



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

JANIE SOUSA SILVA

**ELETORRESISTIVIDADE E QUÍMICA PARA FINS AMBIENTAIS EM ÁREAS
DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NAS PORÇÕES NORTE E CENTRO-
SUL DO ESTADO DE RORAIMA**

BOA VISTA, RR

2023

JANIE SOUSA SILVA

**ELETORRESISTIVIDADE E QUÍMICA PARA FINS AMBIENTAIS EM ÁREAS
DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NAS PORÇÕES NORTE E CENTRO-
SUL DO ESTADO DE RORAIMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, como pré-requisito para obtenção do título de mestre em Recursos Naturais. Área de concentração: Manejo e dinâmicas de Recursos Naturais.

Orientadora: Prof. Dra. Lena Simone Barata Souza

Coorientadora: Prof. Dra. Simone Rodrigues

BOA VISTA, RR

2023

JANIE SOUSA SILVA

**ELETRORESISTIVIDADE E QUÍMICA PARA FINS AMBIENTAIS EM
ÁREAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NAS PORÇÕES
NORTE E CENTRO-SUL DO ESTADO DE RORAIMA**

Dissertação apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Mestrado em Ciências Ambientais (Recursos Naturais) da Universidade Federal de Roraima, defendida em 15 de dezembro de 2023 e avaliada pela seguinte Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 LENA SIMONE BARATA SOUZA
Data: 28/02/2024 10:31:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Lena Simone Barata Souza
Orientadora – Universidade Federal de Roraima/UFRR

Documento assinado digitalmente
 RAPHAEL DI CARLO SILVA DOS SANTOS
Data: 25/02/2024 13:28:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Raphael Di Carlo Silva dos Santos
Membro – Universidade Federal do Amazonas/UFAM

Documento assinado digitalmente
 GEORGIA PATRICIA DA SILVA FERKO
Data: 23/02/2024 15:55:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Geórgia Patrícia da Silva Ferko
Membro – Universidade Federal de Roraima/UFRR

Documento assinado digitalmente
 EDNALVA DANTAS RODRIGUES DA SILVA DUARTE
Data: 23/02/2024 12:14:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Ednalva Dantas Rodrigues da Silva Duarte
Membro – Universidade Federal de Roraima/UFRR

Dedico a Deus
E a minha família

AGRADECIMENTOS

Agradecer primeiramente a Deus. Foram momentos difíceis em que o meu maior apego foi a fé. A fé que Deus faria por mim o que Ele planejou, e assim se fez. Assim como a minha família: Meus pais, tios e primas que foram minha maior base e inspiração para sempre persistir.

Agradecimento especial ao meu noivo Júnior, foi o responsável por todo o trabalho duro e braçal, além de todas as noites acordado comigo para me acompanhar na escrita. A todo o momento procurou incentivar e principalmente apoiar, com certeza o processo seria mais difícil sem você.

A Sarah Emílly, minha fiel amiga. Sem a ajuda que me proporcionou, nunca conseguiria terminar a tempo tudo o que tinha para fazer. O apoio e os momentos de ouvir meu desespero foram essenciais. Nunca poderei agradecer por tanto.

À Profa. Dra. Lena Simone Barata Souza por todo apoio em meio ao caos. Sabemos o quanto foi difícil e quantos problemas foram contornados para que essa pesquisa fosse finalizada. Preciso agradecer imensamente por toda a orientação e paciência ao longo desses dois anos.

A Profa. Dra. Simone Rodrigues, minha Coorientadora que ajudou como pode, principalmente na aquisição de reagentes e disponibilidade de laboratório.

Ao grupo de pesquisa Caimbé-Geociências de Roraima, por fornecer os dados eletrorresistivo das áreas de disposição de resíduos sólidos dos municípios de Amajari, Iracema e Mucajaí. Os agradecimentos ainda se estendem a Karolina Thalita, componente deste grupo, geóloga, cujo auxílio foi imprescindível nas coletas em campo e no processamento de dados geofísicos.

Aos professores da Universidade Federal de Roraima, Dr. Francisco Panero (Dep. de Química), Dr. Ednalva Dantas (Dep. de Química), Dra. Mirla Janaína (Dep. de Química), Dr. Carlos Ramon (Dep. de Química) e Dr. Eliel Deutério (Dep. de Física) por todo apoio nas análises que precisavam ser realizadas, mas principalmente nas palavras de acalento, sempre positivos dizendo que daria tudo certo.

E por fim, ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais (PRONAT), pela oportunidade em contribuir com as ciências ambientais, bem como também à CAPES/CNPq,

pelo apoio por meio da bolsa de estudos durante o período de curso. As amizades que formei ao longo deste percurso, em especial, a Ramoni. Amizade importante a qual tenho muito carinho e gratidão por ter construído.

“pois vocês sabem que a prova da sua fé
produz perseverança”
Tiago 1:3

RESUMO

A má disposição de resíduos sólidos é um problema que vem crescendo ao longo dos séculos, apesar de existir formas mais sustentáveis, ainda se usa quase que majoritariamente os lixões a céu aberto. Desta forma, o objetivo desta pesquisa é diagnosticar a contaminação por chorume advinda de Áreas de Disposição Municipal de Resíduos Sólidos - ADRS através de métodos geofísicas e químicos para fins ambientais nas porções norte e centro-sul do estado de Roraima. A averiguação dessa possível contaminação utilizou de métodos diretos (geoelétrico) e indiretos de investigação (físico-química), utilizando o ensaio eletrorresistivo (método indireto) e análises físico-químicas de pH, análise granulométrica e teor de umidade (método direto), possibilitando assim, uma perspectiva plausível da possível contaminação destas áreas em subsuperfície e superfície, respectivamente. Assim, as três ADMRS aqui estudadas (Amajari, Mucajaí e Iracema) foram enquadradas como lixões a céu aberto. Em relação ao contexto geoelétrico e físico-químico da ADMRS de Amajari indicou que valores inferiores a $167 \Omega\text{m}$, a profundidades superficiais de até 1,3 m, foram os valores mais próximos de resistividade de uma possível zona de contaminação na área; foi possível observar que, de leste a oeste, a pluma de contaminação ao longo dos 10 m de profundidade, tendo o solo características ácidas, o que nas condições em que se encontram, podem agravar ainda mais com a constante decomposição de resíduos sólidos, visto os aspectos geológicos da área. Para a ADMRS de Mucajaí a conjectura elétrica e físico-química mostrou a formação de uma pluma de contaminação vertical para oeste da área da ADMRS, que se entendem de 1 aos 24 metros de profundidade, houve generalização de baixa resistividade na ADMRS de Mucajaí em torno de $64 \Omega\text{m}$, para as análises físico-químicas foram obtidos resultados semelhantes ao de Amajari, com teores de umidade maiores que 10% e com valores de pH acima de 7, há possibilidade da contaminação poder alcançar os corpos hídricos presentes na área como os igarapés Traíra e Azul, que circunda a ADMRS. Por fim, o comportamento eletrorresistivo e físico-químico da antiga ADMRS de Iracema, que indicou como menor valor de resistividade em torno de $15 \Omega\text{m}$, sendo possível construir a pluma de contaminação com um espriamento na faixa leste até quase 4 m de profundidade, cujo análise química na área revelou pH menores que 4, considerado como muito ácido, podendo agravar a continuada decomposição do resíduo, embora a ADMRS não esteja mais ativa. Portanto, os resultados obtidos mostraram o quão eficaz são os estudos geofísicos associados a química para áreas de disposição de resíduos, demonstrando a importância de estudos ambientais e cumprimento das legislações vigentes à gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, desta forma, prevenindo e mitigando impactos ambientais.

Palavras-chave: Contaminação. Chorume. Sondagem Elétrica Vertical. Físico-química. Roraima.

ABSTRACT

The improper disposal of solid waste is a predicament that has been escalating over the centuries, despite the existence of more sustainable modalities, open-air landfills are still predominantly utilized. In this manner, the objective of this research is to diagnose leachate contamination originating from the so-called Municipalities of the State of Roraima – ADMRS through geophysical and chemical methods for environmental purposes in the northern and central-southern regions of the state of Roraima. The investigation of this possible contamination employed both direct methods (geolectric) and indirect investigation methods (physicochemical), utilizing the electrical resistivity test (indirect method) and physicochemical analyses of pH, grain size analysis, and moisture content (direct method), thus providing, a plausible perspective on the potential contamination of these areas in the subsurface and surface, respectively. Thus, three the three ADMRS studied herein (Amajari, Mucajaí, and Iracema) were categorized as open-air landfills. Concerning the geolectric and physicochemical context of the Amajari ADMRS, values below 167 Ωm at surface depths of up to 1.3 m were the resistivity values most closely associated with a potential contamination zone in the area; it was observed that, from east to west, the contamination plume extended along the 10 m depth, with the soil exhibiting acidic characteristics, which under the prevailing conditions, could worsen further due to the constant decomposition of solid waste, considering the geological aspects of the area. For the Mucajaí ADMRS, the electrical and physicochemical conjecture revealed the formation of a vertical contamination plume to the west of the ADMRS area, spanning depths from 1 to 24 meters. There was a generalization of low resistivity, around 64 Ωm , in the Mucajaí ADMRS, and physicochemical analyses yielded results similar to those of Amajari, with moisture content exceeding 10% and pH values above 7. There is a possibility of contamination reaching the water bodies in the area, such as the Traíra and Azul streams, which surround the ADMRS. Lastly, the electroresistive and physicochemical behavior of the former Iracema ADMRS indicated a minimum resistivity value of around 15 Ωm , making it possible to delineate the contamination plume with a spread extending to nearly 4 m in depth in the eastern range, whose chemical analysis in the area revealed pH values lower than 4, considered highly acidic, which could exacerbate the ongoing decomposition of the residue, even though the ADMRS is no longer active. Therefore, the obtained results demonstrated how effective the combination of geophysical studies with chemistry is for waste disposal areas., emphasizing the importance of environmental studies and compliance with prevailing

legislation for the management and administration of solid waste. This approach serves to prevent and mitigate environmental impacts.

Keywords: Contamination. Leachate. Vertical Electrical Sounding. Physicochemical. Roraima.

LISTA DE SIGLAS

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

ADMRS – Área de Disposição Municipal de Resíduos Sólidos

CCT – Centro de Ciências e Tecnologia

CE – Caminhamento Elétrico

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ER – Levantamento Eletrorresistivo

IQR – Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos - Valas/Lixões

PNRS – Panorama Nacional de Resíduos Sólidos

SABV – Sistema Aquífero Boa Vista

SEV – Sondagem Elétrica Vertical

UFRR – Universidade Federal de Roraima

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Primeira Lei de <i>Ohm</i>	29
Equação 2 – Segunda Lei de <i>Ohm</i>	29
Equação 3 – Condutividade elétrica.....	29
Equação 4 – Densidade da corrente.....	31
Equação 5 – Campo elétrico em função da resistividade.....	31
Equação 6 – Diferença de potencial entre 2 pontos.....	31
Equação 7 – Relação entre dois pontos infinitamente distantes.....	32
Equação 8 – Resistividade elétrica.....	32
Equação 9 – Relação entre equações.....	32
Equação 10 – Resistividade aparente.....	32
Equação 11 – Fator geométrico.....	32
Equação 12 – Cálculo de teor de umidade.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Peneiras e suas granulometrias, da maior para menor, como posicionada no experimento.	52
Tabela 2 – Partículas do solo no Furo 1 na ADMRS Amajari/RR.....	69
Tabela 3 – Partículas do solo no Furo 2 na ADMRS de Amajari/RR.	70
Tabela 4 – Partículas do solo no Furo 3 na ADMRS de Amajari/RR.	71
Tabela 5 – Teste de umidade do Furo 1 em profundidade na ADMRS Amajari/RR.....	72
Tabela 6 – Teste de umidade do Furo 2 em profundidade da ADMRS de Amajari/RR.	72
Tabela 7 – Teste de umidade do Furo 3 em profundidade da ADMRS Amajari/RR.....	73
Tabela 8 – Análises de pH para o furo 1 em profundidade da ADMRS de Amajari/RR.....	75
Tabela 9 – Análises de pH para o furo 2 em profundidade da ADMRS de Amajari/RR.....	75
Tabela 10 – Análises de pH para o furo 3 em profundidade da ADMRS de Amajari/RR.....	75
Tabela 11 – Partículas do solo no Furo 1 da ADMRS de Mucajaí/RR.	88
Tabela 12 – Partículas do solo no Furo 2 da ADMRS de Mucajaí/RR.	88
Tabela 13 – Teor de umidade do Furo 1 em profundidade da ADMRS de Mucajaí/RR.	89
Tabela 14 – Teor de umidade do Furo 2 em profundidade na ADMRS de Mucajaí/RR.	90
Tabela 15 – Análises de pH para o Furo 1 em profundidade da ADMRS de Mucajaí/RR.	91
Tabela 16 – Análises de pH para o Furo 2 em profundidade da ADMRS de Mucajaí/RR.	91
Tabela 17 – Partículas do solo do Furo 1 da ADMRS de Iracema/RR.	104
Tabela 18 – Teor de umidade do Furo 1 em profundidade da ADMRS de Iracema/RR.	104
Tabela 19 – Análises de pH para o Furo 1 em profundidade na ADMRS de Iracema/RR	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquematização das formas de disposição final dos resíduos sólidos em território brasileiro. A. Lixão. B. Aterro controlado. C. Aterro sanitário.	25
Figura 2 – Disposição final dos resíduos sólidos coletados no Brasil (ton/ano).	26
Figura 3 – Formas de disposição de resíduos sólidos no Estado de Roraima.	27
Figura 4 – Material condutor de corrente elétrica.	29
Figura 5 - Fluxo de corrente elétrica através dos eletrodos AB em superfície homogênea	31
Figura 6 – Arranjo base dos eletrodos na superfície do terreno.	33
Figura 7 – Mapa de localização da área de estudo, com destaque para os municípios de Amajari, Mucajaí e Iracema, Roraima.	37
Figura 8 - Aspectos de vegetação das áreas de estudo	38
Figura 9 - Padrões de relevo das áreas de estudo.	39
Figura 10 – Hidrologia das áreas de estudo.	41
Figura 11 – Aquíferos das áreas de estudo.	42
Figura 12 – Domínios Litoestruturais do estado de Roraima.	43
Figura 13 – Aspectos geológicos gerais das áreas de estudo.	44
Figura 14 – Fluxograma da metodologia da pesquisa.	45
Figura 15 – Resistímetro GEOTESTE RD-300.	46
Figura 16 – Exemplificação de procedimentos geoeletrico. A. Técnica da Sondagem Elétrica Vertical-SEV com o arranjo de <i>Schlumberger</i> , explicitando uma pluma de contaminação. B. Coleta em campo utilizando a técnica da SEV com arranjo <i>Schlumberger</i>	47
Figura 17 – Registro dos dados de SEV. A. Tabela de campo para preenchimento dos valores de ΔV e I , procedendo ao cálculo de ρ_a . B. Gráfico bi logarítmico, para plotagem dos valores de resistividade e confecção da curva de resistividade elétrica.	48
Figura 18 – Tela do aplicativo <i>IPI2Win</i> com curvas de SEV e o modelo em 1D.	49
Figura 19 – Coleta de solo. A. Tamanho real do trado, com haste em comparação a uma pessoa com 1,75 m de altura. B. Trado do tipo caneca.	50
Figura 20 – pHmetro digital utilizado para análise das amostras de solo.	51
Figura 21 – Exemplificação do jogo de peneiras utilizado, bem como do Agitador de peneiras.	52
Figura 22 – Mapa exemplificando o posicionamento da sede do município de Amajari à sua ADMRS.	54

Figura 23 – Visualização da alocação dos resíduos (setas amarelas) na ADMRS de Amajari na região da Serrinha de Amajari.	55
Figura 24 – Mapa de ponto da ADMRS de Amajari: SEV e coleta de solo.	56
Figura 25 – Exemplificação da Pilha 1 da ADMRS de Amajari/RR (ver localização na Figura 24). A. Lixo antigo recoberto pela vegetação. B. Lixo incinerado.....	57
Figura 26 – Exemplificação da Pilha 2 da ADMRS de Amajari/RR (dentro de uma cava) (ver localização na Figura 23). A. Declive da cava (seta amarela). B. Disposição do lixo dentro da cava (seta amarela). C. Caminhão coletor despejando o lixo (seta preta). D. Presença de catadores (círculo amarelo) dentro da cava no momento do despejo dos resíduos sólidos (seta amarela).	57
Figura 27 – Exemplificação da Pilha 3 da ADMRS de Amajari/RR (ver localização na figura 23): lixo incinerado (seta amarela), carcaça de plástico (seta branca), fios de aço (círculo amarelo pontilhado); saco plástico (círculo azul pontilhado) e papel (seta preta).	58
Figura 28 – Litologia local na ADMRS de Amajari/RR. A e B. Rochas basálticas alteradas. C. Material arenoso e argiloso.....	59
Figura 29 – Imagem exemplificando a coleta da SEV1 na ADMRS de Amajari/RR.....	60
Figura 30 – Curva de resistividade da SEV1 da ADMRS de Amajari/RR.	60
Figura 31 – Imagem exemplificando a coleta da SEV2 na ADMRS de Amajari/RR.....	61
Figura 32 - Curva de resistividade da SEV2 da ADMRS de Amajari/RR.....	62
Figura 33 – Imagem exemplificando a coleta da SEV3 na ADMRS de Amajari/RR.....	63
Figura 34 – Curva de resistividade da SEV3 da ADMRS de Amajari/RR.	64
Figura 35 – Imagem exemplificando a relação do posicionamento da SEV4 na ADMRS de Amajari/RR à pilha 2.....	65
Figura 36 – Curva de resistividade da SEV4 da ADMRS de Amajari/RR.	66
Figura 37 - Curva de resistividade da SEV5 da ADMRS de Amajari/RR.....	67
Figura 38 - Exemplificação da coleta de solo na ADMRS de Amajari. A. Coleta no Furo 1, porção interna da voçoroca (cava de lixo-seta amarela). B. Coleta no Furo 2, próximo a pilha de lixo (seta amarela). C. Coleta no Furo 3, entrada da vicinal de acesso a ADMRS.	67
Figura 39 – Solo coletado na ADMRS de Amajari/RR.....	68
Figura 40 – Escala de pH.....	74
Figura 41 – Modelo de isópacas da ADMRS de Amajari/RR.....	77
Figura 42 – Mapa exemplificando o posicionamento da sede do município de Mucajaí à sua ADMRS.....	78

Figura 43 – Visualização da Serra do Apiaú aos fundos (seta laranja) a ADMRS de Mucajaí/RR.	79
Figura 44 – Disposição dos resíduos ao longo da ADMRS de Mucajaí. A. Visão de entrada da ADMRS. B. Visão da porção interna da ADMRS. C. Pilha de resíduos. D. Vegetação (pés de mamona, seta amarela). E. Exemplificação da coleta de solo (círculo amarelo).	80
Figura 45 – Mapa de ponto da ADMRS de Mucajaí/RR: SEV e coleta de solo.	81
Figura 46 – Imagem exemplificando a coleta da SEV1 na ADMRS de Mucajaí/RR.....	82
Figura 47 – Curva de resistividade da SEV1 da ADMRS de Mucajaí/RR.	83
Figura 48 – Curva de resistividade da SEV2 da ADMRS de Mucajaí-RR.....	84
Figura 49 – Imagem exemplificando a coleta da SEV3 na ADMRS de Mucajaí/RR.....	85
Figura 50 – Curva de resistividade da SEV3 da ADMRS de Mucajaí-RR.	86
Figura 51 – Curva de resistividade da SEV4 da ADMRS de Mucajaí/RR.	87
Figura 52 – Amostra de solo seco a 105° da ADMRS de Mucajaí/RR.	88
Figura 53 – Modelo de isópacas da ADMRS de Mucajaí/RR.....	92
Figura 54 – Comparação da situação areal da ADMRS de Iracema-RR, antes e depois do ano de 2023. A. Via de acesso da ADMRS (entrada), com destaque para placa de advertência (círculo amarelo) e guarita (seta azul), até o ano de 2022. B. Placa de advertência, no ano de 2022. C. Porção interna da ADMRS, com destaque para focos de queimada (seta amarela) e a guarita em meio aos resíduos sólidos (seta azul), é válido mencionar a presença de urubus no topo da guarita, até o ano de 2022. D. Situação areal da ADMRS no final do ano de 2022 e início de 2023.	93
Figura 55 – Mapa de ponto da ADMRS de Iracema/RR: SEV e coleta de solo.	95
Figura 56 – Exemplificação da disposição (retângulo pontilhado vermelho) e exemplos de tipos de resíduos (carcaça de animal-círculo amarelo e plástico-círculo branco) na ADMRS de Iracema/RR.....	96
Figura 57 – Exemplificação da área que continha a ADMRS de Iracema/RR após sua desativação no início do ano de 2023. A. Cicatrizes da antiga vicinal que dava acesso a ADMRS, perpendicular à BR 174 (seta azul). B. Início da porção em que eram depositados os resíduos (círculo amarelo). C. Visualização da área da antiga de disposição dos resíduos a partir de um corte de estrada, observando o terreno limpo e aterrado. D. Vista lateral da antiga ADMRS, que também foi aterrada.	97
Figura 58 – Plantio de soja (círculo amarelo) na antiga ADMRS de Iracema/RR.....	97
Figura 59 – Evidência de um corpo hídrico (círculo amarelo) próximo a antiga ADMRS de Iracema/RR.....	98

Figura 60 – Imagem exemplificando a coleta da SEV1 na ADMRS de Iracema/RR.	99
Figura 61 – Curva de resistividade da SEV1 da ADMRS de Iracema/RR.	100
Figura 62 – Imagem exemplificando a coleta da SEV2 na ADMRS de Iracema/RR.	101
Figura 63 – Curva de resistividade da SEV2 da ADMRS de Iracema-RR.	101
Figura 64 – Imagem exemplificando a coleta da SEV3 na ADMRS de Iracema/RR.	102
Figura 65 – Curva de resistividade da SEV3 da ADMRS de Iracema-RR.	103
Figura 66 – Modelo de isópacas da ADMRS de Iracema/RR.	106

SÚMARIO

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	OS RESÍDUOS SÓLIDOS E A MÁ DISPOSIÇÃO	23
1.2	DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM RORAIMA	26
1.3	CICLO HIDROLÓGICO E A INFLUÊNCIA NO ESCOAMENTO DO CHORUME	27
1.4	GEOFÍSICA NO ESTUDO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	28
1.5	FÍSICO-QUÍMICA PONTUAL NO ESTUDO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	34
2	OBJETIVOS	35
2.1	OBJETIVO GERAL	35
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	35
3	MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1	ÁREA DE ESTUDO	36
3.1.1	Localização e vias de acesso	36
3.1.2	Aspectos fisiográficos (clima, vegetação, relevo e solo)	37
3.1.3	Contexto hidrológico e geológico simplificado	40
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	45
3.3	ANÁLISE INDIRETA – LEVANTAMENTO ELETORRESISTIVO (SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL)	46
3.4	ANÁLISE DIRETA – FÍSICO-QUÍMICA	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1	ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE AMAJARI	53
4.1.1	Aspectos físicos e/ou estruturais	53
4.1.1.1	Análise geofísica	59
4.1.1.1.1	Sondagem elétrica vertical 1 – SEV1	60
4.1.1.1.2	Sondagem elétrica vertical 2 – SEV2	61
4.1.1.1.3	Sondagem elétrica vertical 3 – SEV3	63
4.1.1.1.4	Sondagem elétrica vertical 4 – SEV4	64
4.1.1.1.5	Sondagem elétrica vertical 5 – SEV5	66
4.1.1.2	Análise físico-química	67
4.1.1.3	Pluma de contaminação	76
4.2	ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE MUCAJÁ	78
4.2.2	Aspectos físicos e/ou estruturais	78
4.2.1	Análise geofísica	82

4.2.1.1 Sondagem elétrica vertical 1 – SEV1	82
4.2.1.2 Sondagem elétrica vertical 2 – SEV2	84
4.2.1.3 Sondagem elétrica vertical 3 – SEV3	85
4.2.1.4 Sondagem elétrica vertical 4 – SEV4	86
4.2.2 Análise físico-química	87
4.2.3 Pluma de contaminação	91
4.3 ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE IRACEMA.....	93
4.3.1 Análise geofísica	98
4.3.1.1 Sondagem elétrica vertical 1 – SEV1	99
4.3.1.2 Sondagem elétrica vertical 2 – SEV2	100
4.3.1.3 Sondagem elétrica vertical 3 – SEV3	102
4.3.2 Análise físico-química	103
4.3.3 Pluma de contaminação	105
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
REFERÊNCIAS	110
APÊNDICES	120
Apêndice A - Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 1 da ADMRS de Amajari, com coordenadas geográficas de 3°38'35.7"N 61°25'44.2"W.	120
Apêndice B - Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 2 da ADMRS de Amajari, com coordenadas geográficas de 3°38'37.4"N 61°25'43.2"W.	120
Apêndice C - Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 3 da ADMRS de Amajari, com coordenadas geográficas de 3°38'40.1"N 61°25'49.9"W.	121
Apêndice D - Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 4 da ADMRS de Amajari, com coordenadas geográficas de 3°38'42"N 61°25'48"W.	121
Apêndice E - Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 5 da ADMRS de Amajari, com coordenadas geográficas de 3°39'2"N 61°25'52"W.	122
Apêndice F – Análise granulométrica do Furo 1 em profundidade da ADMRS de Amajari/RR.....	122
Apêndice G – Análise granulométrica do Furo 2 em profundidade da ADMRS de Amajari/RR.....	122
Apêndice H – Análise granulométrica do Furo 3 em profundidade da ADMRS de Amajari/RR.....	123
Apêndice I – Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 1 da ADMRS de Mucajaí, com coordenadas geográficas de 2°26'21"N 60°56'33"W.	123
Apêndice J – Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 2 da ADMRS de Mucajaí, com coordenadas geográficas de 2°26'49"N 60°56'24"W.	124

Apêndice K – Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 3 da ADMRS de Mucajaí, com coordenadas geográficas de 2°2'35"N 60°56'39"W.	124
Apêndice L – Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 4 da ADMRS de Mucajaí, com coordenadas geográficas de 2°26'17"N 60°56'37"W.	125
Apêndice M – Análise granulométrica do Furo 1 em profundidade da ADMRS de Mucajaí/RR.....	125
Apêndice N – Análise granulométrica do Furo 2 em profundidade da ADMRS de Mucajaí/RR.....	125
Apêndice O – Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 1 da ADMRS de Iracema, com coordenadas geográficas de 2°11'24,3"N 61°02'14,7"W.	126
Apêndice P – Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 2 da ADMRS de Iracema, com coordenadas geográficas de 2°11'26,6"N 61°02'17,3"W.....	126
Apêndice Q - Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 3 da ADMRS de Iracema, com coordenadas geográficas de 2°11'20,1"N 61°2'16,5"W.	127
Apêndice R – Análise granulométrica do Furo 1 em profundidade da ADMRS de Iracema/RR.....	127

1 INTRODUÇÃO

Durante a idade média, por não haver coleta e destinação do lixo, as ruas eram cobertas por lama, dejetos de animais e água parada (WILSON, 2007). Com o passar do tempo, tais hábitos começaram a causar problemas à saúde pública; só a partir de 1970 que a situação dos resíduos foi considerada um problema ambiental e, a partir disto, começaram a tratar e destinar corretamente o lixo (VELLOSO, 2008).

A gestão dos resíduos sólidos, em termos de Brasil, é um grande desafio para os governantes por ter que evitar os impactos ambientais e sociais que o lixo pode causar (GOES, 2011). Por isso destaca-se o artigo 23 da Constituição Federal de 1988, inciso VI que “compete à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios, proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer das suas formas” (BRASIL, 1988a, p.16), e ainda, a Lei de Crimes Ambientais nº 9.605/1988, onde se estabelece pena para a má destinação de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos de acordo com as legislações vigentes (BRASIL, 1988b).

Municípios que não possuem coleta e destinação adequada de lixo tendem a enfrentar problemas em relação à poluição e doenças geradas a partir da má acomodação dos resíduos sólidos. Segundo Gouveia (2012), quando o lixo não é destinado a aterros sanitários, sendo está a forma correta de destinação, eles podem afetar o solo, a água e até o ar, por produzirem um líquido chamado chorume que possui compostos infectantes como metais pesados (Pb, Cd, Al, Hg, entre outros) e outras substâncias tóxicas. Este líquido é extremamente poluidor podendo alterar direta e indiretamente a qualidade das- águas e solos da área.

É possível analisar essa contaminação através de métodos físico-químicos e geoeletricos, que são amplamente utilizados em identificação de solos contaminados (MORAIS et al., 2020; MOREIRA et al., 2018; SILVA et al., 2002). Os métodos geoeletrico não afetam o meio que estão inseridos, são fáceis de realização e são largamente utilizados para estudos em locais de disposição de lixo por diversos autores (p. e., LAGO; ELIS; GIACHETI, 2006; MOREIRA; BRAGA, 2009; SOUZA; ANDRADE, 2018; SOUZA; ANDRADE; MORAES, 2018; PIMENTEL, 2020), pois imagem a geometria da possível pluma de contaminação existente. A caracterização físico-química dos resíduos é importante para que se possam traçar metas de reestruturação do ambiente analisado, mas determinar a composição dos resíduos é uma atividade complexa, por conta da demora e dificuldade de análise, devido à heterogeneidade de amostras (MATTEI; ESCOSTEGUY, 2007). A relação entre as duas ciências aplicada ao

estudo da contaminação por resíduos sólidos, faz com que se possa ter uma análise relativamente concisa, mas multidisciplinar e, assim, traçar estratégias para controle dos danos.

Neste sentido, a presente pesquisa utiliza como o problemática o seguinte questionamento: “O chorume produzido em Áreas de Disposição de Resíduos Sólidos está contaminando o subsolo?”. Tal problemática justifica-se, pois, a consequência da má disposição do lixo influencia diretamente em quadros epidemiológicos, sem contar com a possibilidade de contaminar corpos hídricos superficiais e/ou subterrâneos (aquíferos).

Dentro desse contexto, o trabalho em questão procurou englobar terrenos pertencentes ao estado de Roraima, visto que trabalhos anteriores utilizando geofísica, morfometria e legislação, demonstraram que porções utilizadas para alocação irregular de resíduos sólidos no Estado apresentaram indícios de contaminações (PIMENTEL, 2020; PIMENTEL; SOUZA; SILVA, 2022; SOUZA; ANDRADE, 2018; SOUZA; ANDRADE; MORAES, 2018; SILVA, 2022).

Diante disso, as áreas aqui trabalhadas perfizeram a região setentrional e meridional do Estado, municípios de Amajari (zona norte), Mucajaí e Iracema (zona sul) (FREITAS, 2017; IBGE, 2010), isto é, as regiões utilizadas por estas prefeituras para destinação do lixo municipal, tanto urbano quanto rural, mas especificamente o primeiro. E, para isso, foram usadas técnica indireta (geofísica) e direta (química), afim de distinguir a geometria em profundidade da plausível contaminação advinda das áreas de disposição do lixo e qualidade do solo ali presente.

1.1 OS RESÍDUOS SÓLIDOS E A MÁ DISPOSIÇÃO

Os termos “lixo” e “resíduos sólidos” são frequentemente usados quando se refere aos resíduos produzidos pela cidade. Segundo a NBR 10.004/2004, os resíduos sólidos são aqueles provenientes da indústria, área doméstica, hospitalar e agrícola, e a partir da definição, são classificados como perigosos ou não perigosos. As normas ainda citam que um resíduo perigoso é caracterizado por propriedades físicas e químicas que podem trazer risco a saúde pública e ao meio ambiente (ABNT, 2004).

O crescimento urbano e rural tem aumentado consideravelmente a quantidade de resíduos sólidos, assim como as transformações nos padrões de vida da população em conjunto com a ampliação do processo de industrialização. Esses resíduos ao longo do tempo, quando começam

a se decompor, produzem um lixiviado composto de elementos nocivos ao meio ambiente que, torna-se danoso ao ser humano (GOUVEIA, 2012; ROTH; GARCIA, 2008).

Este lixiviado - também denominado de chorume - é um líquido escuro com substâncias orgânicas e inorgânicas, com concentrações que podem variar de acordo com as condições do local, tempo em que o lixo está disposto naquela área e até as características dos resíduos que foram despejados; além de possuir diversos metais pesados em sua constituição como arsênio, cromo, cádmio, mercúrio e chumbo, que mesmo em baixas concentrações podem ser tóxicos tanto para o ser humano, quanto ao meio ambiente, por não entrarem em decomposição (CELERE et al., 2007; HUSSEIN et al., 2021).

O movimento da água da chuva ou água residual permite a movimentação e penetração do chorume em subsuperfície, acarretando contaminação (AGBENYEKU; MUZENDA; MSIBI, 2016). Quando em contato com o meio ambiente provoca poluição, forte odor, proliferação de doenças e ainda, diminui a resistividade elétrica natural do local, por conta da sua alta concentração de íons metálicos (BARTOLIN; MALAGUTTI FILHO, 2010).

De acordo com Companhia Ambiental do Estado de São Paulo-CETESB (2001) a contaminação de uma determinada área, pode ser provocada por resíduos que foram acumulados ou despejados de forma organizada ou não. Diante disso, é necessário gerenciar as formas de descarte dos lixos, pois os riscos de contaminação, quando esses resíduos são descartados de forma incorreta, são maiores do que em áreas controladas (BARTOLIN; MALAGUTTI FILHO, 2010; CELERE et al., 2007).

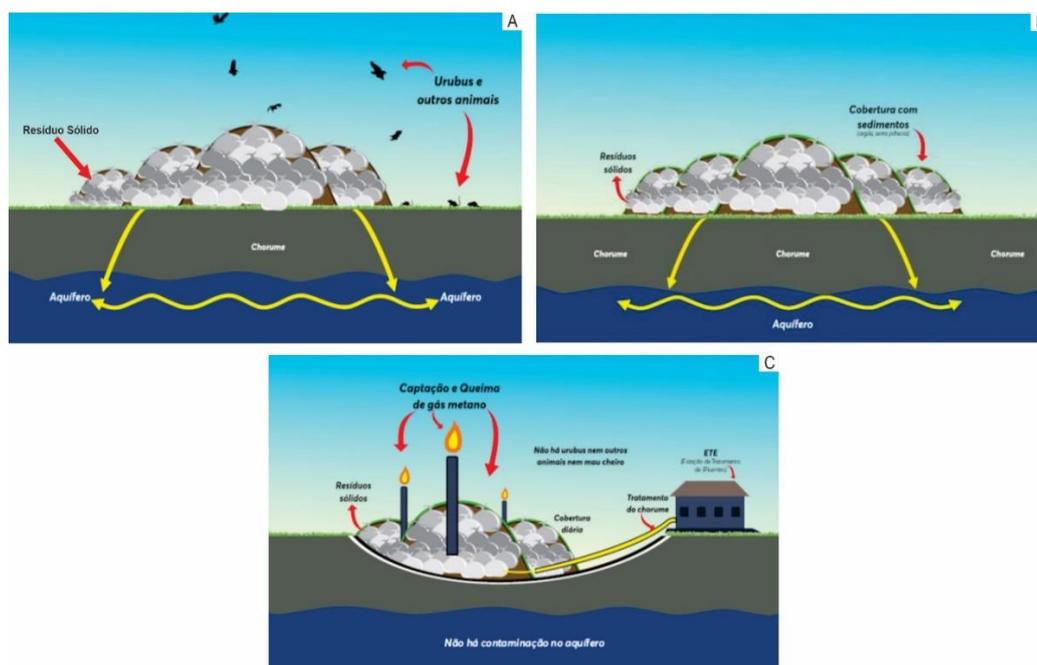
A Lei nº 12.305/2010 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que estabelece princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para gerenciar os resíduos sólidos (BRASIL, 2010), com regulamentação a partir do decreto nº 10.936/2022 que direciona a responsabilidade da gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) para fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e governantes do serviço público, de forma que todos contribuam, dentro de suas responsabilidades, para a coleta e destinação adequada do lixo (BRASIL, 2022).

O decreto nº 10.936/2022, estabeleceu que o PNRS seja elaborado pela União com prazo de 20 anos de vigência e caberá ao Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) as tratativas para fiscalizar a execução do mesmo; para a esfera estadual e distrital, coube elaborar

planos microrregionais de resíduos sólidos, e a esfera municipal fará projetos de intervenção para áreas contaminadas (BRASIL, 2022).

A destinação do lixo é feita de maneira diferente para cada estado brasileiro, mas existem etapas comuns para o gerenciamento dos RSU como a varrição, coleta do lixo pelos caminhões ou caçambas e o destino que pode ser em lixões a céu aberto, aterros controlados ou aterros sanitários (GOES, 2016) (Figura 1A-C).

Figura 1 – Esquematisação das formas de disposição final dos resíduos sólidos em território brasileiro. A. Lixão. B. Aterro controlado. C. Aterro sanitário.



Fonte: Adaptado de Silva (2022).

O lixão a céu aberto é um local de destino onde não há estudo ou cuidado algum em relação à preservação do meio ambiente; ao despejar os RSU nestes locais, fica propensa a proliferação de doenças, além de atrair animais como insetos, aves, pequenos roedores (p. e., moscas, urubus, ratos, cachorros e gatos domésticos); havendo ainda, grande possibilidade de poluição de solos e rios próximos, bem como as águas superficiais e subterrâneas (GOES, 2016; SOUSA et al., 2019) (Figura 1A). Já os aterros, podem ser controlados ou sanitários.

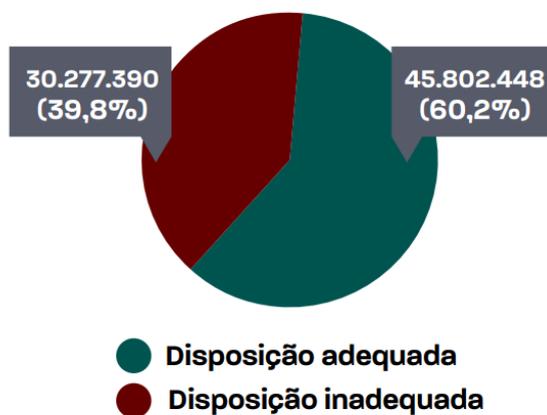
O Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte-DNIT (2006) define como aterro sanitário os locais de disposição de resíduos que passam por requisitos de controle sanitário e ambiental, de forma que seja construído com impermeabilização do solo, o que

impossibilitaria a penetração de contaminantes no solo e em lençóis freáticos; além do tratamento do lixiviado e gases produzidos (SAIANI; MENDONÇA; KUAWAHARA, 2020). Para construir um aterro sanitário, deve-se dispor de uma quantidade significativa de dinheiro (Figura 1C).

Quando não se podem seguir todos os princípios, mas a base for mantida, tem-se então um aterro controlado. Nestes ambientes, os resíduos são cobertos por camadas de material – como barro ou areia – mas sem a utilização de qualquer impermeabilizante ou tratamento para o lixiviado produzido (SAIANI; MENDONÇA; KUAWAHARA, 2020) (Figura 1B).

Em 2020 cerca de 46 milhões de toneladas de resíduos sólidos foram enviados para aterros sanitários, ultrapassando o ano anterior que foi de 43 milhões; apesar disso, cerca de 40% de todos os resíduos coletados foram para locais irregulares, como mostra a figura 2 (ABRELPE, 2020; 2021).

Figura 2 – Disposição final dos resíduos sólidos coletados no Brasil (ton/ano).



Fonte: ABRELPE (2021).

Especificamente na região norte, em 2020, apenas 35,6% dos resíduos sólidos foram destinados a aterros sanitários, ainda assim, obteve melhor resultado que no ano anterior, onde era registrado apenas 33% (ABRELPE, 2020; 2021).

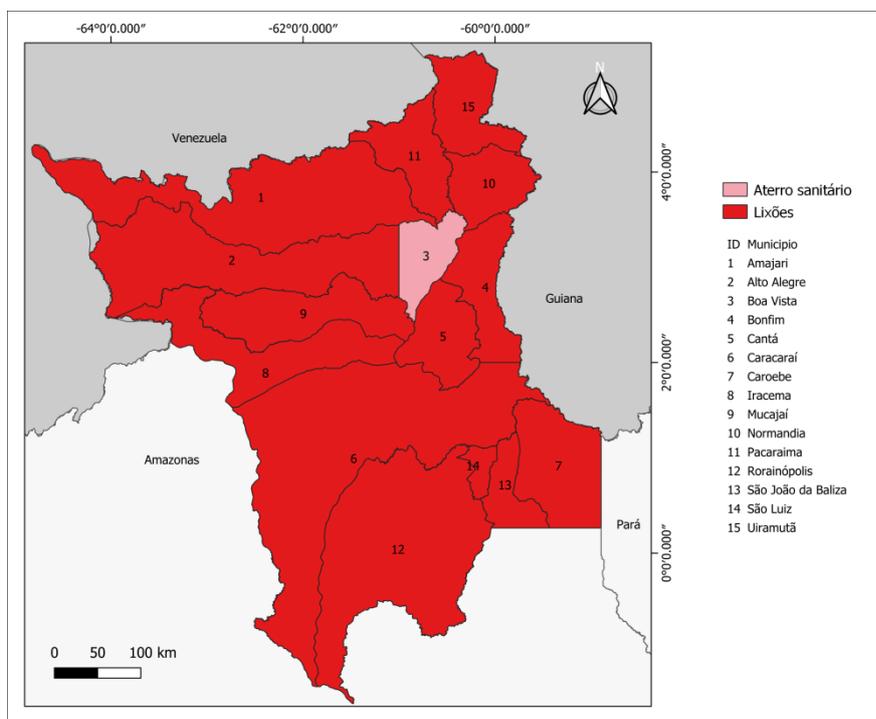
1.2 DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM RORAIMA

No estado de Roraima, a Lei nº 416/2004, dispõe da política estadual de gestão dos resíduos sólidos, no artigo 12, proíbe: destinar o lixo céu aberto, em especial próximo a cursos d'água, mesmo que o espaço esteja abandonado, assim como em áreas de proteção integral e

unidades de conservação; lançar os resíduos em rios, igarapés, esgotos ou afins, e onde há possibilidade de poluir as águas subterrâneas; queimar; utilizar resíduos perigosos como matéria prima ou/e fonte de energia; tratar ou ter como destino final em locais de alimentação animal ou insumos agrícolas (RORAIMA, 2004).

Segundo a ABELPRE (2020b), em todo o território de Roraima, somente o município de Boa Vista (capital do Estado) possui aterro sanitário como disposição final de resíduos sólidos (figura 3). Mas segundo Souza e Andrade (2018) tal aterro não segue os parâmetros determinados pela NBR 10.004/2004, pois, localiza-se próximo a corpos hídricos, o igarapé Auai Grande.

Figura 3 – Formas de disposição de resíduos sólidos no Estado de Roraima.



Fonte: Adaptado de ABRELPE (2020).

1.3 CICLO HIDRÓLOGICO E A INFLUÊNCIA NO ESCOAMENTO DO CHORUME

A água passa por diversas etapas - o chamado ciclo hidrológico - onde o seu movimento pelo meio físico e dos seres vivos a torna indispensável no ecossistema (TUNDISI, 2003). Ela pode ser encontrada nos três estados físicos da matéria (sólido, líquido e gasoso) em várias localidades da Terra como: superfície, subsuperfície, atmosfera e biosfera (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Se não houver qualquer alteração, o ciclo hidrológico é considerado um sistema em equilíbrio, pois as etapas decorrem uma da outra como a evaporação, condensação, precipitação, infiltração e transpiração; o que pode influenciar o ciclo hidrológico é a energia térmica solar, força dos ventos (que transporta o vapor d'água para os continentes) e a gravidade que determina a precipitação, infiltração e deslocamento da água (TUNDISI, 2003).

Os raios solares aquecem a água fazendo com que deixe de ser líquida e passe para o estado de vapor na superfície da Terra e, ao chegar à atmosfera passa pelo processo de condensação, por conta da diminuição da temperatura, formando as nuvens e retornando a superfície por meio de precipitação, como chuva (COELHO NETO, 1995; PINTO, 2008). Ao chegar à superfície, a partir da infiltração do solo, abastece os lençóis freáticos e aquíferos.

A questão dos resíduos sólidos e a água é, quando não se faz corretamente a destinação e tratamento do lixo, há grande possibilidade de poluição. Devido à impossibilidade de coletar o lixo, ele atinge o solo, adentrando o solo e porventura, os corpos d'água superficiais e subterrâneos (ROSA et al., 2017). O tamanho do impacto depende também da composição do lixo e através da percolação por conta das chuvas, ele pode fluir lateralmente, levando a poluição para córregos próximos (PIMENTEL; SOUZA; SILVA, 2022; MARQUES et al., 2012).

1.4 GEOFÍSICA NO ESTUDO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A geofísica é empregada nos estudos de resíduos sólidos por conta da variabilidade de métodos investigativos que caracterizam as propriedades físicas dos materiais geológicos, mapeando regiões contaminadas de forma rápida e de baixo custo em contraposto a outras técnicas (MOREIRA; BRAGA, 2009). Dentre estes métodos, o elétrico a partir do levantamento eletrorresistivo vem sendo massivamente utilizada para determinar os avanços da contaminação advinda de locais de disposição de resíduos sólidos, pois a corrente elétrica em meios naturais acontece de forma iônica, com eletricidade (GALLAS et al., 2005; MORAIS; BARCELLAR, 2010).

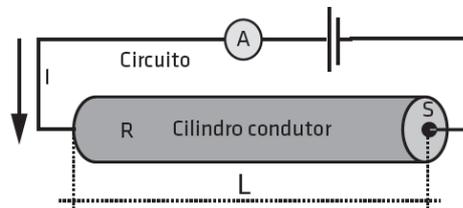
A corrente elétrica é o fluxo de elétrons de forma ordenada que se propaga em um meio através da diferença de potencial, que pode ser gerado por uma pilha ou bateria, e a dificuldade que os elétrons tendem de fluir é chamada de resistência elétrica (ORELLANA, 1972). Esta propriedade é definida a partir da primeira Lei de *Ohm*, expressa na equação 1.

$$U = R \cdot i, \quad (1)$$

Onde “U” é a diferença de potencial em volts, “R” resistência elétrica em ohm, e “i” é a corrente elétrica em Ampére. Quando se tem um alto fluxo de elétrons, diz-se que aquele meio tem boa condutividade.

Em contrapartida, a segunda lei de *Ohm*, mostra as interferências que podem acontecer na resistência elétrica em situações reais, como mostra figura 4, em que (L) é o comprimento do cilindro e (S’) a área de seção transversal em m².

Figura 4 – Material condutor de corrente elétrica.



Fonte: Braga (2016).

A relação entre a resistividade elétrica (ρ) em Ωm , e a resistência (R) em Ω , sendo um condutor cilíndrico homogêneo e isotrópico, se dá pela equação (2)

$$R = \rho \frac{L}{S'}, \quad (2)$$

Como alta condutividade significa que há um bom fluxo de elétrons e uma baixa resistência, Runyan (1975) descreve que a condutividade é inversamente proporcional a resistividade, como mostra a equação 3.

$$\sigma = \frac{1}{\rho}, \quad (3)$$

Onde “ σ ” é a condutividade elétrica $\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$.

A relação entre a baixa de resistividade de um local e a contaminação por chorume pode ser feita, pois ele é um líquido iônico; diante disto, a substância iônica permitirá a fácil passagem da corrente elétrica, ocasionando baixos valores de resistividade elétrica do meio (GALLAS et al., 2005). Chorume quando em contato com os com o meio, tende a diminuir a resistividade local em até 10 vezes, por conta da grande concentração de íons metálicos

(BARTOLIN; MALAGUTTI FILHO, 2012; DUDA et. al., 2020; SOUZA; ANDRANDE, 2018)

Na prática, o método da eletrorresistividade utiliza de uma corrente elétrica artificial que é inserida na superfície do terreno por meio de dois eletrodos; onde o objetivo é medir o potencial gerado através de outros dois eletrodos, de forma que se possa calcular a resistividade aparente na subsuperfície (LAGO; ELIS; GIACHETI, 2006). A composição mineralógica, quantidade de água, sólidos totais dissolvidos, temperatura, entre outros, são os elementos que podem influenciar nos valores de resistividade (FACHIN et al., 2006).

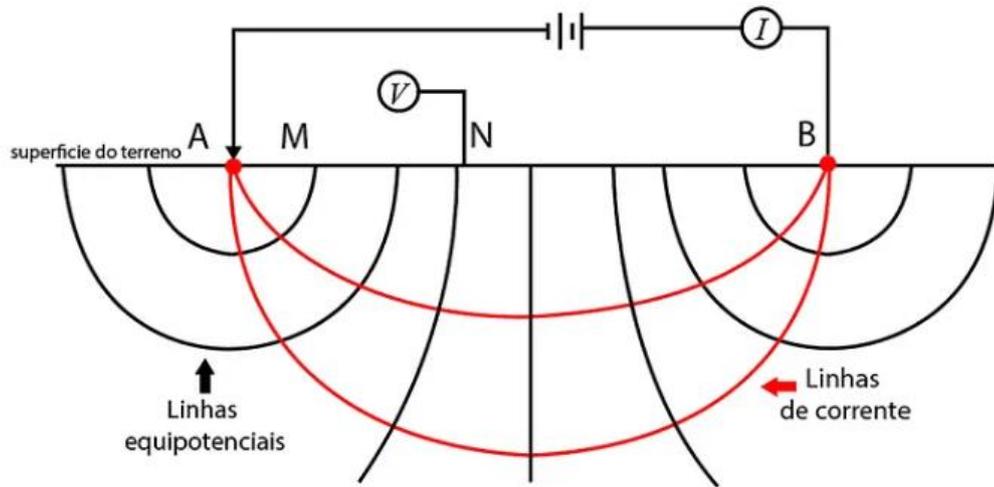
A corrente elétrica que é gerada no solo mostra a relação entre a resistividade e pluma de contaminação ao longo da área analisada; as contaminações superficiais apresentam valores de resistividade baixos, já rochas e o subsolo são geralmente mal condutores, tendo altos valores de resistividade (GALLAS et al., 2005).

Dentre o ensaio eletrorresistivo a configuração dos eletrodos dispostos na superfície do terreno é denominada de arranjos/dispositivos (*Schlumberger*, *Wenner*, *Pololo-Dipolo*, *Dipolo-Dipolo*, *Lee*), estes por sua vez, podem ser aplicados utilizando duas técnicas principais, a Sondagem Elétrica Vertical – SEV e Caminhamento Elétrico – CE (p. e., KEAREY; BROOKS; HILL, 2009), a primeira tem sido muito utilizada por diversos autores em áreas de lixão e/ou aterro sanitário (p. e., CAVALCANTI; SATO; LIMA, 2001; MOREIRA; DOURADO, 2007; SILVA et al., 2002).

Cabe destacar o trabalho feito por Odipe et al. (2018) onde se estudou o impacto ambiental das águas subterrâneas de um lixão a céu aberto em Akure na Nigéria, e através da técnica de SEV foi possível avaliar que os baixos valores de resistividade indicavam a poluição do solo e subsolo, que conseqüentemente, contaminam as águas subterrâneas. Ressalta-se ainda as pesquisas já realizadas no estado de Roraima, que obtiveram resultados similares, no que concerne a indicar indícios de contaminação (i. e., valores de resistividades diminutos) (p. e., PIMENTEL, 2020).

Para pôr em prática a técnica da SEV, é preciso que se tenha um campo elétrico artificial, com relação entre corrente elétrica e potencial elétrico, como mostra a figura 5, uma corrente artificial que é introduzida no terreno através de dois eletrodos (denominados de A e B), com o objetivo de medir o potencial gerado em outros dois (denominados M e N).

Figura 5 - Fluxo de corrente elétrica através dos eletrodos AB em superfície homogênea



Fonte: Geoscan (2020).

A densidade da corrente elétrica é diretamente proporcional ao campo elétrico e a condutividade elétrica. A fórmula para o cálculo considera uma corrente contínua ou alternada de muito baixa frequência, que se possa desprezar a corrente de deslocamento em um meio homogêneo, limitado e isotrópico (Equação 4).

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (4)$$

Onde:

\vec{J} : densidade de corrente (A/m²);

σ : condutividade elétrica (S/m);

\vec{E} : campo elétrico (V/m).

Diante disso, a partir da primeira e segunda Lei de *Ohm*, conforme demonstrados na equação 1 e 2, além da relação entre condutividade elétrica e resistividade (equação 3), tem-se a relação demonstrada na equação 5.

$$\vec{E} = \frac{i \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (5)$$

Reitz, Milford e Chisty (1982) discorrem que o campo elétrico é inversamente proporcional ao quadrado da distância de r , a diferença de potencial entre dois eletrodos representados por r_1 e r_2 , está demonstrado na equação 6.

$$\Delta V = - \int_{r_1}^{r_2} \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (6)$$

A diferença de potencial dos eletrodos A B, representados na figura 5, é representado pela equação 7, a partir das relações entre as outras equações até aqui demonstradas.

$$\Delta V = - \int_{r_1}^{r_2} \vec{E} \cdot d\vec{r} = - \frac{i \cdot \rho}{2 \pi} \int_r^{\infty} \frac{1}{r^2} \cdot dr = \frac{i \cdot \rho}{2 \pi \cdot r} \quad (7)$$

Isolando a resistividade elétrica, tem-se a relação entre os dois eletrodos, com a diferença de potencial e a corrente aplicada, como demonstrado na equação 8.

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot r \frac{\Delta V}{i} \quad (8)$$

Contudo, a equação 6 é apropriada exclusivamente para meios homogêneos. E o subsolo não tem essa característica, pois é formado por n-camadas de n-resistividades e n-espessuras. Logo, a resistividade medida é dita como resistividade aparente (ρ_a), que segundo Orellana (1972), não é necessariamente a resistividade média, e sim, um parâmetro experimental que dependerá do espaçamento entre os eletrodos de corrente (AB/2 ou L), espessuras e resistividades verdadeiras do meio geológico da área em análise. Logo, ponderando a configuração mostrada na figura 5 e usando as leis anteriormente retratadas com a substituição das relações, temos:

$$J \rightarrow = \frac{i}{A}; r = \frac{1}{\sigma}; E \rightarrow \approx \frac{\Delta V}{l} \Rightarrow \frac{i}{A} \approx \frac{1}{\rho} \frac{\Delta V}{l} \Rightarrow \rho = \frac{A}{l} \left(\frac{\Delta V}{i} \right) = k \left(\frac{\Delta V}{i} \right) \quad (9)$$

Assim, têm-se a resistividade aparente elétrica do semiespaço homogêneo (Equação 10).

$$\rho_a = k \left(\frac{\Delta V}{i} \right) \quad (10)$$

Onde:

k: fator geométrico que depende do arranjo dos eletrodos na superfície do terreno;

ΔV : diferença de potencial elétrico entre os eletrodos de potencial, M e N;

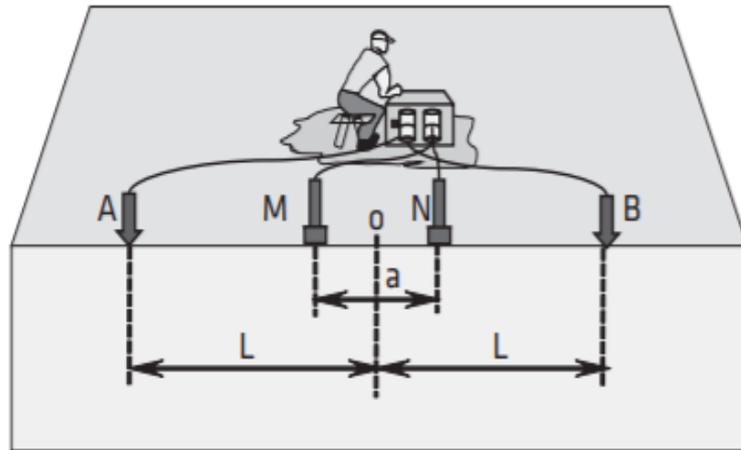
i: corrente elétrica contínua aplicada nos eletrodos de corrente, A e B.

O fator geométrico (k) demonstrado na equação 10, é obtido através da equação 11.

$$k = 2\pi \left(\frac{1}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} \right) \quad (11)$$

Para a técnica da SEV, o arranjo de eletrodos massivamente aplicado no Estado é o de *Schlumberger* (p. e., GUIMARÃES; SOUZA, 2022; SOUZA; ANDRADE, 2018; SOUZA; CARVALHO, 2017). A figura 6 demonstra de forma simplificada como são dispostos os eletrodos na superfície do terreno.

Figura 6 – Arranjo base dos eletrodos na superfície do terreno.



Fonte: Braga (2016).

Neste caso, em relação a disposição de eletrodos, tem-se que fixo os eletrodos de potencial M e N, e os de corrente A e B, são espaçados de acordo com a profundidade que se quer ser alcançada; desta forma, os eletrodos A e B devem ser no mínimo cinco vezes mais distantes que os eletrodos M e N e a profundidade é diretamente proporcional à distância entre os eletrodos (BRAGA, 2016; XAVIER et al., 2018). Desta forma, a resistividade elétrica pode ser obtida a partir da derivação de equações que remetem a Lei de *Ohm*, como demonstrados anteriormente (p. e., BRAGA, 2016; ORELLANA, 1972; KEAREY; BROOKS; HILL, 2009).

No decorrer da aplicação de uma SEV, quanto mais se aumenta o espaçamento dos eletrodos de AB com MN fixo, o valor da diferença de potencial diminui com rapidez, atingindo valores considerados imprecisos, uma das formas de resolver este problema é aumentar a intensidade da corrente, que às vezes pode ser impossível pela limitação do equipamento. Neste momento, surge a operação “embreagem”, onde aumenta-se a distância de diferença de potencial – eletrodos MN – e mantem-se fixos de corrente – eletrodos AB –, a partir disto, tem-se duas leituras (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2017).

1.5 FÍSICO-QUÍMICA PONTUAL NO ESTUDO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Monitorar os parâmetros físico-químicos é importante para que avaliar os níveis de degradação de uma área. É fundamental o conhecimento da constituição e do que acontece nesses locais de descarte de lixo, para que se possam traçar estratégias de gerenciamento, de forma a evitar a poluição do local (RIBEIRO et al., 2016).

A caracterização físico-química do solo pode demonstrar em qual nível de contaminação ele se encontra. Como por exemplo, ao se medir o pH do solo, é possível avaliar a degradação microbiológica da matéria orgânica, quando há baixos valores de pH, é indicativo que os resíduos já estão em decomposição e podem apresentar alta concentração de ácidos graxos (LANGE et al., 2002). Veloso et al. (1992) discorre que, solos ácidos tem a tendência de em sua constituição, terem níveis tóxicos de alumínio e manganês, além de ter baixíssima concentração de cálcio, magnésio e fósforo.

Outro tipo de caracterização possível é a utilização da análise granulométrica, onde o principal se baseia em dividir o solo em diferentes classes a partir do tamanho de suas partículas. A técnica tem como procedimento determinar o tamanho das partículas, representando-as em porcentagem (MORAIS et. al., 2021). Esta análise permite obter valores aproximados de permeabilidade e porosidade dos sedimentos (SUGUIO, 1937).

A análise pode ser feita de várias maneiras, com utilização de reagentes líquidos como auxílio, ou somente por ação da gravidade, através de um agitador de peneiras; para que o peneiramento aconteça, dispõem-se 7 a 8 peneiras de 8 polegadas de diâmetro de armação, com 1 ou 2 polegadas de altura, com telas padronizadas que seguem uma escala granulométrica (MORAIS et. al., 2021).

2 OBJETIVOS

Nesta sessão foram determinados objetivos norteadores divididos em geral e específicos, buscando responder a problemática da pesquisa em apreço.

2.1 OBJETIVO GERAL

Diagnosticar a contaminação gerada pelo chorume produzido nas Áreas de Disposição Municipal de Resíduos Sólidos nas porções norte e centro-sul do estado de Roraima (Amajari, Mucajaí e Iracema), a partir de métodos geofísicos e físico-químicos para fins ambientais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar se as áreas municipais usadas para disposição de resíduos condizem com as normas da ABNT;
- b) Identificar a geometria e profundidade da possível pluma de contaminação advinda das áreas de alocação do lixo nos municípios analisados;
- c) Buscar indícios de contaminação através de análises físico-químicas do solo das áreas de estudos;
- d) Sugerir modelos hipotéticos geométrico de contaminação das faixas norte e centro-sul do Estado, a fim de indicar a situação ambiental da área.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este tópico apresenta os materiais e métodos utilizados durante a execução deste trabalho. Tem-se a caracterização das áreas estudo, seguida das técnicas e análises (geológicos e físico-químicos) utilizando os conceitos empregados no tópico 1 (Introdução).

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Este tópico se trata das áreas de estudo, se relatará a localização de cada um dos municípios estudados, além das vias de acesso, juntamente com o mapa de localização. Trata-se também dos aspectos da vegetação, relevo, hidrológicos e geológicos.

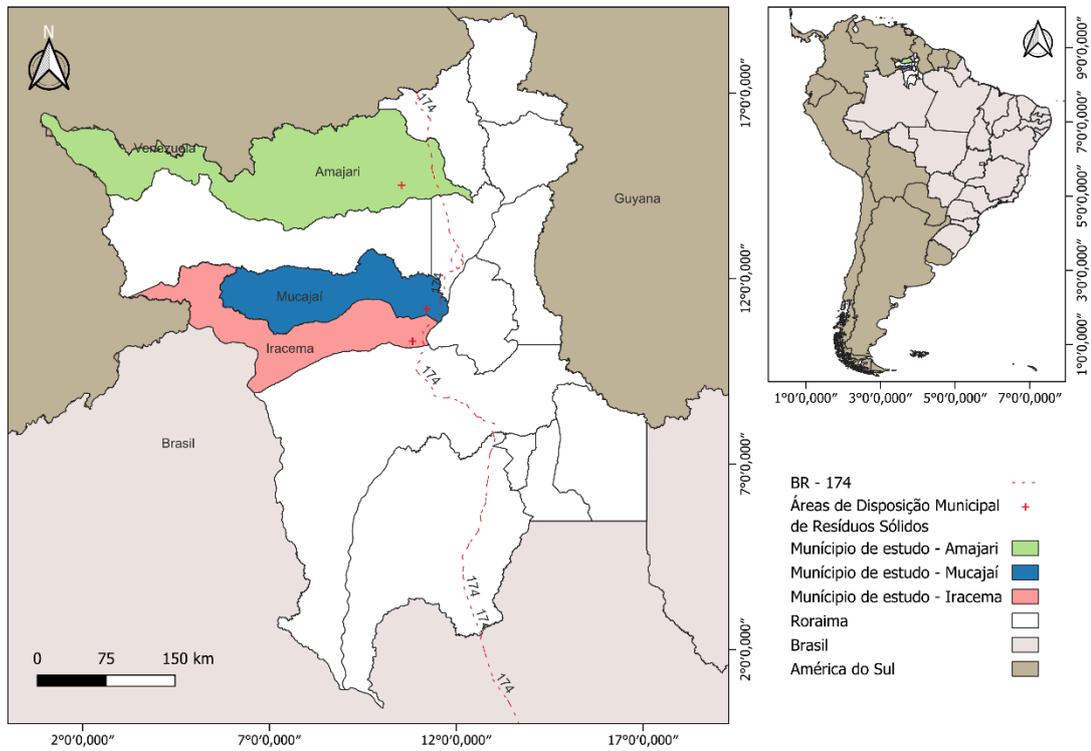
3.1.1 Localização e vias de acesso

Os municípios selecionados para a presente pesquisa perfazem o estado de Roraima (Figura 7). A porção norte é representada pelo município de Amajari e a centro-sul, Iracema e Mucajaí. O município de Amajari está localizado na porção N-NW do Estado ($3^{\circ} 39' 11''$ N/ $61^{\circ} 22' 17''$ W) e se estende por 28.472,4 km². Possui população estimada em 13.927 habitantes (IBGE, 2022), dista da capital, Boa Vista, em 100 km, por acesso pela rodovia RR-250 em trecho pavimentado. O destino dos resíduos sólidos municipal está a aproximadamente 58 km da sede do Município.

A cidade de Mucajaí está posicionada na região sul do Estado ($02^{\circ} 56' 59,78''$ N/ $60^{\circ} 50' 60''$ W) com extensão territorial de 12.338 km². A sede encontra-se a 51 km da capital e o acesso é via BR 174. A alocação dos resíduos sólidos do Município está a quase 3 km da sede municipal, com acesso pela Av. Padre Ricardo Silvestre, em direção a Vila Apiaú, por 2,4 km até a entrada que dá acesso ao local (Figura 7).

A região de Iracema perfaz a faixa S-SW do estado de Roraima ($03^{\circ} 21' 34''$ N/ $59^{\circ} 50' 00''$ W), com comprimento territorial de 14.403 km². A população está projetada em 18.064 habitantes (IBGE, 2022). Dista em torno de 93 km da capital do Estado. A área de disposição municipal de resíduos sólidos está à margem direita da BR 174, sentido Boa Vista - Manaus, a 2,2 km de distância da sede do Município (Figura 7).

Figura 7 – Mapa de localização da área de estudo, com destaque para os municípios de Amajari, Mucajaí e Iracema, Roraima.

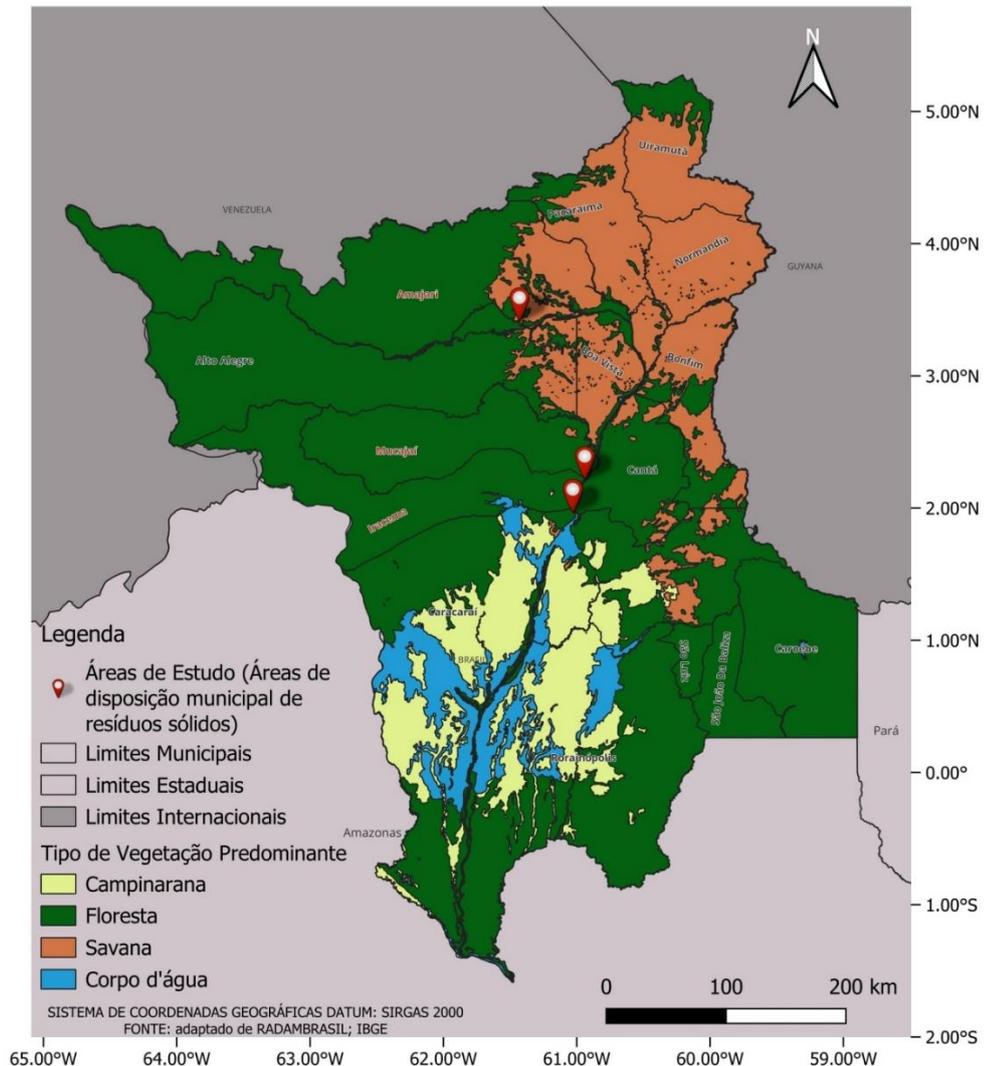


Fonte: Autora (2023).

3.1.2 Aspectos fisiográficos (clima, vegetação, relevo e solo)

Os aspectos de vegetação e clima das áreas de estudo estão representados na figura 7. Segundo a classificação de *Köppen*, o tipo climático da região norte - onde localiza-se o município de Amajari -, varia entre “Af” (equatorial úmido) e “Am” (equatorial de monções) que são climas caracterizados por ter temperatura média acima de 18 °C e estação seca com pouca duração, o índice pluviométrico anual é de 1.576 mm; sofre influências das savanas, da floresta úmida e dos altos relevos predominantes no norte do estado de Roraima (KOTTEK et al., 2006; REIS et al., 2003; TIBIRIÇÁ, 2016) (figura 8).

Figura 8 - Aspectos de vegetação das áreas de estudo



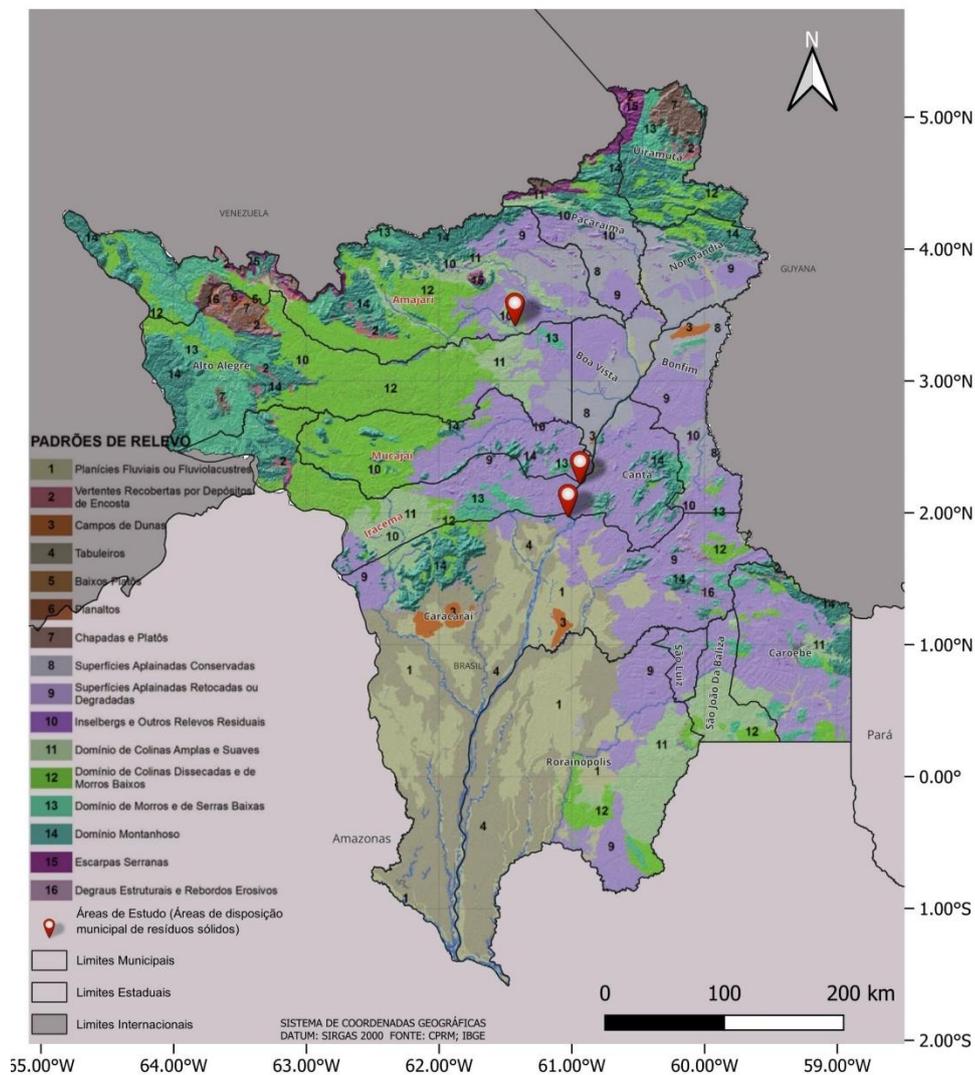
Fonte: Adaptação de Barbosa e Barcelar (2008) e Barbosa e Campos (2011).

Para Mucajaí, o clima é classificado do tipo “Ami”, que é o tropical chuvoso. A temperatura segue variação entre 28°C e 38°C, com índices pluviométricos anuais em média de 2.000 mm; e a vegetação do Município é marcada pela transição abrupta entre as savanas e floresta ombrófila densa, 98% da extensão territorial é coberta por floresta e 1,5% compõe as manchas de savanas (BARBOSA, 1997; BARROS et. al., 2008; SANTOS; GAMA; SOARES, 1982; XAUD, XAUD, ADAMI, 2019). Sua composição vegetacional é predominantemente Savana Arbórea ou campo cerrado de fisionomia rala, mas também tem destaque a savana gramínea (VERAS, 2014) (Figura 8).

Em Iracema, segundo a classificação de Köppen é do tipo “Awi” - quente -, com predominância de chuvas do tipo monção (REIS et al., 2003). A pluviometria anual média é de 1.844 mm, com pico chuvoso nos meses de maio, junho e julho. A vegetação do Município é marcada pela transição abrupta entre as savanas e floresta ombrófila densa, 98% da extensão territorial é coberta por floresta e 1,5% compõem as manchas de savanas (ROCHA, ROCHA, 2014; XAUD, XAUD, ADAMI, 2019) (Figura 8).

A figura 9 demonstra os padrões de relevo das áreas de estudo, diferenciando-os por cores demonstrado na descrição da imagem.

Figura 9 - Padrões de relevo das áreas de estudo.



Fonte: Adaptado de Ladeira e Dantas (2014).

A área onde se encontra o depósito de lixo do município de Amajari, possui grandes domínios montanhosos, com corpos graníticos pouco fraturados, além da presença de rochas

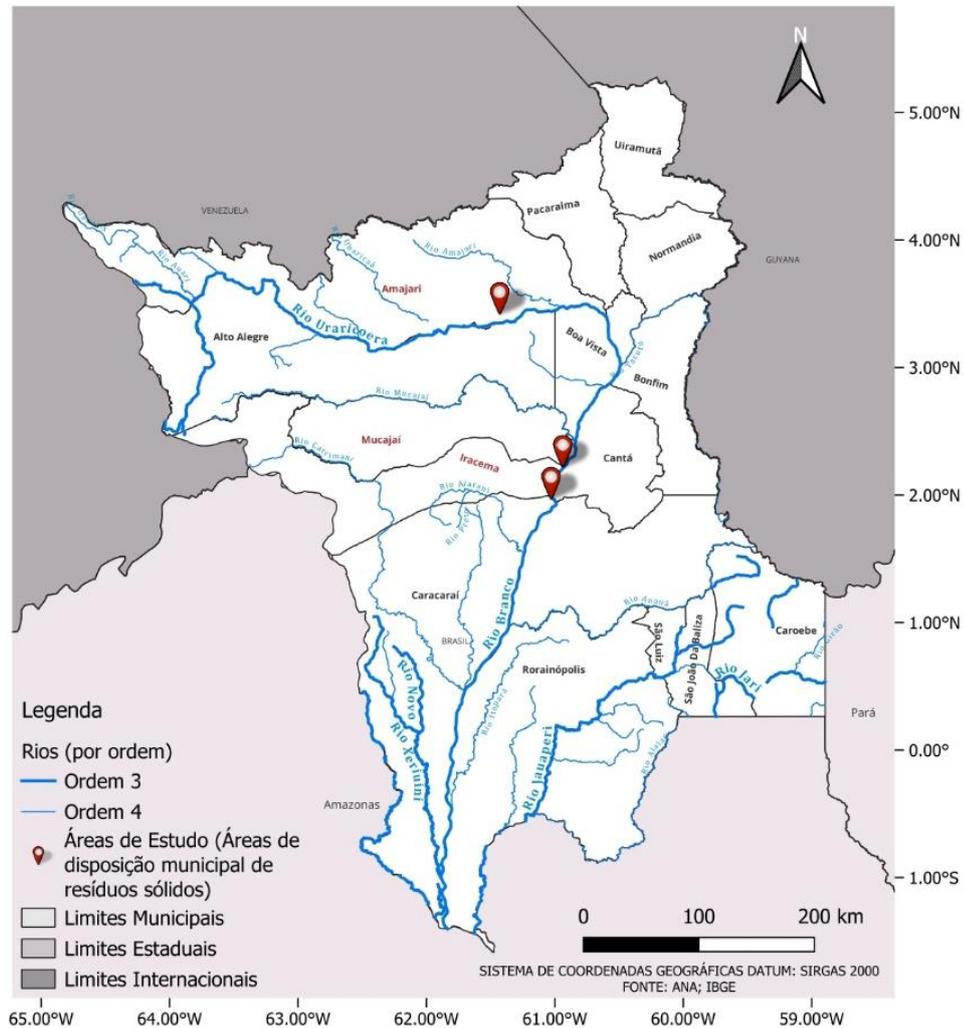
coesas com baixa permeabilidade e taxa de infiltração (CRPM, 2006). Em relação aos tipos de solo o Município retrata os tipos Neossolos Litólicos e Cambissolos, que geralmente apresentam baixa fertilidade; mas em áreas com rochas máficas, há predomínio de Cambissolos Vérticos, Argissolos e Nitossolos (BARBOSA; MIRANDA, 2004; REIS; FRAGA, 1998; VALE JÚNIOR; SACHAEFER, 2010) (Figura 9).

A região de Mucajá é caracterizada pela presença de serras e morros alinhados, com extensas áreas de superfícies aplainadas e levemente onduladas, além da sua área de resíduos sólidos estar localizada sob a suíte metamórfica Rio Urubu (IBGE, 2005; FRANCO; DEL'ARCO; RIVETTI, 1975). O Município possui diversos tipos de solo, como Latossolo Amarelo; Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Solos Neossolos Litólicos, Gelissolos Háplicos, Neossolos Flúvicos; Neossolos Quartzarênicos (MELO et al, 2006) (figura 9). Em Iracema, há predominantemente, Latossolo Vermelho – Amarelo, Solo, Areia Quartzosa Hidromórfica, (BRASIL, 1975).

3.1.3 Contexto hidrológico e geológico simplificado

Em relação aos recursos hídricos das áreas de estudo, tem-se a figura 10 como mapa de referência. O município de Amajari possui como principais drenagens o Rio Urariquera, ao sul; Rio Amajari, ao norte; e Rio Trairão a oeste (CPRM, 2006; TIBIRIÇÁ, 2016). Sendo que a área de disposição resíduos sólidos fora alocada na confluência do rio Amajari com o Urariquera (Figura 10).

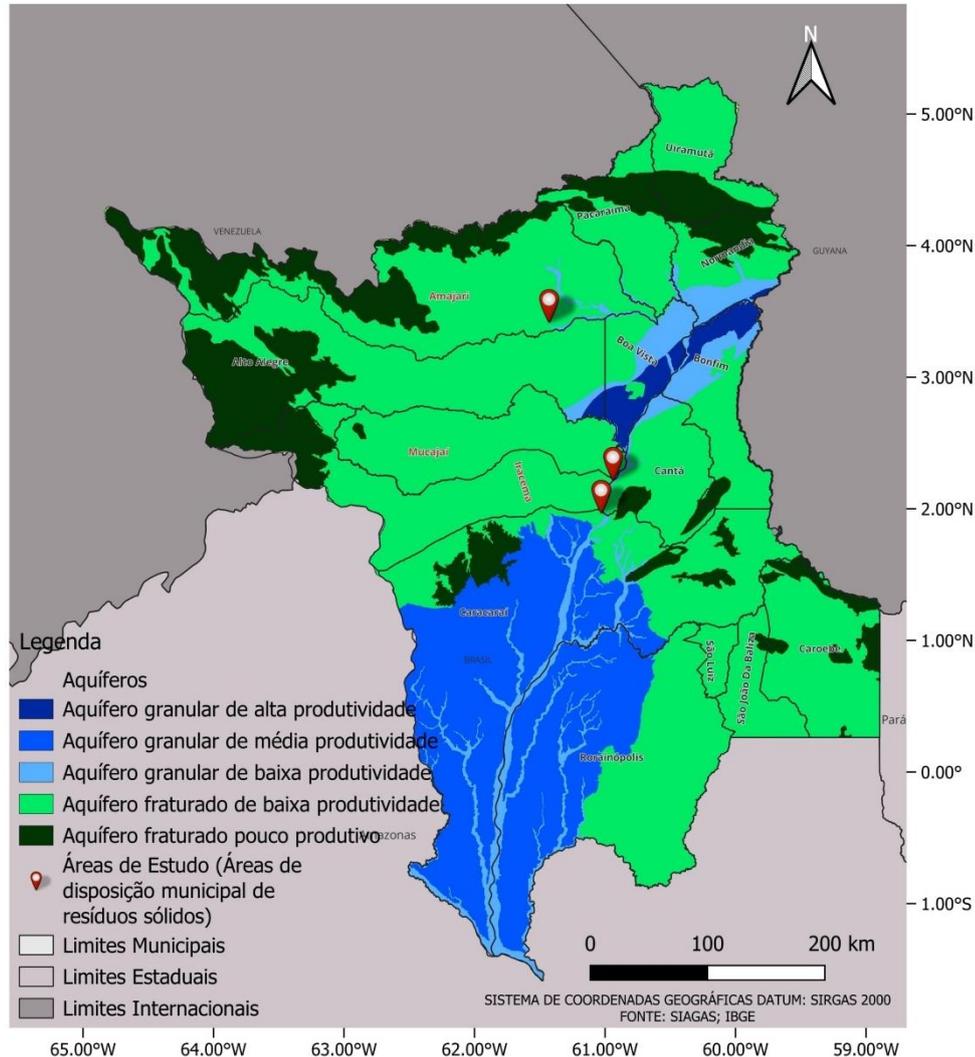
Figura 10 – Hidrologia das áreas de estudo.



Fonte: Autora (2023).

Já o município de Mucajaí, destaca-se a bacia do Rio Mucajaí, composta pelos rios Couto de Magalhães, Mucajaí, Apiaú, Catrimãni e Branco, bem como seus afluentes os igarapés Azul, da Serrinha, do Ipiranga, Miravel, Cantagalo, Traíra, Arara e João da Mata. Destacam-se ainda algumas cachoeiras como a da Alagação, do Cachimbo, do Garimpo, do Apiaú, dos Índios, do Arromba e da Lata, entre outras (BARROS et al., 2008; VERAS, 2014). O corpo hídrico relativamente próximo a área de destinação de resíduos sólidos é o igarapé Azul. Para Iracema, os principais rios que banham o Município são o Branco, o Mucajaí e o Apiaú (ROCHA; ROCHA, 2014; TONINI; COSTA; SCHWENGBER, 2009) (Figura 10). Já os aquíferos das áreas de estudo estão representados na figura 11.

Figura 11 – Aquíferos das áreas de estudo.



Fonte: Adaptação de CRPM (2016a e b) e SIAGAS (2020).

Dentre esse contexto hídrico acima mencionado, é certo dizer que o estado de Roraima é comportado pelo Sistema Aquífero Boa Vista – SABV. Este apresenta caráter desde livre a fraturado confinado, com profundidades variando desde meramente superficiais (centimétricas) até os 120 m (WANKLER; SANDER; EVANGELISTA, 2012) as áreas aqui estudadas estão assentadas sobre um aquífero do tipo fraturado de baixa produtividade, com influência de aquífero granular variando de alta a baixa produtividade (Figura 11).

É válido mencionar que prospecções geofísicas executadas dentro o SABV são extremamente pontuais, sendo as pouquíssimas existentes restritas a cidade de Boa Vista, capital do Estado, em sua zona metropolitana.

De acordo com Souza e Carvalho (2017) a faixa SW da cidade apresentou resistividades elétricas com valores em até 60.000 Ω .m, sugerindo camadas geológicas com alta porosidade (p. e., concreções lateríticas), está por sua vez, potencializam o risco a uma possível percolação de contaminantes, de maneira gravitacional e rápida, dissolvendo-se no nível freático.

Ainda dentro a capital do estado de Roraima, Boa Vista, agora em sua faixa oeste, a resistividade mostrou-se extremamente alta, com valores na ordem de dezenas a centenas de Ohm.m (i. e., 82.989 Ω m e 264.497 Ω m, em 24 m de profundidade), conotando um caráter ígnea ao Aquífero, sendo associado possivelmente as rochas basálticas fraturadas da Formação Apoteri (GUIMARÃES; SOUZA, 2022), indicando uma boa zona permoporosa (i. e., excelente potencialidade aquífera).

No que concerne aos aspectos litológicos, segundo Reis et al. (2003), o estado de Roraima possui quatro grandes domínios geológicos: Urariquera, Guiana Central, Parima e Anauá-Jatapu (Figura 12).

Figura 12 – Domínios Litoestruturais do estado de Roraima.

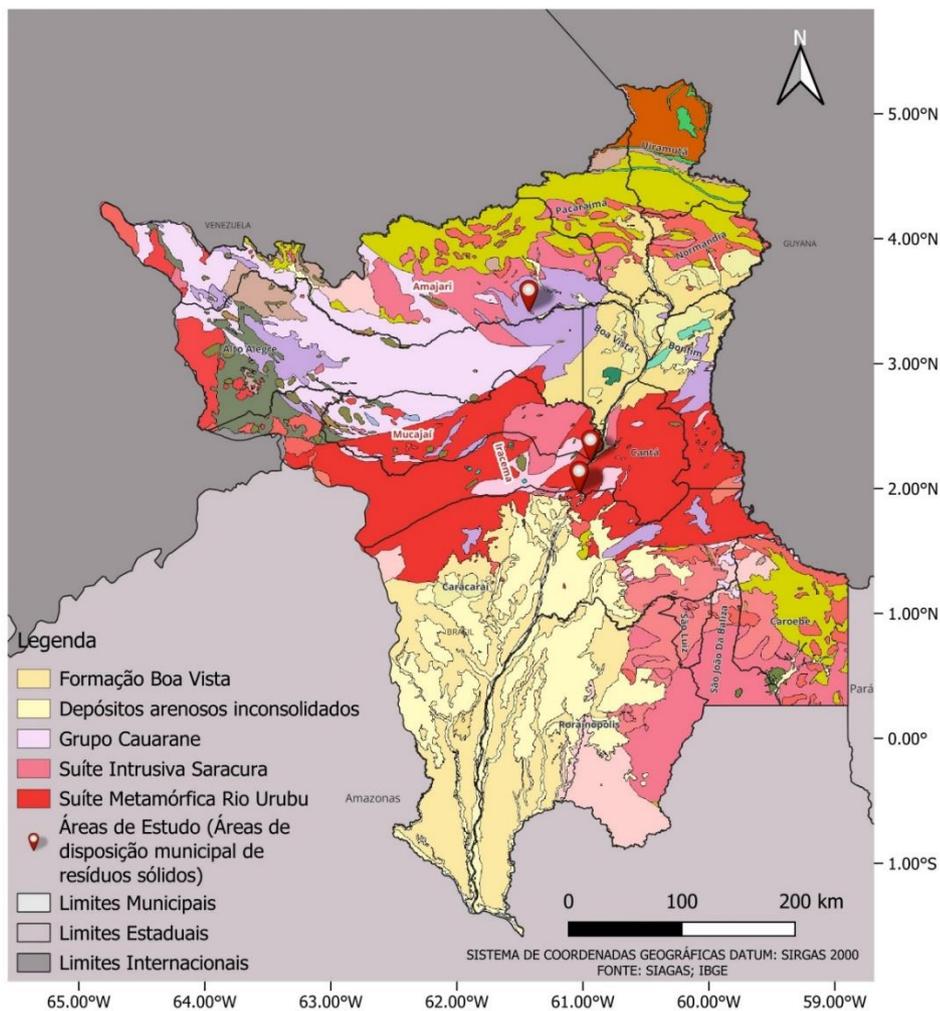


Fonte: Reis e Fraga (1998).

O município de Amajari está localizado nos domínios estruturais Parima e Urariquera, onde há grandes áreas com presença de terrenos granito-*greenstone*, rochas graníticas máficas e sedimentares, representado pela figura 13. A serra do Tepequém - presente na região da cidade de Amajari - possui a sucessão sedimentar siliciclástica paleoproterozóica, que é constituída principalmente por arenitos e conglomerados (FERNANDES FILHO, 2010) (Figura 13).

Em relação aos municípios de Mucajaí e Iracema, a geologia da área está representada pelo Domínio do Cinturão Guiana Central, as unidades pertencentes a este Domínio são Grupo Cauarane, Suíte Metamórfica Rio Urubu, Suíte Intrusiva Serra da Prata, Complexo Anauá (REIS, 1998), Formação Boa Vista e Areias Brancas (BARROS et al., 2008; REIS et al., 2003; VERAS, 2014) (Figura 13). Mucajaí pertence a dois domínios litológicos: arenitos pleistocênicos da Formação Boa Vista e uma área coberta por rochas ígneas do mesoproterozóico (FRAGA, 2002).

Figura 13 – Aspectos geológicos gerais das áreas de estudo.

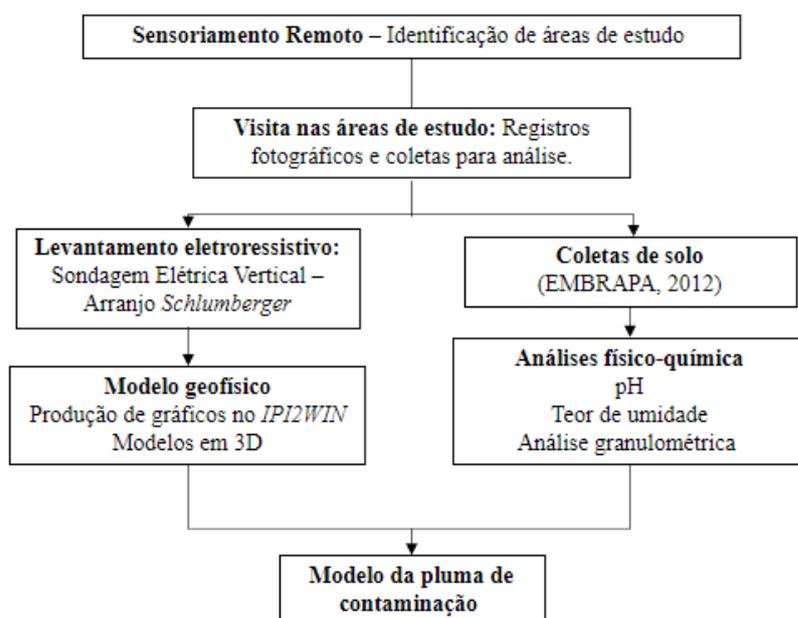


Fonte: Adaptação de IBGE (2005) e SIAGAS (2020).

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa em apreço fora realizada através de metodologia interdisciplinar, utilizando dados geofísicos e físico-químicos – além do sensoriamento remoto – das áreas de estudo no estado de Roraima (Amajari, Iracema e Mucajaí). Tal discernimento está representado através da figura 14.

Figura 14 – Fluxograma da metodologia da pesquisa.



Fonte: Autora (2023).

Para a geração de mapas geológicos e hidrológicos, foram utilizadas imagens de sensoriamento remoto. As imagens são obtidas através de um satélite *Landsat 8 ETM+*, disponível no site *Earth Explorer* (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), de 7 de dezembro de 2015, com 30 metros de resolução espacial, e Modelos Digitais de Elevação (DEMs) com 30 metros de resolução espacial adquiridas da Missão Topográfica de Radar *Shuttle* (SRTM), também através do site acima citado, obtidas em 29 de agosto de 2022. Tais imagens representaram as altitudes de superfície topográfica e os elementos geográficos ali existentes.

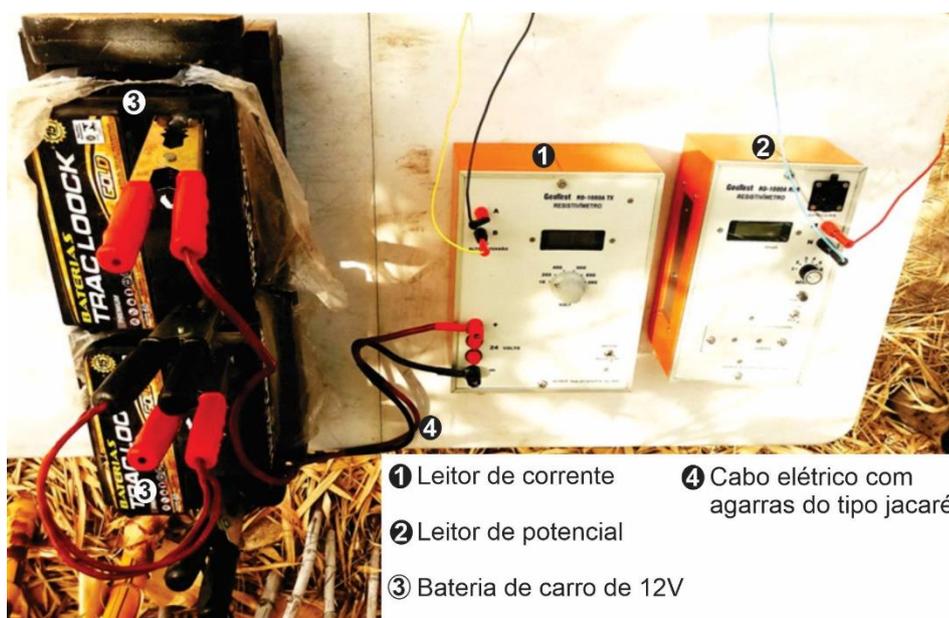
Os dados coletados foram trabalhados no *software QGIS 3.16.16*. A partir disso, foi possível elaborar mapas temáticos com as disposições de corpos hídricos e geológicos, além das propriedades físicas das áreas em questão. É importante mencionar, que os mapas de localização e de ponto, também foram produzidos através desse aplicativo.

3.3 ANÁLISE INDIRETA – LEVANTAMENTO ELETRORRESISTIVO (SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL)

Em campo, foram observados diversos impactos ambientais superficiais, registrados por fotos, para que se possa comparar com a legislação vigente (ABNT, 2004). Para investigar o subsolo, utilizou-se o método elétrico, através do levantamento eletroresistivo (ER), por meio da técnica da Sondagem Elétrica Vertical-SEV com arranjo *Schlumberger*. Dentre a área de estudo da presente pesquisa, Estado de Roraima, foram prospectadas 12 SEVs, destas 5 no município de Amajari; três no de Iracema e 4 no de Mucajaí, todas sendo georreferenciadas.

A coleta fora executada utilizando o aparelho denominado de resistivímetro² GEOTESTE RD-300, de fabricação brasileira, similar ao empregado por Pimentel (2020), Guimarães e Souza (2022) e Souza et al. (2013). Este é alimentado por oito pilhas AA e o circuito sustentado por duas baterias de carro de 12 volts cada associadas em série, totalizando uma diferença de potencial (ΔV) de 24V (Figura 15). Assim, a partir da diferença de potencial, obtém-se a resistividade aparente (ver equação 10, tópico 1.4), que após interpretações (processamento das curvas de resistividade), torna-se possível arquitetar sobre a pluma de contaminação da área prospectada.

Figura 15 – Resistivímetro GEOTESTE RD-300.

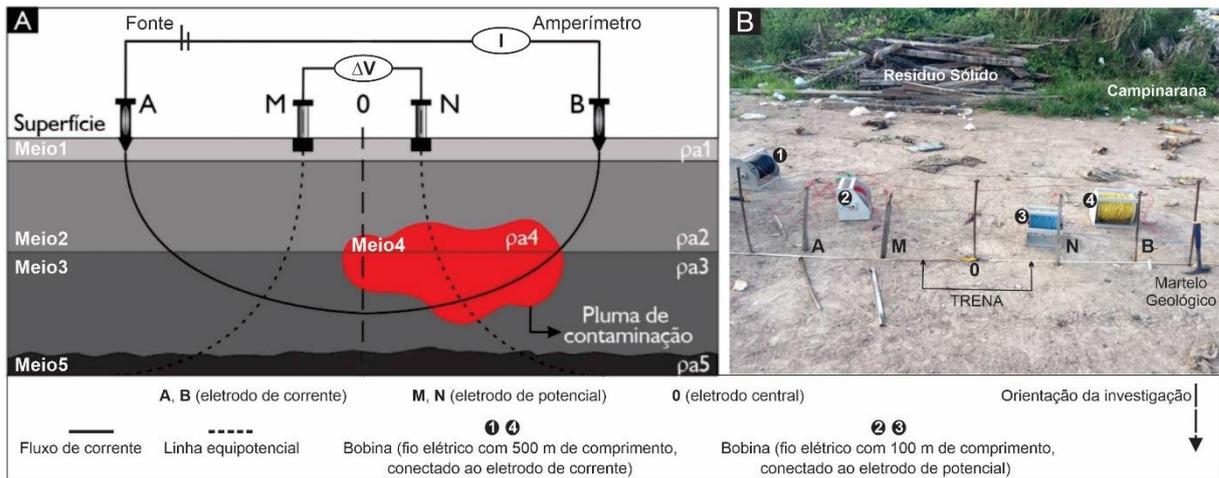


Fonte: Adaptado de Pimentel (2020).

O arranjo utilizado foi o de *Schlumberger*, onde quatro eletrodos são fixados na superfície do terreno. Os eletrodos A e B, de corrente, quanto mais espaçados entre si, maior será a

profundidade alcançada; e os eletrodos M e N, de potencial, medirão a diferença de potencial no terreno (OLIVA; KIANG, 2007), demonstrado pela figura 16A, B.

Figura 16 – Exemplificação de procedimentos geolétrico. A. Técnica da Sondagem Elétrica Vertical-SEV com o arranjo de *Schlumberger*, explicitando uma pluma de contaminação. B. Coleta em campo utilizando a técnica da SEV com arranjo *Schlumberger*.



Fontes: A. Modificada de Souza e Andrade (2018). B. Grupo de pesquisa Caimbé-Geociências de Roraima (2019B).

É de supra importância retratar que o resistímetro aqui empregado é composto, além da unidade de controle (Figura 15), por eletrodos e bobinas com cabos elétricos (Figura 16B). Assim, aplicação da corrente elétrica e, conseqüentemente a medição da diferença de potencial (ΔV) é realizada através de eletrodos. Estes por sua vez, são artefatos de aço inoxidável, que são fixados sobre a superfície do terreno (Figura 16B). Tais artefatos são interligados a cabos elétricos com diâmetro de 2 mm com agarras tipo “jacaré”. Esses cabos estão envoltos em quatro bobinas, duas delas composta de fios elétricos com comprimento de 100 m cada, e as outras duas com 500 m de fios cada (Figura 16B). O posicionamento exato e, conseqüente espaçamento (fator geométrico) (ver Equação 11, item 1.4) dos eletrodos na superfície fora feito mediante o uso de duas trenas (50 m de comprimento cada uma) (Figura 16B).

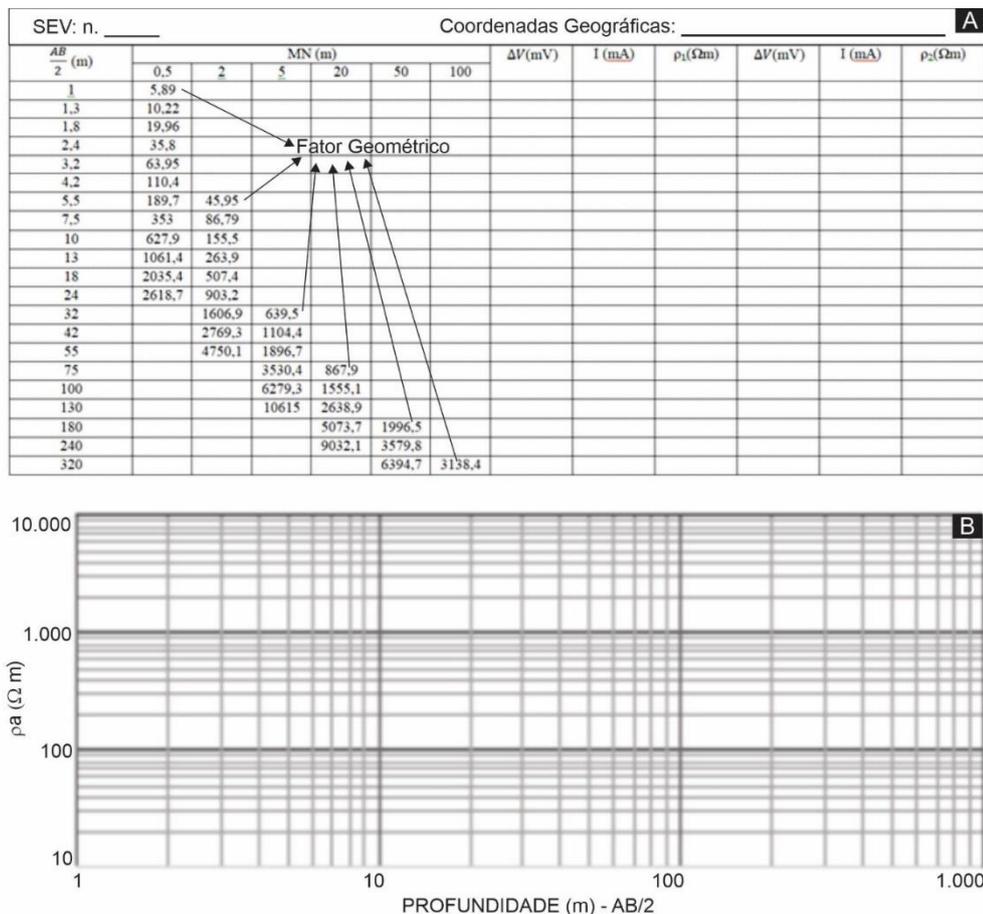
Outros materiais usados na coleta geofísica também merecem destaques.

- ✓ Câmera fotográfica ou celular;
- ✓ *Global Positioning System* (GPS);
- ✓ Solução salina para melhoramento da indução de corrente elétrica aplicada nos eletrodos;
- ✓ Ficha de campo de SEV (ver Figura 16);

- ✓ Calculadora;
- ✓ Martelo geológico ou marreta para cravar os eletrodos na superfície do terreno (ver Figura 15B);
- ✓ Guarda-sol, que tinha como principal função a proteção do resistivímetro contra os raios solares e chuva.

Cada uma das doze sondagens elétricas coletadas nos municípios supracitados foi anotada em uma ficha de campo de SEV, demonstrada na figura 17A, sendo realizado os cálculos de resistividade elétrica aparente (ρ_a) e, portanto, a confecção da curva de campo prévia em escala bi logarítmica (Figura 17B), para assim, divagar sobre a variação da resistividade em função da profundidade.

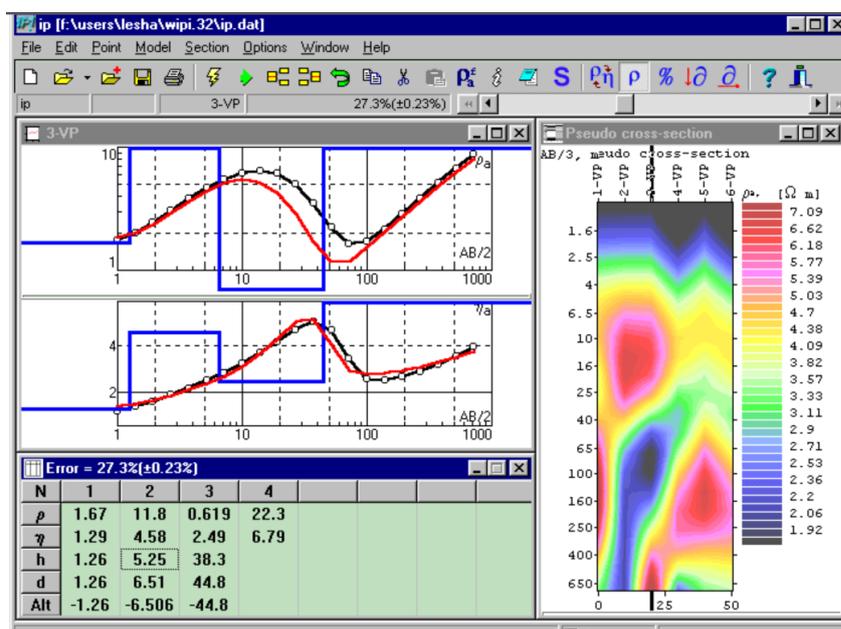
Figura 17 – Registro dos dados de SEV. A. Tabela de campo para preenchimento dos valores de ΔV e I , procedendo ao cálculo de ρ_a . B. Gráfico bi logarítmico, para plotagem dos valores de resistividade e confecção da curva de resistividade elétrica.



Fonte: A. Modificada de Souza (2010) e B. Adaptada de Pimentel (2020).

Terminada a coleta geofísica de campo os dados elétricos, i. e., as SEV's, foram processados no aplicativo livre *IPI2Win* desenvolvido pela *GEOSCAN-M Ltd.* nas dependências da Universidade Federal de Roraima-UFRR, Laboratório de Geofísica, Meio Ambiente e Energia (LAGMAE), prédio do Núcleo de Pesquisa Energética (NUPENERG). A partir deste *software* foi possível produzir curvas da resistividade elétrica em relação à profundidade, assim como os modelos de pseudo-seções em 1D, como mostra a figura 18.

Figura 18 – Tela do aplicativo *IPI2Win* com curvas de SEV e o modelo em 1D.



Fonte: GEOPHYS (2003).

É válido mencionar que fora usado também os programas *Surfer 1.5* (gerar modelos em 3D) e *ArcScene* (criar mapas de isópacas), do pacote *ArcGis*.

As duas ferramentas anteriormente citadas possibilitam simular o caráter geoeletrico, bem como modelos que demonstram variação lateral de resistividade (BICHET; GRISEY; ALEYA, 2016; SOUZA; CARVALHO, 2017; SOUZA; ANDRADE; MORAES, 2018; PIMENTEL, 2020; GUIMARÃES; SOUZA, 2022). Assim, os modelos obtidos a partir do processamento nos aplicativos anteriormente citados, possibilitam inferir camadas litológicas e geometria de plumas de contaminação advinda das áreas de disposição municipal de resíduos sólidos aqui estudadas. A existência de plumas é sugerida por comparação das SEV realizadas próximas e/ou nos entornos às pilhas de lixo, com as executadas distantes, discriminando-se assim o meio geológico em profundidade.

3.4 ANÁLISE DIRETA – FÍSICO-QUÍMICA

As amostras de solo aqui obtidas através de perfuração mecânica com o uso de trado foram destinadas à análise química. Essas posicionadas em áreas municipais de alocação de resíduos sólidos do estado de Roraima, resultando num total de seis furos; três no de Amajari; dois em Iracema e um para Mucajaí; totalizando 29 amostras, com 500 g de peso para cada uma. A coleta seguiu as normas técnicas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (2012). Para efeitos de comparação as amostras foram coletadas nos pontos próximos a prospecção geofísica (SEV) previamente realizada, para que fosse possível obter parâmetros físico-químicos e a pluma de contaminação de um mesmo local (FILIZOLA, 2006).

Antes da coleta de cada amostra, a cobertura vegetal e material grosseiro existente eram removidas com cuidado, sem prejudicar/danificar a camada de solo. As amostras foram coletadas de 10 em 10 cm de profundidades - até onde era possível diante da estrutura do solo - e armazenadas em sacos plásticos para posterior análise em laboratório. A cada tradação o solo era homogeneizado (FILIZOLA; GOMES; SOUZA, 2006; PES; ARENHARDT, 2015).

A instrumentação utilizada para coleta foi basicamente:

- ✓ Trado do tipo concha de diâmetro de 100 mm com haste e luva de 25 mm, pertencente ao Departamento de Engenharia Civil, Centro de Ciências e Tecnologia-CCT/UFRR (Figura 18);
- ✓ Trena de 5 m;
- ✓ Saco plástico de 5 kg para acondicionamento das amostras.

Figura 19 – Coleta de solo. A. Tamanho real do trado, com haste em comparação a uma pessoa com 1,75 m de altura. B. Trado do tipo caneca.



Fonte: Autora (2023).

Os estudos físico-químicos restringiram-se a indicação do teor de umidade e pH, além da análise granulométrica. A determinação do teor de umidade do solo foi realizada no Laboratório de Grãos e Água, no anexo do bloco III, UFRR e fora baseada na NBR 6457/2016 (ABNT, 2016). Este é calculado pela relação entre o peso da água existente no solo e o peso seco das partículas sólidas do solo. Uma amostra de 5 gramas natural foi pesada e em seguida, submetida à secagem em estufa por 12 horas em temperatura em torno de 105 °C a 110 °C. Após o tempo, foi efetuada uma nova pesagem. O cálculo obedece a equação 12.

$$h = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100, \quad (12)$$

Onde “M₁” é a massa do solo úmido com a massa do recipiente em gramas; “M₂” é a massa do solo seco com a massa do recipiente em gramas; “M₃” é a massa do recipiente em gramas e “h” é o teor de umidade da amostra, expressa em porcentagem.

Em relação ao pH do solo a medição fora através de um eletrodo imerso em solução de solo e líquido (água) em proporção 1:2,5. Para isso, foram pesados 10 gramas de solo e em seguida se adicionou 25 mL de água destilada, essa solução foi agitada com o auxílio de um bastão de vidro e em seguida, repousando por 1 hora. Após o repouso, a amostra foi agitada e os eletrodos foram mergulhados para a leitura do pH. O pH foi determinado através do equipamento pHmetro digital (Figura 20) pertencente ao laboratório de Físico-química localizado no NUPENERG-UFRR já calibrado com soluções padrões de pH 4,00 e 7,00.

Figura 20 – pHmetro digital utilizado para análise das amostras de solo.



Fonte: Autora (2023).

Para análise granulométrica, utilizou-se sete peneiras de malhas de diferentes granulometrias para separar os sedimentos presentes em cada amostra. As peneiras foram posicionadas de forma em que se tivesse a maior granulometria no topo e a menor na base (Figura 21). Os limites estabelecidos estão listados na tabela 1.

Tabela 1 – Peneiras e suas granulometrias, da maior para menor, como posicionada no experimento.

Peneira	Granulometria
1	4 mm
2	2 mm
3	1 mm
4	500 μm
5	250 μm
6	125 μm
7	62 μm

Fonte: Autora (2023).

Antes dos peneiramentos, as amostras foram submetidas a secagem numa estufa a 105°C por 12 horas, seguindo a NBR 6457 (ABNT, 2016). Segundo a metodologia de Suguio (1937), utilizou-se 100g de material. As peneiras foram alinhadas no Agitador de Peneiras Eletromagnético *Berte* por 5 minutos. O agitador permite que, a partir do movimento vibratório, as partículas se separem de acordo com os seus diversos tamanhos, devido a isso, os grãos que permanecem em determinada peneira, são maiores que a sua malha, mas menores que a peneira anterior (KENITIRO, 1937). A figura 21 mostra o agitador juntamente com as peneiras.

Figura 21 – Exemplificação do jogo de peneiras utilizado, bem como do Agitador de peneiras.



Fonte: Autora (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico são apresentados os resultados e as discussões obtidas a partir de estudos geofísico e físico-químico em Área de Disposição Municipal de Resíduos Sólidos-ADMRS executados no estado de Roraima, perfazendo três cidades: Amajari (faixa norte) e Mucajaí e Iracema (faixa sul) (ver Figura 6). A pesquisa nestas áreas fora discriminada separadamente (em subtópicos), sendo que para cada ADMRS fora abordado: os aspectos físicos e/ou estruturais da área de alocação do resíduo, a assinatura geofísica e, por fim, o caráter físico-químico.

As três ADMRS aqui estudadas foram classificadas de acordo com as NBR 8419 e 15849, utilizando-se para isso de registros fotográficos, relatos informais da população local e estudos anteriores. Tem-se ainda, os resultados do ensaio eletrorresistivo, com as interpretações das curvas de resistividade geradas, e das análises físico-químicas; em todos os Municípios, não foi possível fazer coleta de solo em cada ponto em que havia sido feito o levantamento geofísico-SEV, como previsto pela metodologia, pois onde anteriormente fora realizado, é uma montanha de lixo (i. e., Resíduos Sólidos Urbanos – RSU), inviabilizando a coleta de solo. O tópico finaliza com um modelo hipotético da pluma de contaminação de cada ADMRS, levando em consideração, tanto a prospecção geofísica, como as análises físico-químicas.

4.1 ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE AMAJARI

O município de Amajari está a 100 m de altitude, localizado na região norte do estado de Roraima nas coordenadas geográficas 03° 39' 07" N e 61° 22' 16" W (ver Figura 7). Os tópicos demonstrados abaixo, falam sobre os aspectos físicos e os resultados obtidos nas análises geofísicas e físico-químicas.

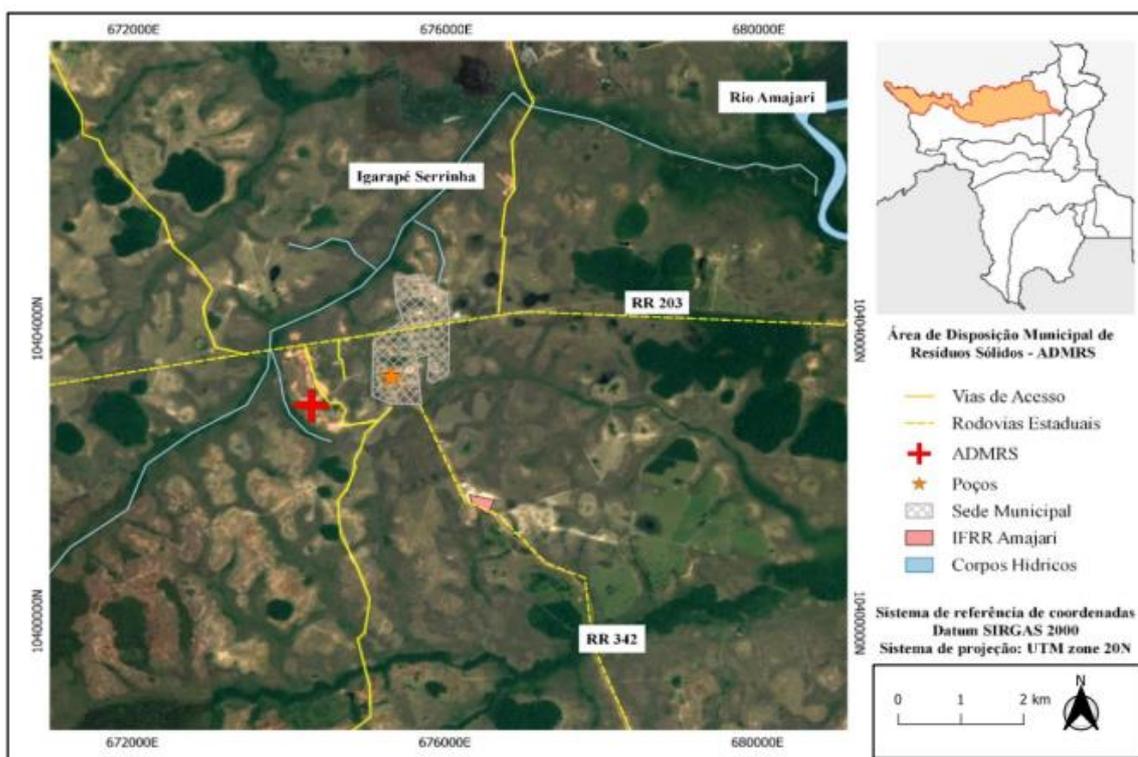
4.1.1 Aspectos físicos e/ou estruturais

Amajari tem sua ADMRS disposta nas coordenadas geográficas 3° 38' 32,94" N e 61° 25' 46,54" W, e altitude de 114 m em relação a sede do Município. É evidente a proximidade da ADMRS ao igarapé Serrinha, distando a menos de 100 m, e as normas técnicas brasileiras pontuam que qualquer corpo hídrico deva distar a 200 m ABNT (1992; 2010) (Figura 22).

A ADMRS está posicionada a 1,5 km da sede do Município (sentido Vila do Tepequém), o acesso se dá pela RR 203 (Figura 22). De acordo com Silva (2022) a partir da rodovia estadual, as primeiras disposições dos resíduos ocorrem a 600 m do *rol* de entrada, sendo este percurso

feito através de estrada vicinal não pavimentada. É importante mencionar que os resíduos são praticamente alocados em porções aleatórias da área da Serrinha de Amajari, com altitude em torno de 122 m (Figura 23).

Figura 22 – Mapa exemplificando o posicionamento da sede do município de Amajari à sua ADMRS.



Fonte: Modificada de Silva (2022).

Os resíduos sólidos presentes na ADMRS são alocados diariamente, de qualquer forma, ano após ano, a pelo menos 15 anos, estando distribuídos aleatoriamente em diversas pilhas espalhadas por toda a extensão do terreno (Figura 22). A dimensão desta é totalmente obscura, contudo, é inferida que seja em torno de 405.000 m², indicando de imediato que não há qualquer planejamento em sua construção, isto é, não segue qualquer norma, como por exemplo, as ABNT (1992; 2010).

Figura 23 – Visualização da alocação dos resíduos (setas amarelas) na ADMRS de Amajari na região da Serrinha de Amajari.

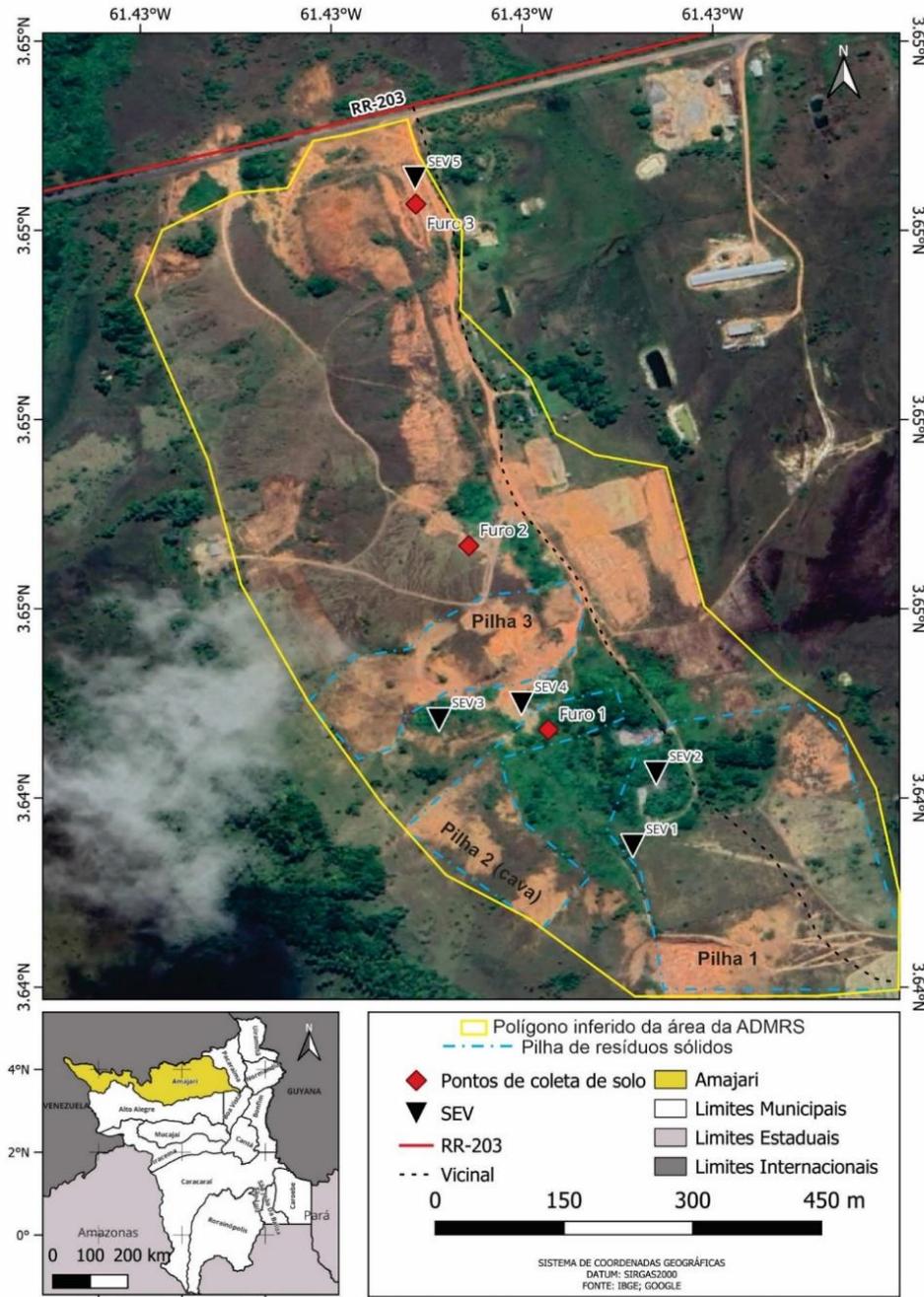


Fonte: Grupo de Pesquisa Caimbé - Geociências de Roraima (2019).

Há presença constante de transeuntes (p. e., catadores de lixo), bem como animais (cachorros, gatos e urubus). A coleta do RSU é feita em caminhão coletor nos dias de segundas, terças, quartas e sextas-feiras durante a manhã (SILVA, 2022), sugerindo-se que aproximadamente 15 m³ de resíduos são despejados pelo caminhão no final de cada dia.

Embora os RSU formem em alguns pontos pequenas montanhas (pilhas) com até 3 m de altura, é nitidamente observado que o lixo é posto de forma espalhada, formando verdadeiros “tapetes” que recobrem a superfície do terreno. É válido mencionar que a geometria em formas de pilhas é formada quase que exclusivamente por maquinarias pertencentes a prefeitura do município de Amajari, objetivando apenas a diminuição do espaço ali existente, permitindo que sempre tenha ambiente para alocar mais lixo, sem contar a prática da incineração, que também ajuda a diminuir a quantidade de resíduos. De forma simplificada a ADMS possui atualmente três pilhas principais (Figura 24).

Figura 24 – Mapa de ponto da ADMRS de Amajari: SEV e coleta de solo.



Fonte: Autora (2023).

A Pilha 1 é considerada a mais antiga, pois praticamente o lixo mais velho, está recoberto em sua grande parte por vegetação, além de apresentar resquício de queima (Figuras 24 e 25A-B).

Figura 25 – Exemplificação da Pilha 1 da ADMRS de Amajari/RR (ver localização na Figura 24). A. Lixo antigo recoberto pela vegetação. B. Lixo incinerado.



Fonte: A-B. Grupo de Pesquisa-Geociências de Roraima (2021).

A Pilha 2 (dentro da cava) tem profundidade aproximada de 5 m, apresenta grande acúmulo de lixo de forma espaçada, sendo que em alguns pontos quase chegam à superfície do terreno (Figuras 24 e 26A-D).

Figura 26 – Exemplificação da Pilha 2 da ADMRS de Amajari/RR (dentro de uma cava) (ver localização na Figura 23). A. Declive da cava (seta amarela). B. Disposição do lixo dentro da cava (seta amarela). C. Caminhão coletor despejando o lixo (seta preta). D. Presença de catadores (círculo amarelo) dentro da cava no momento do despejo dos resíduos sólidos (seta amarela).



Fonte: (A-D) Autora (2023).

Os catadores de lixo ali presentes auxiliam no despejo do lixo quando os caminhões coletores chegam ao local. E, por fim, a Pilha 3 (Figuras 24 e 27) próxima a cava, onde há quantidade de resíduos de diversas classes. Segundo Pereira (2018) e Silva (2022) o tipo de resíduo existente na ADMS é amplamente doméstico, eletroeletrônico, carcaças de animais e hospitalares. Tal prática de despejo mantém-se igual atualmente, portanto indo na contramão do que é fixado na legislação - ABNT NBR 12.808/93; CONAMA n. 358/2005; CONAMA n. 401/08). Como demonstra a figura 27.

Figura 27 – Exemplificação da Pilha 3 da ADMRS de Amajari/RR (ver localização na figura 23): lixo incinerado (seta amarela), carcaça de plástico (seta branca), fios de aço (círculo amarelo pontilhado); saco plástico (círculo azul pontilhado) e papel (seta preta).



Fonte: Autora (2023).

A explanação aqui retratada de forma simplificada no que concerne a estruturação da ADMRS do município de Amajari, é dita de lixão aberto, pois não segue qualquer norma legislativa (i. e., NBR 8419 e 15849) (ABRELPE, 2020). Tais normas retratam a existência de critérios básicos para o enquadramento em aterro sanitário e aterro controlado, como a presença de rede de drenagem para lixiviado, além de local preparado para receber os resíduos sólidos, com cobertura para que não haja infiltração de chorume no solo (ABNT, 1992), sendo tal situação não identificada na ADMRS em questão, conforme também verificada por Silva (2022).

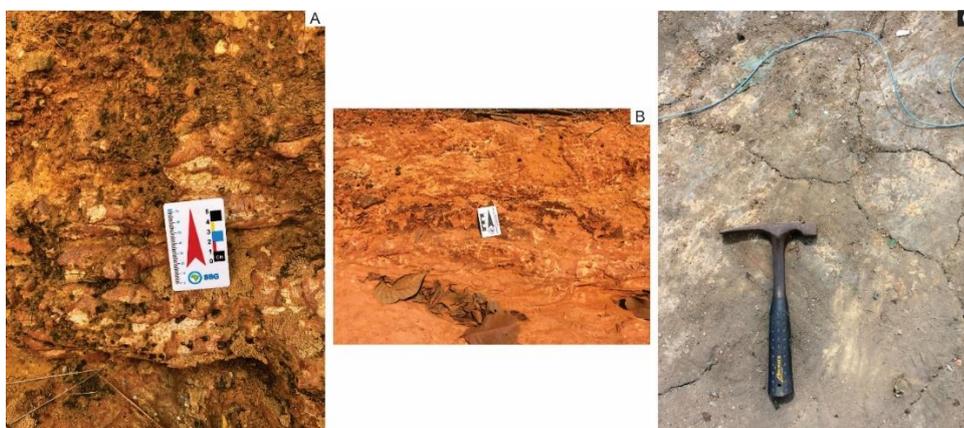
De acordo ainda com Silva (2022), a partir do instrumento indicador da qualidade ambiental o Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos-IQR-Valas/Lixões, a ADMRS de Amajari, é dita inadequada (I), pois obteve pontuação de 1,2; numa escala de 0,0 até 6,0, conformando-a como lixão.

4.1.1 Análise geofísica

O caráter geofísico na ADMRS de Amajari adveio do levantamento eletrorresistivo a partir da técnica da SEV, totalizando cinco coletas (Figura 24; Apêndices A-E). É importante frisar que, três das cinco SEV, são oriundas do banco de dados do Grupo de Pesquisa Caimbé-Geociências de Roraima, realizadas em 2021, e as outras duas foram coletadas durante o desenvolvimento da presente pesquisa, realizadas em 2023. O comportamento geoeétrico fora inferido a partir da associação da resistividade elétrica ao meio geológico pertinente a área do Município, bem com a relação dos valores de resistividades ao chorume produzido pela decomposição do lixo (p. e., GALLAS et al., 2005).

De forma geral, segundo a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM (2004), Reis et al. (2003) e Fernandes Filho (2010) o conteúdo geológico remete ao Grupo Cauarane, isto é, rochas ígneas e sedimentares (metachert, paragnaisse e xisto), sendo recoberto por coberturas detrítico-lateríticas (blocos fragmentados de metachert e quartzo leitoso) e sedimentação holocênica métrica, geralmente cascalhosa rica em fragmentos lateríticos. É importante evidenciar que em campo a geologia local fora observado rochas areníticas, argilosas e basálticas aparentemente intemperadas (Figura 28A-C).

Figura 28 – Litologia local na ADMRS de Amajari/RR. A e B. Rochas basálticas alteradas. C. Material arenoso e argiloso.



Fonte: Grupo de Pesquisa-Geociências de Roraima (2021).

4.1.1.1 Sondagem elétrica vertical 1 – SEV1

A presente SEV fora mapeada no extremo sul da ADMRS (Apêndice A), região da pilha 1, isto é, próximo aos depósitos de lixo mais antigo (Figuras 24 e 30), com níveis de investigação de até 32 m de profundidade e valores de resistividade $65 < \rho_a < 120.000 \Omega\text{m}$ (Figura 30).

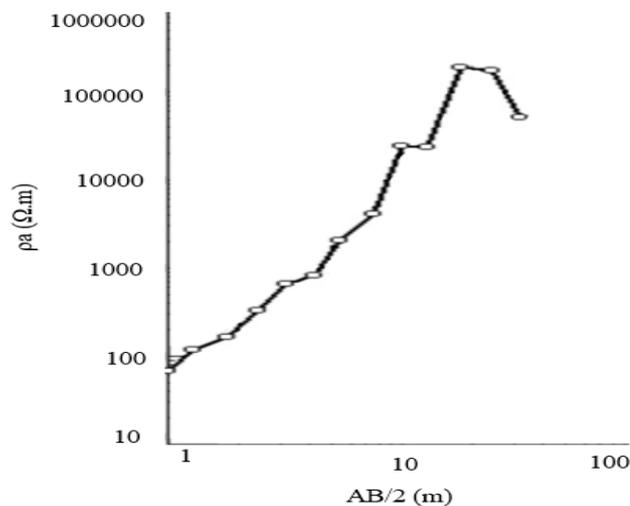
Figura 29 – Imagem exemplificando a coleta da SEV1 na ADMRS de Amajari/RR.



Fonte: Grupo de Pesquisa-Geociências de Roraima (2021).

O gráfico gerado exibiu geometria geral retilínea ascendente, ou seja, a 1 m de profundidade com ρ_a de $68,5 \Omega\text{m}$ e aos 18 m com resistividade de até $110.000 \Omega\text{m}$. Após essa profundidade ocorre uma estabilidade e tênue decrescimento nos valores de resistividade chegando a quase $108.000 \Omega\text{m}$. E, por fim, aos 32 m a resistividade decresceu até quase $85.000 \Omega\text{m}$, indicando uma queda inferior a $25.000 \Omega\text{m}$ nos valores (Figura 30).

Figura 30 – Curva de resistividade da SEV1 da ADMRS de Amajari/RR.



Fonte: Autora (2023).

A curva da SEV1 da ADMRS, assim, revelou que os valores superficiais, de $70 \leq \rho_a < 170 \Omega\text{m}$, podem ser relacionados a um princípio de contaminação, pois segundo Gallas et al. (2008), zonas de mais baixas resistividades e contaminação, são correlacionadas, uma vez que o chorume é muito rico em íons, permitindo que a corrente elétrica se propague com facilidade e sua resistividade seja baixa na natureza.

A transição dos valores de resistividade para valores mais elevados, à medida que a sondagem se torna mais profunda, pôde ser associada a um ambiente geológico mais arenoso-argiloso e os valores extremos, em torno de $30.000 \Omega\text{m}$, foram interpretados como a rocha cristalina intemperada do embasamento da área, Grupo Cauarane (BRAGA, 2016). E os valores acima de $100.000 \Omega\text{m}$ a rocha mais sã.

4.1.1.2 Sondagem elétrica vertical 2 – SEV2

A SEV2 (Figura 31), assim como a SEV1, fora prospectada também na área de despejo de lixo denominada de pilha 1, distando em torno de 75 m (Figura 24). A sondagem aqui descrita per fez a porção SE da ADMRS de Amajari, apresentando valores de profundidades e resistividades relativamente diferentes quando comparados aos da SEV1, pois alcançou apenas 10 m de profundidade e valores de resistividade oscilando de $340 < \rho_a \leq 600 \Omega\text{m}$ (Figura 32 e Apêndice B).

Figura 31 – Imagem exemplificando a coleta da SEV2 na ADMRS de Amajari/RR.



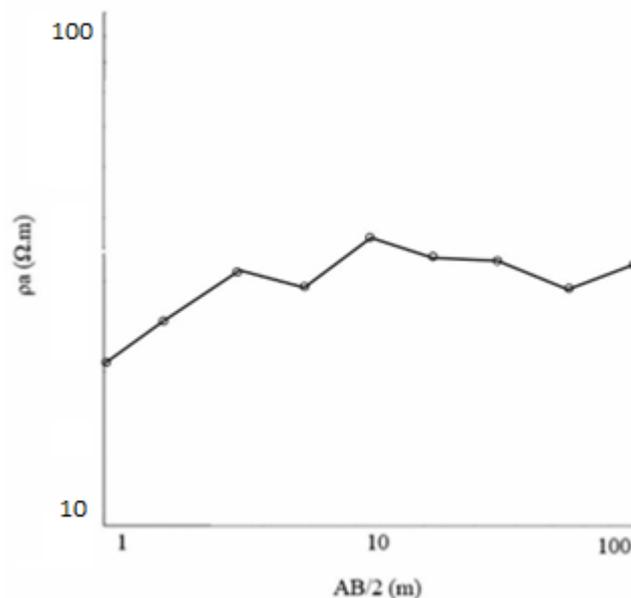
Fonte: Grupo de Pesquisa-Geociências de Roraima (2021).

O formato da curva da SEV2 também difere da SEV1, mesmo que ambas tenham sido realizadas em área de intenção concentração de lixo. A SEV1 mostrou geometria

preferencialmente retilínea ascendente ao longo dos seus quase 32 m de profundidade, já a SEV2 denotou um gráfico com caráter levemente serrilhado no decorrer dos 10 m investigados (Figura 32). Assim, simplificadamente, pôde ser distinguido três partes:

- a. 1°. Parte - as profundidades mais rasas (< 2 m) a curva mostrou-se retilínea cadenciadamente ascendente com resistividade de $340 < \rho_a < 520 \Omega\text{m}$;
- b. 2°. Parte - de 1,8 m até 3,2 m a ascensão assume um formato côncavo, cujo flanco esquerdo denotou valor de resistividade de $516 \Omega\text{m}$ e o direito de $600 \Omega\text{m}$, implicando em uma parábola relativamente aberta (remetendo a um ângulo próximo a 180°);
- c. 3°. Parte - é caracterizada, assim como a anterior, por uma geometria côncava, contudo, a parábola formada é bem mais aberta. A concavidade é muito suave, iniciada aos 3,2 m e finalizada nos 10 m de profundidade com $535 \Omega\text{m}$ de resistividade, cujo vale não alcançou $400 \Omega\text{m}$.

Figura 32 - Curva de resistividade da SEV2 da ADMRS de Amajari/RR.



Fonte: Autora (2023).

O comportamento descrito para SEV2 dito serrilhado, ao mesmo tempo em que mantém um intervalo coeso em seus valores, de $340 < \rho_a < 600 \Omega\text{m}$, nos 32 m de profundidade, indica indícios de ambiente arenoso-argiloso e argiloso, pois segundo Braga (2016) decréscimos abruptos a partir de 10m de profundidade, são indicativos de franja capilar caracterizando presença de materiais argilosos. Esses valores de resistividade são condizentes também com a

ABNT (2012), em que descreve os materiais argilosos com o valor de resistividade entre 300-5.000 Ωm .

4.1.1.3 Sondagem elétrica vertical 3 – SEV3

A SEV3 foi realizada nas imediações da pilha 3, faixa centro-sul da ADMRS (Figuras 24, 33 e Apêndice C). Os níveis máximos prospectados foram de até 32 m de profundidade, cujos valores de resistividade elétrica variaram de 136 Ωm a 11.610 Ωm , indicando inicialmente uma tendência totalmente ascendente nos valores de ρ_a de quase 10 vezes (Figura 34).

Figura 33 – Imagem exemplificando a coleta da SEV3 na ADMRS de Amajari/RR.



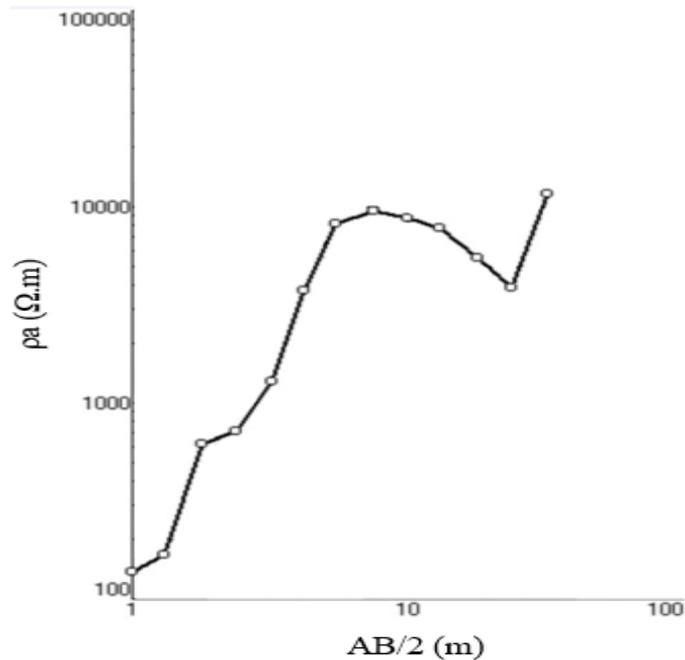
Fonte: Grupo de Pesquisa-Geociências de Roraima (2021).

A sondagem aqui apresentada caracteriza-se, preferencialmente, por ascensão nos valores de resistividade à medida que a profundidade aumenta, ou seja, a 1 m com 136 Ωm e aos 32 m com quase 12.000 Ωm (Figura 34). Desta forma, o desenvolvimento da geometria do gráfico é marcado por duas fases distintas:

- a. 1ª. Fase - restrita ao intervalo de profundidade de 1 a 4,2 m, delineando um formato para curva de sutilmente retilíneo ascendente, com resistividade de $136 < \rho_a \leq 3.755 \Omega\text{m}$;
- b. 2ª. Fase - a sutil retilinearidade é transformada em convexidade, cujo espaçamento entre os flancos configura aproximadamente um ângulo de 180° , sendo o da esquerda com ρ_a superior a 3.755 Ωm a partir dos 4,0 m e o da direita com ρ_a de 3.851 Ωm aos 24 m de

profundidade. Ao término desse flanco os valores de resistividade voltam a ascender até 11.610 Ωm , caracterizando a última profundidade prospectada, i. e., 32 m.

Figura 34 – Curva de resistividade da SEV3 da ADMRS de Amajari/RR.



Fonte: Autora (2023).

A conduta de crescimento dos valores de resistividade da SEV3, com 9.000 Ωm em profundidades inferiores a 10 m de profundidade, pode estar relacionada a materiais com alto conteúdo arenoso-argiloso (BRAGA, 2016). O declínio posterior relativamente suave aos 24 m de profundidade com resistividade em quase 4.000 Ωm , fora associada a concreções lateríticas e seixos de quartzito, estes observados em campo, e que segundo CPRM (2006) é mapeado na área. Tal observação indica um terreno com alterações mineralógicas e física nas rochas, e relaciona a não homogeneidade das camadas em superfície e em seus valores de resistividade.

4.1.1.4 Sondagem elétrica vertical 4 – SEV4

A SEV4, assim como a SEV3, também foi executada nas imediações da pilha 3 (Figura 24 e Apêndice D), contudo próxima a pilha 2 (cava), onde atualmente concentra grande quantidade de resíduos (Figura 35). Esta por sua vez, é na realidade uma feição geomorfológica denominada de voçoroca, podendo se formar por erosão natural ou ação antrópica.

Figura 35 – Imagem exemplificando a relação do posicionamento da SEV4 na ADMRS de Amajari/RR à pilha 2.



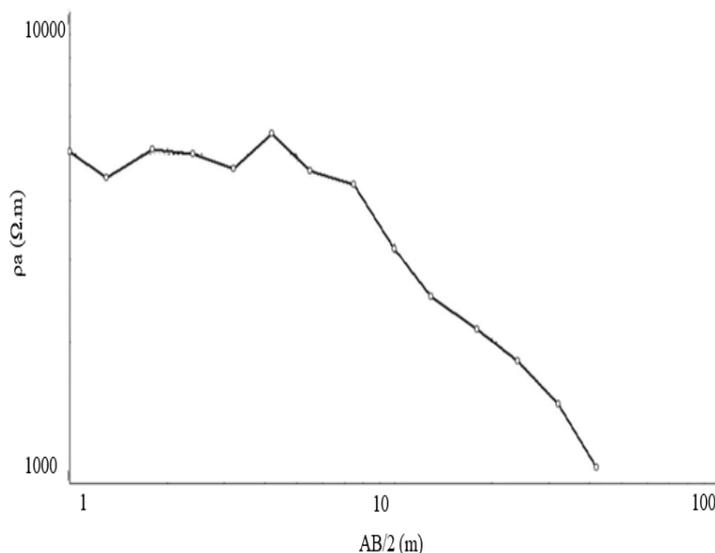
① SEV4 ② Coleta de solo

Fonte: Autora (2023).

A sondagem elétrica vertical 4 aqui apresentada está localizada na zona SSE da ADMRS de Amajari (Figura 24), com profundidade máxima de 42 m, denotando uma curva com caráter moderado retilíneo progressivamente descendente, implicando a 1 m, resistividade de 5.073 Ωm ; e aos 42 m, ρ_a de 1.083 Ωm (Figura 36). É de supra importância retratar, que esse declínio é marcado por cristas e vales ao longo das profundidades iniciais (p. e., 1 a 4,2 metros), com $\rho_a < 4.700 \Omega\text{m}$ para os vales e $\rho_a < 5.600 \Omega\text{m}$.

De forma geral, embora a sondagem esteja posicionada próxima a voçoroca utilizada para despejo de lixo, os valores de resistividades ao longo dos 42 m de profundidade investigadas, ainda não são condizentes com traços de contaminação por choro, e sim as rochas metamorfizadas do Grupo Cauarane.

Figura 36 – Curva de resistividade da SEV4 da ADMRS de Amajari/RR.



Fonte: Autora (2023).

4.1.1.5 Sondagem elétrica vertical 5 – SEV5

E, por fim, temos a última sondagem na ADMRS de Amajari, a SEV5 (Figura 24). Está fora realizada no sentido perpendicular a RR 203, distando em torno de 75 m do *rol* de entrada, não sendo observado despejo ou acúmulo de lixo nas imediações

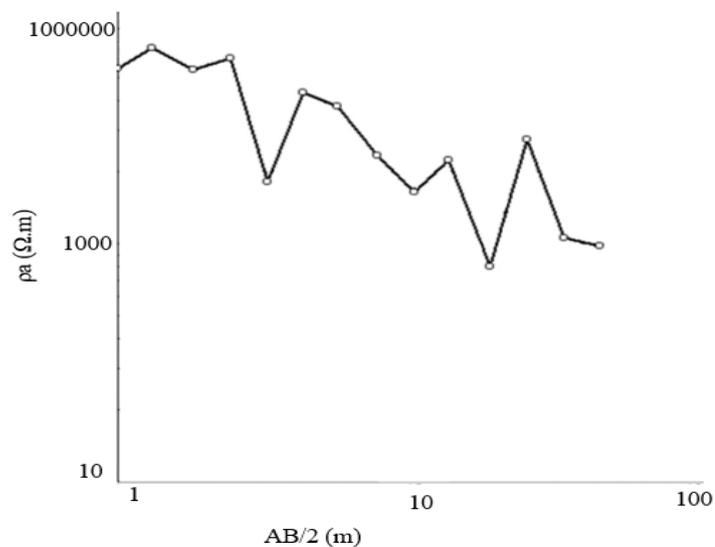
A sondagem teve alcance máximo de investigação de 42 m de profundidade, cujo valor mínimo de $\rho_a < 1.000 \Omega m$ e máximo de $\rho_a < 7.000 \Omega m$. Essa oscilação proporcionou ao gráfico um formato predominantemente serrilhado, delineando cristas e vales, ora suaves e ora abruptos (Figura 37 e Apêndice E). Desta forma temos:

- a. Quatro vales (dois suaves e dois abruptos):
 - Primeiro suave: em 1,8 m de profundidade, com $\rho_a 5.390 \Omega m$;
 - Segundo suave: em 10 m de profundidade, com $\rho_a 1.788 \Omega m$;
 - Primeiro abrupto: em 3,2 m de profundidade, com $\rho_a 1.812 \Omega m$;
 - Segundo abrupto: em 18 m de profundidade, com $\rho_a 912 \Omega m$.
- b. Cinco cristas (duas suaves, uma moderada e três abruptas):
 - Primeira suave: em 1,3 m de profundidade, com $\rho_a 6.667 \Omega m$;
 - Segunda suave: em 2,4 m de profundidade, com $\rho_a 5.997 \Omega m$;
 - Primeira moderada: em 4,2 m de profundidade, com $\rho_a 4.297 \Omega m$;
 - Primeira abrupta: em 13 m de profundidade, com $\rho_a 3.538 \Omega m$;

- Segunda abrupta: em 24 m de profundidade, com ρ_a 2.262 Ωm .

Os valores de resistividade detectados na SEV, mostraram relação com a geologia pertinente da área (rochas ígneas e sedimentares metamorfozadas) e não a contaminação por chorume, pois de todas as sondagens prospectadas na ADMRS de Amajari, esta é a mais longínqua da porção em que se alocam os resíduos do Município.

Figura 37 - Curva de resistividade da SEV5 da ADMRS de Amajari/RR



Fonte: Autora (2023).

4.1.2 Análise físico-química

A coleta de solo foi realizada próxima a pilhas de lixo e na entrada da vicinal de acesso a ADMRS de Amajari (Figura 24 e 38).

Figura 38 - Exemplificação da coleta de solo na ADMRS de Amajari. A. Coleta no Furo 1, porção interna da voçoroca (cava de lixo-seta amarela). B. Coleta no Furo 2, próximo a pilha de lixo (seta amarela). C. Coleta no Furo 3, entrada da vicinal de acesso a ADMRS.



Fonte: Autora (2023).

A região do município de Amajari é constituída por solo Argissolo Vermelho-amarelo distrófico, sendo caracterizados como solos muito arenosos até alta profundidade, além que a diferença de textura dificulta a infiltração de água no solo e o torna passível à erosão (Embrapa, 2021). Visualmente o solo coletado na ADMRS de Amajari apresentou coloração amarelada, como mostrada na figura 39.

Figura 39 – Solo coletado na ADMRS de Amajari/RR.



Fonte: Autora (2023).

Os três pontos de coleta na ADMRS (Furos 1, 2 e 3) apresentaram coloração semelhante (vermelho-alaranjado), isso se deve a baixa profundidade alcançada, pois argilossolos possuem maior teor de argila nos horizontes superficiais (BALIEIRO; FONTANA; PEREIRA, 2020). Porém, segundo as análises granulométricas, mesmo nos horizontes superficiais, obteve-se como maior porção a areia, como mostrado nas tabelas 2, 3 e 4.

As partículas do solo são classificadas de acordo com o seu diâmetro, sendo: Cascalho (20 mm – 200 mm), Areia (2mm a 50 µm), silte (50 a 2 µm) e argila (menores que 2 µm) (VAZ; NAIME; SILVA, 1996; SANTOS et. al., 2013). As frações de sedimentos obtidas da análise granulométrica da presente pesquisa estão listadas nos apêndices F, G e H, para os Furos 1, 2 e 3, respectivamente (ver Figura 24). A divisão das partículas do solo para o Furo 1, estão representadas na tabela 2.

Tabela 2 – Partículas do solo no Furo 1 na ADMRS Amajari/RR.

Profundidade (cm)	Cascalho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
0 – 10	26,0	46,4	16,0	11,4
10 – 20	14,5	59	13,3	13,0
20 – 30	14,0	59,8	13,3	12,8
30 – 40	24,7	53,2	14,1	6,6
40 – 50	17,2	52,0	18,7	11,2
50 – 60	16,7	60,1	16,4	6,4

Fonte: Autora (2023).

Os resultados da análise granulométrica na profundidade de 0-10 cm revelaram uma distribuição significativa das partículas de solo em várias faixas de tamanho. De forma geral, em todas as profundidades para o Furo 1 (Figura 24), tem-se em maior proporção a areia que, em algumas profundidades, chegou a obter valores maiores que 50%. Segundo Klein (2008), solos de textura arenosa, possuem valores superiores a 70% de areia e argila menor que 15%, são mais permeáveis, e possuem baixa retenção de água.

Os resultados indicam que a maior quantidade de partículas está específica na faixa de 4 mm, com 26 g, seguidamente pela faixa de 1 mm com 16,1g. Isso sugere que o solo é composto principalmente por partículas de tamanho maior, o que pode afetar sua capacidade de retenção de água, drenagem e resistência, o mesmo ocorre de 10 a 20 cm.

Em maiores profundidades (20-60 cm), as partículas de 1 mm são predominantes e aumentam em quantidade à medida que a profundidade aumenta. O aumento das partículas de 1 mm pode estar relacionado à redução de materiais orgânicos e processos de intemperismo que afetam o seu tamanho. Na faixa de 500 µm mostra variações moderadas em detalhes em diferentes profundidades. As partículas de 500 µm podem não ser tão afetadas pelas variações na profundidade devido à sua natureza específica.

A faixa de 125 µm e 63 µm mostra variações nas quantidades em diferentes profundidades, sem uma tendência clara de aumento ou diminuição com a profundidade. As partículas menores podem ser mais suscetíveis a processos de transporte vertical, como lixiviação e, portanto, podem variar em quantidade sem um padrão consistente com a profundidade. O mesmo ocorre para o Furo 2 (Figura 24), segundo as partículas do solo representadas na tabela 3.

Nas profundidades de 30 a 40 cm e 50 a 60 cm obtiveram baixos teores de argila (Tabela 2) o que influencia diretamente na baixa adsorção de metais, para locais de disposição de

resíduos sólidos, recomenda-se o teor de argila entre 56 e 62% (KORF et. al., 2008; ROCCA et. al., 1993), o que não foi encontrado para nenhum dos furos realizados. Ele encontra-se para o furo 2 (Tabela 3).

Tabela 3 – Partículas do solo no Furo 2 na ADMRS de Amajari/RR.

Profundidade (cm)	Cascalho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
0 – 10	10,6	61,4	8,8	14,1
10 – 20	10,6	62,8	7,8	13,3
20 – 30	16	63,2	6,1	10,1

Fonte: Autora (2023).

Com exceção da superfície, todas as outras profundidades obtiveram níveis de areia maiores que 50% e níveis de argila abaixo dos 15%, seguindo as mesmas características do furo 1. Na profundidade de 0-10 cm, a faixa de 1 mm é predominante, seguida de perto pela faixa de 2 mm. Na profundidade de 10-20 cm, a faixa de 1 mm também é predominante, mas há uma ligeira diminuição na quantidade em comparação com a profundidade de 0-10 cm, onde sugere que esse tamanho de partícula é mais estável e menos suscetível a mudanças significativas com a profundidade.

A faixa de 125 µm e 63 µm mostra uma diminuição na quantidade à medida que a profundidade aumenta. Essa diminuição é mais acentuada na profundidade de 20-30 cm, podendo estar relacionada à sedimentação e compactação de partículas menores na camada superficial. Um aumento mais acentuado na profundidade de 20-30 cm pode ser devido a processos de compactação e selagem do solo.

No Furo 2 pode-se observar a predominância do diâmetro da partícula à 1mm, sendo considerado areia grossa que tem como característica o tempo de sedimentação em aproximadamente 0,03s, baixa capacidade de retenção de água, alta taxa de drenagem e uma baixa resistência à mudança de pH. Finalizando com o Furo 3 (Figura 24), as partículas do solo estão representadas na tabela 4.

Tabela 4 – Partículas do solo no Furo 3 na ADMRS de Amajari/RR.

Profundidade (cm)	Cascalho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
0 – 10	9,2	51,4	24,1	13,5
10 – 20	9,4	60,6	18,7	9,5
20 – 30	8	45,4	20,8	23,4
30 – 40	7,6	61,5	22,8	6,7
40 – 50	4,7	47,2	22,7	23,6
50 – 60	5,3	48,2	22,9	22,5

Fonte: Autora (2023).

No Furo 3, foram obtidos valores de areia menores que 50% e de argila maiores que 20%, bem como, valores de silte acima de 20%. Na faixa de 0 a 20 cm e 30 a 40 cm, tem-se como parte predominante a areia, com a silte em torno de 20%. Nas outras profundidades, há também predominância de areia, mas em menor porcentagem, abaixo dos 50% e um aumento da porção de argila, chegando a mais de 20%. A classificação da textura do solo nos três Furos da ADMRS de Amajari (Figura 24) se encaixa como média, onde tem-se solos com menos de 35% de argila, mais de 15% de areia, e que não sejam de textura arenosa.

O solo, de forma geral, é um sistema trifásico, onde há a parte sólida; líquida e gasosa, sendo que, o volume de água e gases é que dividem o espaço poroso existente. Se as taxas de umidade forem altas, há menores quantidades de gases (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006; BUSKE, 2013). Essa capacidade do solo de reter água está relacionada a textura do solo, que diz respeito ao tamanho das partículas.

A composição dos resíduos sólidos urbanos e rurais desempenha um papel crucial na modificação das propriedades do solo. Materiais orgânicos nos resíduos podem levar a um aumento do teor de umidade devido à decomposição e liberação de líquidos lixiviados. Por outro lado, materiais não orgânicos, como plásticos, podem dificultar a penetração da água no solo. O acúmulo de resíduos pode resultar em compactação do solo, diminuindo a capacidade de retenção de água. A compactação também pode levar a problemas de drenagem, afetando o teor de umidade do solo. Os resultados do teste de umidade são listados na tabela 5, 6 e 7, para os Furos 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 5 – Teste de umidade do Furo 1 em profundidade na ADMRS Amajari/RR

Profundidade (cm)	Teste	Amostra úmida (g)	Amostra seca (g)	Teor de umidade (%)	Média	Desvio padrão
0 – 10	I	5,0522	5,0411	0,2202	0,2753	0,0456221
	II	5,0784	5,0616	0,3319		
	III	5,0173	5,0036	0,2738		
10 – 20	I	5,0220	4,9816	0,8110	0,8196	0,0221347
	II	5,0413	5,0014	0,7978		
	III	5,0311	4,9887	0,8499		
20 – 30	I	5,0789	5,0627	0,3200	0,3016	0,0341572
	II	5,0609	5,0442	0,3311		
	III	5,0184	5,0057	0,2537		
30 – 40	I	5,0064	4,9488	1,1639	1,1488	0,0107239
	II	5,0044	4,9480	1,1399		
	III	5,0272	4,9704	1,1428		
40 – 50	I	5,0173	4,9399	1,5668	1,5576	0,0115025
	II	5,0111	4,9339	1,5647		
	III	5,0526	4,9759	1,5414		
50 – 60	I	5,0282	5,0232	0,0995	0,1605	0,1220835
	II	5,0861	5,0835	0,0511		
	III	5,0028	4,9863	0,3309		

Fonte: Autora (2023).

Os valores obtidos para o Furo 1 estiveram em média abaixo de 1,6% quanto ao teor de umidade, demonstrando a baixa retenção de água, o que é corroborada pela granulometria obtida (Tabela 5).

Tabela 6 – Teste de umidade do Furo 2 em profundidade da ADMRS de Amajari/RR.

Profundidade (cm)	Teste	Amostra úmida (g)	Amostra seca (g)	Teor de umidade (%)	Média	Desvio padrão
0 – 10	I	5,0608	5,0451	0,3112	0,1349	0,1353831
	II	5,0253	5,0262	-0,0179		
	III	5,0369	5,0313	0,1113		
10 – 20	I	5,0030	4,9643	0,7796	0,7888	0,0233314
	II	5,0723	5,0310	0,8209		
	III	5,0247	4,9865	0,7661		
20 – 30	I	5,0036	4,9991	0,0900	0,1076	0,0125035
	II	5,0349	5,0291	0,1153		
	III	5,0227	5,0168	0,1176		

Fonte: Autora (2023).

Assim, como para o Furo 1, o furo 2 (Tabela 6) e Furo 3 (Tabela 7), os menores valores de teor de umidade fora para o Furo 3 (inferior a 1%), este tendo ao longo de toda sua

profundidade analisada uma porcentagem de areia maior que 50%. Portanto, podem implicar, segundo Buske (2013) e Klein (2008), baixa retenção de água e alta permeabilidade.

Tabela 7 – Teste de umidade do Furo 3 em profundidade da ADMRS Amajari/RR.

Profundidade (cm)	Teste	Amostra úmida (g)	Amostra seca (g)	Teor de umidade (%)	Média	Desvio padrão
0 – 10	I	5,0422	5,0401	0,0417	0,2175	0,2226347
	II	5,0480	5,0440	0,0793		
	III	5,0111	4,9846	0,5316		
10 – 20	I	5,0126	5,0106	0,0399	0,1139	0,0925399
	II	5,0457	5,0334	0,2444		
	III	5,0576	5,0547	0,0574		
20 – 30	I	5,0476	5,0449	0,0535	0,0804	0,052454
	II	5,0177	5,0100	0,1537		
	III	5,0127	5,0110	0,0339		
30 – 40	I	5,0506	5,0494	0,0238	0,0191	0,0065397
	II	5,0548	5,0543	0,0099		
	III	5,0505	5,0493	0,0238		
40 – 50	I	5,0551	5,0541	0,0198	0,0278	0,008713
	II	5,0108	5,0088	0,0399		
	III	5,0540	5,0528	0,0237		
50 – 60	I	5,0062	5,0055	0,0140	0,0113	0,0037568
	II	5,0445	5,0438	0,0139		
	III	5,0316	5,0313	0,0060		

Fonte: Autora (2023).

Para os três furos realizados, houve uma média de menos de 1% de umidade em todas as profundidades do solo, presume-se que é quase nula a presença de água no solo. A presença de poluentes no solo, pode estar influenciando e percolando juntamente com a água, resultando na lixiviação de poluentes e produtos químicos para o lençol freático, o que pode representar um risco para a qualidade da água subterrânea, que é frequentemente usada como fonte de água potável na região do município de Amajari.

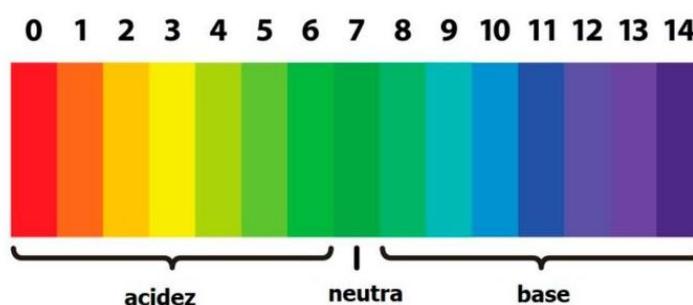
Assim, alta proporção de areia e a baixa umidade nas amostras de solo analisadas, podem indicar, de acordo com EMBRAPA (2021), baixa retenção de água, além da baixa resistência do solo, baixo teor de matéria orgânica e alta capacidade de drenagem (EMBRAPA, 2021).

Para finalizar, fez-se a análise de pH. O pH mede a acidez ativa do solo, referente a quantidade de íons H^+ presentes na solução de solo, tais medidas de pH são mutáveis de acordo com as condições de solo (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013). As variações de pH podem ter diversos motivos, como absorção de plantas nutrientes que libera H^+ para o solo, que reduz o

pH; assim como, a ação de fertilizantes no solo, aumentam a acidez do solo. As análises de pH foram feitas em triplicata, obtendo os resultados listados na tabela 8, 9 e 10, para os furos 1, 2 e 3, respectivamente.

A medição de pH segue uma escala de 0 a 14, onde 7 indica neutralidade, abaixo de 7 indica acidez e valores superiores a 7, indicam basicidade (ABNT, 2023) (Figura 40). As análises de pH para os Furos 1 e 3 obtiveram valores médios entre 5 e 6, com desvio padrão baixo, garantindo o êxito da análise. Já o Furo 2, obteve valores abaixo de 5, indicando acidez média mais alta que nos outros furos.

Figura 40 – Escala de pH.



Fonte: NORMAS ABNT (2023).

As análises de pH são importantes para verificar a disponibilidade de nutrientes para o solo, tais valores influenciam diretamente no fornecimento de nutrientes para as plantas, pois quanto mais ácido o solo, tem-se a encontrar Al^{3+} na forma tóxica ou precipitada (LIMA et. al., 2010; PREZOTTI; GUARÇONI, 2013). Os solos de Roraima, em sua maioria, são arenosos e mais de 50% têm pH em água em média 5 a 5,9 (MEDEIROS, et. al., 2005; MELO; GIANLUPPI; UCHÔA, 2003).

Segundo Prezotti e Guarçoni (2013), solos com pH abaixo de 5,5 – como os furos 1 e 2, em todas as profundidades – possui presença dos metais: Zinco, Cobre, Ferro e Manganês em forma tóxica, além da baixa atividade microrganismos. Já solos com pH entre 5,5 e 6,5, já tem ausência de Al^{3+} (na forma tóxica), disponibilidade de micronutrientes e é considerado o pH ideal para culturas, que é o caso do furo 3 em todas as profundidades.

Tabela 8 – Análises de pH para o furo 1 em profundidade da ADMRS de Amajari/RR.

Profundidade (cm)	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Média	Desvio padrão
0 – 10	5,27	5,33	5,32	5,31	0,03
10 – 20	5,18	5,16	5,29	5,21	0,06
20 – 30	5,23	5,36	5,28	5,29	0,05
30 – 40	5,40	5,22	5,18	5,27	0,10
40 – 50	5,32	5,21	5,18	5,24	0,06
50 – 60	5,19	5,26	5,14	5,20	0,05

Fonte: Autora (2023).

É importante destacar que os Furos 1 e 2, foram coletados sobre e/próximos aos pontos de descarga de resíduos sólidos (Figura 24), corroborando o que é constatado visualmente na ADMRS, pois os resíduos sólidos lançados irregularmente estão possivelmente contaminando o meio físico em profundidade. Tal fato, fora também evidenciado através das SEV's 1 e 2, que indicaram valores resistivo baixo (65-600 Ω m) até profundidades de 24 m, sugerindo contaminação por lixiviado.

Tabela 9 – Análises de pH para o furo 2 em profundidade da ADMRS de Amajari/RR.

Profundidade (cm)	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Média	Desvio padrão
0 – 10	4,52	4,5	4,52	4,51	0,01
10 – 20	4,88	4,92	4,80	4,87	0,05
20 – 30	5,38	5,35	5,46	5,40	0,05

Fonte: Autora (2023).

Os valores ácidos encontrados nos furos da ADMRS de Amajari podem decorrer do processo de formação, que favorece a remoção de elementos químicos básicos como potássio, cálcio e magnésio (SALOMÃO; HIRLE, 2019). O Furo 2, onde obteve-se os valores mais baixos de pH, pode ser relacionado a queima dos resíduos sólidos, que é uma prática comum na ADMRS, como mostrado na figura 25B.

Tabela 10 – Análises de pH para o furo 3 em profundidade da ADMRS de Amajari/RR.

Profundidade (cm)	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Média	Desvio padrão
0 – 10	5,50	5,67	5,56	5,58	0,07
10 – 20	5,33	5,53	5,90	5,59	0,24
20 – 30	5,71	6,47	5,47	5,88	0,43
30 – 40	6,26	6,40	6,23	6,30	0,07
40 – 50	6,50	6,50	5,70	6,23	0,38
50 – 60	6,00	6,15	6,08	6,08	0,06

Fonte: Autora (2023).

Já no Furo 3, localizado na entrada da ADMRS (Figura 24), ainda está com os aspectos normais (pouquíssima deposição de resíduos), sem indicativo de contaminação, visto que a SEV5 próxima a este Furo, mostrou valores de resistividades altos (1.000 -7.000 Ωm) até profundidades de 24 m, podendo ser associados ao contexto geológico pertinente a área da ADMRS, i. e., rochas sedimentares e ígneas metamorfizadas.

4.1.3 Pluma de contaminação

A partir dos levantamentos eletrorresistivo demonstrados nas sessões anteriores, foi possível criar os modelos hipotéticos de contaminação para as três áreas de estudo (ADMRS de Amajari, Mucajaí e Iracema), i. e., isópacas, sendo possível divagar sobre a contaminação lateral e em profundidade das áreas municipais utilizadas para alocação irregular de lixo urbano/rural.

Valores de resistividade podem variar de acordo com o conteúdo geológico. Desta forma, altas reatividades, geralmente, são associadas a camadas arenosas e, baixas resistividades, a camadas argilosas (BRAGA, 2016; SOUZA; ANDRADE, 2018; SOUZA; ANDRADE; MORAIS, 2018). Ao se obter valores de " ρ_a " dez vezes menores que o natural do meio, é possível fazer associação a presença de chorume (BRAGA, 2007; GALLAS et al., 2005). Diversos autores (p. e., SOUZA; ANDRADE, 2018; SOUZA; ANDRADE; MORAES, 2018; PIMENTEL, 2020), realizaram estudos eletrorresistivo no estado de Roraima nas áreas municipais de alocações de resíduos sólidos, obtiveram um padrão geoeletrico para indícios de contaminação, valores de resistividade menores que 700 Ωm . Quando há grandes variações nos valores de resistividade, Braga (2007) indica a presença de sedimentos arenosos nos níveis onde há essa variação.

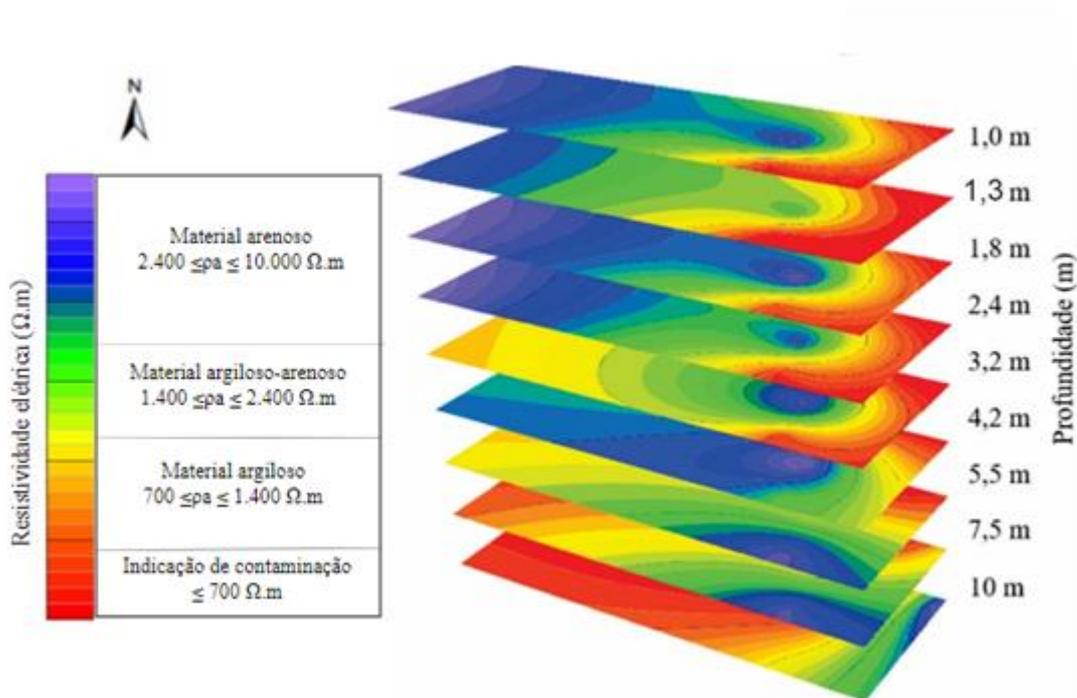
De acordo com Silva (2018); Souza, Andrade, Moraes (2018) e Souza, Andrade (2018) os valores de amplitude de resistividade foram divididos em quatro grupos. Os maiores valores de resistividade ($2.400 \leq \rho_a \leq 10.000 \Omega\text{m}$) foram associados ao meio geológico (arenitos, argilitos, siltitos e concreções lateríticas, sendo as zonas argilosas ($700 \leq \rho_a \leq 1.400 \Omega\text{m}$) e areno-argilosas ($1.400 \leq \rho_a \leq 2.400 \Omega\text{m}$). E, por fim, a zona condutiva ($\leq 700 \Omega\text{m}$), indicadora de contaminantes (p. e., o chorume).

O modelo de isópacas da ADMRS de Amajari resultante das cinco SEVs prospectadas, é apresentado e descrito em 9 níveis de investigação, ou seja, de 1 m a 10 m de profundidade (Figura 41). O menor valor de resistividade encontrado fora de quase 70 Ωm nas primeiras

profundidades, demonstrando que as cores quentes (avermelhadas) os valores de resistividade mais baixos são mais superficiais, enquanto as cores mais frias (azuladas) a maiores profundidades, com o aumento da resistividade.

Os valores mais baixos de $64 \Omega\text{m}$ a $167 \Omega\text{m}$, em profundidades superficiais de até 1,3 m, foram os valores mais próximos de resistividade de uma possível zona de contaminação na área. O solo é descrito como argiloso e/ou arenoso-argiloso e seu embasamento contém rochas cristalinas (FERNANDES FILHO, 2010; REIS et. al., 2003), ambos possuem um nível de porosidade baixa e assim o risco de percolação dos contaminantes é menor. Assim, é observado um espriamento, de leste a oeste, da pluma de contaminação ao longo dos 10 m de profundidade.

Figura 41 – Modelo de isópacas da ADMRS de Amajari/RR.



Fonte: Autora (2023).

As análises físico-químicas nas amostras de solo da ADMRS de Amajari indicam também alta probabilidade de contaminação, visto que os solos coletados detêm em sua maior parte, areia na composição. E solos arenosos possuem baixos teores de umidade. É importante destacar que, solos arenosos possuem alta permeabilidade, facilitando a infiltração do chorume, como pode-se observar na pluma de contaminação demonstrada na figura 41.

Em relação a acidez, os solos são considerados ácidos com valores em 5 (TOME JR, 1997). E, segundo Melo, Gianluppi e Uchoa (2003), 52,9% dos solos do estado de Roraima, tem teores elevados de acidez. Para a ADMRS de Amajari, os valores variaram entre 5 e 6, ainda considerado ácido, o que nas condições em que se encontram, podem agravar ainda mais com a constante decomposição de resíduos sólidos.

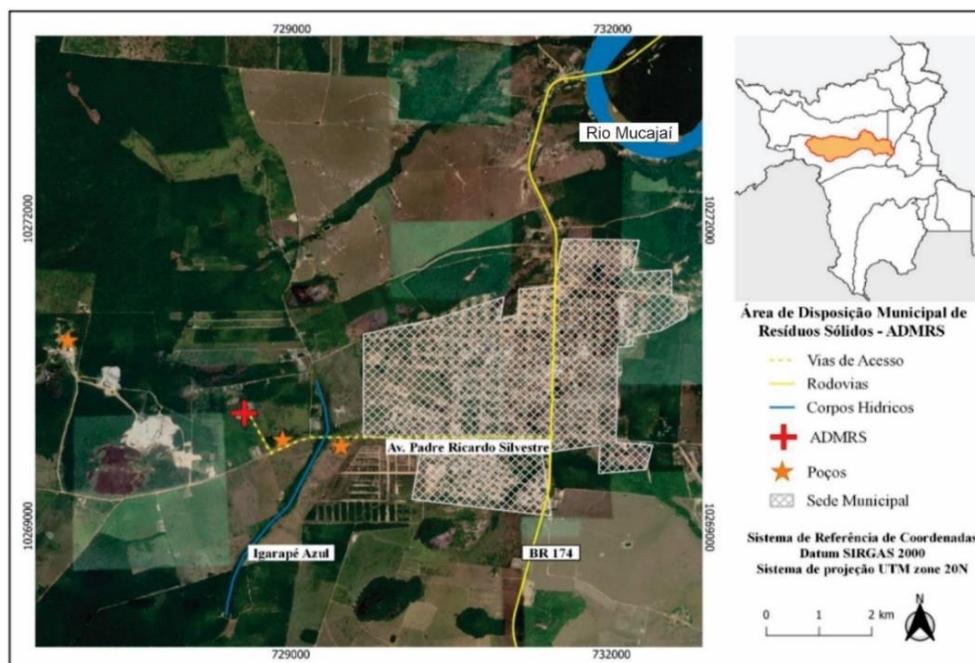
4.2 ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE MUCAJAÍ

4.2.2 Aspectos físicos e/ou estruturais

A municipalidade de Mucajaí, com altitude de 72 m, está posicionada na porção centro-sul do estado de Roraima, com coordenadas geográficas 02° 56' 59,78" N/60° 50' 60" W (ver Figura 7), cuja ADMRS perfaz as coordenadas geográficas 02° 36' 31,88" N/60° 56' 40,55" W e altitude de 83 m em relação a sede do Município.

A ADMRS dista em relação a sede do Município em 51 km, o acesso se dá a partir da BR 174, através da RR 305, conhecida também como av. Padre Ricardo Anchieta, sentido Vila do Apiaú. Segundo Silva (2022) percorrendo 2,4 km até o *rol* de entrada, e mais 450 m até a efetiva porção de disposição dos resíduos (Figura 42). De forma longínqua, mas perceptível, a área é circundada pela Serra do Apiaú (Figura 43).

Figura 42 – Mapa exemplificando o posicionamento da sede do município de Mucajaí à sua ADMRS.



Fonte: Modificada de Silva (2022).

Figura 43 – Visualização da Serra do Apiauí aos fundos (seta laranja) a ADMRS de Mucajaí/RR.



Fonte: Grupo de Pesquisa-Geociências de Roraima (2019B).

Os resíduos presentes na ADMRS de Mucajaí são dispostos diariamente, de qualquer maneira, desde o ano de 2.000, segundo Silva et al. (2018). Portanto, funciona a mais de 20 anos. Tal fato vai na contramão ao que retratam as normas, que diz que uma ADMRS deva ter idade máxima de 15 anos ABNT (1992; 2010).

Ainda que os RSU disposto por toda a ADMRS constituam em determinados pontos grandes amontoados de lixos, configurando breves montanhas (pilhas) de até 3 m de altura, é claramente observado também que os resíduos são dispostos de forma espaçada. É de supra importância dizer que as pilhas são resultantes do trabalho realizado por maquinarias pertencentes a prefeitura do município de Mucajaí, que apenas empilham o lixo para redução do volume e continuada existência de espaços vazios para empilhar mais lixo. Somado a isso, tem-se ainda a prática da queimada, que também tem a função de reduzir a quantidade de material (Figura 44A-E).

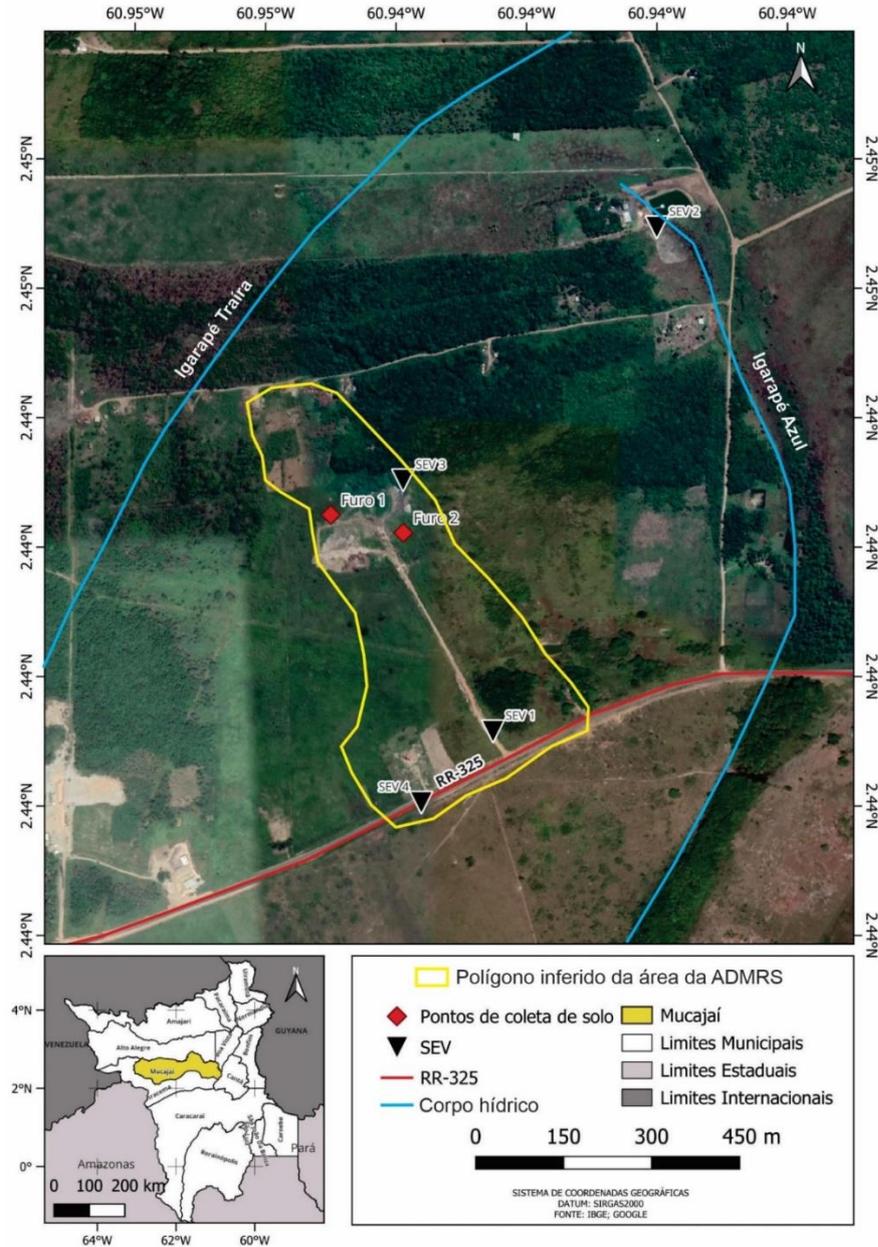
Figura 44 – Disposição dos resíduos ao longo da ADMRS de Mucajaí. A. Visão de entrada da ADMRS. B. Visão da porção interna da ADMRS. C. Pilha de resíduos. D. Vegetação (pés de mamona, seta amarela). E. Exemplificação da coleta de solo (círculo amarelo).



Fonte: Autora (2023).

A distribuição do lixo na ADMRS é aleatória, cuja dimensão é incerta, apesar disso, é deduzida que seja em torno de 180.000 m² (Figura 45), sugerindo que não houve nenhum plano na construção, ou seja, não segue as normas técnicas (ABNT 1992; 2010), pois assim como a ADMRS de Amajari, também é percebido a presença diariamente de pessoas (p. e., catadores de lixo) e animais (cachorros, gatos e urubus), tanto mortos, como vivos, na ADMRS. A coleta do RSU é feita por caminhão coletor da prefeitura, indicando que deva ser despejado 15 m³ de resíduos no final de cada dia, visto que essa seja a capacidade desse equipamento.

Figura 45 – Mapa de ponto da ADMRS de Mucajaí/RR: SEV e coleta de solo.



Fonte: Autora (2023).

Através dos dados observados em campo e registros fotográficos, assim como os da ADMRS de Amajari, o local de disposição de resíduos sólidos de Mucajaí também se classifica como lixão a céu aberto (ABNT, 1992; 2004; 2010). O local – ainda que afastado da sede do município – possui uma área sem delimitações, com presença constante de animais, além de não existir qualquer rede de captação e tratamento para o lixiviado.

De forma geral, tais fatos, condizem com as análises de Silva (2022), que a partir do instrumento indicador da qualidade ambiental o Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos-

IQR-Valas/Lixões, a ADMRS de Mucajaí, se enquadra como inadequada (I), obtendo pontuação de 1,0; numa escala de 0,0 até 6,0, configurando-a como lixão (mera disposição do lixo à céu aberto).

4.2.1 Análise geofísica

O levantamento eletrorresistivo, a partir da técnica da SEV, executado na ADMRS de Mucajaí, totalizou quatro coletas (Figura 45 e Apêndices I-L). É válido mencionar que as SEV são originárias do banco de dados do Grupo de Pesquisa Caimbé-Geociências de Roraima, realizadas em 2019. O contexto geológico implicado para a área, adveio da associação dos valores de resistividade ao meio geológico, assim como a da afinidade ao lixiviado. Visto que, em áreas contaminadas, p. e., aterros sanitários, a resposta elétrica do material geológico tende a diminuir bruscamente, com valores de ρ_a até dez vezes menores que o normal (BRAGA, 2016). A geologia pertinente a área remete ao Domínio Guiana Central, cujas unidades são pertencentes ao Grupo Cauarane, Suíte Metamórfica Rio Urubu, Suíte Intrusiva Serra da Prata, Formação Boa Vista e Areias Brancas (REIS et al., 2003).

4.2.1.1 Sondagem elétrica vertical 1 – SEV1

A presente sondagem fora realizada na porção SE da ADMRS de Mucajaí, perpendicular a RR 325, entrada da vicinal que dá acesso (Figura 46 e Apêndice I). A profundidade máxima alcançada foi de 180 m, com valores de resistividade $117 < \rho_a < 4.855 \Omega\text{m}$ (Figura 45).

Figura 46 – Imagem exemplificando a coleta da SEV1 na ADMRS de Mucajaí/RR.

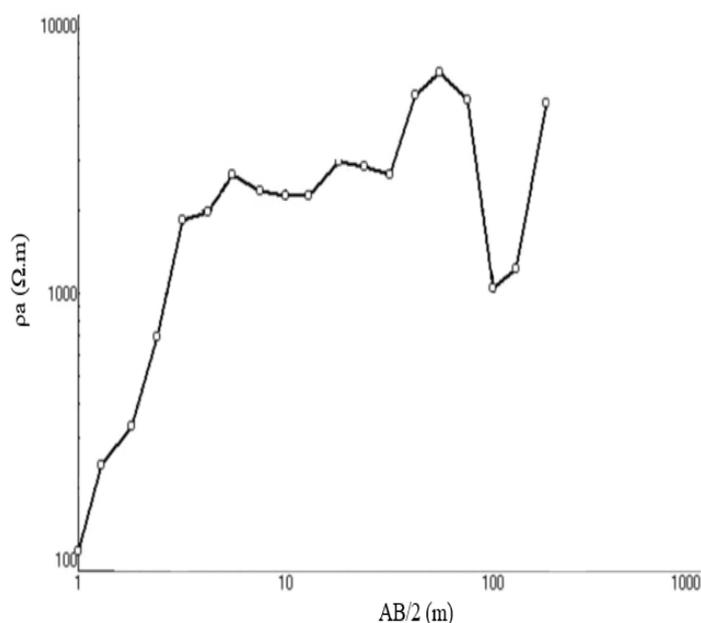


Fonte: Grupo de Pesquisa-Geociências de Roraima (2019B).

A curva de resistividade da sondagem aqui descrita reúne, de forma geral, dois grandes momentos ao longo do seu desenvolvimento, sendo estes agrupados em levemente retilíneo ascendente e convexo-côncavo (Figura 47).

- a. 1º. Momento - delinea uma geometria tendenciosamente retilínea ascendente nas profundidades iniciais, 1 a 4,2 m, cuja resistividade oscila de $118 < \rho_a < 1.970 \Omega\text{m}$;
- b. 2º. Momento - após a retilinearidade a curva mostrou uma tendência ora convexa ora côncava até os 180 m de profundidade, sendo a maior convexidade restrita ao intervalo de 32 a 100 m, com flanco esquerdo de $2.000 \Omega\text{m}$ e o direito com $1.300 \Omega\text{m}$ de resistividade. E a partir dos 100 m tem-se a concavidade mais acentuada do 2º. Momento, se estendendo até os 180 m, cujo sopé apresentou valores de ρ_a em torno de $1.500 \Omega\text{m}$.

Figura 47 – Curva de resistividade da SEV1 da ADMRS de Mucajaí/RR.



Fonte: Autora (2023).

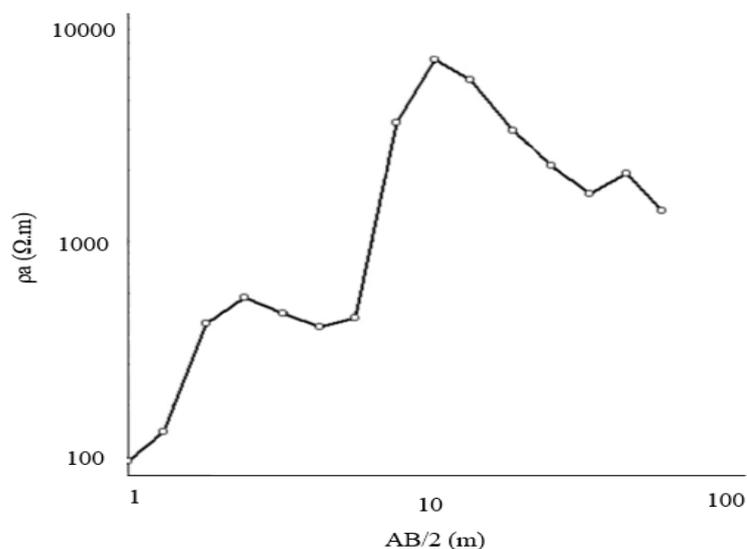
A curva da SEV1, portanto, torna-se altamente resistiva à medida que se avança as profundidades investigadas (1-5,5 m), ocorrendo em seguida uma oscilação nos valores de resistividade até a profundidade de 180 m. O aumento da resistividade corresponde a terreno de rochas metamórficas, onde está assentado a ADMRS de Mucajaí. E as mudanças de picos de resistividade, é devido ao meio não ser homogêneo e conter alterações e sedimentos que dificultam ou facilitam a condução elétrica (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009; BRAGA, 2016).

4.2.1.2 Sondagem elétrica vertical 2 – SEV2

A SEV2 dista dos limites da ADMRS de Mucajaí em 600 m, sendo executada na faixa NE, próxima ao igarapé Azul (Figura 45 e Apêndice J). O nível máximo de profundidade alcançada culminou os 55 m (Figura 48).

Dentre os 55 metros de profundidade investigados a curva de resistividade da SEV2, configurou um caráter ora convexo ora côncavo, sendo que as convexidades se sobrepuseram. A curva inicia com um crescimento de 1,0 m até 2,4 m, com valor máximo de 600 Ωm . Logo, decai retilineamente até 5,5 m, chegando a quase 230 Ωm . Em seguida começa um segundo momento de crescimento progressivo atingindo pico em quase 10 m com valores de ρ_a de até 4.810 Ωm . Entre 10 m e 32 m os valores decaem abruptamente em até 4 vezes, alcançado resistividades em torno de 1.050 Ωm . Nas últimas profundidade, 18 m a 55 m, a geometria da curva é levemente convexa, finalizando com $\rho_a < 1.350 \Omega\text{m}$.

Figura 48 – Curva de resistividade da SEV2 da ADMRS de Mucajaí-RR.



Fonte: Autora (2023).

Assim, a curva da SEV2 da ADMRS de Mucajaí, com valores iniciais de resistividade em torno de 100 Ωm , tem ascensão até os 2,4 m de profundidade, ocorrendo declínio e novo aumento dos valores de resistividade a 10 m em torno de 9.000 Ωm , finalizando com decréscimo da resistividade aos 55 m de profundidade. Essa situação é consequência do terreno de litologia metamórfica existente na área. Segundo Gallas et al., (2005) e Braga (2016) a diminuição pode ser resultante de água presente, e na posição da SEV2 ocorre o igarapé Azul (ver Figura 45).

4.2.1.3 Sondagem elétrica vertical 3 – SEV3

A SEV3 fez a porção central da ADMRS de Mucajaí, prospectada próxima a pilhas de lixo (Figuras 45 e Apêndice K). A sondagem alcançou somente 24 m de profundidade, devido à grande quantidade e espreadimento do lixo no local. Os valores de resistividade obtidos foram os mais baixos dentre essa ADMRS, variando de 66 a 386 Ωm (Figura 49).

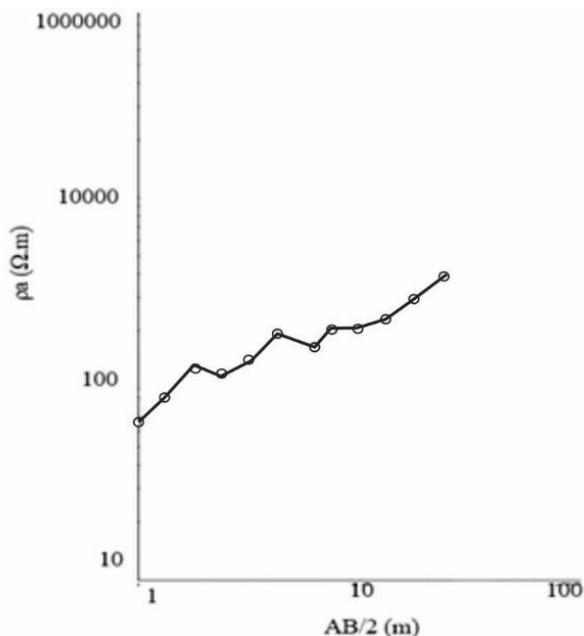
Figura 49 – Imagem exemplificando a coleta da SEV3 na ADMRS de Mucajaí/RR.



Fonte: Grupo de Pesquisa-Geociências de Roraima (2019B).

A curva exibida desta sondagem demonstra, no geral, um caráter moderadamente retilíneo ascendente ao longo dos 24 metros de profundidade investigados. Configurando o primeiro instante retilíneo de 1,0 até 1,8 m, ρ_a de 66 Ωm até 126 Ωm , respectivamente. Essa situação perdura até a profundidade de 2,4 m, com aproximadamente ρ_a de 125 Ωm . Em seguida é observado um suave serrilhamento contínuo e crescente da curva, com picos convexos em 4,2 m com 166 Ωm , e em 7,5 m com 180 Ωm . E, finalmente, dos 10 m até 24 m, tem o segundo instante de ascensão retilínea, finalizando a maior resistividade do gráfico, 386 Ωm (Figura 50).

Figura 50 – Curva de resistividade da SEV3 da ADMRS de Mucajaí-RR.



Fonte: Autora (2023).

A SEV 3 foi a que apresentou a resistividade mais baixa, quando comparada as outras (inferior a 70 Ωm). O comportamento retilíneo ascendente da curva retilínea é associado a uma possível contaminação, no caso chorume, pois a área é um depósito de lixo irregular. E, assim, segundo Barcellar e Catapreta (2010), os contaminantes são facilmente identificáveis por possuírem baixos valores de resistividade elétrica devido ao elevado teor de sais dissolvidos e metais pesados.

4.2.1.4 Sondagem elétrica vertical 4 – SEV4

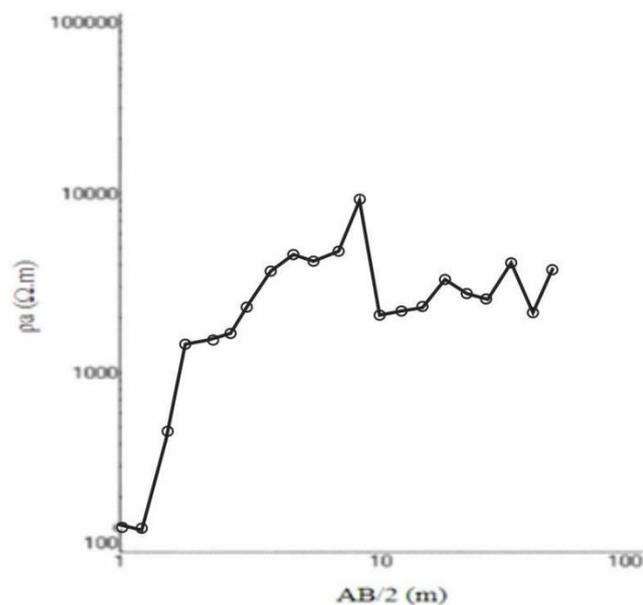
A última sondagem da ADMRS de Mucajaí denominada de SEV4, teve sua prospecção efetivada na zona sul da área, paralela à RR 325 (Figuras 45, Apêndice L). Os níveis de investigação chegaram a 320 m de profundidade, apresentando intervalo amplo de variação de resistividade $140 \leq \rho_a < 7.000 \Omega\text{m}$ (Figura 51).

O comportamento desta SEV é em certos aspectos é semelhante ao da SEV3, no que concerne ao crescimento suavemente exponencial nas primeiras profundidades investigadas. Assim, a SEV4 indicou, pelo menos, quatro períodos ao longo do seu desenvolvimento.

- a. 1º. Período - confere uma geometria moderadamente retilínea ascendente de 1,0 a 4,2 m de profundidade, iniciando em 134 Ωm e finalizando com quase 1.811 Ωm ;

- b. 2°. Período - no intervalo $4,2 < AB/2 < 24$ m a curva assume formato ondulante ascendente, alcançando valores de resistividade de quase $10.000 \Omega\text{m}$;
- c. 3°. Período - após 24 m a resistividade decai com declínio moderado para valores de quase $2.500 \Omega\text{m}$;
- d. 4°. Período - terminado o decréscimo, a curva exibe um caráter serrilhado não contínua, de 55 m até 320 m, com picos convexos em 75 m, 180 m e 320 m.

Figura 51 – Curva de resistividade da SEV4 da ADMRS de Mucajaí/RR.



Fonte: Autora (2023).

De forma genérica, a curva da SEV4, tem geometria predominantemente oscilante, sendo as profundidades rasas, valores próximos a $100 \Omega\text{m}$ e quanto mais profundo (em torno de 300 m) a resistividade alcança quase $9.000 \Omega\text{m}$. Tal situação decorre da dominância de litologia metamórfica da área, bem com a heterogeneidade do meio geológico proporcionando decaimento na resistividade (BRAGA, 2016).

4.2.2 Análise físico-química

Os pontos de coleta estão representados na figura 45 (Furos 1 e 2). O solo coletado na ADMRS de Mucajaí possui coloração escura (Figura 52), o que presume que há grande quantidade de matéria orgânica, que geralmente é proveniente dos resíduos vegetais e decomposição de animais e plantas que tem presença constante na área de estudo (EMBRAPA, 2009).

Figura 52 – Amostra de solo seco a 105° da ADMRS de Mucajaí/RR.



Fonte: Autora (2023).

O procedimento de análise do solo para a ADMRS de Mucajaí fora similar ao da ADMRS de Amajari, sendo feito o teste de umidade e a análises granulométricas, cujos resultados foram avaliados concomitantemente. As frações granulométricas estão listadas nos apêndices M e N. As partículas do solo obtidas a partir da análise granulométrica para o Furo 1, estão representadas na tabela 11.

Tabela 11 – Partículas do solo no Furo 1 da ADMRS de Mucajaí/RR.

Profundidade (cm)	Cascalho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
0 – 10	9,3	76,2	6,8	6,7
10 – 20	1,9	64,8	10,8	12,9
20 – 30	15,6	59,8	11,6	12,6
30 – 40	11,5	74,9	7,3	5,9
40 – 50	10,7	73,0	8,9	6,1
50 – 60	9,4	68,6	10,6	11

Fonte: Autora (2023).

O ensaio granulométrico do Furo 1, em quase todas as profundidades, indicaram valores maiores que 60% de areia e valores abaixo de 15% de argila. Sendo que, superficialmente de 0 a 10 cm, tem-se quase que predominantemente areia, pois os teores de silte, argila e cascalho não passam de 10%. O mesmo ocorre para o Furo 2, como mostra a tabela 12.

Tabela 12 – Partículas do solo no Furo 2 da ADMRS de Mucajaí/RR.

Profundidade (cm)	Cascalho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
0 – 10	7,0	81,0	8,1	2,7
10 – 20	9,5	72,1	12,2	6,0

Fonte: Autor (2023).

Os valores obtidos para o Furo 2, comprovaram o alto teor de areia e baixo de argila, demonstrando a percepção visual observada *in loco*, ou seja, material bastante arenoso. Os dois locais têm predominância de partículas de tamanho médio, em torno de 2 mm a 50 µm, tal fato influencia na capacidade de retenção e drenagem da água.

A textura do solo, estrutura e umidade são determinantes na movimentação e infiltração de água no solo (EMBRAPA, 2023). Na profundidade de 50 a 60 cm do furo 1, tem-se granulometrias maiores para as partículas de menores diâmetros, mesmo que em baixas quantidades, assim, de acordo com Pott et al. (2019) tal fato indica maior capacidade de drenagem em maiores profundidades. Essa característica é observada através dos valores de umidade obtidos (Tabela 13).

Tabela 13 – Teor de umidade do Furo 1 em profundidade da ADMRS de Mucajaí/RR.

Profundidade (cm)	Teste	Amostra úmida (g)	Amostra seca (g)	Teor de umidade (%)	Média	Desvio padrão
0 – 10	I	5,0338	4,4368	13,4556	13,5290	0,23
	II	5,0083	4,4212	13,2792		
	III	5,0202	4,4094	13,8522		
10 – 20	I	5,0286	4,0436	24,3595	24,2306	1,08
	II	5,0326	4,0967	22,8452		
	III	5,0629	4,0346	25,4870		
20 – 30	I	5,0119	4,0361	24,1768	24,1575	0,73
	II	5,0655	4,1102	23,2422		
	III	5,0803	4,0625	25,0535		
30 – 40	I	5,0533	4,5151	11,9200	12,0339	0,47
	II	5,0643	4,5415	11,5116		
	III	5,0634	4,4940	12,6702		
40 – 50	I	5,0058	4,4103	13,5025	12,7504	0,53
	II	5,0786	4,5168	12,4380		
	III	5,0861	4,5286	12,3106		
50 – 60	I	5,0034	4,2788	16,9347	17,0289	1,34
	II	5,0421	4,3679	15,4353		
	III	5,0292	4,2363	18,7168		
60 – 70	I	5,0944	4,4120	15,4669	15,2881	0,8
	II	5,072	4,4415	14,1957		
	III	5,0148	4,3156	16,2017		

Fonte: Autora (2023).

Os valores de teor de umidade do Furo 1, no geral, foram 15% mais alto, do que em todos os três Furos da ADMRS de Amajari. Leva-se em consideração que o ponto de coleta se dava em meio a uma porção úmida do terreno, provavelmente proveniente de chuvas de dias anteriores.

O percentual de 15% acima mencionado, dito baixo, pode indicar que a água não está infiltrando corretamente, somente escoando deliberadamente. E, com a influência das águas das chuvas, possa chegar até os córregos próximos, movimentando e carreando toda contaminação superficial existente advinda do lixiviado produzido na ADMRS. O mesmo ocorre para o furo 2 representado na tabela 14. Visto que, os ensaios eletrorresistivo das SEVs 1 e 3 realizados próximos a concentrações de lixos (Figura 45), evidenciaram baixos valores de resistividades, portanto alta condutividade, decorrente possivelmente do chorume (p. e., profundidades de até 24 m com resistividade inferiores a 400 Ω m).

Tabela 14 – Teor de umidade do Furo 2 em profundidade na ADMRS de Mucajaí/RR.

Profundidade (cm)	Teste	Amostra úmida (g)	Amostra seca (g)	Teor de umidade (%)	Média	Desvio padrão
0 – 10	I	5,0461	4,5502	10,8984	12,1204	1,2058191
	II	5,0823	4,5499	11,7014		
	III	5,0873	4,4719	13,7615		
10 – 20	I	5,0340	4,5242	11,2683	11,9383	0,4748049
	II	5,0840	4,5298	12,2345		
	III	5,0555	4,5013	12,3120		

Fonte: Autora (2023).

Os valores de umidade obtidos para o Furo 2 mostraram percentuais maiores que 10%, menores que os valores obtidos no Furo 1, corroborando com os resultados das partículas de solo obtidas a partir da análise granulométrica, onde se caracteriza o solo como permeável e com baixa retenção de água (BUSKE, 2013; KLEIN, 2008). A redução de umidade do solo faz com que haja maior compactação do solo, além da alta capacidade de erosão e absorção de substâncias tóxicas – provenientes do lixo em decomposição –, acarretam a redução da vida do solo.

As tabelas 15 e 16 listam os resultados de pH para os Furos 1 e 2. E comparando esse tipo de análise aos dos da ADMRS de Amajari, aqui os valores de pH foram bem acima da média de 5.

Tabela 15 – Análises de pH para o Furo 1 em profundidade da ADMRS de Mucajaí/RR.

Profundidade (cm)	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Média	Desvio padrão
0 – 10	8,73	8,69	8,70	8,71	0,02
10 – 20	8,50	8,45	8,38	8,44	0,05
20 – 30	8,06	8,00	7,89	7,98	0,07
30 – 40	7,95	7,80	7,84	7,86	0,06
40 – 50	7,70	7,77	7,59	7,69	0,07
50 – 60	7,44	7,50	7,34	7,43	0,07
60 – 70	7,85	7,88	7,88	7,87	0,01

Fonte: Autora (2023).

Tabela 16 – Análises de pH para o Furo 2 em profundidade da ADMRS de Mucajaí/RR.

Profundidade (cm)	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Média	Desvio padrão
0 – 10	7,5	7,68	7,75	7,64	0,11
10 – 20	8,36	8,35	8,25	8,32	0,05

Fonte: Autora (2023).

As análises de pH dos Furos 1 e 2, mostraram valores médios entre 7 e 8, com baixo desvio padrão, assegurando a confiança da análise. Segundo Prezzoti e Guarçoni (2015), quando se obtém valores de pH maiores que 7, presume-se a ausência de alumínio tóxico, encontrado como íon. Alta disponibilidade de cálcio e magnésio, e aumento da perda de nitrogênio. E alta atividade microbiana.

Os solos de Mucajaí são classificados como argilossolos amarelo, que são naturalmente ácidos, o que não foi observado no Furo 2, pela obtenção de valores de neutro a básicos (ARAÚJO, 2012; EMBRAPA, 2021). A presença de queimadas na área onde fora coletado o solo, pode ser a causa dos altos valores de pH obtidos, tal aumento em solos são decorrentes também à presença de humatos alcalinos provenientes do lixo (KIEHL, 1985; SALOMÃO; HIRLE, 2019).

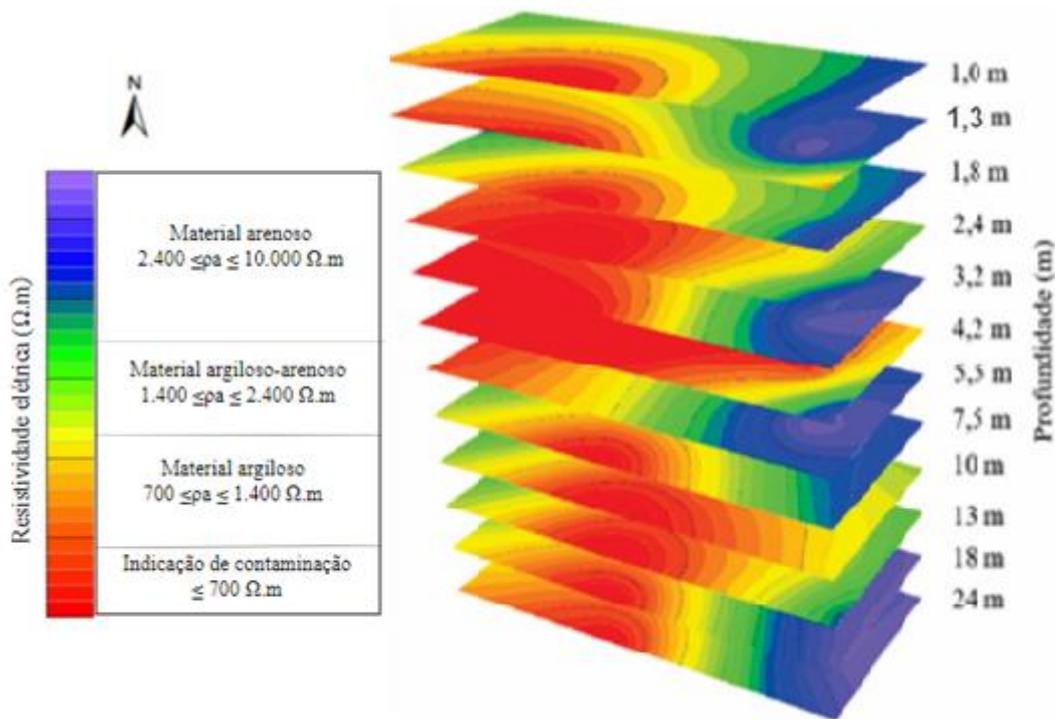
4.2.3 Pluma de contaminação

O modelo de isópacas da ADMRS de Mucajaí adveio de quatro SEV, sendo exibido e delineado em 12 níveis de investigação, ou seja, de 1 m a 24 m de profundidade (Figura 53). O menor valor de resistividade encontrado foi de 66 Ω m a 1 metro de profundidade; e o maior valor foi, de quase 20.000 Ω m em 4,2 metros de profundidade.

Através do modelo produzido (Figura 53), é possível observar a formação de uma pluma de contaminação vertical para oeste da área da ADMRS, indicada pelas cores quentes

(avermelhadas) que se entendem de 1 aos 24 metros de profundidade, diferente do que ocorre na ADMRS de Amajari. Como há generalização de baixa resistividade, estima-se que os índices de contaminação podem estar chegando aos corpos hídricos próximos e águas subterrâneas, visto que a ADMRS está posicionada entre dois corpos hídricos (igarapés Traíra e Azul) (ver Figura 45).

Figura 53 – Modelo de isópacas da ADMRS de Mucajaí/RR



Fonte: Autora (2023).

Os resultados das análises físico-químicas nas amostras de solos na ADMRS de Mucajaí, foram semelhantes ao da ADMRS de Amajari, onde a maior porcentagem das partículas do solo é de areia, mas teores de umidade maiores que 10% e com valores de pH acima de 7. Presume-se que a contaminação na ADMRS de Mucajaí esteja no início, pois ainda não há alterações significativas nas características físico-químicas do solo. Mas pelo alto caráter arenoso, o chorume produzido através da decomposição dos resíduos sólidos, pode chegar facilmente a altas profundidades e por consequência, nos corpos hídricos que circundam a ADMRS, visto que está inserida entre dois igarapés Azul e Traíra (ver Figura 44).

4.3 ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE IRACEMA

4.3.1 Aspectos físicos e/ou estruturais

O município de Iracema com 84 m de altitude, localizado na região centro-sul do estado de Roraima, com coordenadas geográficas 03° 39' 07" N e 61° 22' 16" W (ver Figura 7), tem a ADMRS aqui apresentada nas coordenadas geográficas 02° 11' 24,06" N e 61° 02' 16,73" W, e altitude de 77 m em relação a sede do Município. A idade desta é incerta, sendo inferido que tenha pelo menos 15 anos.

É importante frisar, que entre os anos 2022 e 2023, a ADMRS retratada no presente trabalho, fora desativada pela prefeitura municipal, com a finalidade para uso do agronegócio (plantação e pastagem), demonstrado pela figura 54D. A nova área de destinação de resíduos do Município está localizada na Vicinal do 13 (informações informais de moradores locais). A figura 54A-C mostra a área antes da desativação.

Figura 54 – Comparação da situação areal da ADMRS de Iracema-RR, antes e depois do ano de 2023. A. Via de acesso da ADMRS (entrada), com destaque para placa de advertência (círculo amarelo) e guarita (seta azul), até o ano de 2022. B. Placa de advertência, no ano de 2022. C. Porção interna da ADMRS, com destaque para focos de queimada (seta amarela) e a guarita em meio aos resíduos sólidos (seta azul), é válido mencionar a presença de urubus no topo da guarita, até o ano de 2022. D. Situação areal da ADMRS no final do ano de 2022 e início de 2023.



Fonte: A-C Adaptado de Silva (2022) e D. Autora (2023).

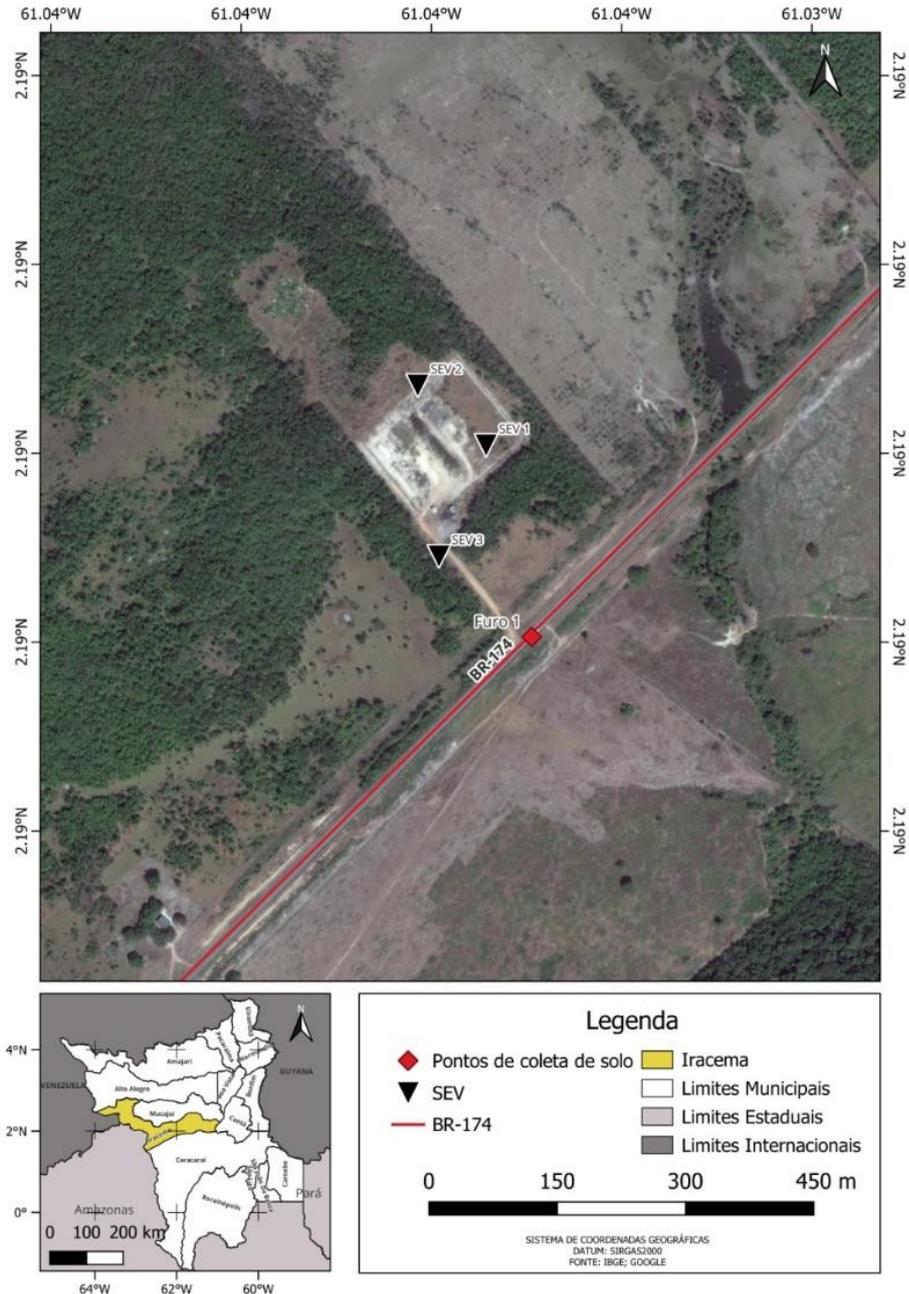
Assim a presente pesquisa apresenta dados da antiga ADMRS de Iracema, está posicionada nas coordenadas geográficas 02° 11' 24,06" N e 61° 02' 16,73" W, e altitude de 77 m em relação a sede do Município. De acordo com Silva (2022) a ADMRS estava à margem direita da BR 174, sentido Boa Vista/RR-Manaus/AM, a 2,2 km de distância da sede municipal, sendo que a coleta dos resíduos fora efetuada por caminhão coletor, três vezes na semana nos períodos matutino e vespertino. A coleta do RSU era feita por caminhão coletor da prefeitura, este com capacidade de 15 m³, inferindo que era esse o volume de lixo depositado diariamente na ADMRS.

A distribuição do lixo na ADMRS é aleatória, cuja dimensão é incerta, apesar disso, é deduzida que seja em torno de 22.500 m² (Figura 55), sugerindo que assim como as ADMRS de Iracema e Mucajaí, não houve qualquer plano de construção, não seguindo as normas técnicas (p. e., ABNT 1992; 2010). Quando a ADMRS estava ativa, havia presença diária de pessoas (catadores de lixo) e animais (cachorros, gatos e urubus), tanto mortos, como vivos.

Dentre a disposição aleatória e de qualquer forma dos resíduos na antiga ADMRS de Iracema, bem como a presença de todos os tipos de resíduos sólidos, desde os perigosos a não perigosos, com destaque a forte presença de carcaça de animais e resquícios hospitalares, como seringas, recipientes de soro, algodões contaminados com sangue, dentre outros materiais (SILVA, 2022) (Figuras 54A-C e 55). Sendo assim, não obedecendo as normas (ABNT, 2004).

E, de segundo Silva (2022), que a partir do instrumento indicador da qualidade ambiental o Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos-IQR-Valas/Lixões, a ADMRS de Iracema, se comporta como inadequada (I), obtendo pontuação de 2,0; numa escala de 0,0 até 6,0, configurando-a como lixão (mera disposição do lixo à céu aberto).

Figura 55 – Mapa de ponto da ADMRS de Iracema/RR: SEV e coleta de solo.



Fonte: Autora (2023).

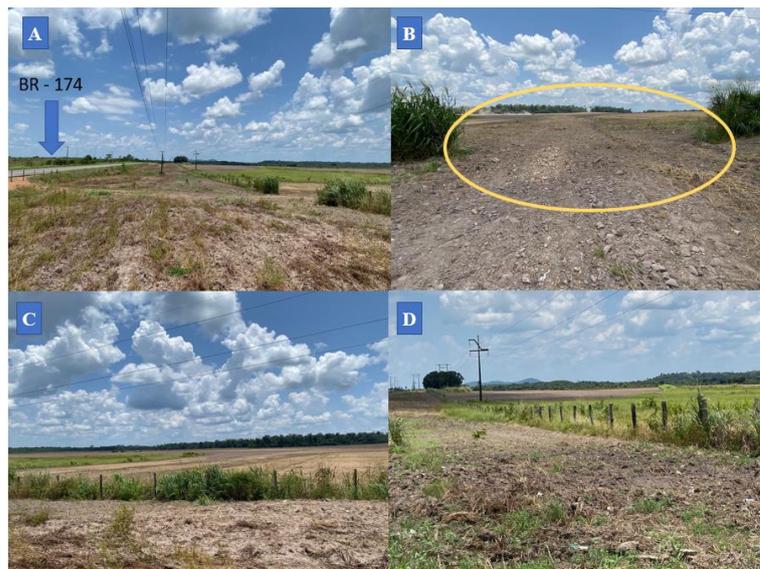
Figura 56 – Exemplificação da disposição (retângulo pontilhado vermelho) e exemplos de tipos de resíduos (carcaça de animal-círculo amarelo e plástico-círculo branco) na ADMRS de Iracema/RR.



Fonte: Grupo de Pesquisa Caimbé-Geociências de Roraima (2019A).

Conforme mencionado anteriormente, a área em que era utilizada para alocação dos RSU do município de Iracema (Figura 55), tornou-se uma plantação de soja (Figura 58). Grande parte do lixo que havia, foi retirado e colocado em outro lugar, e o que não pôde ser movido, foi aterrado, sendo notório a existência de desnível no terreno do que antes era a ADMRS (Figura 57).

Figura 57 – Exemplificação da área que continha a ADMRS de Iracema/RR após sua desativação no início do ano de 2023. A. Cicatrizes da antiga vicinal que dava acesso a ADMRS, perpendicular à BR 174 (seta azul). B. Início da porção em que eram depositados os resíduos (círculo amarelo). C. Visualização da área da antiga de disposição dos resíduos a partir de um corte de estrada, observando o terreno limpo e aterrado. D. Vista lateral da antiga ADMRS, que também foi aterrada.



Fonte: Autora (2023).

Mesmo após o local ter sido aterrado, ainda foi possível visualizar diversos resíduos remanescentes. Assim, presume-se que, somente foi retirada toda a camada grosseira (contendo lixo misturado com sedimentos) e todo o restante foi somente aterrado, para preparar o terreno para receber o plantio de soja (Figura 57 e 58).

Figura 58 – Plantio de soja (círculo amarelo) na antiga ADMRS de Iracema/RR.



Fonte: Autora (2023).

O antigo local de disposição de resíduos sólidos do município de Iracema - antes de ser desativado - pôde ser classificado, assim como as outras duas ADMRS (Amajari e Mucajaí), como lixão a céu aberto (ABNT, 1992; 2004; 2010). Neste, em específico, há um agravante, pois existe no local, um pequeno córrego próximo a ADMRS, distando em 25 m, indo no sentido oposto ao que as normas técnicas pregam sobre o distanciamento a corpo hídricos, que é deve ser acima de 200 m (Figura 59).

Figura 59 – Evidência de um corpo hídrico (círculo amarelo) próximo a antiga ADMRS de Iracema/RR.



Fonte: Grupo de Pesquisa Caimbé-Geociências de Roraima (2019A).

4.3.1 Análise geofísica

O conteúdo geofísico para a ADMRS de Iracema é originário do levantamento eletrorresistivo, por meio da técnica da SEV, totalizando três coletas (Figura 55; Apêndices O-Q), estas procedentes do banco de dados do Grupo de Pesquisa Caimbé - Geociências de Roraima em 2019.

O comportamento geométrico deduzido para a área aqui investigada, é resultante da associação da resistividade elétrica ao meio geológico relacionada a área do Município, além da relação dos valores de resistividades ao chorume produzido pela decomposição do lixo (p. e., ELIS; ZUQUETTE, 2002; GALLAS et al., 2005).

Segundo a Reis et al. (2003) e Fernandes Filho (2010) o conteúdo geológico do município de Iracema engloba rochas da Suíte Metamórfica Rio Urubu, inserida no sistema geomorfológico da Formação Boa Vista, sendo recoberto por sedimentos areno-argilosos (ROCHA; ROCHA, 2014; TONINI; COSTA; SCHWENGBER, 2009).

4.3.1.1 Sondagem elétrica vertical 1 – SEV1

A presente SEV fora prospectada na faixa central, isto é, porção interna da ADMRS de Iracema (Figuras 55, 60 e Apêndice O). A sondagem alcançou níveis de investigação de até 32 m de profundidade e valores de resistividade $15 \leq \rho_a < 2.500 \Omega\text{m}$ (Figura 61).

Figura 60 – Imagem exemplificando a coleta da SEV1 na ADMRS de Iracema/RR.



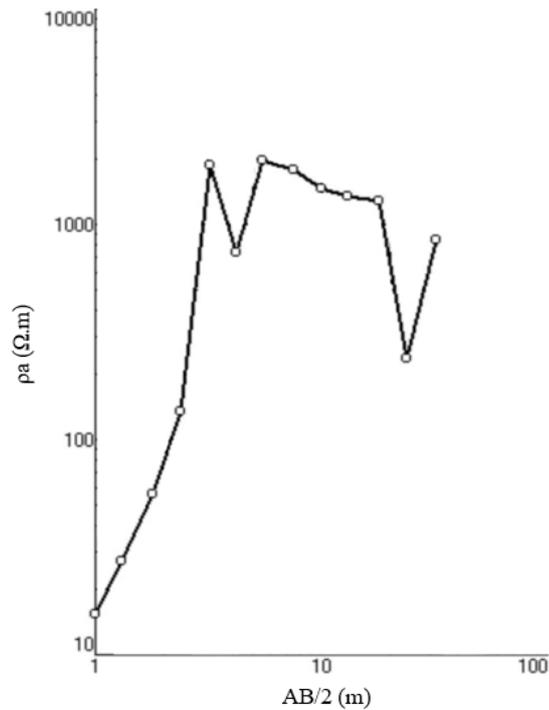
Fonte: Grupo de Pesquisa Caimbé-Geociências de Roraima (2019A).

A curva de resistividade da sondagem aqui delineada fora desenvolvida próxima a suaves pilhas de lixo, tendo seu desenvolvimento agrupado em quatro fases (Figura 60):

- a. 1ª. Fase - delineia uma geometria retilínea progressivamente ascendente nas profundidades iniciais, 1 a 3,2 m, cuja resistividade oscila de $15 \leq \rho_a < 1.875 \Omega\text{m}$;
- b. 2ª. Fase - finalizada a ascensão ocorre o primeiro declínio dos valores de resistividade elétrica para um pouco mais da metade, i. e., $738 \Omega\text{m}$ aos 4,2 m de profundidade, e em seguida os valores voltam a ascender em 5,5 m em até $2.000 \Omega\text{m}$, esboçando a formação do primeiro vale da curva;
- c. 3ª. Fase - após os 5,5 m até 18 m de profundidade, a curva exhibe momentaneamente um formato retilíneo sutilmente descendente, alcançando $\rho_a < 1.300 \Omega\text{m}$;

- d. 4ª. Fase - em seguida aos 18 m até os 32 m, a curva exibe o segundo vale, com resistividade elétrica de até 900 Ωm .

Figura 61 – Curva de resistividade da SEV1 da ADMRS de Iracema/RR



Fonte: Autora (2023).

4.3.1.2 Sondagem elétrica vertical 2 – SEV2

A SEV2 fora executada no extremo norte da antiga ADMRS de Iracema, paralela à BR 174, próxima a plantação de surgo (*Sorghum Bicolor*), que circundava a área (Figuras 55, 62 e Apêndice P). A sondagem investigou até os 55 m de profundidade, cujos valores de resistividade oscilaram de $682 \leq \rho_a < 8.300 \Omega\text{m}$ (Figura 63).

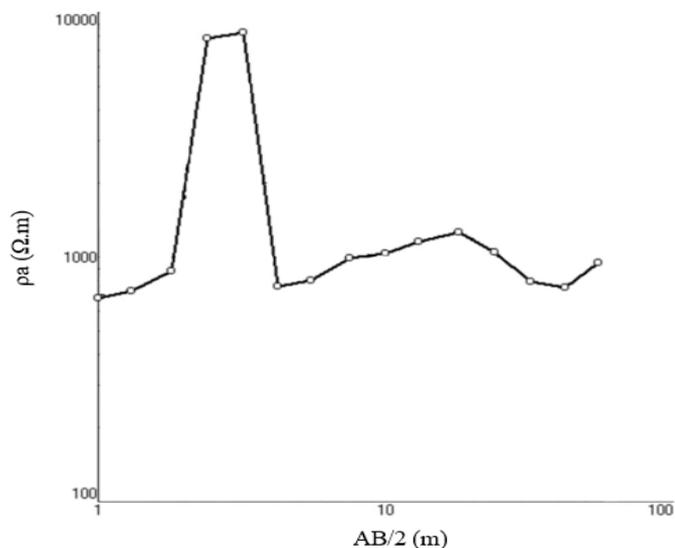
Figura 62 – Imagem exemplificando a coleta da SEV2 na ADMRS de Iracema/RR.



Fonte: Grupo de Pesquisa Caimbé-Geociências de Roraima (2019A).

Dentre os 55 metros de profundidade investigados a curva de resistividade da SEV2 configurou, de forma geral, uma geometria convexa, ora abrupta ora suave (Figura 63). A convexidade abrupta se restringe ao intervalo de 1 a 5,5 m de profundidade, quando atinge o pico máximo de resistividade observado (p. e., ρ_a de até $8.300 \Omega\text{m}$, entre 2,4 a 3,2 m). Após a ascensão no flanco direito da convexidade, inicia-se um declínio aos 5,5 m, com resistividade chegando a valores em torno de $830 \Omega\text{m}$. Assim, é iniciada a convexidade suave no intervalo de 5,5 m até os 55 m, com pico de resistividade em torno de $1.100 \Omega\text{m}$.

Figura 63 – Curva de resistividade da SEV2 da ADMRS de Iracema-RR



Fonte: Autora (2023).

4.3.1.3 Sondagem elétrica vertical 3 – SEV3

Por fim, a SEV3, realiza no extremo sul da antiga ADMRS de Iracema, entrada de acesso, perpendicular à BR 174 (Figuras 55, 64 e Apêndice Q). A profundidade máxima alcançada fora de 55 metros, tendo como intervalos de resistividade $74 \leq \rho_a < 1.350 \Omega\text{m}$ (Figura 65).

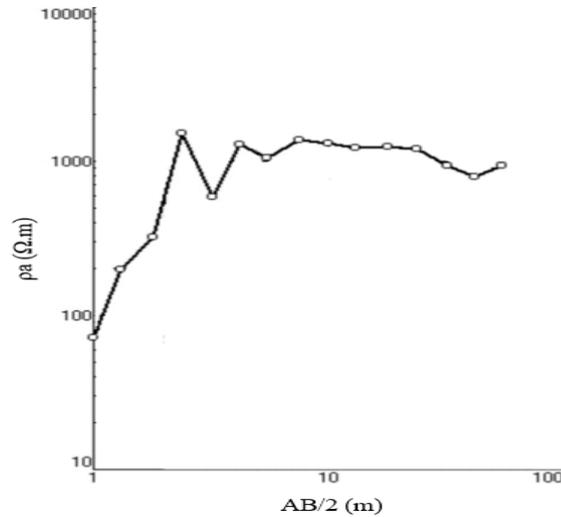
Figura 64 – Imagem exemplificando a coleta da SEV3 na ADMRS de Iracema/RR.



Fonte: Grupo de Pesquisa Caimbé-Geociências de Roraima (2019A).

Inicialmente, a curva apresenta formato moderadamente retilíneo ascendente (Figura 65), seguido pela formação de um vale tendência e finaliza com um caráter tendenciosamente ondulante. A ascensão ocorre até a profundidade de 2,4 metros, quando alcança o maior valor de resistividade do meio em torno de $1.500 \Omega\text{m}$. Após essa profundidade, há uma queda brusca, quase que pela metade, aproximadamente de $600 \Omega\text{m}$ aos 3,2 m. Em seguida, aos 4,2 m, ocorre uma nova elevação dos valores resistividade, remetendo a quase $1.300 \Omega\text{m}$. E, finalmente, até os 55 m de profundidade, a curva exibe um formato suavemente retilíneo monótono, com média em de $1.000 \Omega\text{m}$ de resistividade.

Figura 65 – Curva de resistividade da SEV3 da ADMRS de Iracema-RR



Fonte: Autora (2023).

O levantamento eletrorresistivo realizado na antiga ADMRS de Iracema, indicou que resistividades elétricas de até 800 Ωm nas metragens iniciais de investigação, são passíveis de serem associadas contaminação por choroume (SOUZA; CARVALHO, 2017). Tal fato é evidenciado porque a área de despejo dos resíduos, tem comprimento diminuto, quando comparado aos das outras ADMRS (i. e., Iracema e Mucajaí), resultando em uma proximidade mais intensa das camadas/pilhas de lixo.

Além disso, todas as três sondagens realizadas na antiga ADMRS de Iracema, foram prospectadas próximas ou muito próximas ao lixo ali despejado pela prefeitura. Visto que a SEV1 fora a única das sondagens, a apresentar valores de resistividade em torno de 800 Ωm inferiores a 4 m de profundidade, e como está fora prospectada inteiramente na porção central da ADMRS, onde o acúmulo do lixo era muito efetivo, é sugerido que tais valores possam estar associados a possível contaminação por choroume advinda da ADMRS. Assim, possivelmente as outras duas sondagens podem indicar que o comportamento resistivo condiz com a contexto geológico pertinente a região de Iracema (p. e., rochas ígneas recobertas por sedimentos arenosos e argilosos) (BRAGA, 2016; ROCHA; ROCHA, 2014; TONINI; COSTA; SCHWENGBER, 2009).

4.3.2 Análise físico-química

Diferente das duas outras, a ADMRS de Iracema, mostra uma peculiaridade, pois os ensaios geofísicos foram realizados quando ela ainda estava efetivamente ativa (até final do ano

de 2022) e as amostras de solos foram coletadas após a remoção da ADMRS para outro local (vicinal 13 – informação informal obtida com os moradores locais). Assim, só fora prospectado apenas um Furo (Furo 1, ver figura 55), cujas frações granulométricas estão representadas no apêndice R. A tabela 17 representa as partículas do solo obtidas através da análise granulométrica.

Tabela 17 – Partículas do solo do Furo 1 da ADMRS de Iracema/RR.

Profundidade (cm)	Cascalho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
0 – 10	7,2	69,7	11,8	9,7
10 – 20	5,0	68,8	15,1	10,7
20 – 30	13,7	60,5	15,9	7,1
30 – 40	7,2	69,7	11,8	9,7
40 – 50	7,2	75,1	10,6	6,3
50 – 60	7,2	69,7	11,8	9,7

Fonte: Autora (2023).

Os resultados das partículas do solo não destoaram das outras ADMRS (i. e., Amajari e Mucajaí). Para a ADMRS de Iracema, todas as profundidades passaram de 60% da porcentagem de areia e a porcentagem de argila, ficou em menos que 11%. O teste de umidade, representado na tabela 18, obteve teores de umidade abaixo de 12%.

Tabela 18 – Teor de umidade do Furo 1 em profundidade da ADMRS de Iracema/RR.

Profundidade (cm)	Teste	Amostra úmida (g)	Amostra seca (g)	Teor de umidade (%)	Média	Desvio padrão
0 – 10	I	5,0526	4,5502	11,0413	11,3965	0,3218048
	II	5,0653	4,5499	11,3277		
	III	5,0005	4,4719	11,8205		
10 – 20	I	5,0430	4,5242	11,4672	11,5837	0,2784233
	II	5,0424	4,5298	11,3162		
	III	5,0400	4,5013	11,9677		
20 – 30	I	5,0561	4,5464	11,2111	11,1060	0,1089212
	II	5,0607	4,561	10,9559		
	III	5,0068	4,5045	11,1511		
30 – 40	I	5,0483	4,5018	12,1396	11,9055	0,1676523
	II	5,0571	4,5225	11,8209		
	III	5,0279	4,499	11,7559		
40 – 50	I	5,0545	4,5133	11,9912	11,7459	0,2835973
	II	5,0815	4,5636	11,3485		
	III	5,0475	4,5108	11,8981		

Fonte: Autora (2023).

Analisando concomitantemente o teste de umidade e análise granulométrica, é possível enquadrar o solo da ADMRS de Iracema com as mesmas características dos das ADMRS de Mucajaí e Amajari, sendo caracterizados como solos arenosos com alta permeabilidade e baixa capacidade para retenção de água. É importante destacar que a ADMRS de Iracema era marcada pela grande quantidade de material plástico (garrafas do tipo *pet*), segundo identificado por Silva (2022). Tal situação influencia na infiltração de água no solo, conforme demonstrado pelo teste de umidade na presente análise, corroborando a relação idealizada por Pott et al. (2019). E, por fim, a análise do pH em triplicata fora realizada, obtendo os resultados listados na tabela 19.

Tabela 19 – Análises de pH para o Furo 1 em profundidade na ADMRS de Iracema/RR

Profundidade (cm)	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Média	Desvio padrão
0 – 10	6,09	5,67	5,89	5,88	0,17
10 – 20	5,55	5,44	5,28	5,42	0,11
20 – 30	5,50	5,51	5,66	5,56	0,07
30 – 40	5,33	5,15	5,23	5,24	0,07
40 – 50	4,49	4,59	4,34	4,47	0,10

Fonte: Autora (2023).

As análises de pH indicaram valores médios com baixo desvio padrão, garantindo o êxito das análises. Os valores de pH foram diminuindo ao passo que a profundidade aumentava, e ficaram entre 4 e 5. Os valores de pH se assemelham aos obtidos nas ADMRS de Amajari.

Segundo Prezzoti e M. Guarçoni (2013) pH com valores abaixo de 5,5, tendem a ter atividade microbiana baixa, além altos teores de alumínio – em seu estado iônico – tóxicos, além da grande probabilidade de encontro de metais pesados como Zn, Cu, Fe e Mn. Tal situação pôde ser indiretamente observada nos dados elétricos, pois os baixos valores de resistividade, inferiores, p. e., a 500 Ω m, nas profundidades iniciais (até 4 m) foram prospectados nas porções de acúmulo intenso de lixo na ADMRS quando ainda estava ativa, ou seja, intensa produção do lixiviado.

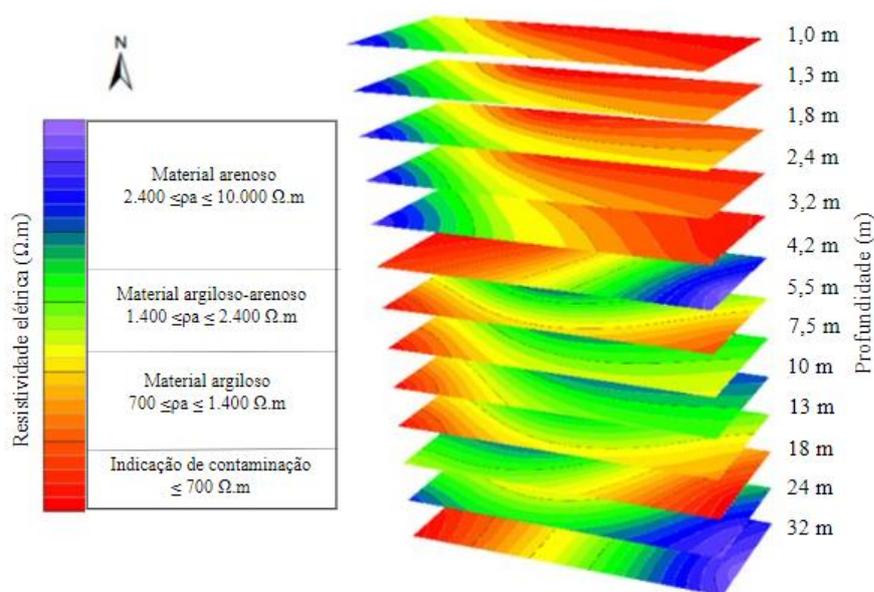
4.3.3 Pluma de contaminação

Por fim, para a antiga ADMRS de Iracema, o modelo de isópacas resultantes das três sondagens elétricas realizadas, configurou 13 níveis de investigação, ou seja, até 32 m de profundidades (Figura 66). O menor valor de resistividade encontrado foi de 15 Ω m a 1 metro de profundidade, e o maior de quase 2.000 Ω m a partir dos 5 m de profundidade.

Em comparação com todas as SEVs o mosaico de isópacas (Figura 66), demonstrou que a pluma de contaminação está espreada na faixa leste até quase 4 m de profundidade, que podem ser associados a contaminação por chorume, pois segundo Barcellar e Catapreta (2010), contaminação por chorume pode ser identificado pelos baixos valores de resistividade, pelo alto teor salino, que baixa a resistividade do meio.

Segundo o CPRM (2006), a ADMRS de Iracema está localizada sobre a suíte metamórfica Rio Urubu, onde há granitos, indicando ainda que até 22 metros de profundidade tem-se predominantemente areia média e argila, o que provavelmente pode justificar os altos valores de resistividade presentes. A geologia do meio, com presença de solo arenoso, que possui características porosas, a infiltração de chorume acontece com facilidade.

Figura 66 – Modelo de isópacas da ADMRS de Iracema/RR.



Fonte: Autora (2023).

A análise físico-química das amostras de solos na ADMRS de Iracema fora deficitária, visto que, a área atualmente (desde início de 2023) é utilizada para o agronegócio (plantação de soja e pastagem para o gado), ou seja, a ADMRS não existe mais. Assim, a única amostragem de solo executada na área, evidenciou nas profundidades de 40 a 50 cm pH menores que 4, considerado como muito ácido.

Como foi impossibilitada a coleta de solo no local exato onde funcionava a ADMRS, a coleta foi feita do outro lado da rua (ver Figura 55), na mesma altitude que a entrada da ADMRS, em busca de valores de resíduos de um possível escoamento de chorume, pois a porção central da ADMRS, ficava em altitude maior, favorecendo o escoamento. Segundo os

resultados obtidos, há possibilidade do escoamento do lixiviado produzido ter contaminado os arredores do local, possivelmente até o córrego que passa bem próximo, que dista menos de 25 m.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca pela caracterização de áreas utilizadas para alocação de resíduos sólidos urbanos/rurais, requer a associação de, pelo menos, mais de uma metodologia. Dentre estas, as metodologias indiretas (p. e., levantamentos eletrorresistivo), que fazem o uso de técnicas invasivas, vêm ganhando destaque, devido a sua alta eficácia e baixo custo de operação.

Embora, a geofísica possa dar um excelente cenário da configuração dos corpos, que por ventura, possam estar contaminados, devido ao lixiviado produzido e advindo das áreas de contínua concentrações de lixos, é de vital importância associá-la a outros métodos, entre estes os físico-químicos, por poderem quantificar as condições de solo. Somado a análise geofísica e a físico-química, a distinção dos atributos mais imediatos a classificar uma área de disposição de resíduos sólidos, como aterro sanitário ou aterro controlado ou lixão, tem papel tão importante quanto.

Munidos das perspectivas científicas acima mencionadas, a presente pesquisa mostrou um panorama da situação superficial e subsuperficial de Áreas de Disposição de Resíduos Sólidos-ADMRS, nas porções norte e centro-sul do estado de Roraima (municípios de Amajari, Mucajaí e Iracema) através da utilização dos mapas da pluma de contaminação.

As três áreas de estudo foram enquadradas como lixão a céu aberto, de acordo com as normativas regentes. O que, independentemente das condições que estão agora, trazem consequências maléficas para o ambiente que está exposto, pois sem qualquer barreira de contenção, o chorume produzido pelo lixo na superfície do terreno nas ADMRS, infiltra no solo, conseqüentemente em profundidade, podendo alcançar corpos hídricos superficiais (igarapés, rios) e subterrâneos (aquíferos).

Com a utilização do ensaio eletrorresistivo, a partir das sondagens elétricas verticais com o arranjo de *Schlumberger*, foi possível caracterizar as áreas em relação a resistividade em função da profundidade em diferentes pontos dentro de cada área de estudo e associar os resultados obtidos ao meio geológico, podendo prever a disposição da possível pluma de contaminação para cada ADMRS.

Os estudos físico-químicos a partir da análise granulométrica, podem mostrar maior probabilidade de infiltração de poluentes por conta da granulometria do solo; as taxas de umidade demonstraram possíveis dificuldades de infiltração de água, por conta da quantidade de lixo na superfície do terreno. E, por fim, os resultados de pH que puderam demonstrar a alta acidez encontra nas áreas ADMRS, que podem se tornar mais ácidas com a continuação do derrame de lixo.

A ADMRS Amajari está assentada sobre solo arenoso, o que torna altamente permeável a poluentes. A falta de proteção para escoamento do chorume, pode ocasionar a médio e longo prazo poluição do corpo hídrico presente na área, o igarapé Serrinha. Como está a grandes altitudes, a percolação do lixiviado deve ser arrastado com mais facilidade, chegando a igarapé. Com a provável percolação lateral, demonstrada pela figura 43, há grande possibilidade que a cava de lixo possa estar chegando ao nível freático.

Na ADMRS Mucajaí, também caracterizado como lixão a céu aberto, também está em região arenosa, estando posicionada entre dois corpos hídricos, os igarapés Azul e o Traíra, e de acordo com o modelo da pluma de contaminação (Figura 64), há potencial percolação lateral chegando até 24 metros de profundidade, desse modo, podendo haver possível contaminação das águas, tanto superficiais quanto subterrâneas.

Por fim, a ADMRS de Iracema, que fora desativada de forma abrupta e rápida. Não há indícios de qualquer tratamento ocorrido na região para recuperação, mas ainda que houvesse, os níveis de contaminação segundo a figura 44 infiltraram até por volta dos 10 metros de profundidade. O panorama feito através da amostra de solo, não puderam demonstrar se os níveis de contaminação infiltraram o suficiente para contaminar lateralmente.

De forma geral, o estado de Roraima precisa se adequar à legislação vigente, destinando e dispendo de forma correta os resíduos sólidos municipais, isto é, construções efetivas de aterros sanitários. Mas ainda que aconteça, os locais utilizados até o presente momento dessa pesquisa, precisam de constante monitoramento, bem como da efetiva consolidação de, pelo menos, transformá-los em um aterro controlado. Fato este não detectado para a ADMRS de Iracema, pois o local em que existia o lixão, agora é uma plantação de soja.

Os métodos de análise utilizados para construir desta dissertação se mostraram eficazes e sugere-se a sua aplicação em pesquisas de mesma vertente. Para as mesmas áreas de estudo,

em trabalhos futuros, é interessante que ocorra análise de água, em poços artesianos dos moradores próximos, além de estudos em terrenos adjacentes. É de extrema importância, que haja uma análise profunda no antigo lixão de Iracema, por conta do seu novo uso agrícola.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8419:** Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. **Norma brasileira 10004.** Associação brasileira de normas técnicas, NBR 10004. Rio de Janeiro, ABNT, 2ªEd, 71p. 2004. Disponível em: <<https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>> acesso em: 13/11/2021.

_____. **NBR 6457/2016.** Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. Disponível em: <<http://files.ilcoribeiro.webnode.com.br/200000081-91bdd92b8f/NBR%206457.pdf>> acesso em 31/01/2022.

_____. **NBR 15849:** Aterros sanitários de pequeno porte: diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020.** São Paulo: Gestão adequada dos resíduos – empresas associadas, 2020, p. 13-32.

_____. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021.** São Paulo: Gestão adequada dos resíduos – empresas associadas, 2021, p. 14-24.

AGBENYEKU, E. E.; MUZENDA, E.; MSIBI, M. I. Buffering efficacy and interactions of minerals in clayey soil with contaminants from landfilling and mining activities: A bird-eye view. **South African Journal of Chemical Engineering**, [s.l], v.21, p. 2-10, s/m. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Estudos hidrogeológicos e de vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucuia e proposição de modelo de gestão integrada compartilhada:** Investigação geofísica na região dos Sistemas Aquíferos Urucuia (SAU) e Areado (SAA): Relatório técnico temático. Consórcio Engecorps – Walm. Brasília: ANA, 2017.

ARAÚJO, A. C. **Mineralogia e magnetometria de solos roraimenses.** 83p. 2012. Dissertação (Mestrado em Física) – Programa de Pós-Graduação em Física. Universidade Federal de Roraima, UFRR.

BALIEIRO, F. C.; FONTANA, A.; PEREIRA, M. G. **Classes de solos do Brasil: Sistema Brasileiro de Classificação de solos.** São Paulo: Embrapa Solos, 2020. Disponível em: https://www.embrapa.br/bme_images/o/213520040o.jpg acesso em 09/11/2023.

BARBOSA, R.I. Distribuição das chuvas em Roraima. In: Barbosa, R.; Ferreira, E.; Castellón, E. (eds.), **Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima.** JNPN Manaus. p. 325-335. 1997.

BARBOSA, R. I.; BARCELAR, C. G. Notas sobre a diversidade de plantas e fitosionomias em Roraima através do banco de dados do herbário INPA. **Amazônia: Ci & Desenv.**, Belém, v.4, n.7, 2008.

BARBOSA, R. I.; CAMPOS, C. Detection and geographical distribution of Clearing areas in the savannas ('lavrado') of Roraima using Google Earth web tool. **Journal of Geography and Regional Planning**. [s.l], v.4, n.3, p. 122 – 136, 2011.

BARBOSA, R. I.; MIRANDA, I. de S. Fitofisionomias e diversidade vegetal das Savanas de Roraima. In: BARBOSA, R. I; XAUD, H. A. M.; SOUZA, J. M. C e. **Savanas de Roraima: Etnoecologia, Biodiversidade e Potencialidades Agrosilvipastoris**. Roraima: Femact, 2004. p. 61-78

BARCELLAR, L. A. P.; CATAPRETA, C. A. A. Emprego de eletrorresistividade para delimitação de pluma de contaminação por líquidos lixiviados no aterro sanitário de Belo Horizonte. **Águas subterrâneas**, v.24, n.1, p. 10 – 72. 2010.

BARROS D. S. et al. **Mapeamento e Caracterização Ambiental das áreas apícolas dos municípios de Mucajá e Cantá do Estado de Roraima**. Revista Agroambiente. Boa Vista, v.2, n.1, p. 77 – 87, jun, 2008.

BARTOLIN, J. R. M.; MALAGUTTI FILHO, W. Método de eletrorresistividade aplicado no monitoramento temporal. **Eng Sanit Ambient**, [s.l], v.15, n.4, p. 367-374, out/dez. 2010.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625p.

BICHET, V; GRISEY, E.; ALEYA, L. Spatial characterization of leachate plume using electrical resistivity tomography in a landfill composed of old and new cells (Belfort, France). **Engineering Geology**, Paris, v.211, p. 61 – 73, 2016.

BRAGA, A. C. de O. **Geofísica aplicada: métodos geoeletricos em hidrogeologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016

BRAGA, A. C. O. **Métodos geoeletricos Aplicados nos Estudos de Captação e Contaminação das Águas subterrâneas**. 2007. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igcce/aplicada/geoeletricos-V4.pdf> acesso em: 07/10/2023

BRASIL. Constituição 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1988a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em 15 de março de 2022.

_____. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1998b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm> acesso em 15 março de 2022.

_____. **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 República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm> acesso em 23 de novembro 2021.

_____. **Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022**. Regulamenta a Lei nº 1.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos sólidos. Diário Oficial da República

Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2022. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.936-de-12-de-janeiro-de-2022-373573578>> acesso em 28 de janeiro de 2022.

_____. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Levantamentos de recursos minerais**. Folha NA. 20. Boa Vista e Folha NA 20. Roraima, Rio de Janeiro, 1975.

BUSKE, T. **Comportamento da umidade do solo determinada por métodos expeditos**. 67p. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, RS.

CAVALCANTE, S. S.; SATO, H. K.; LIMA, O. A. L. Geofísica elétrica na caracterização da hidrologia subterrânea na região do aterro metropolitano centro, Salvador, Bahia. **Brazilian Journal of Geophysics**, [s.l.], v.19, n.2, p.155-168, s/m. 2001.

CELERE, M. S. et al. **Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública**. Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 23, n.4, p. 939-947, abri. 2007.

CETESB. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. Projeto de cooperação Técnica Brasil-Alemanha/CETESB-GTZ, 2ªed, São Paulo, 2001, 398p.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In. GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand, 1994.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa Geodiversidade do Brasil: Influência da geologia dos grandes geossistemas no uso e ocupação dos terrenos. Brasília: CPRM, 2006. 68 p.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Carta Hidrogeológica. Folha NA-20. Brasília, 2016a. Escala 1:1.000.000.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Carta Hidrogeológica. Folha NA-21. Brasília, 2016b. Escala 1:1.000.000.

DNIT. **Glossário de termos técnicos ambientais rodoviários**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro, 2006, IPR – 721, 116p.

DUDA, R. et al Investigating the Pollution Range in Groundwater in the Vicinity of a Tailings Disposal Site with Vertical Electrical Soundings. **Pol. J. Environ. Stud.** [s.l.], v. 29, n. 1, p. 101-110, 2020.

EMBRAPA. **Coleta de solo para análise**. Amapá, 2º Ed. Agos. 2012. Disponível em:< <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/105881/1/CPAF-AP-2012-Coleta-de-solo.pdf>> acesso em 10/06/2022.

EMBRAPA. **A cor do solo**. Folder digital, 2009. Disponível: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195720/1/A-Cor-Do-Solo-Interpretando-as-Cores-Do.pdf>>

EMBRAPA. Propriedades do solo. São Paulo: EMBRAPA SOLOS, 2023. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs/propriedades-do-solo>> acesso em 10/11/2023.

ELIS, V. R.; ZUQUETTE, L. V. Caracterização geofísica de áreas utilizadas para disposição de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n. 1, p. 119 – 134. 2002.

FACHIN, S. J. S. et al. Aplicação de métodos geofísicos para identificar áreas contaminadas por resíduos de um curtume. **Revista Brasileira de Geofísica**, [s.l.], v. 24, n. 1, p. 129-138, s/m. 2006.

FERNANDES FILHO, L. A. **Fácies deposicionais, estratigrafia e aspectos estruturais da cobertura sedimentar Paleoproterozóica na serra do Tepequém, Escudo das guianas, estado de Roraima**. 118p. 2010. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

FILIZOLA, H. F. **Manual de procedimentos de coleta de amostras agrícolas para análise de qualidade ambiental: Solo, água e sedimentos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 169p.

FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. de. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise de qualidade ambiental: solo, água e sedimentos**. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, 1º edição, 169p, 2006.

FRAGA, L. M. **A Associação Anortosito – Mangerito - Granito Rapakivi (AMG) e suas encaixantes paleoproterozóicas: evolução estrutural, geocronologia e petrologia**. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará. Tese de Doutorado, 351p. 2002

FRANCO, E. M. S.; DEL'ARCO, J. O.; RIVETTI, M. Geomorfologia. In: BRASIL. Projeto Radambrasil. **Levantamento dos Recursos Naturais**. Rio de Janeiro. 1975.p. 139-180.

FREITAS, A. **História e Geografia de Roraima**. 9 ed. Boa Vista: IAF, 2017. 212p.

GALLAS, J. D. F. et al. Contaminação por chorume e sua detecção por resistividade. **Revista Brasileira de Geofísica**, [s.l.], v. 21, n.1, p. 51-59, maio. 2005.

GEOPHYS. **IPI2win – ID interpretation of VES profile**. Russia: Geological Faculty, jan. 2003. Disponível em: <<http://geophys.geol.msu.ru/ipi2win.htm>> acesso em 11/03/2022.

GOES, H. C. Coleta seletiva, planejamento municipal e a gestão de resíduos sólidos urbanos em Macapá/AP. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, Macapá, v. 1, n. 3, p. 45-60, s/m. 2011.

GOES, D. A contribuição do aterro sanitário na gestão de resíduos sólidos: Um breve estudo de caso no aterro de Paulo Afonso, Ba. **Revista Científica da FASETE**, Paulo Afonso, v.7, p. 90-105, s./m. 2016.

GOUVEIA, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável om inclusão social. **Ciências & Saúde coletiva**, [s.l.], v. 17, n. 6, p. 1502-1510, s/m. 2012.

GRUPO DE PESQUISA CAIMBÉ-GEOCIÊNCIAS DE RORAIMA. **Dados geofísicos e registros fotográficos de Amajari – Parte I.** Acervo pessoal. UFRR, 2019.

GRUPO DE PESQUISA CAIMBÉ-GEOCIÊNCIAS DE RORAIMA. **Dados geofísicos e registros fotográficos de Amajari – Parte II.** Acervo pessoal. UFRR, 2021.

GRUPO DE PESQUISA CAIMBÉ-GEOCIÊNCIAS DE RORAIMA. **Dados geofísicos e registros fotográficos de Amajari – Parte III.** Acervo pessoal. UFRR, 2023.

GRUPO DE PESQUISA CAIMBÉ-GEOCIÊNCIAS DE RORAIMA. **Dados geofísicos e registros fotográficos de Iracema.** Acervo pessoal. UFRR, 2019A.

GRUPO DE PESQUISA CAIMBÉ-GEOCIÊNCIAS DE RORAIMA. **Dados geofísicos e registros fotográficos de Mucajaí.** Acervo pessoal. UFRR, 2019B

GUIMARÃES, E. N.; SOUZA, L. S. B. Arquitetura geolétrica do sistema aquífero Boa Vista, Boa Vista/RR (porção urbana-zona oeste). **Geociências**, São Paulo, v. 41, n.1, p. 151 – 168, s/m, 2022.

HUSSEIN, M. et al. Heavy metals in leachate, impacted soils and natural soils of different landfills in Malaysia: An alarming threat. **Chemosphere**, [s.l], v. 267, 128874, p. 1-19. mar. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Amajari.** Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rr/amajari/panorama> > acesso em 20/10/2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa Geomorfológico do Estado de Roraima. Brasília.** 2005. 1 mapa, color., 792x893mm. Escala: 1:100.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo demográfico, 2010.** Disponível em: <www.ibge.gov.br> acesso em 05/10/2023.

KEAREY, P; BROOKS, M; HILL, I. **Geofísica de Exploração.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos.** Piracicaba - Ceres, 492p. 1985.

KLEIN, V. I. A. **física do solo.** Passo fundo: Ed. Universidade de passo fundo, 2008. 212p.

KORF, E. P. et. Al. **Retenção de metais em solo da antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos de Passo Fundo – RS.** Revista de Ciências Ambientais, Canoas, v.2, n.2, p. 43 a 60, 2008.

KOTTEK, M. et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 15, n. 3, p. 259-263, s/m. 2006.

LADEIRA, L. F. B.; DANTAS, M. E. Compartimentação geomorfológica. In: Holanda, J. L. P.; MARMOS, J. L. M.; MAIA, M. A. M. (Org). **Geodiversidade do estado de Roraima**. Manaus: CPRM, 2014.

LAGO, A. L.; ELIS, V. R.; GIACHETI, H. L. Aplicação integrada de métodos geofísicos em uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos em Bauru – SP. **Revista Brasileira de Geofísica**, [s.l], v. 24, n.3, p. 357-374. s/m. 2006.

LANGE, L. C. **Estudo comparativo de metodologias para análise físico-química de resíduos sólidos urbanos**. 1º ed. Rio de Janeiro: Projeto PROSAB, 2002. 104 p.

LIMA, J. A. S. et. al. **Roraima 2000 – 2013**. São Paulo: Editora Fundação Perseu Abramo, 2006.

MARQUES, R. F. de P. V. et al. **Impacts of urban sold waste disposal on the quality of surfase water in three cities of Minas Gerais – Brazil**. Ciências agrotécnicas, Lavras, v.36, n.6, p.684-692, nov/dez. 2012.

MATTEI, G.; ESCOSTEGUY, P. A. V. Composição Gravimétrica de Resíduos Sólidos. **Eng Sanit Ambient**, [s.l], v.12, n.3, p. 247-251, jul/set. 2007.

MEDEIROS, R. D. de. et. al. **Nutrição mineral, correção do solo e adubação da cultura da melancia em Roraima**. ISSN 1980-413X. 2005. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/175272/1/cit032006-melancia-roberto.pdf>> acesso em 07/10/2023.

MELO, V. F. et. al. **Seção VI – Manejo e conservação do solo e da água**. Revista Brasileira ciência do solo, v. 30, p. 1039 – 1050, 2006.

MELO, V. F.; GIANLUPPI, D.; UCHOA, S. C. P. **Características edafológicas dos solos do estado de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2003. 28p.

MORAIS, M. V. de A. et al. **Análise físico-química e microbiológica do lixiviado do aterro sanitário no município de Rio Branco – Acre**. South American Journal, Rio Branco, v. 7, n.1, p. 282-292, jan/abr, 2020.

MORAIS, M. V. de A. et. al. **Análise granulométrica: Uma revisão bibliográfica**. Journal of exact Sciencies, Minas Gerais, v. 18, n.1, p 5 -10, jan/mar. 2021.

MORAIS, F.; BACELLAR, L. de A. P. Geofísica aplicada ao estudo de fluxos da água no solo. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.22, n.1, p. 213-222, abr. 2010.

MOREIRA, C. A.; BRAGA, A. C. de O. Anomalias de cargabilidade em aterro de resíduos sólidos domiciliares. **Revista Brasileira de Geofísica**, [s.l], v. 27, n.1, p. 55-622, Jane. 2009.

MOREIRA, C.A.; DOURADO J.C. Monitoramento da atenuação natural de pluma de contaminação pelo método de radar de penetração no solo (GPR). **Revista Brasileira de Geofísica**, [s.l], v. 25. n. 4. p. 389-398. s/m. 2007.

MOREIRA, C. A. et al. Analysis of leaks from geomembrane in a sanitary landfill through models of electrical resistivity tomography in South Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, n.7, p. 1 – 9. Dec. 2018.

NOSMAS ABNT. **pH e água – definição, diagrama de acidez e base, e mais**. Copyright, 2023. Disponível em: <<https://www.normasabnt.org/ph-e-agua/>> acesso em 13/11/2023.

ODIPE, O. E. et al. **Integrated Geophysical and Hydro-Chemical Investigations of Impact of the Ijemikin Waste Dump Site in Akure, Southwestern Nigeria, on Groudwater Quality**. Journal of Health & Pollution, [s.l], v.8, n.18, p. 1-6, june. 2018.

OLIVA, A.; KIANG, C. H. Mapeamento do lençol freático no município de Rio Claro (SP) empregando a técnica de sondagem elétrica vertical. **Geociências**, São Paulo, v. 26, n.1, p. 27-34, s/m. 2007.

ORELLANA, E. **Prospección geolétrica en corriente continua**. Madrid: Paraninfo, 1972. 523 p.

PEREIRA, W. L. **Geofísica e morfometria em terrenos de disposição de resíduos sólidos na porção setentrional do estado de Roraima**. 2020, 138f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Recursos Naturais) Programa de pós-graduação em Recursos Naturais. Universidade Federal de Roraima. Boa Vista, 2018.

PES, L. Z.; ARENHARDT, M. H. **Solos**. Santa Maria: Rede e-Tec Brasil, 2015. 90 p.

PIMENTEL, F. A. **Geofísica e morfometria em terrenos de disposição de resíduos sólidos na porção setentrional do estado de Roraima**. 2020. 137 f. Dissertação (Mestre em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais - PRONAT, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2020

PIMENTEL, F. A.; SOUZA, L. S. B.; SILVA, A. F. da. Morfometria em área de disposição de resíduos sólidos no município de Normandia, Roraima, Brasil. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, v. 15, n. 3, p. 1149 – 1162. Dec. 2022.

PINTO, N. L. S. Introdução. In: PINTO, N. L. S. Et al. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

PREZZOTTI, L. C.; M. GUARÇONI, A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória, ES: Incaper, 2013. 104p.

POTT, C. A.; Et. al. Métodos para determinação de infiltração de água no solo. In: BERTOL, O. J.; COLOZZI FILHO, A.; BARBOSA, G. M. C.; SANTOS, J. B.; GUIMARÃES, M. F. **Manual de manejo e conservação do solo e da água para o estado do Paraná**. Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 201-208. 2019.

REIS, N. J. et al. Geologia do Estado de Roraima. **Géologie de La France**. Orléans, v.2, n.3, p.121-134. s/m. 2003.

REIS, N. J.; FRAGA, L. M. B. **Geologia do Estado de Roraima**. Manaus: CPRM, 1998.

RIBEIRO, L. da S. et al. **Monitoramento físico-químico de um biorreator com resíduos sólidos urbanos em escala piloto na cidade de Campina Grande (PB)**. Eng. Sanit. Ambient, [s.l], v.21, n.1, p.1-9, jan-mar. 2016.

ROCCA, A.C.C. et. al. **Resíduos sólidos industriais**. São Paulo: CETESB, 1993

ROCHA, H. R.; ROCHA, S. M. A singularidade de cada caso: Uma análise quantitativa do projeto de assentamento Ajarani em Iracema – Roraima. **Revista eletrônica Ambiente**, v.6, n. 2, p. 32 – 44. 2014.

RORAIMA. **Lei nº 416 de 14 de janeiro de 2004**. Dispõe sobre a política Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos e dá outras providencias. Governo do estado de Roraima. Disponível em: <<https://bvresiduos-api.pmbv.rr.gov.br/arquivos/Lei%20416-2004%20-%20Pol%C3%ADtica%20Estadual%20Gest%C3%A3o%20Integrada%20Res%C3%ADduos%20S%C3%B3lidos.pdf>> acesso em 23 de novembro 2021.

ROSA, B. P. et. al. **Impactos causados em cursos d'água por aterros controlados desativados no Município de São Paulo, Sudeste do Brasil**. Revista brasileira de gestão ambiental sustentável, v.4, n.7, p. 63-76, s/m. 2017.

ROTH, C. das G.; GARCIAS, C. M. A. Influência dos padrões de consumo na geração de resíduos sólidos dentro do sistema urbano. **Revista do desenvolvimento regional**, Santa Cruz do Sul, v.13, n.3, p. 5-13, set-dez. 2008.

RUNYAN, W.R. **Semiconductor measurements and instrumentation: Resistivity and carrier concentration measurements**. New York: McGraw-Hill, 1975. 280p.

SAIANI, C. C. S.; MENDONÇA, R. S.; KUWAHARA, M. Y. Efeitos da disposição ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos sobre a saúde em municípios brasileiros. **Planejamento e políticas públicas**, n.55, jul/set, 2020.

SANTOS, H. G.; et. al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SANTOS, R. D.; GAMA, J. N. R. F.; SOARES, A. F. **Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do projeto de colonização Apiaú, Território Federal de Roraima**. Boletim de Pesquisa nº 14. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (EMBRAPA/SNLCS). 175p. 1982.

SALOMÃO, P. E. A.; HIRLE, R. E. W. Estudo da influência das queimadas nas propriedades química e banco de sementes dos solos do Vale do Mucuri. **Society and Development**, v. 8, n. 12, p 1-15. 2019.

SIAGAS. **Sistema de informações de águas subterrâneas**. Base de dados de poços, hidrogeologia e geologia. 2020. Disponível em: <<http://siagasweb.crpm.gov.br/layout/index.php>> acesso em 10/02/2023.

SILVA, J. E. da. et al. Aplicação de ensaios elétricos e eletromagnéticos em problema de poluição ambiental. **Revista Brasileira de Geofísica**, [s.l], v. 20, n.3, p. 193-198, s/m. 2002.

SILVA, F. C. et al., Disposição Irregular dos Resíduos Sólidos Urbanos e Suas Influências na Saúde Pública no Município de Mucajaí – RR. **Revista Geonorte**, Amazonas, v.9, n.33, p.111-125, dez. 2018.

SILVA, K. V. **Cenário ambiental, estrutural e legislativo das áreas de disposição de resíduos sólidos dos municípios no estado de Roraima**. 233p. 2022. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista/RR.

SOUSA, G. L. de et al. **Lixão a céu aberto: Implicações para o meio ambiente e para sociedade**. Revista Valore, Volta Redonda, v.9(ed. especial), p. 367-376, outu. 2019.

SOUZA, L. S. B.; ANDRADE, G. de A. Resistividade no entorno do aterro sanitário municipal de Bo Vista, Roraima, Brasil: Implicações ambientais. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciênc. Nat.**, Belém, v.13, n.13, p. 435-452, set-dez. 2018.

SOUZA, L. S. B.; ANDRADE, G. G.; MORAES, G. G. Um lixão sob o ponto de vista da geofísica rasa, município de Caracará, Roraima, Brasil, **REGNE**, v. 4, n. 1, p. 21-41. 2018.

SOUZA, L. S. B.; CARVALHO, F. W. S. Contextualização geológica da porção SW do Sistema Aquífero Boa Vista, Estado de Roraima, a partir de sondagens elétricas verticais rasas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 12, n. 1, p. 91-107, 2017.

SOUZA, L. S. B. Evidências tectônicas no leste da Ilha do Marajó: integração de dados morfoesculturais e geofísicos. 2010. 202f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SOUZA, L. S. B. et al. **Neotectonics in Marajó island, state of Pará (Brazil) revealed by vertical electric sounding integrated with remote sensing and geological data**. An. Acad. Bras. Ciênc. Rio de Janeiro, v. 85, n. 1, p. 73-86, 2013.

SUGUIO, K. **Introdução a sedimentologia**. 1ª ed. São Paulo: Editora das Universidade de São Paulo, 1973. 317 p.

TIBIRIÇA, A.V.R. **Análise temporal do uso do solo na região do assentamento trairão, estado de Roraima – Brasil**. 2016. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Geografia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

TONINI, H; COSTA, M.C.G; SCHWENGBER, L.A.M. Crescimento da Teca (*Tectona grandis*) em Reflorestamento na Amazônia Setentrional. **Revista Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, [S.V], n.59, p.05-14, dez. 2009.

TOMÉ Jr., J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e cultura**, São Paulo, v. 55, n.4, p.31-33, oct-dec. 2003.

VALE JÚNIOR, J. F. do; SCHAEFER, C. E. G. R. **Solos sob savanas de Roraima: Gêneses, classificação e relação e relação ambiental.** Boa Vista: Gráfica Ioris, 2010. 219p.

VAZ, C. M. P.; NAIME, J. de M.; SILVA, A. M. da. Analisador granulométrico de solos. Embrapa: São Carlos – SP, nº5, p. 1-5, out. 1996.

VELLOSO, M. P. Os restos na história: percepções sobre resíduos. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s.l.], v. 13, n. 6, p. 1953-1964, s/m. 2008.

VELOSO, C. A. C. et al. **Efeito de diferentes materiais no pH do solo.** Scientia Agricola, Piracicaba – SP, v.49, n1, p.123-128, s/m. 1992.

VERAS, A. S. S. **A Paisagem como Recurso e o Geoturismo como Possibilidade em Mucajaí-RR.** 2014, 90 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em geografia) Programa de pós-graduação em geografia. Universidade Federal de Roraima. Boa Vista, 2014.

XAUD, M.R; XAUD, H.A.M; ADAMI, M. Dinâmica das Mudanças de Uso e Cobertura da Terra no Município de Mucajaí – Roraima – Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.,19 ,2019, Santos. **Anais**, Galoá, p.1-14. 2019.

XAVIER, F. V. Et al. Emprego da Sondagem elétrica vertical integrada às análises químicas e microbiológicas no diagnóstico preliminar da contaminação do solo e da água subterrânea no cemitério municipal da cidade de Rio Claro (SP). **Eng Sanit Ambient**, [s.l.], v.23, n.2, p. 333-344, mar/abr. 2018.

WANKLER, F. L.; EVANGELISTA, R. A. O.; SANDER, C. Sistema Aquífero Boa Vista: “estado da arte” do conhecimento e perspectivas. **ACTA Geográfica**. Boa Vista, v.6, n.12, p. 21 – 39, 2012.

WILSON, D. C. Development drivers for waste management. **Waste Management & Research**, Reino Unido, v. 25, n. 3, p. 198-207, sete. 2007.

APÊNDICES

Apêndice A - Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 1 da ADMRS de Amajari, com coordenadas geográficas de 3°38'35.7"N 61°25'44.2"W.

n°	AB/2 (m)	MN (m)			ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)	ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)
		0,5	2	5						
1	1	5,89			129,1	11,1	68,5			
2	1,3	10,23			110,7	9,5	119,2			
3	1,8	19,96			101,2	12,1	166,9			
4	2,4	35,80			89,0	9,7	328,5			
5	3,2	63,95			83,2	8,1	656,9			
6	4,2	110,44			80,8	10,7	834,0			
7	5,5	189,67	45,95		96,2	8,9	2050,1	89,1	8,9	460,0
8	7,5	353,04	86,79		70,7	6,0	4160,0	339,0	6,1	4823,2
9	10	627,93	155,51		176,9	4,6	24148,0	346,0	4,3	12513,1
10	13	1061,47	263,89		190,9	8,5	23839,4	461,0	8,5	14312,2
11	18	2035,36	507,37		329,0	3,5	191323,8	204,0	4,1	25244,8
12	24	3618,72	903,21		200,0	4,2	172320,0	190,1	4,0	42925,1
13	32		1606,92	639,47	200,0	2,5	51157,6	460,0	2,5	117662,5

Fonte: Autora (2023).

Apêndice B - Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 2 da ADMRS de Amajari, com coordenadas geográficas de 3°38'37.4"N 61°25'43.2"W.

n°	AB/2 (m)	MN (m)			ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)	ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)
		0,5	2	5						
1	1	5,89			424,0	7,3	342,1			
2	1,3	10,23			173,3	4,3	412,3			
3	1,8	19,96			100,9	3,9	516,4			
4	2,4	35,80			146,1	10,8	484,3			
5	3,2	63,95			37,5	4,0	599,5			
6	4,2	110,44			33,0	6,6	552,2			
7	5,5	189,67	45,95		18,5	6,5	539,8	74,3	6,9	494,8
8	7,5	353,04	86,79		5,3	3,9	479,8	11,3	3,3	297,2
9	10	627,93	155,51		2,3	2,7	534,9	39,1	64,3	94,6

Fonte: Autora (2023)

Apêndice C - Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 3 da ADMRS de Amajari, com coordenadas geográficas de 3°38'40.1"N 61°25'49.9"W.

n°	AB/2 (m)	MN (m)			ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)	ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)
		0,5	2	5						
1	1	5,89			222,0	9,6	136,2			
2	1,3	10,23			135,0	8,2	168,4			
3	1,8	19,96			101,5	3,3	613,9			
4	2,4	35,80			145,7	7,3	714,5			
5	3,2	63,95			146,1	7,3	1279,9			
6	4,2	110,44			146,2	4,3	3755,0			
7	5,5	189,67	45,95		246,0	5,7	8185,8	130,0	5,9	1012,5
8	7,5	353,04	86,79		94,8	3,5	9562,3	73,6	3,6	1774,4
9	10	627,93	155,51		37,4	2,7	8698,0	77,5	2,7	4463,7
10	13	1061,47	263,89		23,3	3,2	7728,8	82,6	3,1	7031,4
11	18	2035,36	507,37		11,9	4,4	5504,7	43,0	4,3	5073,7
12	24	3618,72	903,21		8,3	7,8	3850,7	15,2	7,7	1783,0
13	32		1606,92	639,47	116,2	6,4	11610,4	20,0	6,4	1998,3

Fonte: Autora (2023).

Apêndice D - Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 4 da ADMRS de Amajari, com coordenadas geográficas de 3°38'42"N 61°25'48"W.

.n°	AB/2 (m)	MN (m)			ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)	ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)
		0,5	2	5						
1	1	5,89			689,0	0,8	5072,8			
2	1,3	10,23			480,0	1,1	4464,0			
3	1,8	19,96			282,0	1,1	5117,0			
4	2,4	35,80			154,0	1,1	5012,0			
5	3,2	63,95			80,0	1,1	4650,9			
6	4,2	110,44			45,0	0,9	5522,0			
7	5,5	189,67	45,95		680,0	28,0	4606,3	44	0,8	2527,3
8	7,5	353,04	86,79		22,0	1,8	4314,9	68	1,6	3688,6
9	10	627,93	155,51		13,0	2,6	3139,7	56	2,7	3225,4
10	13	1061,47	263,89		4,0	1,7	2497,6	406	35,9	2984,4
11	18	2035,36	507,37		14,0	13,4	2126,5	59	135	221,7
12	24	3618,72	903,21	357,98	15,0	29,9	1815,4	49	29,6	1495,2
13	32		1606,92	639,47	15,0	16,4	1469,7	41	16,3	1608,5
14	42		2769,31	1104,43	7	17,9	1082,97	13	18,3	784,6

Fonte: Autora (2023).

Apêndice E - Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 5 da ADMRS de Amajari, com coordenadas geográficas de 3°39'2"N 61°25'52"W.

n°	AB/2 (m)	MN (m)			ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)	ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)
		0,5	2	5						
1	1	5,9			643,0	0,7	5410,4			
2	1,3	10,2			391,0	0,6	6666,6			
3	1,8	20,0			270,0	1,0	5389,2			
4	2,4	35,8			134,0	0,8	5996,5			
5	3,2	64,0			17,0	0,6	1811,9			
6	4,2	110,4			214,0	5,5	4297,1			
7	5,5	189,7	46,0		141,0	7,4	3614,0	641,0	7,5	3927,2
8	7,5	353,0	86,8		46,0	7,4	2194,6	212,0	7,4	2486,4
9	10	627,9	155,5		21,0	7,4	1782,0	7,2	7,5	149,3
10	13	1061,5	263,9		15,0	4,5	3538,2	16,0	4,5	938,3
11	18	2035,4	507,4		3,0	6,7	911,4	9,0	6,7	681,5
12	24	3618,7	903,2	358,0	2,0	3,2	2261,7	12,0	3,4	3187,8
13	32		1606,9	639,5	6,0	6,4	1506,5	6,0	6,4	599,5
14	42		2769,3	1104,4	3	7,1	1170,1	5,0	7,1	777,8

Fonte: Autora (2023).

Apêndice F – Análise granulométrica do Furo 1 em profundidade da ADMRS de Amajari/RR.

Profundidade (cm)	Granulometria								Total
	4mm	2mm	1mm	500um	250um	125um	63um		
0 – 10	26,0	14,2	16,1	16,1	16,0	7,4	4,00		99,8
10 – 20	14,5	18,2	21,7	19,1	13,3	9,1	3,9		99,8
20 – 30	14,0	19,0	22,4	18,4	13,3	7,9	4,9		99,9
30 – 40	24,7	13,3	18,8	21,1	14,1	4	2,6		98,6
40 – 50	17,2	12,4	19,3	20,3	18,7	6,8	4,4		99,1
50 – 60	16,7	15,7	22,5	21,9	16,4	4,2	2,2		99,6

Fonte: Autora (2023).

Apêndice G – Análise granulométrica do Furo 2 em profundidade da ADMRS de Amajari/RR.

Profundidade (cm)	Granulometria								Total
	4mm	2mm	1mm	500um	250um	125um	63um		
0 – 10	10,6	19,8	23,5	18,1	13,7	8,8	5,3		99,8
10 – 20	10,6	19,7	24,2	18,9	12,5	7,8	5,5		99,2
20 – 30	16,0	22,2	24,3	16,7	10,4	6,1	4,0		99,7

Fonte: Autora (2023).

Apêndice H – Análise granulométrica do Furo 3 em profundidade da ADMRS de Amajari/RR.

Profundidade (cm)	Granulometria							
	4mm	2mm	1mm	500um	250um	125um	63um	Total
0 – 10	9,2	7,2	12	32,2	24,1	12	1,50	98,2
10 – 20	9,4	7,4	15,4	37,8	18,7	7,7	1,80	98,2
20 – 30	8,0	6,9	13,5	25,0	20,8	16,7	6,70	97,6
30 – 40	7,6	9,8	16	35,7	22,8	5,7	1,00	98,6
40 – 50	4,7	7,8	13,8	25,6	22,7	19,8	3,8	98,2
50 – 60	5,3	8,1	13,3	26,8	22,9	19,4	3,1	98,9

Fonte: Autora (2023).

Apêndice I – Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 1 da ADMRS de Mucajaí, com coordenadas geográficas de 2°26'21"N 60°56'33"W.

n°	AB/2 (m)	MN (m)				ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a (Ω .m)	ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a (Ω .m)
		0,5	2	5	20						
1	1	5,9				316,0	15,8	117,8			
2	1,3	10,2				316,0	13,5	239,5			
3	1,8	20,0				319,0	19,1	333,4			
4	2,4	35,8				318,0	16,3	698,4			
5	3,2	64,0				318,0	11,1	1832,1			
6	4,2	110,4				246,0	13,8	1968,7			
7	5,5	189,7	46,0			178,6	14,7	558,3	834,0	14,3	
8	7,5	353,0	86,8			91,4	12,7	624,6	351,0	13	
9	10	627,9	155,5			25,7	7,5	532,9	107,4	7,4	
10	13	1061,5	263,9			15,4	8,4	483,8	65,8	7,7	
11	18	2035,4	507,4			9,7	9,7	507,4	42,0	7,2	
12	24	3618,7	903,2			5,8	7,3	717,6	24,8	7,6	
13	32		1606,9	639,5		10,3	4,8	1372,2	21,7	5,2	
14	42		2769,3	1104,4		5,1	5,1	1104,4	28,0	6,0	
15	55		4750,1	1896,7		1,00	3,0	632,2	9,9	3,0	
16	75		8834,2	3530,4		2,7	3,4	2803,6	93,1	65,8	
17	100			6279,3	1555,1	42,1	168,5	1568,9	10,6	15,8	
18	130			10615,0	2638,9	33,4	47,8	7417,2	21,9	46,9	
19	180			20354,0	5073,7	41,00	176,4	4730,8	165,2	172,7	

Fonte: Autora (2023).

Apêndice J – Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 2 da ADMRS de Mucajaí, com coordenadas geográficas de 2°26'49"N 60°56'24"W.

n°	AB/2 (m)	MN (m)			ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)	ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)
		0,5	2	5						
1	1	5,9			208,0	10,6	115,6			
2	1,3	10,2			1435,5	9,5	1545,8			
3	1,8	20,0			149,2	6,7	444,5			
4	2,4	35,8			131,5	8,2	574,1			
5	3,2	64,0			97,5	12,6	494,9			
6	4,2	110,4			37,5	9,6	431,4			
7	5,5	189,7	46,0		40,3	8,4	220,5	86,7	8,5	468,7
8	7,5	353,0	86,8		67,9	7,5	785,7	763,0	7,5	8829,4
9	10	627,9	155,5		58,6	6,2	1469,8	23,6	6,4	573,4
10	13	1061,5	263,9		19,8	4,3	1215,1	77,3	4,3	4743,9
11	18	2035,4	507,4		6,7	4,6	739,0	24,8	4,6	2735,4
12	24	3618,7	903,2		9,4	16,2	524,1	46,6	16,1	2614,3
13	32		1606,9	639,5	11,9	14,8	514,2	36,9	14,9	1583,7
14	42		2769,3	1104,4	22,1	12,9	1892,1	39,0	22,2	1940,2
15	55		4750,1	1896,7	2,00	10,4	364,8	20,0	27,4	1384,5

Fonte: Autora (2023).

Apêndice K – Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 3 da ADMRS de Mucajaí, com coordenadas geográficas de 2°2'35"N 60°56'39"W.

n°	AB/2 (m)	MN (m)			ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)	ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)
		0,5	2							
1	1	5,9			865,0	77,4	65,8			
2	1,3	10,2			268,0	31,6	86,8			
3	1,8	20,0			315,0	49,6	126,8			
4	2,4	35,8			160,8	47,0	122,5			
5	3,2	64,0			92,8	41,5	143,0			
6	4,2	110,4			35,9	57,1	69,4			
7	5,5	189,7	46,0		25,5	37,5	129,0	63,5	37,1	78,6
8	7,5	353,0	86,8		24,2	47,4	180,2	70,1	47,4	128,4
9	10	627,9	155,5		11,8	40,8	181,6	59,4	42,6	216,8
10	13	1061,5	263,9		10,1	49,2	217,9	45,3	49,4	242,0
11	18	2035,4	507,4		5,4	37,0	297,1	25,7	36,3	359,2
12	24	3618,7	903,2		2,7	25,3	386,2	13,5	25,3	482,0

Fonte: Autora (2023).

Apêndice L – Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 4 da ADMRS de Mucajaí, com coordenadas geográficas de 2°26'17"N 60°56'37"W.

n°	AB/2 (m)	MN (m)					ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)	ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)
		0,5	2	5	20	50						
1	1	5,9					435,0	18,9	135,6			
2	1,3	10,2					215,0	17,2	127,9			
3	1,8	20,0					455,0	20,6	440,9			
4	2,4	35,8					966,0	21,8	1586,4			
5	3,2	64,0					995,0	38,6	1648,5			
6	4,2	110,4					200,0	12,2	1810,5			
7	5,5	189,7	46,0				257,0	18,2	2678,3	814,0	184	203,3
8	7,5	353,0	86,8				162,4	13,9	4124,7	330,0	14,2	2017,0
9	10	627,9	155,5				198,0	24,0	5180,4	34,7	24,6	219,4
10	13	1061,5	263,9				189,5	42,3	4755,3	395,0	43,9	2374,4
11	18	2035,4	507,4				125,6	26,5	9646,8	251,0	46,8	2721,2
12	24	3618,7	903,2				161,3	32,0	18240,6	93,0	32,9	2553,1
13	32		1606,9	639,5			39,5	27,5	2308,1	109,8	28,1	2498,7
14	42		2769,3	1104,4			42,6	47,6	2478,4	99,3	47,2	2323,5
15	55		4750,1	1896,7			34,00	63,0	2563,5	73,3	63,3	2196,4
16	75		8834,2	3530,4			11,7	27,1	3814,0	19,5	278	247,6
17	100			6279,3	1555,1		21,7	42,5	3206,1	92,1	45	3182,8
18	130			10615,0	2638,9		25,1	94,1	2831,4	94,8	93,8	2667,0
19	180			20354,0	5073,70		14,30	62,5	4657,0	58,0	61,9	4754,0
20	240			36187,0	9032,1		2,3	35,3	2357,8	12,7	35,5	3231,2
21	320				16069	6394,7	3,9	14	4476,4	42,53	42,53	6394,7

Fonte: Autora (2023).

Apêndice M – Análise granulométrica do Furo 1 em profundidade da ADMRS de Mucajaí/RR.

Profundidade (cm)	Granulometria							
	4mm	2mm	1mm	500um	250um	125um	63um	Total
0 – 10	9,3	25,6	32,4	18,2	6,8	5,0	1,7	99,0
10 – 20	1,9	21,6	25,2	18,0	10,8	7,6	5,3	90,4
20 – 30	15,6	18,6	24,0	17,2	11,6	7,4	5,2	99,6
30 – 40	11,5	24,2	31,9	18,8	7,3	4,3	1,6	99,6
40 – 50	10,7	22,1	31,6	19,3	8,9	3,9	2,2	98,7
50 – 60	9,4	18,7	30,9	19,0	10,6	6,0	5,0	99,6
60 – 70	13,6	22,2	26,1	18,3	10,8	6,5	1,1	98,6

Fonte: Autora (2023).

Apêndice N – Análise granulométrica do Furo 2 em profundidade da ADMRS de Mucajaí/RR.

Profundidade (cm)	Granulometria							
	4mm	2mm	1mm	500um	250um	125um	63um	Total
0 – 10	7,0	20,1	38,4	22,5	8,1	1,8	0,9	98,8
10 – 20	9,5	22,4	29,3	20,4	12,2	4,3	1,7	99,8

Fonte: Autora (2023).

Apêndice O – Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 1 da ADMRS de Iracema, com coordenadas geográficas de 2°11'24,3"N 61°02'14,7"W.

n°	AB/2		MN (m)			ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)	ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)
	(m)	0,5	2	5							
1	1	5,89				16,0	6,1	15,4			
2	1,3	10,23				15,3	5,8	27,0			
3	1,8	19,96				16,7	6,0	55,6			
4	2,4	35,80				17,7	4,7	134,8			
5	3,2	63,95				137,5	4,7	1870,9			
6	4,2	110,44				44,1	6,6	737,9			
7	5,5	189,67	45,95			56,1	5,4	1970,5	285	5,3	2470,9
8	7,5	353,04	86,79			17,4	3,4	1806,7	84,4	3,1	2362,9
9	10	627,93	155,51			13,3	5,7	1465,2	63,1	5,6	1752,3
10	13	1061,47	263,89			8,3	6,5	1355,4	38,7	6,4	1595,7
11	18	2035,36	507,37			6,0	9,5	1285,5	28	9,9	1435,0
12	24	3618,72	903,21	357,98		1,8	6,8	957,9	8,3	6,7	1118,9
13	32		1606,92	639,47		2,2	4,2	841,7	168	156,4	1726,1
14	42		2769,31	1104,43							
15	55		4750,09	1896,74							

Fonte: Autora (2023).

Apêndice P – Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 2 da ADMRS de Iracema, com coordenadas geográficas de 2°11'26,6"N 61°02'17,3"W.

n°	AB/2		MN (m)			ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)	ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a ($\Omega.m$)
	(m)	0,5	2	5							
1	1	5,9				706,0	6,1	681,7			
2	1,3	10,2				426,0	6,0	726,3			
3	1,8	20,0				285,0	6,5	875,2			
4	2,4	35,8				1624,0	7,4	7856,6			
5	3,2	64,0				1084,0	8,4	8252,6			
6	4,2	110,4				52,2	7,6	758,5			
7	5,5	189,7	46,0			28,5	6,3	858,0	114,5	6,6	797,2
8	7,5	353,0	86,8			20,2	6,8	1048,7	77,5	6,8	989,2
9	10	627,9	155,5			12,8	7,1	1132,0	48,3	7,3	1028,9
10	13	1061,5	263,9			5,5	5,8	1006,6	24,4	5,6	1149,8
11	18	2035,4	507,4			3,3	5,4	1243,8	12,9	5,2	1258,7
12	24	3618,7	903,2	358,0		25,8	81,4	1147,0	94,5	81,8	1043,4
13	32		1606,9	639,5		74,5	127,1	941,9	158,5	127,3	796,2
14	42		2769,3	1104,4		31,5	72,4	1204,9	62,8	92,5	749,8
15	55		4750,1	1896,7					3,6	7,2	948,4

Fonte: Autora (2023).

Apêndice Q - Ficha de campo da Sondagem Elétrica Vertical 3 da ADMRS de Iracema, com coordenadas geográficas de 2°11'20,1"N 61°2'16,5"W.

n°	AB/2 (m)	MN (m)			ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a (Ω .m)	ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a (Ω .m)
		0,5	2	5						
1	1	5,9			54,4	4,5	71,2			
2	1,3	10,2			63,8	3,3	197,6			
3	1,8	20,0			40,5	2,5	323,4			
4	2,4	35,8			155,9	3,7	1508,4			
5	3,2	64,0			34,8	3,8	585,6			
6	4,2	110,4			44,0	3,8	1278,8			
7	5,5	189,7	46,0		21,1	3,8	1053,2	93,0	3,2	1335,4
8	7,5	353,0	86,8		14,0	3,6	1372,9	57,6	3,7	1351,1
9	10	627,9	155,5		8,3	4,0	1303,0	3,3	3,9	131,6
10	13	1061,5	263,9		5,6	4,9	1213,1	22,2	4,7	1246,5
11	18	2035,4	507,4		2,0	3,3	1233,6	7,9	3,3	1214,6
12	24	3618,7	903,2	358,0	1,5	4,5	1206,2	5,4	4,8	1016,1
13	32		1606,9	639,5	4,8	8,3	929,3	12,2	8,4	928,8
14	42		2769,3	1104,4	2,5	8,8	786,7	6,7	8,2	902,4
15	55		4750,1	1896,7	1,4	7,1	936,637	3,8	7,0	1029,7

Fonte: Autora (2023).

Apêndice R – Análise granulométrica do Furo 1 em profundidade da ADMRS de Iracema/RR.

Profundidade (cm)	Granulometria							
	4mm	2mm	1mm	500um	250um	125um	63um	Total
0 – 10	7,2	15,3	31,0	23,4	11,8	7,3	2,4	98,4
10 – 20	5,0	14,9	30,0	23,9	15,1	6,8	3,9	99,6
20 – 30	13,7	7,6	31,4	21,5	15,9	6,0	1,1	97,2
30 – 40	7,2	15,3	31,0	23,4	11,8	7,3	2,4	98,4
40 – 50	7,2	14,5	33,4	27,2	10,6	3,2	3,1	99,2

Fonte: Autora (2023).