



**FLÁVIA FRANCO DOS SANTOS**

**LEVANTAMENTO DA ELETRORRESISTIVIDADE NO  
ANTIGO ATERRO CONTROLADO DE NEPOMUCENO-MG**

**LAVRAS-MG  
2022**

**FLÁVIA FRANCO DOS SANTOS**

**LEVANTAMENTO DA ELETRORRESISTIVIDADE NO  
ANTIGO ATERRO CONTROLADO DE NEPOMUCENO-MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras como parte das  
exigências do curso de Engenharia Ambiental e  
Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Bruno Montoani Silva

**Orientador**

M. Sc. Monna Lysa Teixeira Santana

**Coorientadora**

**LAVRAS-MG**

**2022**

**LEVANTAMENTO DA ELETRORRESISTIVIDADE NO  
ANTIGO ATERRO CONTROLADO DE NEPOMUCENO-MG**

**SURVEY OF ELECTRORESISTIVITY IN THE FORMER  
CONTROLLED LANDFILE OF NEPOMUCENO-MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras como parte das  
exigências do curso de Engenharia Ambiental e  
Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 15 de setembro de 2022.

Bruno Montoani Silva

Vanêssa Lopes de Faria

Samara Martins Barbosa

Prof. Dr. Bruno Montoani Silva

Orientador

M. Sc. Monna Lysa Teixeira Santana

Coorientadora

**LAVRAS-MG**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradecer a Deus por ter me permitido vivenciar o sonho de cursar uma graduação em uma universidade tão incrível e por ter me abençoado tanto nos momentos mais difíceis nessa caminhada.

À minha família, especialmente aos meus pais que não mediram esforços para que eu chegasse até o fim!

Ao meu orientador, o professor Dr. Bruno Montoani Silva e minha coorientadora Monna Lysa Teixeira Santana por todo o conhecimento através da oportunidade da vivência científica e também fazendo parte da minha última fase acadêmica.

À todas as amigadas que fiz no Laboratório de Física do Solo e do Departamento de Ciência do Solo - UFLA.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de iniciação científica.

A todos os professores que fizeram parte desse processo, em especial do Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária.

Às minhas companheiras de graduação, dos amigos dos estágios e em especial da Turma da Creidi que estão sempre tão presentes na minha vida.

Gratidão a todos!

## RESUMO

Há diversos impactos pela destinação inadequada de resíduos sólidos, principalmente para o meio ambiente, onde ocorre maior geração de gases do efeito estufa, diversos contaminantes orgânicos e inorgânicos e proliferação de vetores. O uso da geofísica através da eletrorresistividade vem sendo bastante difundido juntamente com outras formas de investigação, na identificação da pluma de contaminação de chorume, pela sua facilidade de obtenção de resultados de forma direta no solo, com um menor espaço de tempo, demonstrando através de mapas a resposta para os questionamentos sobre a contaminação do solo. Os resíduos sólidos de diversas características como domiciliares, de serviços de saúde, eletrônicos, pilhas e baterias foram dispostos na região de estudo a partir de 2004 com encerramento em novembro de 2018. A partir desta data todos os resíduos gerados na cidade de Nepomuceno foram encaminhados para um aterro sanitário licenciado. O objetivo deste trabalho é analisar através da resistividade elétrica o método dipolo – dipolo avaliar o comportamento geoquímico de resíduos sólidos enterrados durante o processo de degradação da matéria orgânica, indicando contaminação ou não do solo. O espaçamento entre eletrodos permanece fixo durante toda a investigação pelo método dipolo-dipolo, sendo definida a partir do objetivo do levantamento, quanto maior o espaçamento, maior será a profundidade avaliada e o alcance de informações da contaminação do solo pela decomposição da matéria orgânica. Os resultados permitiram observar um mesmo padrão indicativo de contaminação em superfície em até 5 metros de profundidade, com adicional área de possível contaminação na borda direita do transecto 4 até uma profundidade de 20 metros. O estudo confirma que o método da eletrorresistividade possibilita auxiliar os estudos ambientais sobre contaminação, e propor tecnologias para alternativas de uso destas áreas.

**Palavras chaves:** Resíduos Sólidos. Resistividade. Contaminação por chorume.

## **ABSTRACT**

There are several impacts from the generation of solid polluting gases, mainly by the generation of organic environment gases, various organic contaminants and greenhouse effect effects. The use of electrophysics geophysics has been a background space of activity with other forms of resource through plume identification through the direct identification of results directly on the ground, with a shorter period of time, demonstrating ease of maps the answer to questions about the realization of the soil. Solid waste from features such as household, healthcare, electronics, cells and batteries were from various study regions starting in 2004 with the November 2018 location. to a licensed sanitary landfill. The method of this study is analyzed by means of electrical resistance by the method of geochemical behavior of embedded solid waste, during the processing process of processing organic or unprocessed material by the soil. The spacing between electrodes remains fixed throughout the investigation by the dipole-dipole method, being defined from the objective of the survey, the greater the spacing, the greater the depth evaluated and the reach of information on soil contamination by the decomposition of organic matter. The results allowed us to observe the same pattern indicating surface contamination up to 5 meters deep, with an additional area of possible contamination on the right edge of transect 4 up to a depth of 20 meters. The study confirms that the electroresistivity method makes it possible to assist in environmental studies on contamination, and to propose technologies for alternative uses in these areas.

**Keywords:** Solid Waste. Resistivity. Slurry Contamination.

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> - Localização do antigo lixão de Nepomuceno.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>Figura 2</b> - Tipos de solos de Nepomuceno - MG .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>Figura 3</b> - Bioma de Nepomuceno - MG.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>Figura 4</b> - Geomorfologia de Nepomuceno - MG.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>Figura 5</b> - Bacia hidrográfica do Rio Grande.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 6 – Imagem de um lixão .....	7
Figura 7 – Imagem de um aterro controlado .....	8
Figura 8 – Estrutura de um aterro sanitário .....	9
<b>Figura 9</b> - Destinação dos resíduos sólidos em Minas Gerais .....	10
Figura 10 - Arranjo Wenner .....	11
Figura 11 – Arranjo Schumberger.....	12
<b>Figura 12</b> - Arranjo dipo-dipolo.....	12
<b>Figura 13</b> - Características dos diferentes arranjos .....	13

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 REFERENCIAL TEÓRICO	6
<b>2.1 Resíduos Sólidos</b>	6
2.1.1 Lixão	6
2.1.2 Aterro Controlado	7
2.1.3 Aterro Sanitário	8
3. GEOFÍSICA	10
<b>3.1 Eletroresistividade</b>	10
3.1.2 Métodos de levantamento	11
3.1.2.1 Wenner	11
3.1.2.2 Schlumberger	11
3.1.2.3 Dipolo - dipolo	12
3.2.3 Aplicações	13
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	14
REFERÊNCIAS	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
1 INTRODUÇÃO	19
2 MATERIAL E MÉTODOS	20
<b>2.1 Caracterização da área em estudo</b>	20
<b>2.2 Histórico do Aterro Controlado</b>	21
<b>2.3 Pedologia</b>	21
<b>2.4 Bioma</b>	22
<b>2.5 Hidrogeologia</b>	23
<b>2.6 Geomorfologia</b>	23
<b>2.7 Bacia Hidrográfica</b>	24
<b>2.8 Relevo</b>	25
<b>2.9 Clima</b>	25
<b>2.2 Coletas</b>	27
2.2.1 Solo	27
2.2.2 Água	28
<b>2.3 Resistividade</b>	29
<b>2.4 Análise estatística</b>	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5 CONCLUSÃO	35



## 1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos é intensa em qualquer atividade que é realizada e se intensificou principalmente após a Revolução Industrial, onde as mudanças sociais e econômicas se transformaram, a comercialização de novos produtos e a migração de pessoas para as cidades aumentou, causando uma mudança no uso e ocupação do solo de forma desordenada e sem critérios.

Há diversos impactos pela destinação inadequada de resíduos sólidos, principalmente para o meio ambiente, onde ocorre maior geração de gases do efeito estufa, diversos contaminantes orgânicos e inorgânicos e proliferação de vetores. Sendo assim, a partir do conhecimento dos riscos oferecidos pelo mal gerenciamento dos resíduos no Brasil, no ano de 2010, pela Lei Federal nº 12.305, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos. A referida lei determina as responsabilidades dos geradores, do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis, sobre a gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, tendo como meta a eliminação e recuperação de lixões.

Uma das formas de recuperação de lixões, é fazer uma análise criteriosa de todas as características do local, através de monitoramentos de controle da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, do solo, nível de líquidos contaminantes percolados, monitoramento geotécnico e dos gases gerados.

O uso da geofísica através da eletrorresistividade vem sendo bastante difundido juntamente com outras formas de investigação, na identificação da pluma de contaminação de chorume (PARK et al., 2016), pela sua facilidade de obtenção de resultados de forma direta no solo, com um menor espaço de tempo, demonstrando através de mapas a resposta para os questionamentos sobre a contaminação do solo.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Resíduos Sólidos**

O inciso XVI, do art. 3º, da Lei 12.305/2010 preceitua o seguinte:

Art. 3º. Para os efeitos desta Lei, entende-se por: [...] XVI – resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. (BRASIL, 2010).

#### **2.1.1 Lixão**

O lixão nada mais é do que a descarga simples dos resíduos sobre o solo, podendo provocar sérios danos ao meio ambiente e a população, principalmente as mais próximas. De acordo com Braga et al. (2002), os lixões podem ser definidos como o local em que se deposita o lixo, sem projeto ou cuidado com a saúde pública e o meio ambiente, sem tratamento e sem qualquer critério de engenharia.

A emanção de gases, contaminação do lençol freático pelo chorume, a presença de insetos e vetores de doenças e o desconforto causado pelo mau cheiro, provoca vários problemas ao meio ambiente e à população circunvizinha.

Figura 1 – Imagem de um lixão



Fonte: Blog Super Eco

### **2.1.2 Aterro Controlado**

O aterro controlado é uma solução intermediária entre o lixão e o aterro sanitário, que consiste em uma tentativa de transformar os lixões em aterros, minimizando os impactos ambientais associados ao acúmulo de lixo.

No aterro controlado não é realizado o tratamento do resíduo descartado, como mostra a figura 7, os resíduos são cobertos com terra, evitando que fiquem expostos. Em geral, não é realizado nenhum processo de impermeabilização do solo ou controle dos gases gerados, o que compromete a qualidade do solo, das águas e do ar. O aterro controlado minimiza a ação de catadores e a proliferação de vetores, porém não resolve os problemas causados pela liberação de gases e chorume.

Figura 2 – Imagem de um aterro controlado



Fonte: Blog Super Eco (2022).

### 2.1.3 Aterro Sanitário

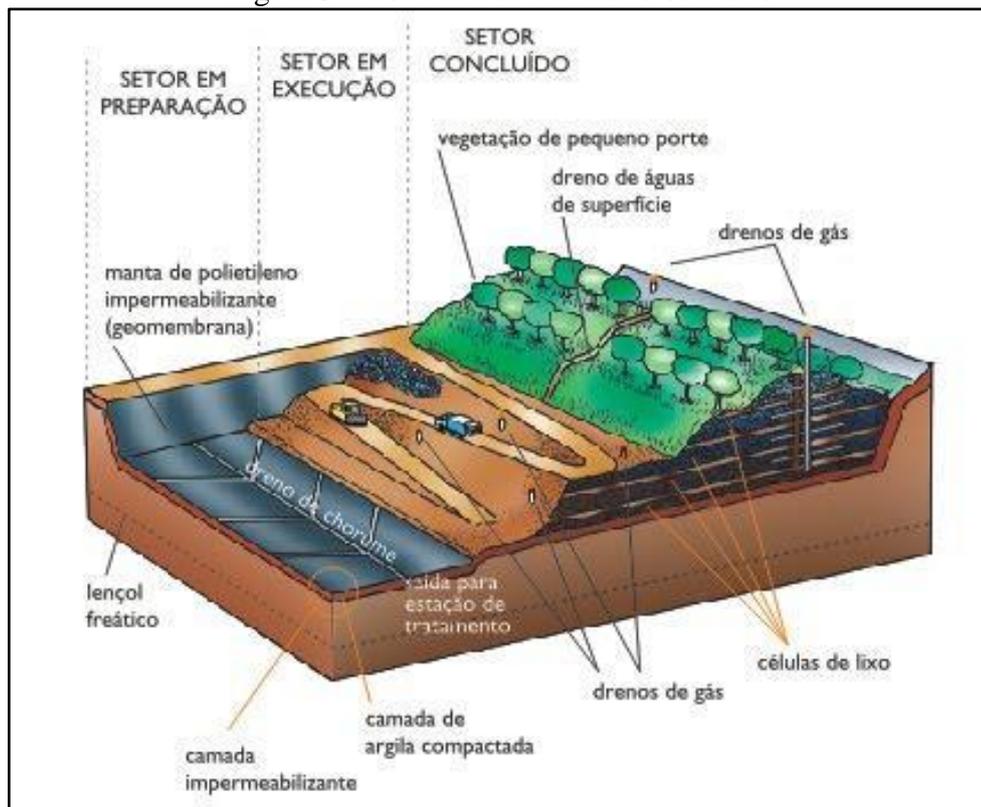
O aterro sanitário é uma obra de engenharia que tem como objetivo tratar os resíduos sólidos de forma ambientalmente adequada. Nos aterros sanitários, o solo é impermeabilizado de forma que o chorume não infiltre no solo e não alcance o lençol freático. Além disso, há drenagem das águas pluviais e tratamento de chorume e gases oriundos da decomposição dos resíduos. Essas ações objetivam o menor impacto possível ao meio ambiente.

A NBR 8.419/1992 define os aterros sanitários como uma técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.

O aterro sanitário deverá ser projetado, instalado, operado e monitorado em conformidade com a legislação ambiental e normas técnicas vigentes, devendo conter em sua estrutura os seguintes itens: Impermeabilização da base do aterro - para evitar o contato do chorume com as águas subterrâneas; Instalação de drenos de gás - para saída do gás metano do interior do aterro para a atmosfera (o gás pode ser queimado e transformado em gás carbônico

ou pode ser recolhido para aproveitamento energético); Sistema de tratamento de chorume - o tratamento pode ser feito no próprio aterro sanitário ou o chorume coletado pode ser transportado para um local apropriado; Sistema de drenagem de águas pluviais - drenar a água por locais apropriados para evitar a infiltração e contato com o chorume, evitando que as águas se juntem ao chorume, minimizando o volume a ser tratado. A figura 8 a seguir mostra como é a obra de um aterro sanitário.

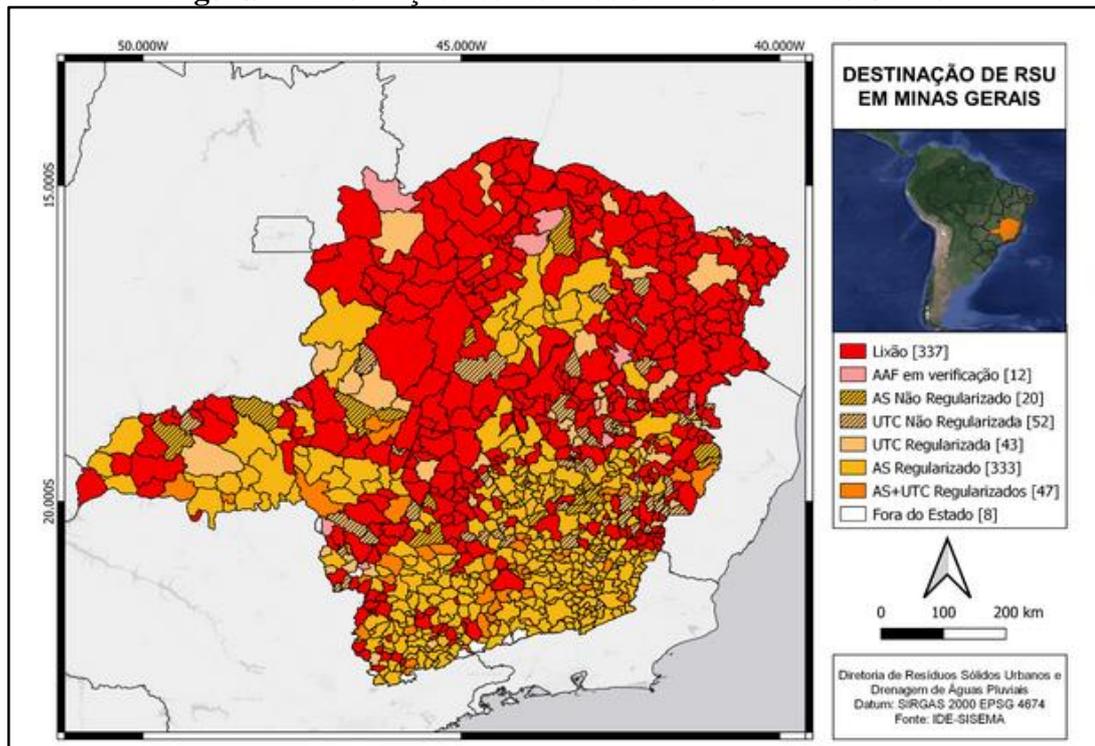
Figura 3 – Estrutura de um aterro sanitário



Fonte: Blog Super Eco (2022)

Em Minas Gerais, há ainda muitos lixões em funcionamento, como pode ser observado na figura 9, principalmente nas regiões norte do estado onde a situação socioeconômica é mais precária.

**Figura 4 - Destinação dos resíduos sólidos em Minas Gerais**



Fonte: SEMAD (2022).

### 3. GEOFÍSICA

#### 3.1 Eletroresistividade

Pertencente ao grupo dos métodos geoeletricos, a eletroresistividade é um método geofísico que usa uma fonte artificial de corrente elétrica, a qual é introduzida nas camadas da subsuperfície do solo por meio de eletrodos fixados na superfície do solo (Gallas, 2005). A eletroresistividade tem sua origem no Irmãos Schlumberger (Telford, Geldart e Sheriff, 1990). Este método consiste na injeção de corrente elétrica em subsuperfície por meio de aterramento galvânico, através de 2 eletrodos (A e B), produz uma diferença de potencial que é medido por outros 2 eletrodos de potencial (M e N). Os valores medidos da diferença de potencial e da corrente injetada resultam nos valores da resistividade aparente do solo (Orellana, 1972). A eletroresistividade é usada no estudo de discontinuidades horizontais e verticais nas propriedades elétricas do solo e também na detecção de corpos tridimensionais de condutividade elétrica anômala (Kearey et al., 2009).

### 3.2 Métodos de levantamento

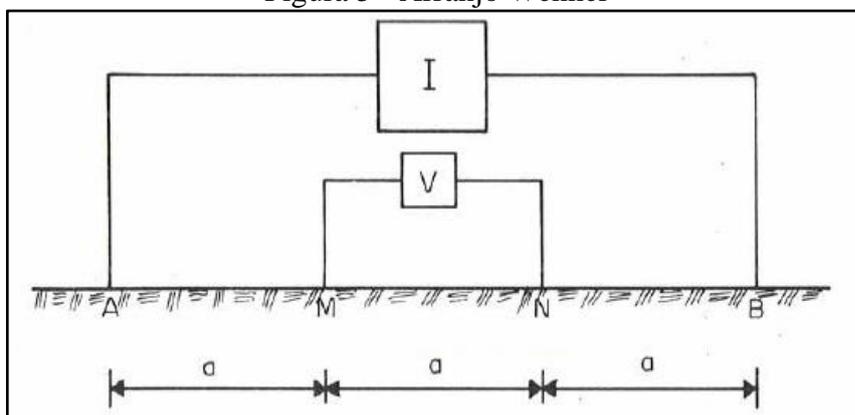
Segundo Orellana (1972) a dificuldade que um corpo apresenta em se deixar atravessar por uma corrente elétrica dá-se o nome de resistividade elétrica ou eletrorresistividade.

Existem diversos arranjos utilizados para fazer a medição da resistividade elétrica do solo. O que diferencia entre os diferentes arranjos são os espaçamentos dos eletrodos de corrente e potencial e demonstram diferentes resoluções, sensibilidade e profundidade da análise.

#### 3.2.1 Wenner

No arranjo Wenner, é muito utilizado em experimentos de laboratório para calibração da resistividade elétrica, a exemplo do ajuste de modelos empíricos entre dados de resistividade aparente e umidade é obtido pelo método padrão da estufa. Em arranjos 2D, é mantida uma distância fixa entre os eletrodos M e N e entre os eletrodos A e B. Assim, quanto maior a distância entre os eletrodos de corrente e de potencial, maior será a profundidade do solo avaliada (Samouëlian et al., 2005).

Figura 5 - Arranjo Wenner

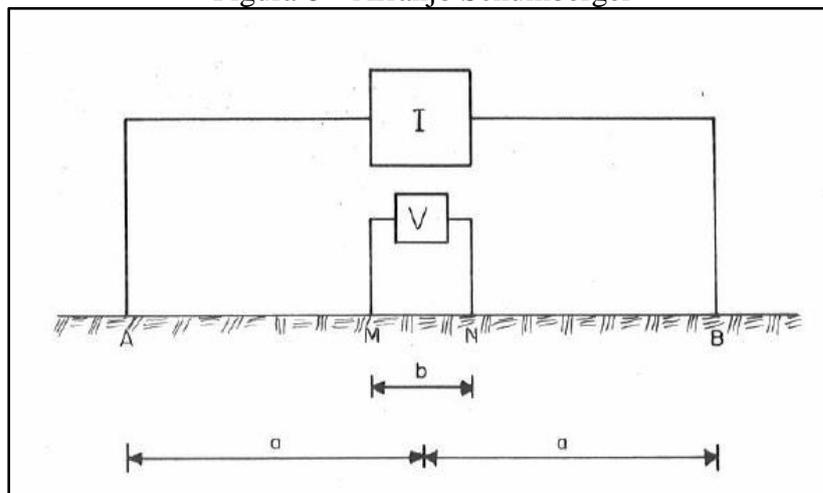


Fonte: Gandolfo (2007).

#### 3.2.2 Schlumberger

No Arranjo Schlumberger, os eletrodos M e N que medem a diferença de potencial estão localizados próximos ao centro do arranjo e sua distância é pequena, em relação aos eletrodos de corrente, A e B. A distância entre os eletrodos A e B são aumentadas em contrapartida que os eletrodos M e N são mantidos até que se possa medir uma diferença de potencial.

Figura 6 – Arranjo Schumberger



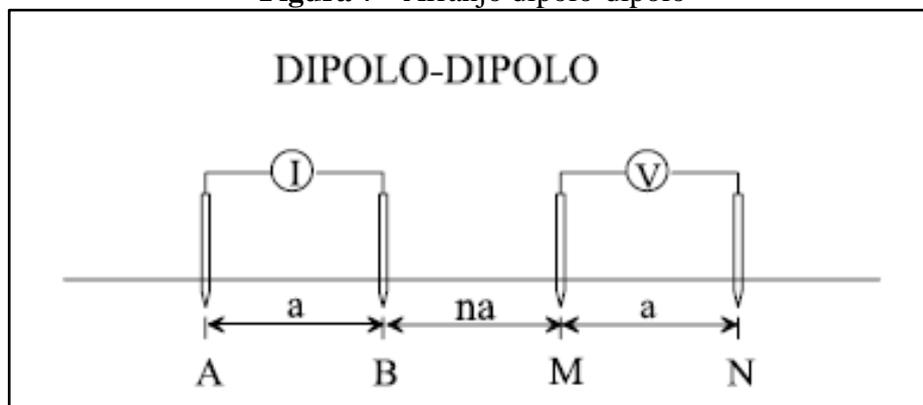
Fonte: Gandolfo (2007).

### 3.2.3 Dipolo - dipolo

No arranjo dipolo-dipolo o espaçamento entre eletrodos permanece fixo durante toda a investigação, sendo definida a partir do objetivo do levantamento, quanto maior o espaçamento, maior será a profundidade avaliada.

Os eletrodos serão posicionados em uma linha contínua, seguindo a configuração AB, MN, mantendo-se fixo os eletrodos A e B e movimentando os M e N. Cada etapa deste afastamento confere um nível de investigação, até que seja alcançado a posição final do objetivo proposto.

Figura 7 - Arranjo dipolo-dipolo



Fonte: Gandolfo (2007).

Existem inúmeras configurações de eletrodos que podem ser utilizados em levantamentos de eletrorresistividade. A escolha do arranjo de eletrodos depende da

profundidade de investigação, da sensibilidade do arranjo a variações laterais e verticais, da cobertura horizontal dos dados, e da intensidade do sinal.

O arranjo dipolo-dipolo vem sendo largamente utilizado em levantamentos de caminhamentos elétricos voltados aos monitoramentos ambientais como água subterrânea, mineração, contaminantes, pela facilidade de operar este método em campo.

Na figura a seguir mostra os diferentes métodos e suas respectivas características que são importantes para a decisão do método mais adequado de acordo com o objetivo da investigação.

**Figura 8** - Características dos diferentes arranjos

	<b>Wenner</b>	<b>Schlumberger</b>	<b>Dipolo-Dipolo</b>
<b>Sensibilidade horizontal</b>	++++	++	+
<b>Sensibilidade Vertical</b>	+	++	++++
<b>Profundidade de investigação</b>	+	++	+++
<b>Cobertura horizontal</b>	+	++	+++
<b>Intensidade do sinal</b>	++++	+++	+

Fonte: Adaptado SAMOUELIAN (2005).

### 3.2.3 Aplicações

Com o advento das políticas ambientais muitos estabelecimentos industriais e públicos passaram a ter que apresentar relatórios sobre as condições de qualidade do solo e da água nos locais em que estes se encontram instalados. Por isso há o grande interesse em tornar os levantamentos dos dados que compõem estes relatórios de mais fácil aquisição, sem comprometer sua qualidade.

Algumas propriedades do solo podem ser sensíveis e diagnosticadas através da resistividade elétrica, como a estrutura do solo, umidade, CTC. A concentração de solutos no solo modificada com os processos de contaminação do solo, seja com resíduos vegetais como a vinhaça ou por chorume em áreas de aterro sanitário (Cruz et al., 2008; Laureano & Shiraiwa, 2008).

A condutividade elétrica também tem sido utilizada para identificar áreas de aterro contaminadas com chorume e com resíduos vegetais, como a vinhaça. Essas contaminações são

identificadas quando as áreas apresentam maior condutividade no solo (Cruz et al., 2008; Laureano & Shiraiwa, 2008; Rowe & Cardoso, 2009).

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A utilização de métodos geofísicos nos estudos de contaminação de solos pela decomposição da matéria orgânica advinda de disposição de resíduos sólidos, apresentam resultados satisfatórios tanto nas fases de avaliação preliminar, quanto nas fases de monitoramento e remediação destas áreas. O resultado final auxilia na redução de custos e podem indicar o melhor local de monitoramento e demonstrar informações geológicas do solo em estudo e propor formas de habilitar novos usos e estudos relacionados aos impactos ao meio ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Kamylla de Lima. **Caracterização geométrica do lixo municipal de Pirenópolis, Goiás**. 2018. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências Aplicadas e Geodinâmica, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

AMBIENTAL, Juninho. **ATERRO SANITÁRIO X ATERRO CONTROLADO**. Disponível em: <http://julinhoambiental.blogspot.com/2011/09/aterro-sanitario-x-aterro-controlado.html>. Acesso em: 03 set. 2022.

BORTOLIN, José Ricardo Melges; MALAGUTTI FILHO, Walter. Método da eletrorresistividade aplicado no monitoramento temporal da pluma de contaminação em área de disposição de resíduos sólidos urbanos. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio Claro, v. 15, n. 4, p. 367-374, dez. 2010.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. INSTITUI A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS; ALTERA A LEI Nº 9.605, DE 12 DE FEVEREIRO DE 1998; E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 139, n. 8, p. 1-74, 11 jan. 2002.

CAVALCANTI, Marcio Maciel; BORGES, Welitom Rodrigues; STOLLBERG, Reiner; ROCHA, Marcelo Peres; CUNHA, Luciano Soares da; SEIMETZ, Eduardo Xavier; NOGUEIRA, Pedro Vencovsky; SOUSA, Frederico Ricardo Ferreira Rodrigues de Oliveira e. Levantamento geofísico (eletrorresistividade) nos limites do aterro controlado do Jokey Clube, Vila Etrutural, Brasília-DF. **Geociências**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 298-313, jun. 2014.

CONAMA. Resolução nº 420, de 28/12/2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

COPAM. Deliberação Normativa nº 166, de 29 de junho de 2011. Estabelecendo os Valores de Referência de Qualidade dos Solos.

CRUZ, Juliana Igarashi da; PORTUGAL, Rodrigo de Souza; LUCENDO, Maria Carmen Hernández; ELIS, Vagner Roberto; FACHIN, Sergio Junior da Silva; USTRA, Andrea T.; BORGES, Welitom Rodrigues. Detecção de contaminação de solo por vinhaça através de análise de dados de eletrorresistividade. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 481-492, out. 2008.

GANDOLFO, Otávio Coaracy; GALLAS, José Domingos Faraco. O arranjo pólo-dipolo como alternativa ao dipolo-dipolo em levantamentos 2D de eletrorresistividade. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 227-235, ago. 2007.

MELO, Laura Beatriz Batista de; SILVA, Bruno Montoani; PEIXOTO, Devison Souza; CHIARINI, Thayná Pereira Azevedo; OLIVEIRA, Geraldo César de; CURI, Nilton. Effect of compaction on the relationship between electrical resistivity and soil water content in Oxisol. **Elsevier**, Lavras, v. 208, abr. 2021.

MORAIS, Fernanda; BACELLAR, Luis de Almeida Prado. Geofísica aplicada ao estudo de fluxos da água no solo. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 213-222, abr. 2010.

MOREIRA, César Augusto; BRAGA, Antonio Celso de Oliveira. Aplicação de métodos geofísicos no monitoramento de área contaminada sob atenuação natural. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio Claro, v. 14, n. 2, p. 257-264, abr/jun. 2009.

MOREIRA, César Augusto; BRAGA, Antonio Celso de Oliveira. Decomposição de resíduos sólidos domiciliares e variações na resistividade e cargabilidade. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 401-409, set. 2009.

NORMA BRASILEIRA: Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT Título: NBR 8419/1992. **Dispõe sobre as normas técnicas para implantação de Aterro Sanitário.**

SAMOUËLIAN, A.; COUSIN, I.; TABBAGH, A.; BRUAND, A.; RICHARD, G.. Electrical resistivity survey in soil science: a review. **Elsevier**, [s. l], v. 83, p. 173-193, out. 2004.

SEMAD. **Resíduos Sólidos Urbanos e Drenagem de águas Pluviais**. Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/saneamento/residuos-solidos-urbanos-e-drenagem-de-aguas-pluviais>. Acesso em: 01 set. 2022.

SEMAD. **Resíduos Sólidos Urbanos e Drenagem de águas Pluviais**. Disponível em:

<http://www.meioambiente.mg.gov.br/saneamento/residuos-solidos-urbanos-e-drenagem-de-aguas-pluviais>. Acesso em: 12 set. 2022.

SILVA, Robson Willians da Costa; MALAGUTTI FILHO, Walter; MOREIRA, César Augusto. Emprego do método da eletrorresistividade no estudo da contaminação subterrânea do cemitério municipal de Vila Rezende, Piracicaba-SP. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 389-399, set. 2009.

SNIS. **Diagnósticos SNIS 2021/2022 (ano de referência 2020)**. Disponível em:

<http://www.snis.gov.br/diagnosticos>. Acesso em: 10 ago. 2022.

SOUZA, Geórgia Castro de. Aplicação dos métodos eletromagnéticos indutivo, eletrorresistividade e IP domínio do tempo em caracterização geoambiental. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, p. 571, ago. 2007.

THUSWOHL, Maurício. **Rio não conseguirá cumprir as metas do Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <https://oeco.org.br/reportagens/28491-rio-nao-conseguira-cumprir-as-metas-do-plano-nacional-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 03 set. 2022.

## **SEGUNDA PARTE – ARTIGO CIENTÍFICO**

### **USO DA ELETRORRESTIVIDADE PARA IDENTIFICAR CONTAMINAÇÃO POR CHORUME EM UM ANTIGO ATERRO CONTROLADO**

#### **RESUMO**

Por muitos anos ocorre a disposição inadequada de resíduos sólidos no Brasil, principalmente sem nenhum critério de engenharia. Ocorrem diversos impactos ao meio ambiente como a geração de gases do efeito estufa, contaminação por componentes orgânicos e inorgânicos, proliferação de vetores, como também problemas sociais e de saúde pública. Neste trabalho serão apresentados os resultados do método da resistividade elétrica em uma área do antigo aterro controlado de Nepomuceno - MG, para observação de pluma de contaminação por chorume no perfil do solo. Os resíduos sólidos foram dispostos nesta região a partir de 2004 de diversas características onde a partir desta data todos os resíduos gerados na cidade de Nepomuceno foram encaminhados para um aterro sanitário licenciado. O arranjo escolhido para este estudo foi o dipolo- dipolo, onde a corrente inserida no solo foi através de dois eletrodos metálicos A e B, e para a determinação da diferença de potencial referente à passagem de corrente, foi feita através de outros dois eletrodos metálicos, denominados M e N. Para a investigação foram realizados 5 transectos de caminhamento elétrico: um transecto onde existia um maior volume conhecido de resíduos (vala de disposição do aterro controlado) e os demais transectos na região lateral à esta vala. Na obtenção dos resultados utilizou-se o software Res2DINV, que foram gerados os mapas geofísicos, onde mostra que o eixo Y é caracterizado pela profundidade em metros alcançada pelo levantamento e o eixo X é caracterizado pela resistividade em Ohm. Em relação à pseudoseção 1, não se constatou risco de contaminação. Comparando as pseudoseções 2, 3 e 4, apresentou-se um indicativo de contaminação em média de até cinco metros de profundidade. Sendo na pseudoseção 2 principalmente nos primeiros 30 metros iniciais. A contaminação do lado esquerdo é mais evidente na pseudoseção 3, ademais, na mesma, próximo aos 70 metros há uma mancha variando entre os 3 a 7 metros de profundidade e após os 145 metros de comprimento há um início de contaminação na superfície. A contaminação na superfície também é observada ao longo de toda a pseudoseção 4. Os resultados obtidos neste trabalho para diagnosticar contaminação por chorume mostram a possibilidade da utilização do arranjo dipolo-dipolo, por alcançar maiores profundidades. Os mapas mostram que pode haver uma possível contaminação, mas que não é considerável, nos transectos 1, 2 e 3. O estudo confirma que o método da eletrorresistividade possibilita auxiliar

os estudos ambientais sobre contaminação, e propor tecnologias para alternativas de uso destas áreas.

**Palavras chaves:** Resistividade elétrica, Geofísica, Arranjo dipolo – dipolo, Resíduos Sólidos, Chorume.

### ABSTRACT

For many years, there has been an inadequate disposal of solid waste in Brazil, mainly without any engineering criteria. There are several impacts on the environment such as the generation of greenhouse gases, contamination by organic and inorganic components, proliferation of vectors, as well as social and public health problems. In this work, the results of the electrical resistivity method will be presented in an area of the old controlled landfill of Nepomuceno - MG, to observe a plume of contamination by leachate in the soil profile. Solid waste was disposed of in this region from 2004 onwards of various characteristics such as household, health services, electronics, batteries and it ended in November 2018, where from this date all waste generated in the city of Nepomuceno was sent to a licensed sanitary landfill. The arrangement chosen for this study was the dipole-dipole, where the current inserted into the soil was through two metallic electrodes A and B, and for the determination of the potential difference referring to the passage of current, it was made through two other metallic electrodes, called M and N. For the investigation, 5 electrical path transects were carried out: a transect where there was a greater known volume of waste (disposal ditch of the controlled landfill) and the other transects in the lateral region of this ditch. To obtain the results, the Res2DINV software was used, which generated the geophysical maps, which shows that the Y axis is characterized by the depth in meters reached by the survey and the X axis is characterized by the resistivity in Ohm. Regarding pseudosection 1, there was no risk of contamination. Comparing pseudosections 2, 3 and 4, an indicator of contamination on average of up to five meters deep was presented. Being in pseudosection 2 mainly in the first 30 meters. The contamination on the left side is more evident in the pseudosection 3, moreover, in the same one, close to 70 meters there is a spot varying between 3 and 7 meters in depth and after 145 meters in length there is a beginning of contamination on the surface. Surface contamination is also observed throughout the entire pseudosection 4. The results obtained in this work to diagnose slurry contamination show the possibility of using the dipole-dipole arrangement, as it reaches greater depths. The maps show that there may be a possible contamination, but that it is not considerable, in transects 1, 2 and 3. The study confirms that the electroresistivity method makes it possible to assist in environmental studies on contamination, and to propose technologies for alternative uses in these areas.

**Keywords:** Electrical resistivity, Geophysics, Dipole-dipole arrangement, Solid Waste, Slurry.

## **1 INTRODUÇÃO**

A disposição desenfreada de resíduos sólidos urbanos em locais sem critérios de engenharia, podem ocasionar o risco de contaminação por chorume: um líquido contaminante, de cor escura, com odor, com alta demanda bioquímica de oxigênio, que foi derivada de processos biológicos, químicos e físicos da decomposição da matéria orgânica.

Os impactos causados pela destinação inadequada dos resíduos sólidos vão desde impactos ambientais como também impactos socioeconômicos e de saúde pública. Segundo (SNIS, 2019) 580 unidades no Brasil foram classificadas como aterros controlados, correspondendo a 25,1% do total de formas de disposição. Em Minas Gerais, segundo (SEMAD, 2021) dos 852 municípios, 39,5% ainda dispõem seus resíduos em lixões, 39,08 em aterros sanitários e o restante 21,42 % em outras formas como UTC – unidade de triagem e compostagem, aterros não licenciáveis etc. Em Nepomuceno, os resíduos sólidos foram dispostos em lixões até 2004, onde a partir desta data foi mudado para um aterro controlado, sendo estes resíduos tendo como características domiciliares, de serviços de saúde, eletrônicos, pilhas e baterias e encerrou em novembro de 2018, onde a partir desta data todos os resíduos gerados foram encaminhados para um aterro sanitário licenciado.

A contaminação do solo por resíduos orgânicos deve ser avaliada e monitorada para que seja destinado uma recuperação, a fim de garantir a estabilidade do contaminante e preservar os recursos naturais.

Um dos métodos que vem sendo mais utilizado para realizar o monitoramento ambiental é a resistividade elétrica, onde é possível compreender como o percolado de chorume está disposto no perfil do solo. Quando este material entra em contato com o solo, causa a diminuição da resistividade elétrica natural do material, devido à grande concentração de íons metálicos dissolvidos (BORTOLIN; MALAGUTTI FILHO, 2010). É um método de rápida obtenção, de forma direta e sem que ocorra muita movimentação ou coleta de solo para análise.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficácia da técnica de resistividade elétrica do solo na identificação da percolação do chorume oriundo dos 14 anos que os resíduos foram inseridos no aterro controlado de Nepomuceno.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

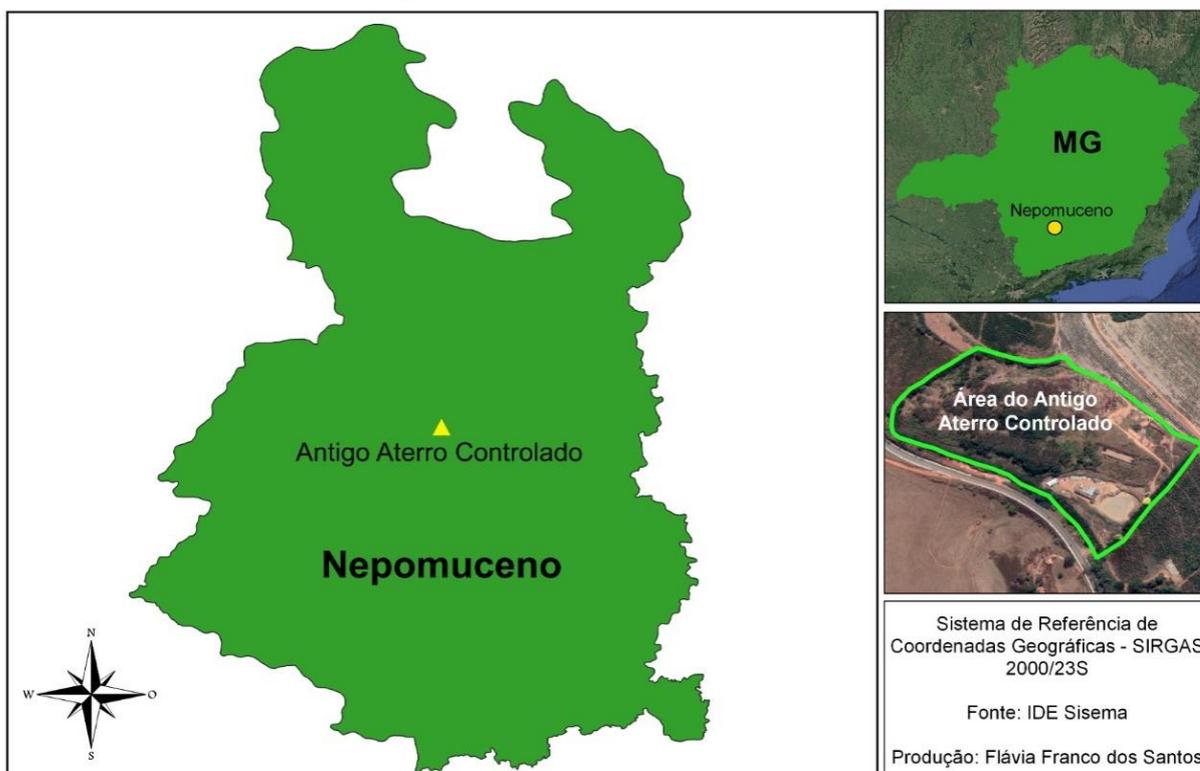
### 2.1 Caracterização da área em estudo

O antigo lixão está localizado nas coordenadas geográficas  $21^{\circ}13'27.96''\text{S}$  latitude e  $45^{\circ}15'42.55''\text{O}$  longitude, às margens da Rodovia Pimenta da Veiga, entre os quilômetros 383 e 384 da BR 265. O lixão possui uma área aproximada de 10 hectares, e encontra-se a uma distância de 2 Km do núcleo urbano de Nepomuceno.

No percentual da população em domicílios com coleta de resíduos sólidos, destaca-se que não houve alteração no período, alcançando 100,00% da população em 2017.

**Figura 9** - Localização do antigo Aterro Controlado de Nepomuceno

### Localização do Antigo Aterro Controlado de Nepomuceno - MG



Fonte: Do autor (2022).

## **2.2 Histórico do Aterro Controlado**

Os resíduos sólidos foram dispostos nesta região a partir de 2004 de diversas características como domiciliares, de serviços de saúde, eletrônicos, pilhas e baterias e encerrou em novembro de 2018, onde a partir desta data todos os resíduos gerados na cidade de Nepomuceno foram encaminhados para um aterro sanitário licenciado.

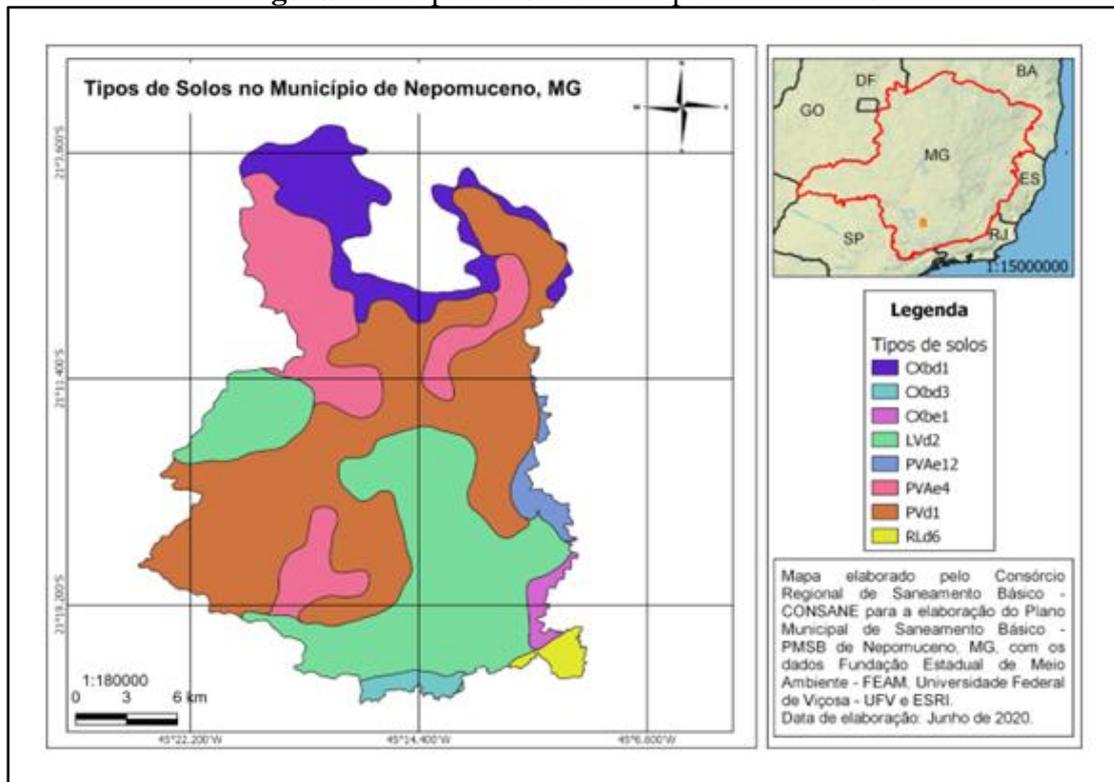
## **2.3 Pedologia**

Dada a enorme importância ambiental e econômica dos solos, o conhecimento de suas propriedades é primordial para seu manejo adequado, visando o uso sustentável desse recurso natural. Mapas pedológicos fornecem dados de aproveitamento imediato, principalmente, no que se relaciona à previsão de comportamento de uso dos solos em relação às práticas de manejo e conservação (IBGE, 2007). Além disso, o solo influencia intensamente no arranjo dos ecossistemas devido às suas interações com o substrato rochoso, água, clima e vegetação é um notável estratificador da paisagem (RESENDE et al. 2005).

As classes de solos representam agrupamentos de solos semelhantes a determinadas características. O Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SiBCS) é o sistema taxonômico oficial de classificação de solos do Brasil (EMBRAPA, 2013) e dispõe da metodologia para classificar as amostras de perfis de solos e seus horizontes.

O município de Nepomuceno - MG apresenta em sua maior parte Latossolo Vermelho distrófico (LVd2) e Argissolo Vermelho distrófico (PVd1), além dos outros solos tais como, Cambissolo Háplico Tb distrófico (CXbd1 e CXbd3), Cambissolo Háplico Tb eutrófico (CXbe), Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (PVAe4 e PVAe12) e Neossolo Litólico distrófico (RLd6), como é possível observar na imagem abaixo.

**Figura 10** - Tipos de solos de Nepomuceno - MG



Fonte: Fonte: CONSANE (2021).

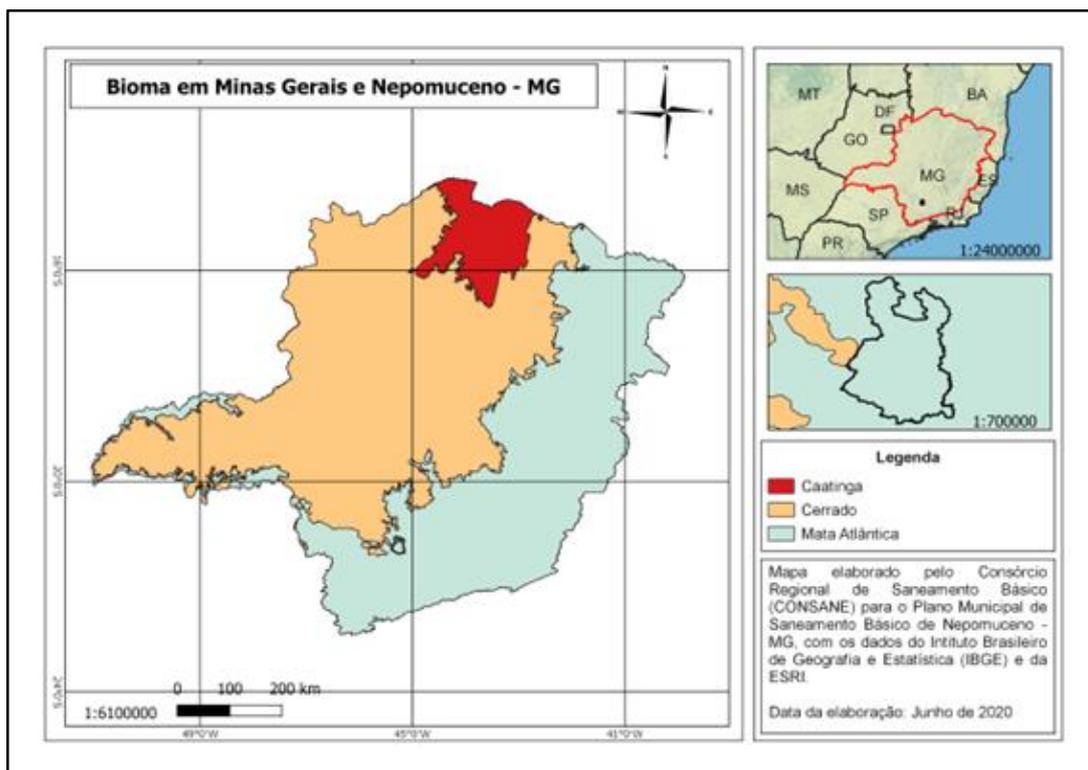
## 2.4 Bioma

A relação solo-vegetação é muito íntima e estão diretamente ligados entre si. De acordo com Messias et al. (2013) e Veloso et al. (2014), as características químicas e físicas do solo são grandes fatores abióticos para a distribuição da vegetação em ambientes tropicais. Ademais, a distribuição de espécies pode ser determinada por nutrientes presentes do solo (MESSIAS et al. 2013).

Bioma é um conjunto de vida vegetal e animal. É formado por um grupo de vegetações em nível regional, com características, como geologia e clima, semelhantes que passaram pelos mesmos processos de formação de paisagem, ocasionando características próprias de fauna e flora (IBGE, 2020).

O bioma predominante no Município de Nepomuceno é Mata Atlântica com limite ao Cerrado, como evidenciado na figura X. Há também a presença de floresta estacional semidecidual, em diferentes estágios de sucessão secundária, variando de médio a avançado de regeneração natural (FRANCO, MARQUES e SOBRINHO, 2012).

**Figura 11** - Bioma de Nepomuceno - MG



Fonte: Fonte: CONSANE (2021).

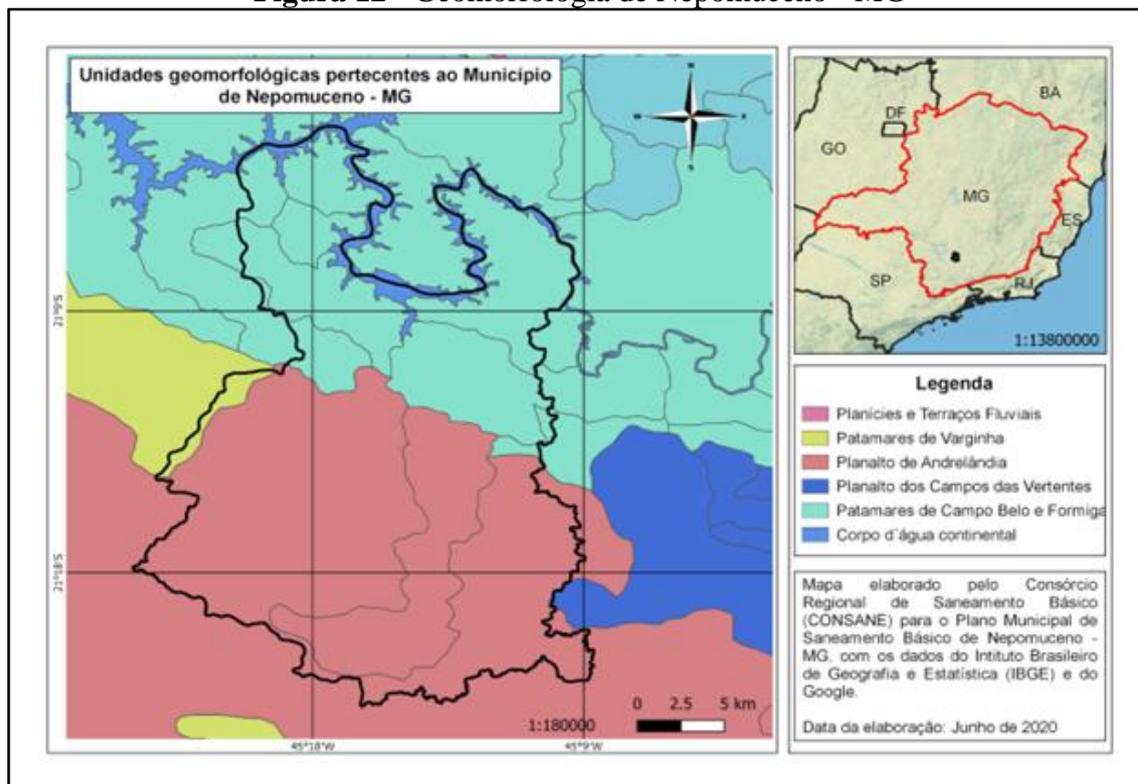
## 2.5 Hidrogeologia

A hidrogeologia é o ramo da Hidrologia que estuda a água subterrânea, em especial a sua relação com o ambiente geológico. Segundo o mapa de Domínios/Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil (Escala 1:2.500.000), do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, há três domínios no território de Nepomuceno, predominando o domínio Cristalino.

## 2.6 Geomorfologia

O município está inserido principalmente em duas unidades geomorfológicas, segundo o mapa geomorfológico de Minas Gerais (Escala 1:250.000), sendo elas: Planalto de Andrelândia e Patamares de Campo Belo e Formiga, como mostra a figura abaixo.

**Figura 12 - Geomorfologia de Nepomuceno - MG**



Fonte: Fonte: CONSANE (2021).

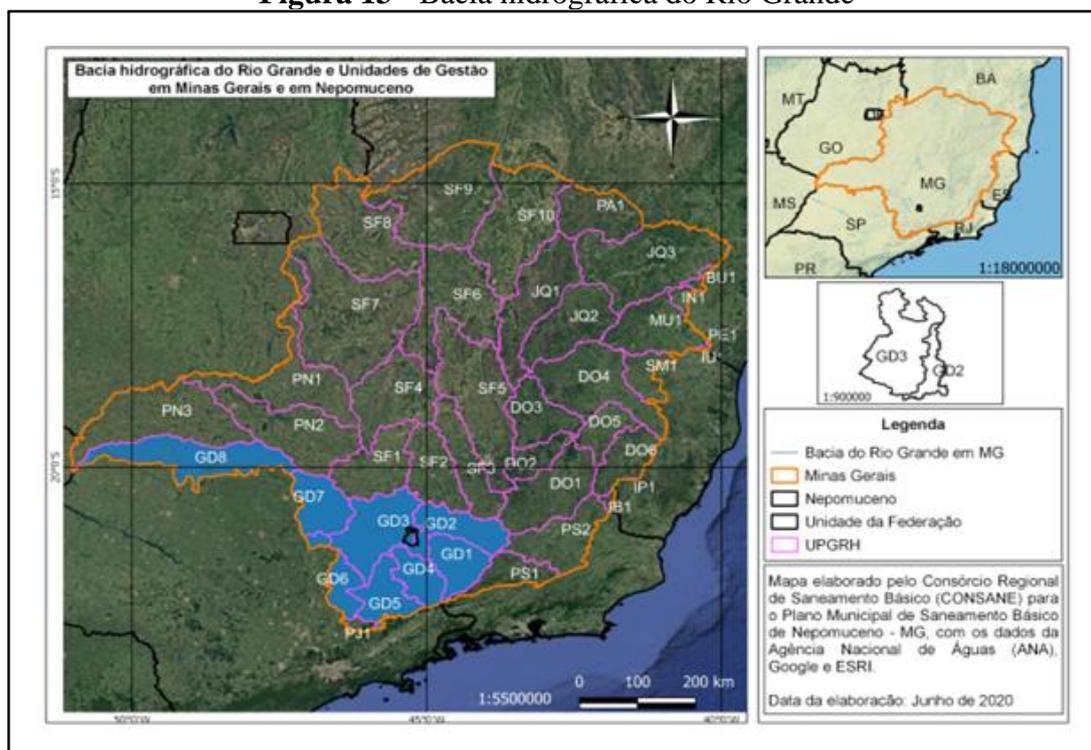
## 2.7 Bacia Hidrográfica

O município de Nepomuceno está inserido na bacia hidrográfica do Rio Grande, a qual possui área de 143.255 km<sup>2</sup>, ocupando áreas no estado de Minas Gerais (60%) e São Paulo (40%). A bacia hidrográfica do Rio Grande é parte integrante da bacia do Rio Paraná, uma das mais importantes do país, tanto do ponto de vista econômico como do aproveitamento dos recursos hídricos.

O município de Nepomuceno tem 80% de sua área municipal inserida na Bacia do Entorno do Reservatório de Furnas (Comitê GD3), incluindo sua sede. Esta bacia possui uma área total de 16.643 km<sup>2</sup> e contém 50 municípios (34 municípios com sede na bacia).

O restante da área do município está inserido na Bacia do Rio das Mortes (Comitê GD2), a qual possui 42 municípios (com 30 municípios com sede na bacia) e com uma área de 10.540 km<sup>2</sup>.

**Figura 13 -** Bacia hidrográfica do Rio Grande



Fonte: Fonte: CONSANE (2021).

## 2.8 Relevô

O município de Nepomuceno possui altitude média de 843 metros acima do nível do mar (IBGE, 2019) e está localizado inteiramente em uma área de planalto.

Os pontos mais elevados são representados pelas Serras São João, Morembá, do Oriente, Dois Irmãos, do Carrapato e da Paineira (IBGE, 2019).

## 2.9 Clima

Adotou-se a classificação climática utilizada pelo INMET, chamada de classificação climática de Köppen-Geiger, que associa dois tipos de classificações: 1) a influência do clima; 2) a umidade em razão de chuvas. A classificação climática de Köppen-Geiger parte do pressuposto que a vegetação natural de cada grande região da superfície terrestre é uma expressão do clima que prevalece nela. Para determinação dos tipos climáticos considera-se a sazonalidade e os valores médios anuais e mensais da temperatura do ar e da precipitação.

O Município de Nepomuceno é caracterizado por um tipo climático, de acordo com Köppen- Geiger, como Temperado úmido com inverno seco e verão quente – Cwa e em uma

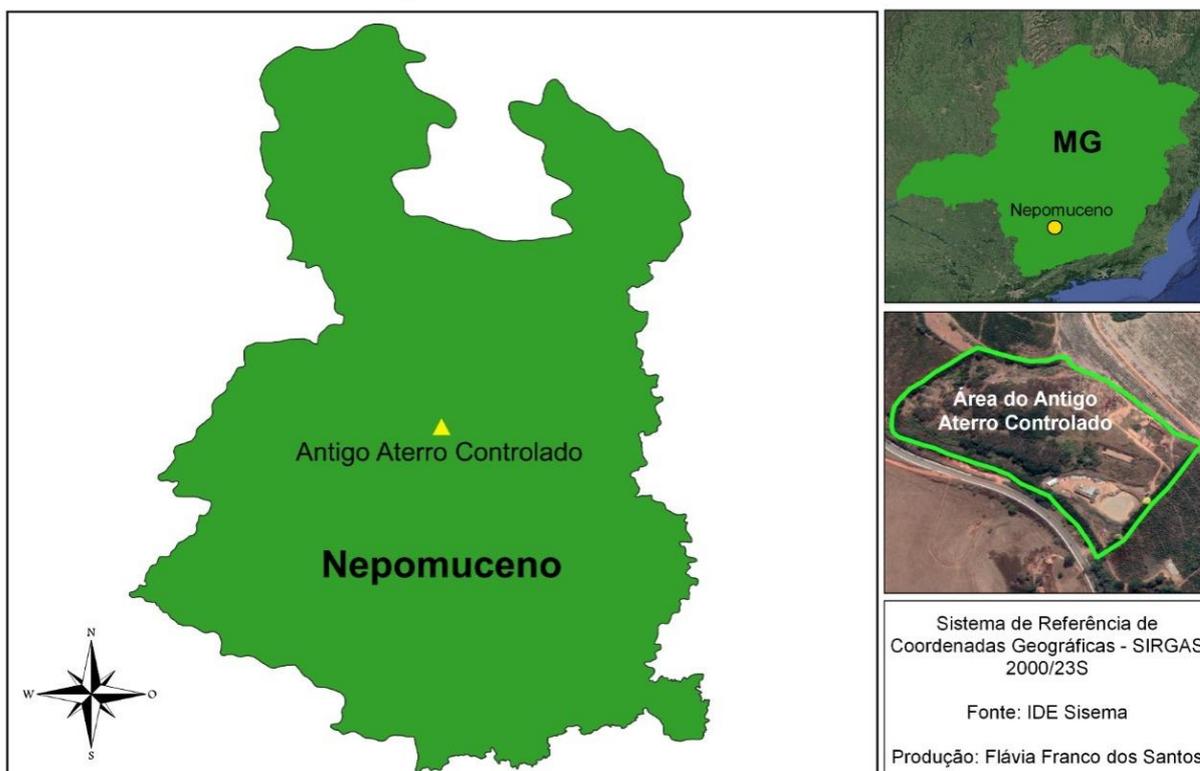
pequena parcela do município como Temperado úmido com inverno seco e verão morno – Cwb. A umidade do município é caracterizada como úmido – B2.

A temperatura média anual é de 19 a 20 °C com média entre 15° e 18° C em pelo menos um mês. A precipitação média anual é de 1.146,6 mm, que se concentra no período de novembro a março (75,68% da precipitação anual), dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O município de Nepomuceno no ano de 2020, em parceria com o CONSANE e a Universidade Federal de Lavras, efetuou uma análise de eletrorresistividade na área do Lixão de Nepomuceno, com o objetivo de determinar a possibilidade de plumas de contaminação pelo percolado de chorume, como parte da elaboração do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da área do antigo aterro controlado.

O antigo lixão está localizado nas coordenadas geográficas com latitude 21°13'27.96" ao sul e longitude 45°15'42.55 à oeste, às margens da Rodovia Pimenta da Veiga, entre os quilômetros 383 e 384 da BR 265. O lixão possui uma área aproximada de 10 hectares, e encontra-se a uma distância de 2 km do núcleo urbano de Nepomuceno.

**Figura 1** – Mapa de localização do antigo aterro controlado de Nepomuceno  
**Localização do Antigo Aterro Controlado de Nepomuceno - MG**



Fonte: Do autor (2022).

A disposição dos resíduos sólidos nesta área teve início no ano de 2004 até novembro de 2018, em que recebia resíduos de diversas características como: domiciliares, de serviços de saúde, eletrônicos, pilhas e baterias. A partir do encerramento do lixão, os resíduos começaram a ser encaminhados para um aterro sanitário licenciado.

A quantidade de resíduos aterrados foi estimada através dos dados da análise da sondagem, sabendo a área do maciço de resíduos e o local em que se localiza. Na área foram encontrados resíduos em até 11 metros de profundidade e a área da vala, que é a área onde era inserido os resíduos para serem cobertos pelo solo é aproximadamente 6400 m<sup>2</sup>, o volume de resíduos sólidos urbanos enterrados no local é 70400 m<sup>3</sup>. Portanto, a massa estimada de resíduos presentes na vala é de 17.600.000 kg, ou seja, 17.600 toneladas, considerando a densidade do “lixo” é 25 kg/m<sup>3</sup>.

## **2.2 Coletas**

### **2.2.1 Solo**

Com o objetivo de caracterizar o solo em estudo, foram coletadas amostras de solo com profundidade de até 60 cm e amostras de solo para investigação de contaminação pelo método de Sondagem à Percussão (SPT) em diferentes profundidades variando de 9 a 15 metros. Foi analisada a fertilidade do solo, onde as amostras da superfície do maciço de resíduos, apresentou altos valores de nutrientes, sódio e ferro, decorrentes da presença de resíduos.

No modo geral, nota-se que os valores encontrados nas análises de solo da área do antigo lixão de Nepomuceno, estão em conformidades com a legislação, até mesmo as amostras do maciço de resíduos, não ultrapassou os limites de referência da Resolução CONAMA nº 420, 28 de dezembro de 2009 e Deliberação Normativa Copam nº 166/2011.

Pela análise, havia resíduos sólidos soltos e compactos, como mostra a figura 2.

**Figura 2**– Imagem que mostra a superfície do solo com resíduos



Fonte: PRAD Nepomuceno, 2020.

### 2.2.2 Água

Segundo o PRAD Nepomuceno (2021), foi realizada a análise das águas superficiais e subterrâneas. A caracterização das águas superficiais foi realizada em 2 pontos a jusante do depósito de resíduos. Em um ponto à jusante não foi possível coletar água por estar seco, sendo necessário voltar no período de chuva para fazer a coleta de amostra de água. Vale ressaltar que no período de realização das amostragens, não foi observado afloramento de chorume no local, desta forma, não foi possível realizar sua coleta e análise.

As variáveis analisadas foram: pH, condutividade elétrica, turbidez, sólidos totais, sólidos dissolvidos, DQO, DBO, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrato, fósforo total, ferro total, coliformes totais, coliformes termotolerantes e metais (cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio e zinco).

As análises de metais pesados nas águas subterrâneas e superficiais em período de seca sugerem contaminação por Chumbo (Pb) e Cádmio (Cd), no entanto, não é possível atribuir esta contaminação apenas aos resíduos aterrados na área (baterias/pilhas, plásticos, ligas metálicas, pigmentos, resíduos de galvanoplastia, tintas, impermeabilizantes, anticorrosivos,

entre outros), uma vez que defensivos agrícolas utilizados na lavoura de café localizada à montante do lixão são também constituídos por estes metais.

Diante dessas supostas contaminações, foram realizadas análises de metais, tais como Ni, Cr, Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Fe, Hg, As e Se em outros pontos a fim de verificar a existência de contaminações em propriedades vizinhas da antiga área de disposição final de resíduos e nenhum dos pontos indicaram contaminação com esses metais citados acima.

Foi realizada uma análise da água do poço artesiano, com foco nos seguintes parâmetros: odor, condutividade elétrica, pH, dureza, alcalinidade, sulfato, cloreto, nitrato, nitrito, sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro, sólidos, turbidez. Dentre as análises realizadas, os parâmetros ferro total, coliformes totais e *Escherichia coli* apresentaram resultados fora dos padrões preconizados pela Portaria de Consolidação nº5/2017, do Ministério da Saúde.

### 2.3 Resistividade

Em pesquisa na literatura foi demonstrado que era possível determinar a quantidade de resíduos em profundidade utilizando métodos geofísicos, devido ao chorume que é gerado e a sensibilidade do equipamento em diagnosticar. A partir da necessidade de quantificar para usos futuros no local, foi realizado um estudo histórico, determinando a possibilidade de regiões com mais acúmulo de resíduos sólidos, e a partir da análise foi feita uma visita in loco no local de estudo para determinar quais pontos seriam avaliados. O modelo do equipamento utilizado para avaliar a eletrorresistividade no antigo aterro controlado localizado em Nepomuceno - MG, foi o X5xtal Control com capacidade de injeção de corrente de 250 mA. O arranjo escolhido para este estudo foi o dipolo- dipolo, onde a corrente inserida no solo foi através de dois eletrodos metálicos A e B, e para a determinação da diferença de potencial referente à passagem de corrente, foi feita através de outros dois eletrodos metálicos, denominados M e N.

A geometria AB e MN no momento da medida definem o fator geométrico K, como mostra a equação 1:

$$K = 2\pi \left[ \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right]^{-1}$$

A resistividade elétrica aparente pode ser calculada pela equação 2:

$$\rho = \frac{kAV}{I}$$

onde,

$\rho$  = resistividade elétrica aparente

$K$  = fator geométrico

$\Delta V$  = potencial elétrico

$I$  = intensidade e corrente elétrica

Para a investigação foram realizados 5 transectos de caminhamento elétrico: um transecto onde existia um maior volume conhecido de resíduos (vala de disposição do aterro controlado) e os demais transectos na região lateral à esta vala.

O transecto na vala possuía 85,45 m de comprimento e 5,45 m de espaçamento entre eletrodos. Na região lateral à vala, cada um dos 4 transectos possuía 156,13 m de comprimento e 4,53 m de espaçamento entre os eletrodos com uma distância entre cada transecto de 15 a 20 m.

A definição dos espaçamentos e do comprimento são fixos durante todo o levantamento de dados, e são definidos a partir do objetivo, que neste estudo é avaliar em profundidade a contaminação por chorume.

Os intervalos de resistividade nos perfis, foram classificados a partir de Cavalcanti et al. (2014) adaptado de Fachin et al. (2006) quanto ao grau de contaminação de acordo com a tabela 1.

Tabela 1: Classificação para áreas contaminadas de acordo com intervalos de resistividade elétrica (Cavalcanti et al., 2014).

Classificação	$\rho$ (Ohm.m)
Área contaminada	<50
Área suspeita de contaminação	50 a 200
Área não contaminada	>200

Para o levantamento foi realizado o arranjo dipolo-dipolo com medições onde mantêm-se fixos os eletrodos de potencial A e B e de corrente M e N até o fim da seção, finalizando assim o primeiro nível. Para os seguintes níveis, repete-se o caminhamento avançando o eletrodo A e B, até que os 2 pares de eletrodos estejam concomitantes, gerando no fim desta análise a resistividade elétrica aparente.

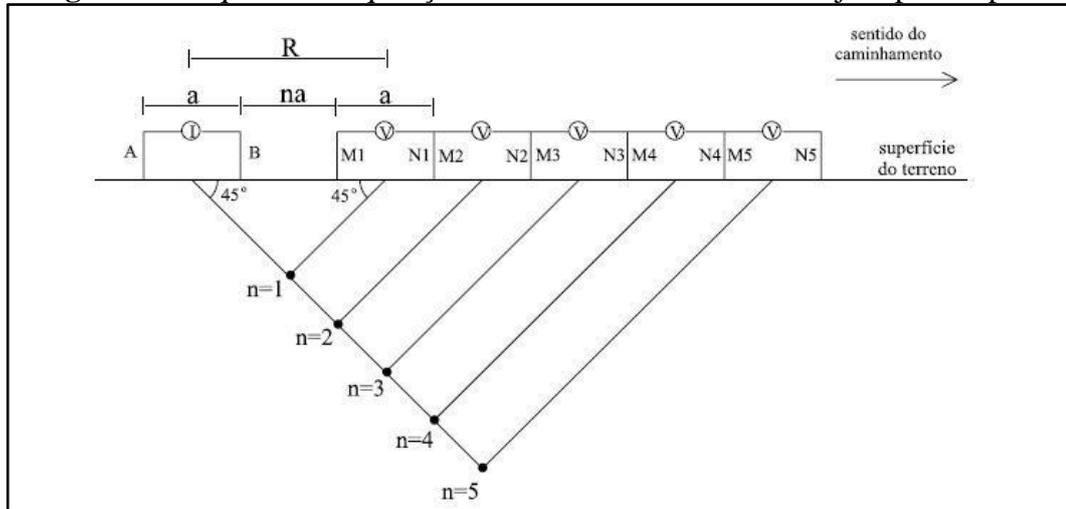
Para o arranjo dipolo-dipolo, o valor de  $G$  será dado pela equação:

$$G = \frac{1}{\left(\frac{1}{n} + \frac{2}{n+1} + \frac{1}{n+2}\right)}$$

onde,

$n = \text{nível}$

**Figura 3** - Esquema de aquisição dos dados utilizando o arranjo dipolo-dipolo



Fonte: Gandolfo, Gallas (2007)

**Figura 4** - Alocação dos transectos para análise com resistivímetro



Fonte: CONSANE (2021).

## 2.4 Análise estatística

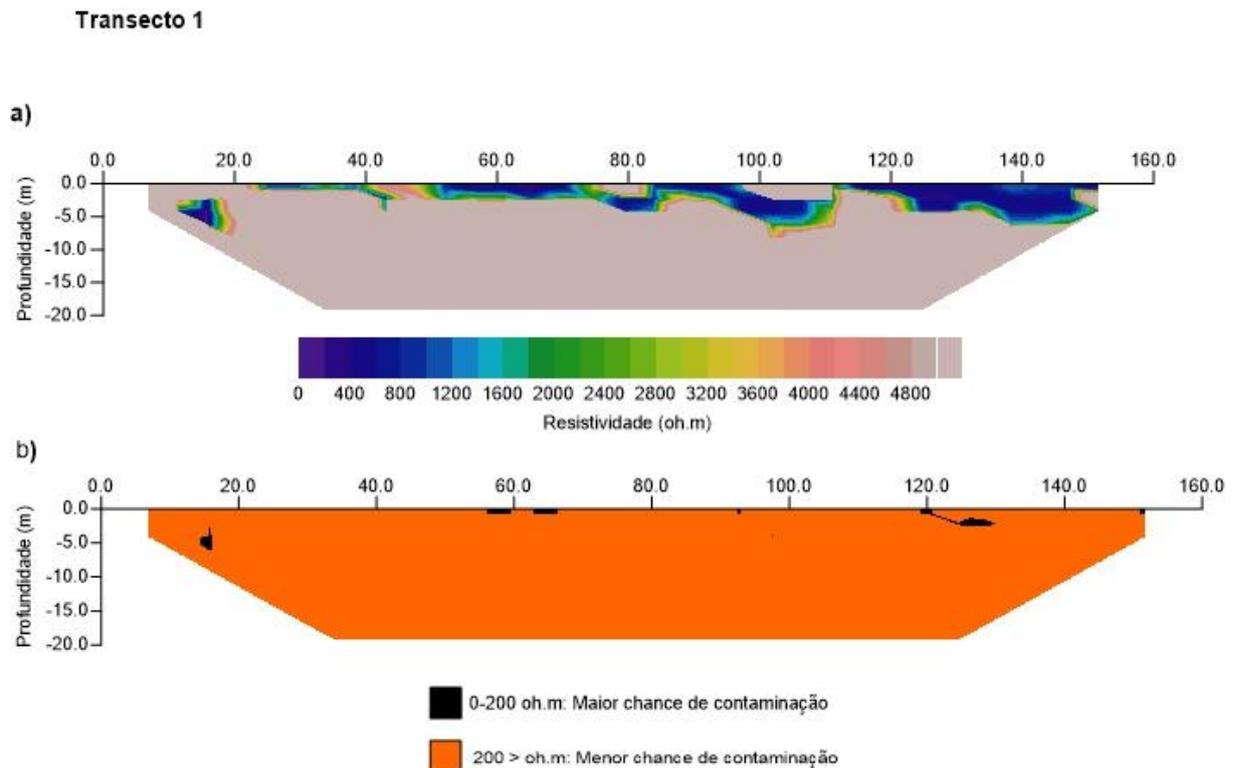
Na obtenção dos resultados utilizou-se o software Res2DINV, que foram gerados os mapas geofísicos, onde mostra que o eixo Y é caracterizado pela profundidade em metros alcançada pelo levantamento e o eixo X é caracterizado pela resistividade em Ohm, e para confecção dos mapas utilizou-se o software Surfer.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A determinação das plumas de contaminação ao longo do perfil dos solos está apresentada nas figuras 5 a 9. A modelagem das secções de eletroresistividade em 2D foi efetuada até a quarta interação, obtendo os valores de 38% a 64% de RMS. Os modelos geoeletricos exibem os valores de resistividade elétrica entre 00 ohm.m a 4800 ohm.m.

A pseudoseção 1 não apresentou risco de contaminação ao longo do perfil (Figura 5). Pequenas manchas localizadas superficialmente foram observadas, porém comprovando com as prospecções em campo, nada foi constatado.

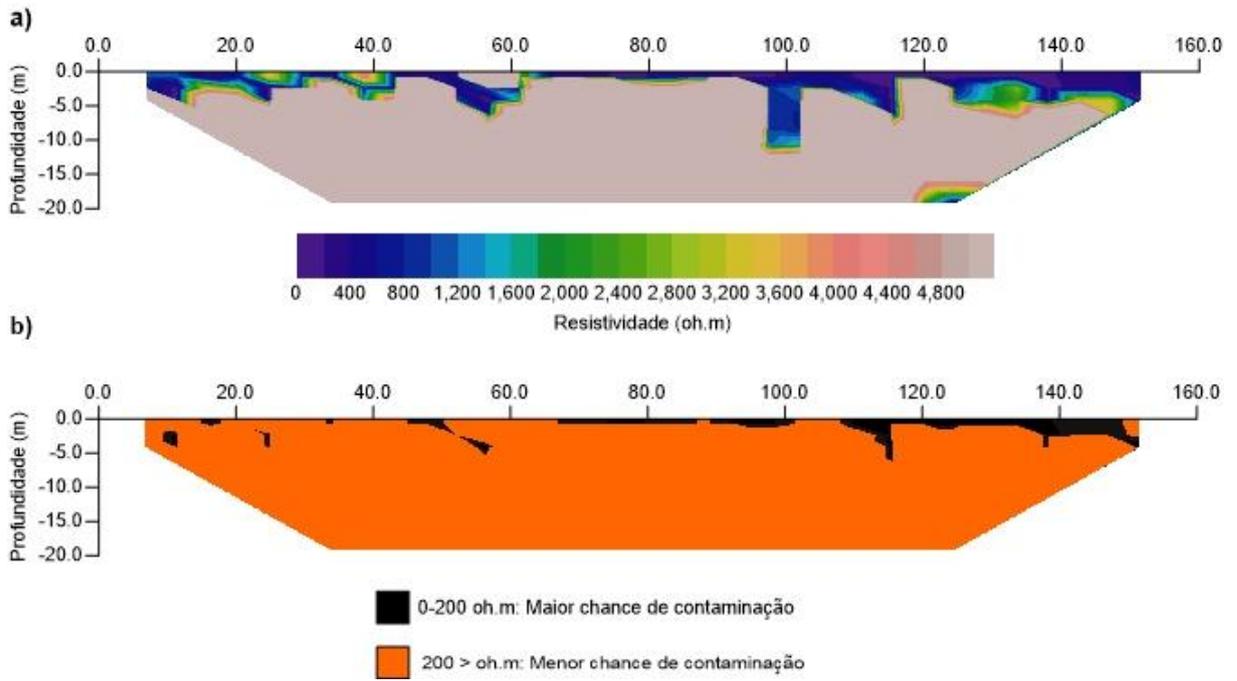
**Figura 5-** Resultados da resistividade do transecto 1



No pseudoseção 2, é possível observar pequenas áreas de contaminação em superfície até uma profundidade de 5 metros (Figura 6b). No transecto 3 as áreas de possíveis contaminação aparecem também até 5 metros de profundidade, porém ocorre uma mancha mais pontual, até os primeiros 60 metros de largura (Figura 7b).

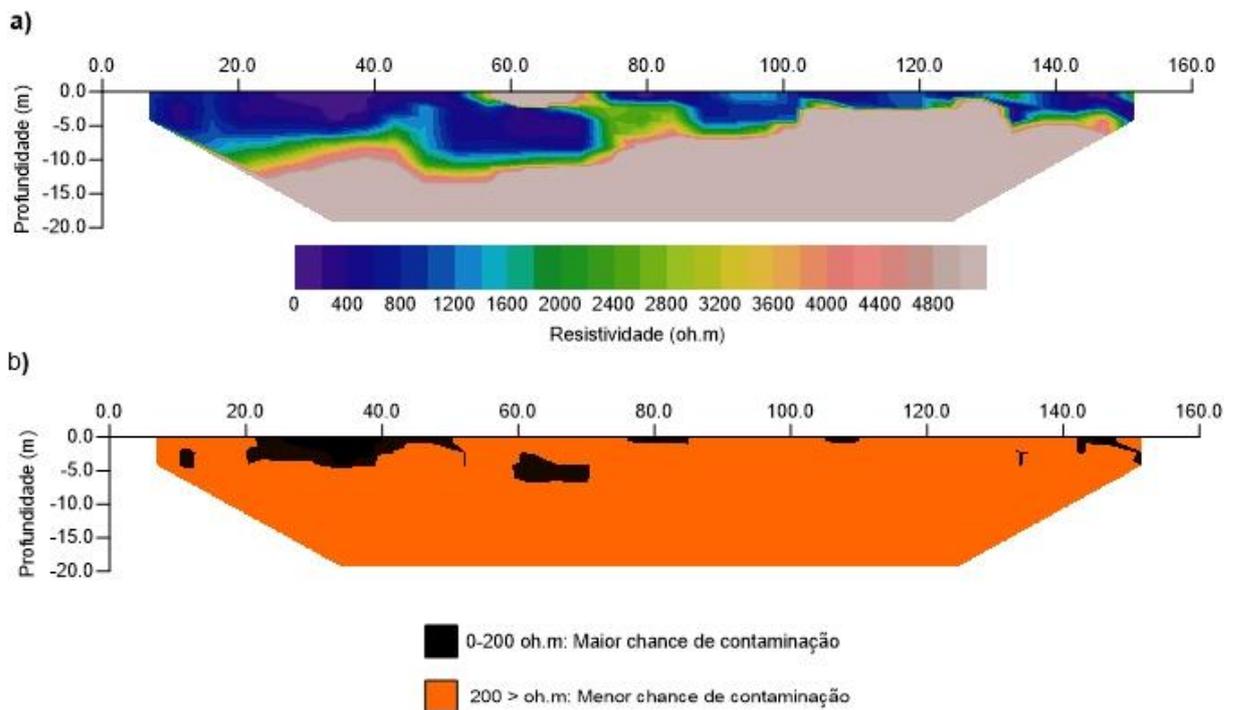
**Figura 6 - Resultados da resistividade do transecto 2**

**Transecto 2**



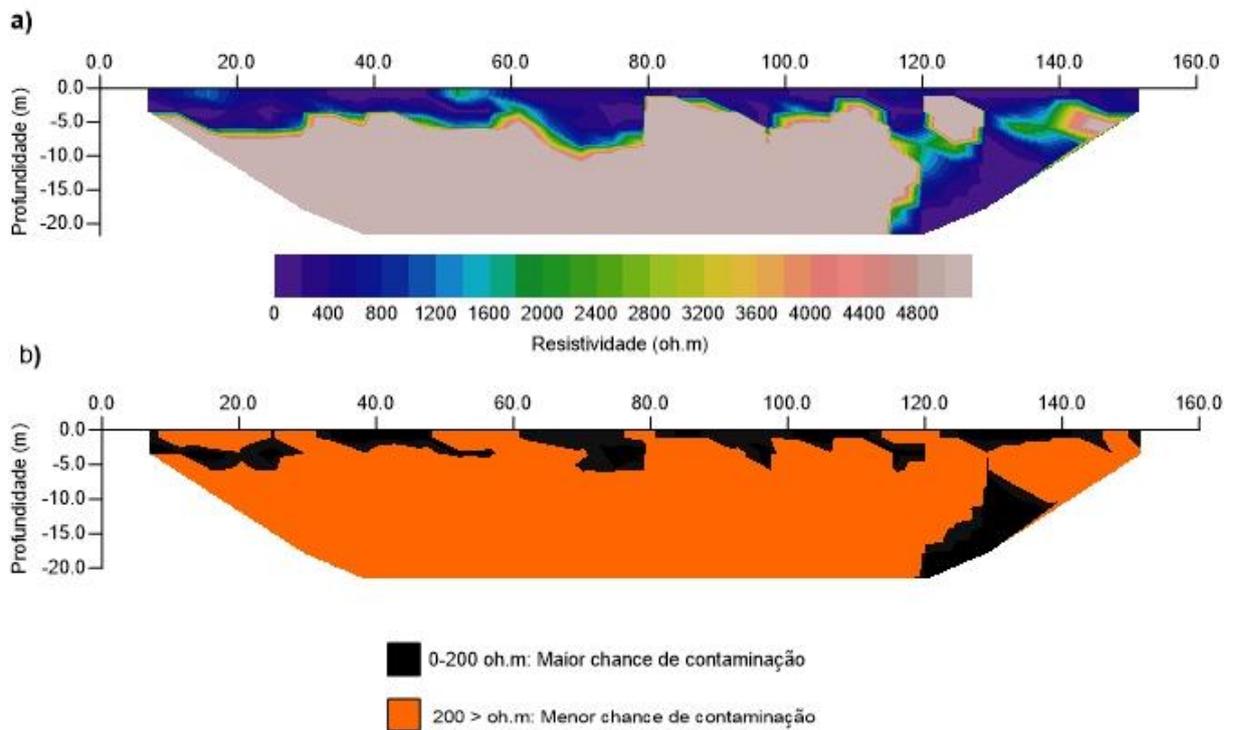
**Figura 7 - Resultados da resistividade do transecto 3**

**Transecto 3**



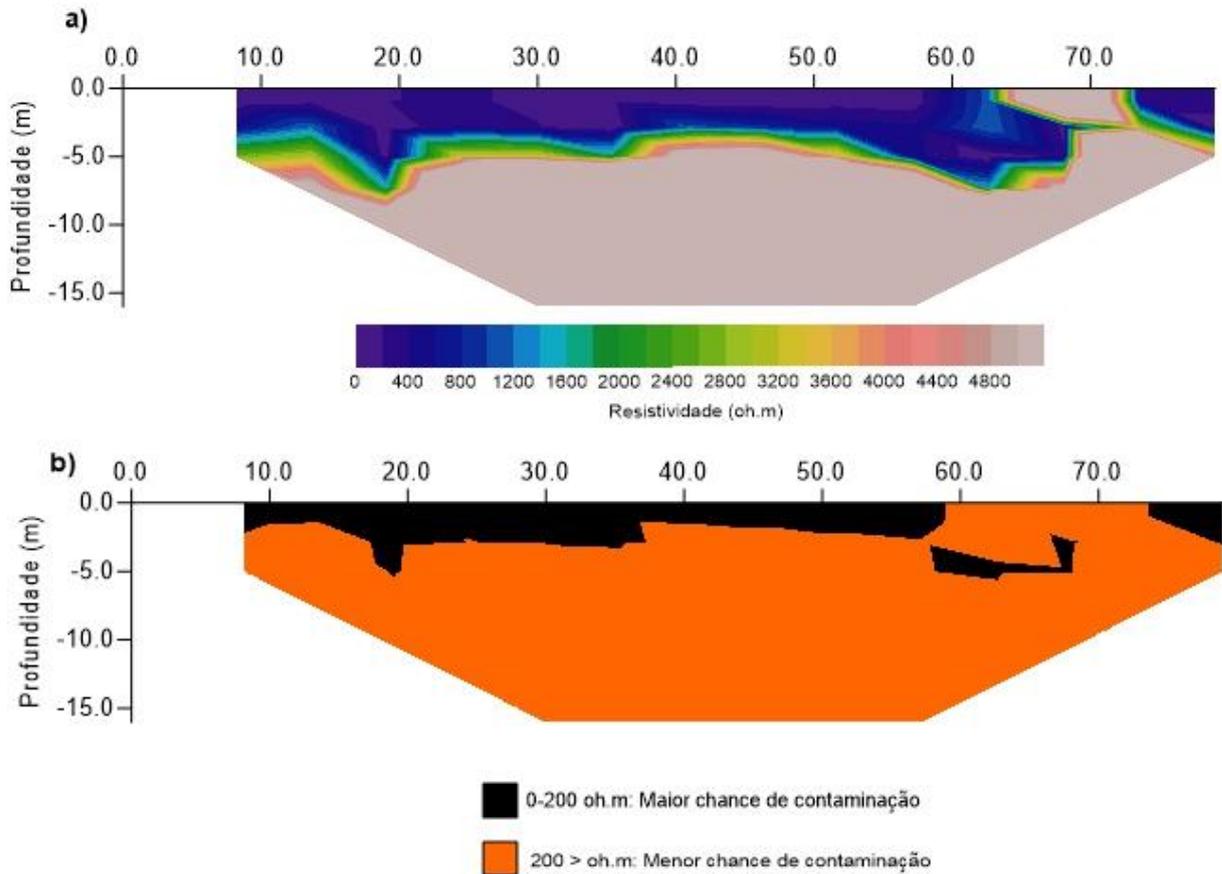
A pseudoseção 4 seguiu o mesmo padrão indicativo de contaminação em superfície até 5 metros de profundidade, com adicional área de possível contaminação na borda direita do transecto até uma profundidade de 20 metros (Figura 8b). A maior chance de contaminação na superfície também é observada ao longo de toda a pseudoseção 5 em até 5 metros de profundidade (Figura 9b).

**Transecto 4** **Figura 8** - Resultados da resistividade do transecto 4



**Figura 9** - Resultados da resistividade do transecto 5.

### Transecto 5



## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho para diagnosticar contaminação por chorume mostram a possibilidade da utilização do arranjo dipolo-dipolo, por alcançar maiores resoluções em profundidades.

Os mapas mostram que pode haver uma possível contaminação superficial, mas que não é considerável, nos transectos 2, 3, 4 e 5.

O estudo confirma que o método da eletrorresistividade possibilita auxiliar os estudos ambientais sobre contaminação, e propor tecnologias para alternativas de uso destas áreas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Kamylla de Lima. **Caracterização geolétrica do lixão municipal de Pirenópolis, Goiás**. 2018. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências Aplicadas e Geodinâmica, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

BORTOLIN, José Ricardo Melges; MALAGUTTI FILHO, Walter. Método da eletrorresistividade aplicado no monitoramento temporal da pluma de contaminação em área de disposição de resíduos sólidos urbanos. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio Claro, v. 15, n. 4, p. 367-374, dez. 2010.

CAVALCANTI, Marcio Maciel; BORGES, Welitom Rodrigues; STOLLBERG, Reiner; ROCHA, Marcelo Peres; CUNHA, Luciano Soares da; SEIMETZ, Eduardo Xavier; NOGUEIRA, Pedro Vencovsky; SOUSA, Frederico Ricardo Ferreira Rodrigues de Oliveira e. Levantamento geofísico (eletrorresistividade) nos limites do aterro controlado do Jokey Clube, Vila Etrutural, Brasília-DF. **Geociências**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 298-313, jun. 2014.

CRUZ, Juliana Igarashi da; PORTUGAL, Rodrigo de Souza; LUCENDO, Maria Carmen Hernández; ELIS, Vagner Roberto; FACHIN, Sergio Junior da Silva; USTRA, Andrea T.; BORGES, Welitom Rodrigues. Detecção de contaminação de solo por vinhaça através de análise de dados de eletrorresistividade. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 481-492, out. 2008.

GANDOLFO, Otávio Coaracy; GALLAS, José Domingos Faraco. O arranjo pólo-dipolo como alternativa ao dipolo-dipolo em levantamentos 2D de eletrorresistividade. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 227-235, ago. 2007.

MELO, Laura Beatriz Batista de; SILVA, Bruno Montoani; PEIXOTO, Devison Souza; CHIARINI, Thayná Pereira Azevedo; OLIVEIRA, Geraldo César de; CURI, Nilton. Effect of compaction on the relationship between electrical resistivity and soil water content in Oxisol. **Elsevier**, Lavras, v. 208, abr. 2021.

MORAIS, Fernanda; BACELLAR, Luis de Almeida Prado. Geofísica aplicada ao estudo de fluxos da água no solo. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 213-222, abr. 2010.

MOREIRA, César Augusto; BRAGA, Antonio Celso de Oliveira. Aplicação de métodos geofísicos no monitoramento de área contaminada sob atenuação natural. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio Claro, v. 14, n. 2, p. 257-264, abr/jun. 2009.

MOREIRA, César Augusto; BRAGA, Antonio Celso de Oliveira. Decomposição de resíduos sólidos domiciliares e variações na resistividade e cargabilidade. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 401-409, set. 2009.

SAMOUËLIAN, A.; COUSIN, I.; TABBAGH, A.; BRUAND, A.; RICHARD, G.. Electrical resistivity survey in soil science: a review. **Elsevier**, [s. l], v. 83, p. 173-193, out. 2004.

SILVA, Robson Willians da Costa; MALAGUTTI FILHO, Walter; MOREIRA, César Augusto. Emprego do método da eletrorresistividade no estudo da contaminação subterrânea do cemitério municipal de Vila Rezende, Piracicaba-SP. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 389-399, set. 2009.

SOUZA, Geórgia Castro de. Aplicação dos métodos eletromagnéticos indutivo, eletrorresistividade e IP domínio do tempo em caracterização geoambiental. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, p. 571, ago. 2007.