FERNANDES, L. A., & FRANÇA, A. B. **Bacia do Paraná**. Boletim de Geociências Da Petrobrás, 15(2), 265–287, 2007.

MINAS GERAIS. Semad (Comp.). **Legislação Ambiental**: Decreto nº 44.844, de 25 de junho de 2008. (Estabelece normas para licenciamento ambiental e autorização ambiental de funcionamento, tipifica e classifica infrações às normas de proteção ao meio ambiente e aos recursos hídricos e estabelece procedimentos administrativos de fiscalização e aplicação das penalidades). Disponível em:< [www.siam.mg.gov.br](http://www.siam.mg.gov.br) > acesso em: 8 maio de 2023.

MONTE CARMELO (MG). Secretaria Municipal de Saúde. **COVID 19**. Disponível em: <https://www.montecarmelo.mg.gov.br/covid-19>. Atualizado em: 14 de outubro de 2022. Acesso em 26 de janeiro de 2023.

MOTA, C. H. N. **O Luto e a Lembrança no Tempo e no Espaço: Cemitério de Monte Carmelo, MG. Trabalho de Conclusão de Curso**. Universidade Federal de Uberlândia. 2016, 143p.

NEIRA, D. F.; TERRA, V. R.; SANTOS, R. P.; BARBIÉRI, R. S. Impactos do necrochorume nas águas subterrâneas do cemitério de Santa Inês, Espírito Santo, Brasil. **Natureza On Line**, Santa Teresa, v. 6, p. 36-41, jan./fev. 2008.

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

ORTEGA R.A. **Localização e delineamento de pluma de contaminação por hidrocarbonetos através dos métodos GPR e tomografia elétrica**. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, 115 p., 2006.

OSMAN, S. A.; RIBEIRO, O. C. F. Arte, história, turismo e lazer nos cemitérios da cidade de São Paulo. **Revista do Programa de Pós-graduação Interdisciplinar em Estudos do Lazer**, v. 10, n. 1, p. 10-19, 2007.

PACHECO, A. **Cemitério e Meio Ambiente**. Tese (livre docência). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 102 p., 2000.

PACHECO, A.; MATOS, B.A. 2000. **Cemitérios e meio ambiente**. Revista Tecnologias do Ambiente. Lisboa, Ano 7, n. 33, p. 13-15.

PACHECO, A.; MENDES, J. M. B.; HASSUDA, S. O problema geo-ambiental da localização de cemitérios em meio urbano. **Águas subterrâneas**. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, p. 207-215 1988

PINHO, J. M. M. *et al.* **Geologia e recursos minerais das folhas: Cabeceira Grande, Unaí, Ribeirão Arrojado, Serra da Aldeia, Serra da Tiririca, Paracatu, Guarda-Mor, Arrenegado, Coromandel, Lagamar, Monte Carmelo e Patos de Minas**. Belo Horizonte: CPRM, 2017. Escala 1:100.000.

Plano Municipal de Saneamento Básico de Monte Carmelo. Prefeitura Municipal de Monte Carmelo – MG vol II, p. 26. 2013

POUNDER, D.J. *Postmortem changes and time of death*. Disponível em: <<http://www.dundee.ac.uk/forensicmedicine/llb/timedeadth.htm>>. Acesso em: 18 de junho de 2023.

SEER, H.J. **Evolução tectônica dos Grupos Araxá, Ibiá e Canastra na Sinfoma de Araxá, Minas Gerais**. Tese (Doutorado em Geologia Regional). IGC, Universidade de Brasília, Brasília. 1999. 267p.

SEER, H. J.; MORAES, L. C.; CARNEIRO, A. C. Geologia e deformação do Grupo Araxá na região de Estrela do Sul-Monte Carmelo-Abadia dos Dourados, Minas Gerais. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 10., 2007, Diamantina. **Anais...** p. 37.

SEER, H. J.; MORAES, L. C. Magmatismo granítico Neoproterozoico de ambientes intraplaca, arco e colisão no Grupo Araxá, Faixa Brasília Meridional, Minas Gerais, Brasil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 43, n. 2, p. 333-354, 2013.

SIAGAS, disponível em: < <https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/> > acesso em: 20 de junho de 2023.

SILVA, L. M. Os Cemitérios na Problemática Ambiental. In: I Seminário Nacional “Cemitérios e Meio Ambiente”, SINCESP & ACEMBRA. São Paulo, 1995. (Apostila)

SILVA, L.M. Cemitérios: fonte potencial de contaminação dos aquíferos livres. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA, 4., 1998, Montevideo. **Memórias...** Montevideo: ALHSUD. v. 2, p. 667-681, 1998.

SILVA, R.W.C., MALAGUTTI FILHO, W. Cemitérios como áreas potencialmente contaminadas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Rio Claro, São Paulo, v.9. p.26-35. 2008.

SILVA, R.W.C.; MALAGUTTI FILHO, W.; MOREIRA, C.A. Emprego do método da eletrorresistividade no estudo da contaminação subterrânea do cemitério municipal de Vila Rezende, Piracicaba - SP. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 3, p. 389-399, 2009.

SILVA, F. C. **Avaliação de metais potencialmente tóxicos em zona não saturada da necrópole Nossa Senhora Aparecida, Piedade, SP**. Dissertação (Doutorado), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Instituto de Ciência e Tecnologia, campus Sorocaba, São Paulo. 147 p. 2018.

TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E. 1990. **Applied Geophysics**, Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press, 1990, 770 p.

UHLEIN, A., Fonseca, M. A.; SEER, H. J., DARDENNE, M. A. Tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília – Setores Setentrional e Meridional. **Geonomos**, v. 2, n. 12, p. 1-14. 2012.

USTRA, A.T. 2008. **Utilização dos métodos eletroresistividade e polarização induzida com aquisição de dados 3D para caracterização geoambiental de uma área à jusante do aterro de resíduos sólidos urbanos de Bauru – SP** Dissertação (Mestrado). Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP. São Paulo – SP. 205 p.

WARD, S.H. **Geotechnical and Environmental Geophysics**, v. I: Review and Tutorial. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, 1990, p. 147-189.

WHO; World Health Organization; Regional office for Europe; **The impact of cemeteries on environment and public health**. 1998. Disponível em: <<http://www.who.int/en/>> acesso em: 15 de maio de 2023.

VALERIANO, C.M.; MACHADO, N.; SIMONETTI, A.; VALLADARES, C.S.; SEER, H.J.; SIMÕES, L.S.A. U–Pb geochronology of the southern Brasília belt (SEBrazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of WestGondwana. **Precambrian Research**, n. 130, p. 27–55, 2004.

XAVIER, F.V. **Métodos Geométricos Aplicados ao diagnóstico Ambiental Subsuperficial do Cemitério Municipal de Rio Claro, SP**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro-SP, 158p, 2015.

ZANDONA, D. M. **Diagnóstico ambiental, prospecção tecnológica e proposição de um novo modelo de gestão de cadáveres**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Toledo, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. 128 p., 2019.

