

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

PÂMELA CRISTINA AZARIAS

**INVESTIGAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO NOS ARREDORES DE UM LIXÃO EM
SÃO JOSÉ DO NORTE - RS**

Porto Alegre, 2022

PÂMELA CRISTINA AZARIAS

**INVESTIGAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO NOS ARREDORES DE UM LIXÃO EM
SÃO JOSÉ DO NORTE- RS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia, do Instituto de Geociências na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático III, como requisito parcial para obtenção do grau de Geóloga.

Orientadores:

Prof. Dr. Eduardo G. Barboza

Prof^a. Dr^a. Maria Luiza Correa da Camara
Rosa

Porto Alegre, 2022

CIP - Catalogação na Publicação

Azarias, Pâmela Cristina
INVESTIGAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO NOS ARREDORES DE UM
LIXÃO EM SÃO JOSÉ DO NORTE- RS / Pâmela Cristina
Azarias. -- 2022.
72 f.
Orientadores: Eduardo Guimarães Barboza, Maria
Luiza Correa da Camara Rosa.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,
BR-RS, 2022.

1. Geologia. 2. Georadar. 3. VANT. 4. Lixão. I.
Guimarães Barboza, Eduardo, orient. II. Correa da
Camara Rosa, Maria Luiza, orient. III. Título.

PÂMELA CRISTINA AZARIAS

**INVESTIGAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO NOS ARREDORES DE UM LIXÃO EM
SÃO JOSÉ DO NORTE- RS**

A comissão examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título Bacharel em Geologia.

Porto Alegre, 24 de agosto de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Norberto Dani

Prof(a). Dr^a. Rita De Cassia Marques Alves

Prof. Dr. Antônio Pedro Viero

RESUMO

O presente estudo trata de uma investigação ambiental acerca da ocorrência de contaminantes nos arredores do lixão municipal de São José do Norte-Rio Grande do Sul. A investigação foi motivada pela observação na atenuação de sinal em dados de georadar coletados no local em 2011 pela equipe de pesquisadores Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica/IGEO/UFRGS. A partir desta observação, levantou-se a hipótese de que a causa dessa atenuação seria ocasionada pela penetração de chorume, proveniente do lixão, em subsuperfície. Esse resíduo ao se infiltrar em subsuperfície aumenta o teor de íons livres no ambiente, o que em dados de georadar aparece como anomalias de baixa resistividade, decorrentes da atenuação de sinal. Com base nessa premissa, o objetivo dessa monografia é determinar se essa atenuação é ocasionada por contaminantes provenientes do lixão, essa hipótese foi trabalhada através da junção dos dados de georadar, VANT e levantamento histórico do lixão. A metodologia aplicada se dividiu em: pré campo, onde ocorreu a revisão bibliográfica e a avaliação preliminar; campo onde dados aéreos de VANT e de georadar foram coletados, e pós campo onde ocorreu o processamento e a interpretação dos dados.

A atenuação apresentou dois padrões, refletores semitransparentes contínuos e obliteração de sinal. Os dados constataram que ela se origina no lixão, onde a mesma ocorre em subsuperfície e vai se aprofundando conforme se distancia da área fonte, ocorrendo de maneira mais expressiva e contínua dos 15 aos 27 m de profundidade, oscilando pontualmente. Ao compararmos os dados de 2011 com os de 2021 verificou-se que a contaminação aumentou e se espalhou. Através dos dados aéreos de VANT, constatou-se que o lixão se encontra operante. Portanto, corroborou-se a hipótese de que a pluma é decorrente de sua atividade.

O trabalho evidenciou a eficiência dos métodos para investigação confirmatória em estudos ambientais. Recomenda-se a realização coleta de amostras de subsuperfície, para análises e classificar quimicamente a pluma de contaminação.

Palavras-Chave: Georadar. VANT. Pluma.

Abstract

The present study is an environmental investigation on the occurrence of contaminants in the surroundings of the municipal dump of São José do Norte- Rio Grande do Sul. The investigation was motivated by the observation of signal attenuation in Ground Penetrating Radar data collected at the site in 2011 by the research team Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica/IGEO/UFRGS. From this observation, it was hypothesized that the cause of the attenuation would be the penetration of leachate, coming from the dump, into the subsurface. This residue, when infiltrating into the subsurface, increases the content of free ions in the environment, which in Ground Penetrating Radar data appears as low resistivity anomalies, resulting from signal attenuation. Based on this premise the objective of this monograph is to determine whether this attenuation is caused by contaminants from the dump. This hypothesis is worked by joining data from Ground Penetrating Radar, UAV, and historical survey of the location.

The methodology applied was divided into pre-field, where the literature review and preliminary evaluation took place; a field where UAV and Ground Penetrating Radar aerial data were collected, and post-field where data processing and interpretation took place.

Attenuation showed two patterns in the Ground Penetrating Radar data, continuous semi-transparent reflectors and signal obliteration. The data found that it originates in the dump, where it occurs in the subsurface and goes deeper as it moves away from the source area, occurring more expressively and continuously from 15 to 27 m depth, oscillating punctually. When comparing the data from 2011 with those from 2021, it was found that the contamination increased and spread. Through aerial data from UAV, it was found that the dump is operational. Therefore, the hypothesis that the plume is due to its activity was confirmed.

The work evidenced the efficiency of methods for confirmatory investigation in environmental studies. It is recommended that subsurface samples be collected for analysis and chemically classifying the contamination plume.

Keywords: Ground-penetrating radar. UAV. Plume.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Uso da água subterrânea em São José do Norte. Dados CPRM - SIAGAS, 2022.	21
Tabela 2 - Frequência central da antena correlacionada com a profundidade de penetração da onda eletromagnética. Modificada de GSSI (2021).	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Localização do Município de São José do Norte. Elaborado pela autora, 2022....	13
Figura 2 - Mapa de Zoneamento do Município de São José do Norte. Mostrando como a zona rural ocupa a maior parte do território do município. Elaborado pela autora com uso de banco de dados da CPRM, IBGE e SEBRAE, 2022.....	14
Figura 3 - Mapa de Localização da Área de Estudo, com a área do Lixão delimitada sobre a imagem de satélite do local. Elaborada pela autora, 2022.....	15
Figura 4 - (A) Mapa de localização das fotografias, (B), (C) e (D) fotografias mostrando pessoas na área do lixão em 30/11/2021. Elaborada pela autora, 2022.....	16
Figura 5 - Mapa potenciométrico da área em torno do lixão, mostrando o sentido de escoamento da água subterrânea no local de estudo. Modificado de Moraes (2015).....	20
Figura 6- Mapa de poços de SJN- RS. Elaborado pela autora, 2022.....	21
Figura 7- Mapa da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, o polígono em vermelho limita a área do Município de São José do Norte. Modificado de Tomazelli e Villwock, 1996.....	22
Figura 8 - Mapa Geológico de São José do Norte, mostrando os depósitos inconsolidados que se sobrepõem atualmente aos Sistemas Laguna Barreira III e IV. Elaborado pela autora, 2022.....	23
Figura 9 - Seção de georadar localizada no campo de dunas moveis de SJN próximo ao local de estudo deste trabalho. Modificado de Barboza et al. (2018).....	24
Figura 10 - Poços de monitoramento, os itens A e B correspondem respectivamente aos poços de monitoramento PM2 e PM1. Modificado de Ofício 2.084/2021 - Paes (2021).....	28
Figura 11 - Imagens de Satélite do local do lixão, mostrando como o local modificou seu aspecto natural ao longo do tempo, em decorrência do RSU descartado na área. Produzido pela autora com dados do Google Earth Pro, 2022.....	30
Figura 12- Bloco diagrama genérico mostrando o funcionamento de um georadar. Modificada de Daniels (2004).....	32
Figura 13- Radargrama coletado em mapeamento em zona urbana, mostrando interferências decorrentes de materiais enterrados em subsuperfície. Modificada de Paluha, 2017.....	34
Figura 14- Radargrama mostrando como o sinal do georadar se comporta em dados coletados sobre aterro controlado, onde a perda de sinal é decorrente do chorume penetrado em subsuperfície. Modificado de Lenz (2016).....	35
Figura 15 - Mapa da localização dos dados de georadar coletados em 2011 e 2022, assim como seu sentido de coleta. Elaborada pela autora, 2022.....	36
Figura 16 - Fotografia demonstrando como ocorreu a coleta dos dados. Banco de dados da autora.....	37
Figura 17 - Fluxograma do levantamento dos dados de VANT.....	39
Figura 18 - Mapa de localização dos pontos cotados.....	40
Figura 19 - Coleta do ponto cotado 1.....	40
Figura 20 - Coleta do ponto cotado 4.....	41
Figura 21 – VANT MAVIC PRO 2.....	42

Figura 22 - Interface do aplicativo DJI GO 4PIX4D, durante os voos programados. Em A) plano de voo com as configurações. Em B) e C) resultados obtidos.	43
Figura 23 - Radargrama Linha 03 E - L03E.	47
Figura 24 - Radargrama 02E.	48
Figura 25 - Radargrama 08N colado com a 04S	49
Figura 26 - Radargrama 05NE.	48
Figura 27 - Radargrama 06O.	48
Figura 28 - Radargrama 07S.	48
Figura 29 - Radargrama 09O.	49
Figura 30 – Radargrama 01NE2011.	51
Figura 31 - Radargrama 01NE.	51
Figura 32 – Ortomosaico obtido através do processamento das imagens individuais coletadas nos dois voos automatizados realizado pelo VANT. Produzida pela autora.	52
Figura 33 - Imagem área do local de descarte de resíduos sólidos, sendo este o mesmo local que aparece como área desmatada no quadrante noroeste nas imagens de satélite. Banco de dados de fotografias do VANT.	53
Figura 34 - Fotografia do momento de transbordo dos RSU coletados pelo município. Banco de dados de fotografias do VANT.	53
Figura 35 - Radargrama representativo de atenuação por rocha ígnea, 1B, sendo os pacotes superpostos sedimentares, arenosos e cascalhosos. Modificado de Santos Jr. 2019.	54
Figura 36 - Radargramas mostrando a atenuação de sinal decorrente da saturação em água do terreno. Modificada de Santos, 2016.	55
Figura 37 - Radargrama mostrando como o sinal é atenuado quando a causa é uma intrusão salina. Modificada de Aquino, 1998.	56
Figura 38 - Modelo de dispersão da contaminação.	58

LISTA DE ABREVIATURAS

01NE – Radargrama 01 NE
01NE2011 – Radargrama 01 NE 2011
02E – Radargrama 02 E
03E – Radargrama 03 E
04S – Radargrama 04 S
05NE – Radargrama NE
06O – Radargrama 06O
07S – Radargrama 07S
08S – Radargrama 08S
09O – Radargrama 09O
CECO - Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler
GNSS - Global Navigation Satellite System
LU - Licença Única
MDS - Modelos Digitais de Superfícies
MDT - Modelos Digitais de Terreno
MMA - Ministério do Meio Ambiente
PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos
SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrânea
SJN – São José do Norte
SOL - Sistema Online de Licenciamento Ambiental
UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

LISTA DE SÍMBOLOS

ϵ - Permissividade dielétricas

K - Coeficientes dielétricos

Ns - nanosegundos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.2. Local de Estudo	13
1.3. Objetivos	16
1.4. Justificativas.....	17
1.5. Investigação Ambiental	17
2. ESTADO DA ARTE.....	19
2.1. Hidrogeologia	19
2.1.1. <i>Uso da Água Subterrânea</i>	20
2.2. Geologia Regional	21
3. METODOLOGIA.....	25
3.1. Pré Campo.....	25
3.1.1. <i>Avaliação Preliminar</i>	25
3.2. Campo.....	31
3.2.1. <i>Georadar</i>	31
3.2.2. <i>Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT)</i>	37
3.3. Pós Campo	44
3.3.1. Processamento das seções de georadar	44
3.3.2. Processamento das imagens coletadas	44
3.3.2. Interpretação.....	45
4. RESULTADOS	46
4.1. Radargramas	46
4.1.1. <i>Radargrama 03E</i>	46
4.1.2. <i>Radargrama 02E</i>	47
4.1.3. <i>Radargrama 04S e 08N</i>	48
4.1.4. <i>Radargrama 05NE, 06O e 07S</i>	47

4.1.5. <i>Radargrama 09O</i>	49
4.1.6. <i>Radargrama 01NE2011 e 01NE</i>	49
4.2. <i>Imagens Aéreas</i>	52
5. DISCUSSÕES	54
6. CONCLUSÃO	59
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

1. INTRODUÇÃO

Em diversos países, os lixões e os aterros sanitários são as formas mais comuns de disposição de resíduos sólidos, que acarretam graves impactos para o meio ambiente e para a sociedade, como a contaminação da água e do solo, a emissão de gases de efeito estufa, a propagação de doenças. No Brasil, no intuito de reduzir os efeitos negativos gerados pelos lixões, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) estabeleceu a desativação de lixões a céu aberto por meio da Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, instituindo assim a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que expõe as diretrizes para o manejo adequado dos resíduos sólidos, como a sua disposição e tratamento, por exemplo.

A área de estudo, localizada em São José do Norte/RS - SJN (Figura 1), contextualiza-se nas premissas dessa Lei, por se tratar de um lixão a céu aberto, instalado sob campo de dunas, configurando risco à saúde pública e ao meio ambiente.

Em 2011, durante a coleta de dados de georadar, pela equipe de Docentes do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – CECO, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, com objetivo de estudar o padrão de empilhamento estratigráfico da região, observou-se que próximo ao lixão ocorria uma anomalia de baixa resistividade. Essa anomalia é marcada pela atenuação de sinal, que, conforme Aquino (2000), pode ser resultante da penetração de contaminantes em subsuperfície. Dessa forma, motivou-se a elaboração do presente estudo, a fim de confirmar essa hipótese.

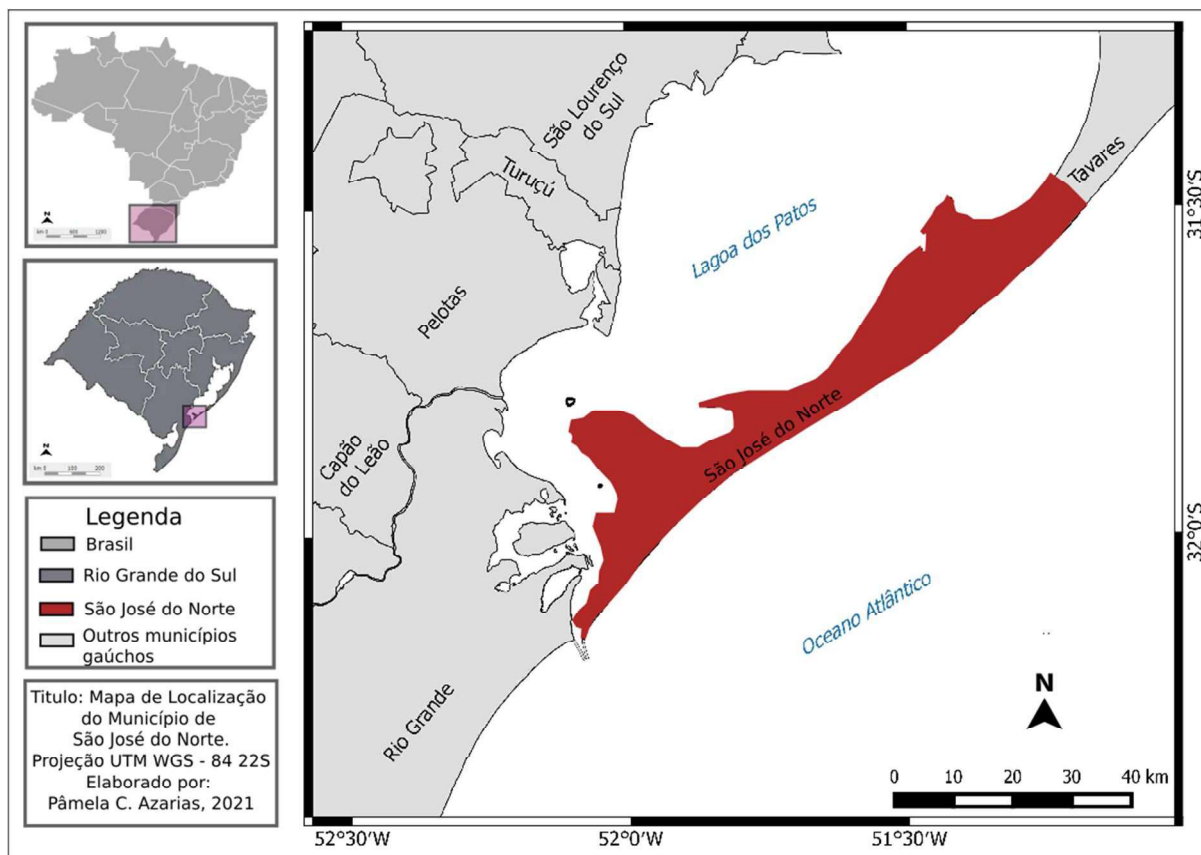


Figura 1 - Mapa de Localização do Município de São José do Norte. Elaborado pela autora, 2022.

1.2. Local de Estudo

O município de SJN está localizado no litoral médio riograndense, com uma área de 1.118,109 km² e uma população de 25.863 habitantes, as residências são distribuídas em 70% urbanas e 30% de domicílios rurais, como representado na Figura 2. (SEBRAE, 2020). No que tange ao abastecimento hídrico do município, cerca de 90% do abastecimento rural provém de fontes subterrâneas (PNSR, 2022), as quais são aplicadas principalmente para essa finalidade (SIAGAS, 2019).

De acordo com o Plano Estadual de Saneamento do Rio Grande do Sul, SJN se situa na bacia hídrica do litoral médio e apresenta, em sua maior extensão territorial, vulnerabilidade ambiental média (Tagliani, 2003). O campo de dunas da barreira costeira – contexto geológico no qual o município se insere (Tomazelli, 2000), estruturalmente formam aquíferos livres altamente permeáveis e porosos, com lençol freático próximo à superfície (a 1,70 m de profundidade), segundo Moraes (2015) e

Sabino (2019). Portanto, percebe-se que essas características contribuem para o elevado risco de contaminação da água subterrânea.

O lixão estudado está localizado no Bairro Rural Beco do Retiro (Figura 3), sendo rodeado por residências e eventuais plantações de cebola a menos de 1 km. O trânsito de pessoas e de animais nas dependências do lixão é comum (Figura 4), o que pode prejudicar a saúde desses indivíduos.

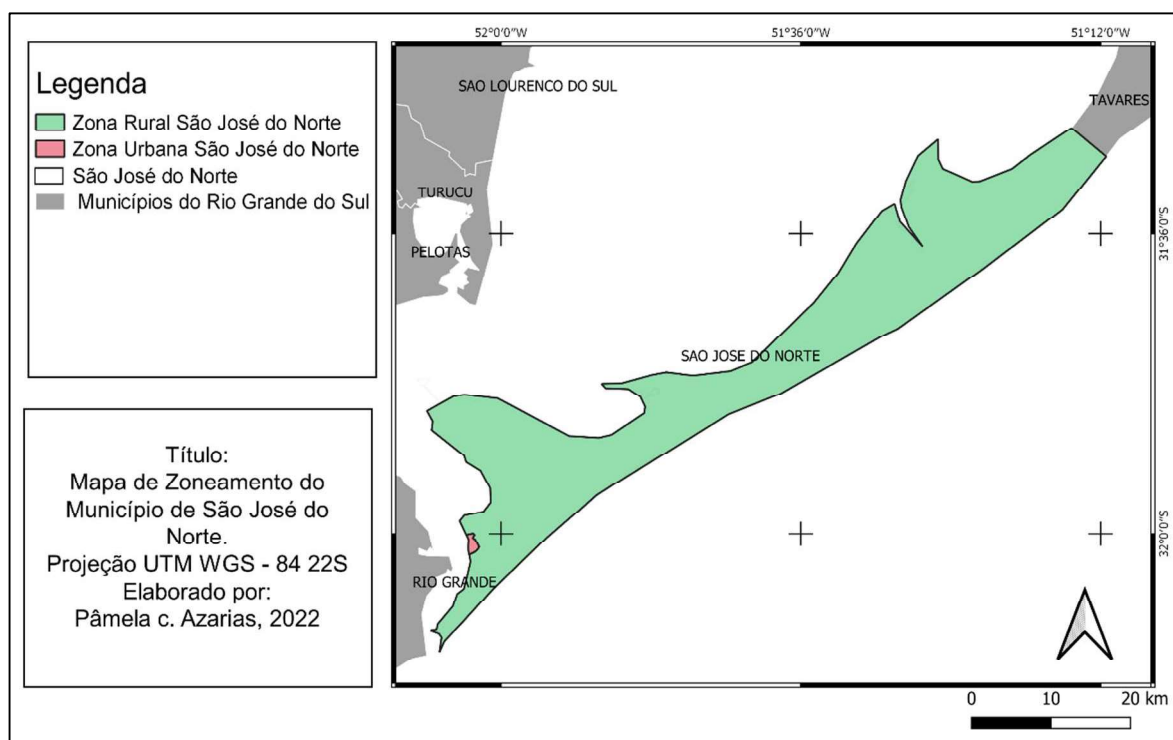


Figura 2 - Mapa de Zoneamento do Município de São José do Norte. Mostrando como a zona rural ocupa a maior parte do território do município. Elaborado pela autora com uso de banco de dados da CPRM, IBGE e SEBRAE, 2022.

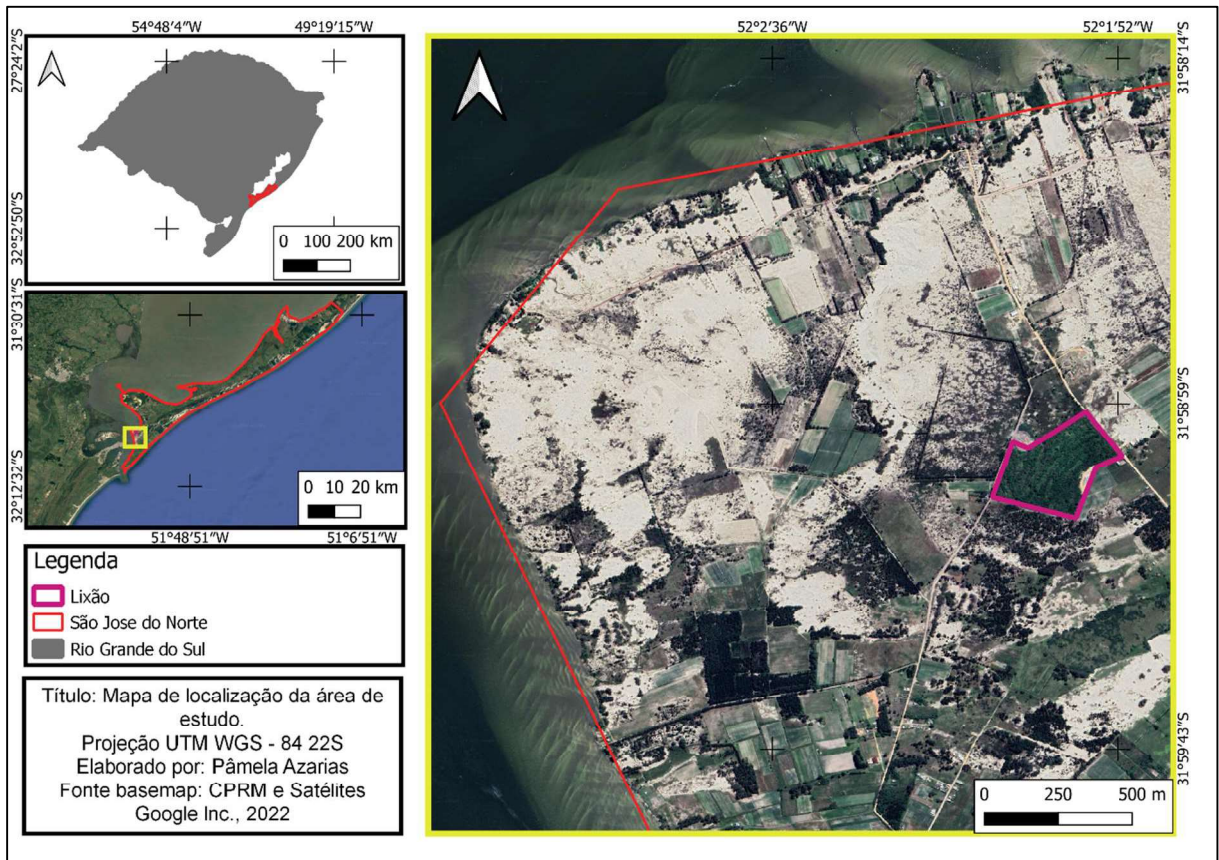


Figura 3 - Mapa de Localização da Área de Estudo, com a área do Lixão delimitada sobre a imagem de satélite do local. Elaborada pela autora, 2022.

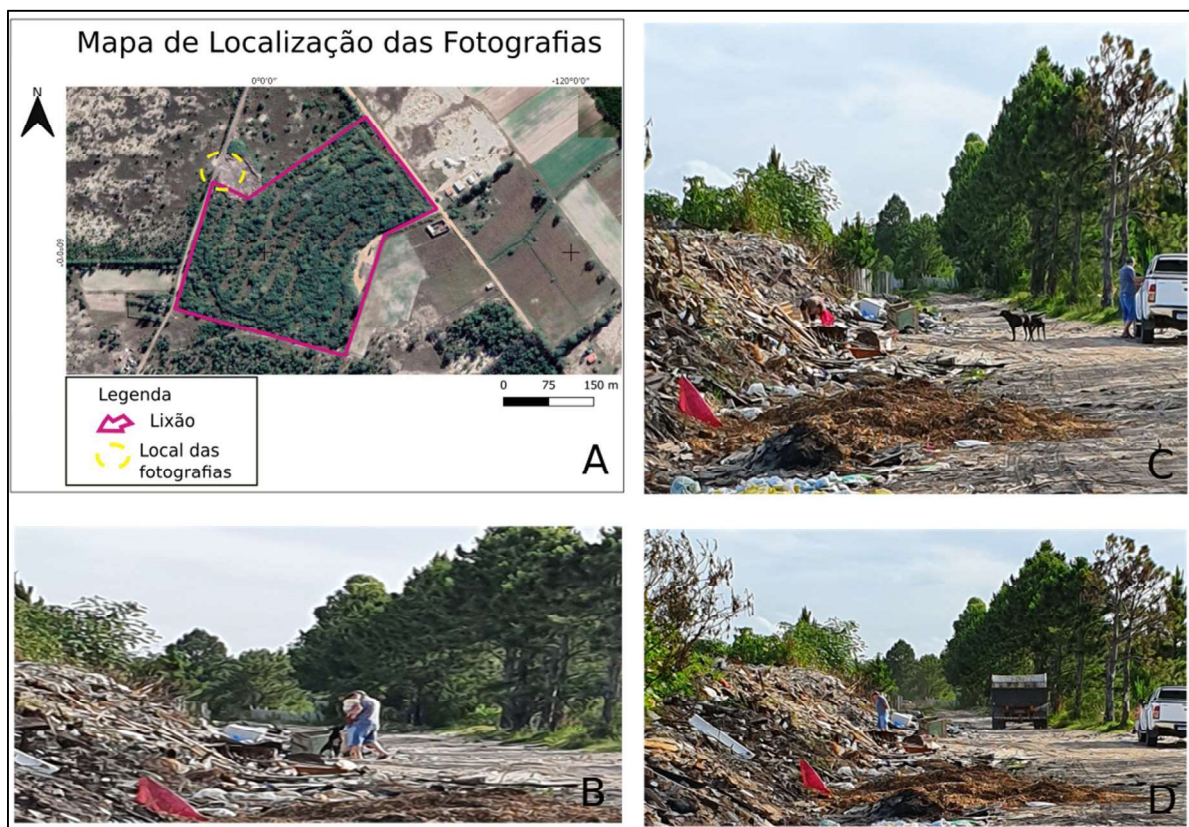


Figura 4 - (A) Mapa de localização das fotografias, (B), (C) e (D) fotografias mostrando pessoas na área do lixão em 30/11/2021. Elaborada pela autora, 2022.

1.3. Objetivos

O objetivo deste estudo consiste em avaliar a hipótese de que a atenuação de sinal visível no radargrama da aquisição de 2011 corresponde a uma contaminação originada do lixão; e se seria possível mapeá-la através do método georadar, assim como averiguar se o lixão continua ativo por meio de imagens aéreas.

Este trabalho também engloba três objetivos específicos, mencionados a seguir:

1. Delimitar a atenuação de sinal nos radargramas, procurando um padrão para avaliar se corresponde a uma pluma de contaminação.
2. Realizar a análise da evolução da contaminação desde 2011 até 2021, avaliando se ocorreu a expansão e a dispersão dela.
3. Constatar se o lixão se encontra em funcionamento por meio de imagens de satélite do Google Earth e de imagens aéreas coletadas por

veículo aéreo não tripulado (VANT).

1.4. Justificativas

É elevado o risco de contaminação da água subterrânea, que representa 90% das fontes de água para abastecimento rural em SJN (Censo - IBGE/Rural - PNSR, 2022).

Tendo em vista que a contaminação do reservatório de águas subterrâneas pode limitar o uso do solo, ocasionando danos à saúde das pessoas e dos ecossistemas. Ao entrarem em contato com essas substâncias, seres vivos, bebendo da água contaminada ou ao se alimentarem com alimentos cultivados com ela, acabam desenvolvendo doenças que em sua maioria se manifestam no longo prazo, camuflando a culpa dos contaminantes da região (CETESB, 2001).

Visando reduzir o impacto ambiental decorrente da disposição de resíduos, é imprescindível a realização de uma investigação ambiental, para aferir a ocorrência de contaminantes no local, assim possibilitando a segurança da população que reside próximo ao lixão e ou consuma produtos produzidos nas redondezas do mesmo.

1.5. Investigação Ambiental

A investigação ambiental é condicionada pela metodologia instituída pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Resolução nº 420 de 2009, que trata do gerenciamento de áreas contaminadas, subdividindo as etapas de investigação ambiental em quatro, sendo elas:

- **Avaliação Preliminar:** levantamento histórico do local, visando encontrar evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação na área.
- **Investigação Confirmatória:** realização de estudos a fim de comprovar a ocorrência de contaminantes.
- **Investigação Detalhada:** devem ser avaliadas as características da fonte de contaminação e do meio afetado, determinando-se as dimensões da área afetada, dos tipos e concentrações dos contaminantes presentes e da pluma

de contaminação, propondo-se a obter dados suficientes para realização da avaliação de risco e projeto de recuperação.

- Avaliação de Risco: são averiguação dos riscos potenciais que a alteração da água, solo ou ar, podem acarretar à saúde humana e de outros seres vivos.

Neste contexto, o presente trabalho abrange as etapas de Investigação Preliminar e Investigação Confirmatória através do método geofísico georadar.

2. ESTADO DA ARTE

A construção da base teórica desta monografia deu-se por meio de extensa e aprofundada pesquisa bibliográfica acerca de aspectos hidrológicos e geológicos da área de estudo, sobre a qual se discorre neste capítulo.

2.1. Hidrogeologia

O Município de SJN pertence à Região Hidrográfica do Litoral Médio, que contém o Complexo Lagunar dos Patos, com aproximadamente 10.360 km² de superfície, responsável pela drenagem de 30% da área do estado do Rio Grande do Sul através da Bacia do Guaíba. Juntamente com o município de Rio Grande, delimitam a Barra do Rio Grande, onde a Lagoa dos Patos se conecta ao oceano (CPRM, 2021).

Ocorrem ainda arroios, localizados próximos à área urbana, originados nos banhados das cavas dos cordões litorâneos, não sendo muito expressivos em volume de água ou extensão dentro do território do município (Moraes, 2015).

A área do município está inserida no Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I, que compreende todos os aquíferos associados aos sedimentos da planície costeira do Rio Grande do Sul. Esse aquífero é composto por uma sucessão de camadas arenosas inconsolidadas de granulometria fina a média, esbranquiçadas, intercaladas com camadas siltico-arenosas e argilosas.

As capacidades específicas nesse aquífero em geral são altas, ultrapassando 4 m³/h/m. As salinidades são inferiores a 400 mg/L e eventualmente são encontradas águas cloretadas com maior teor salino, de acordo com CPRM (2021), o que justifica o elevado uso da água subterrânea. Sendo esse uso de 11% na região urbana e 90% na região rural (Censo-IBGE/Rural - PNSR, 2021).

O nível do lençol freático em SJN varia entre 0,68 a 1,8 m de profundidade, sendo que na área do lixão, o nível está a 1,7 m e seu fluxo aponta no sentido da Lagoa dos Patos (Figura 5) (Moraes, 2015).

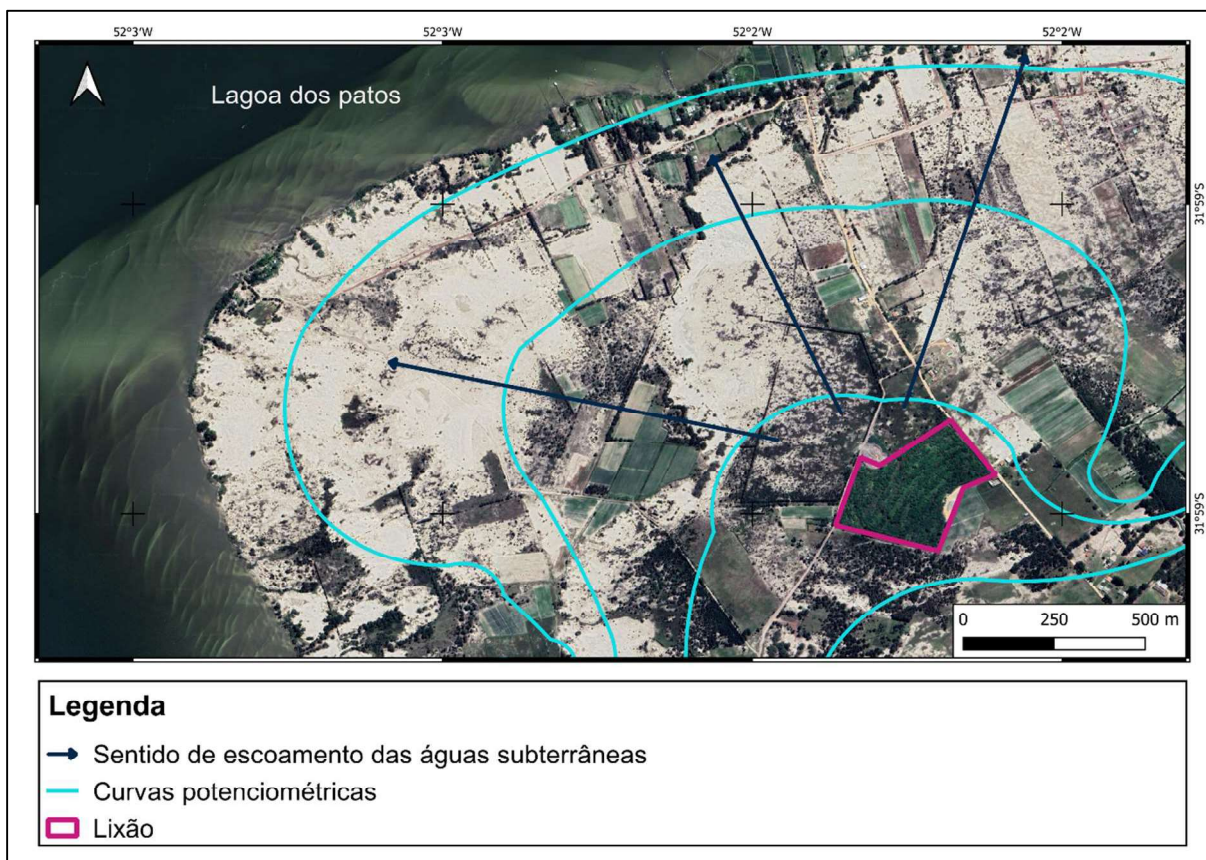


Figura 5 - Mapa potenciométrico da área em torno do lixão, mostrando o sentido de escoamento da água subterrânea no local de estudo. Modificado de Moraes (2015).

2.1.1. *Uso da Água Subterrânea*

Em São José do Norte, existem 51 poços cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), cujas localizações são mostradas na Figura 6. Esses poços são de tipos distintos e apresentam profundidades variáveis: 15 poços são do tipo ponteira, com profundidade inferior a 20 m, e 31 são do tipo tubular, atingindo profundidades maiores, sendo que o mais profundo tem 150 m (SIAGAS, 2022). O destino da água extraída também difere, e a Tabela 1 relaciona a natureza e a quantidade de poços ao uso da água subterrânea.

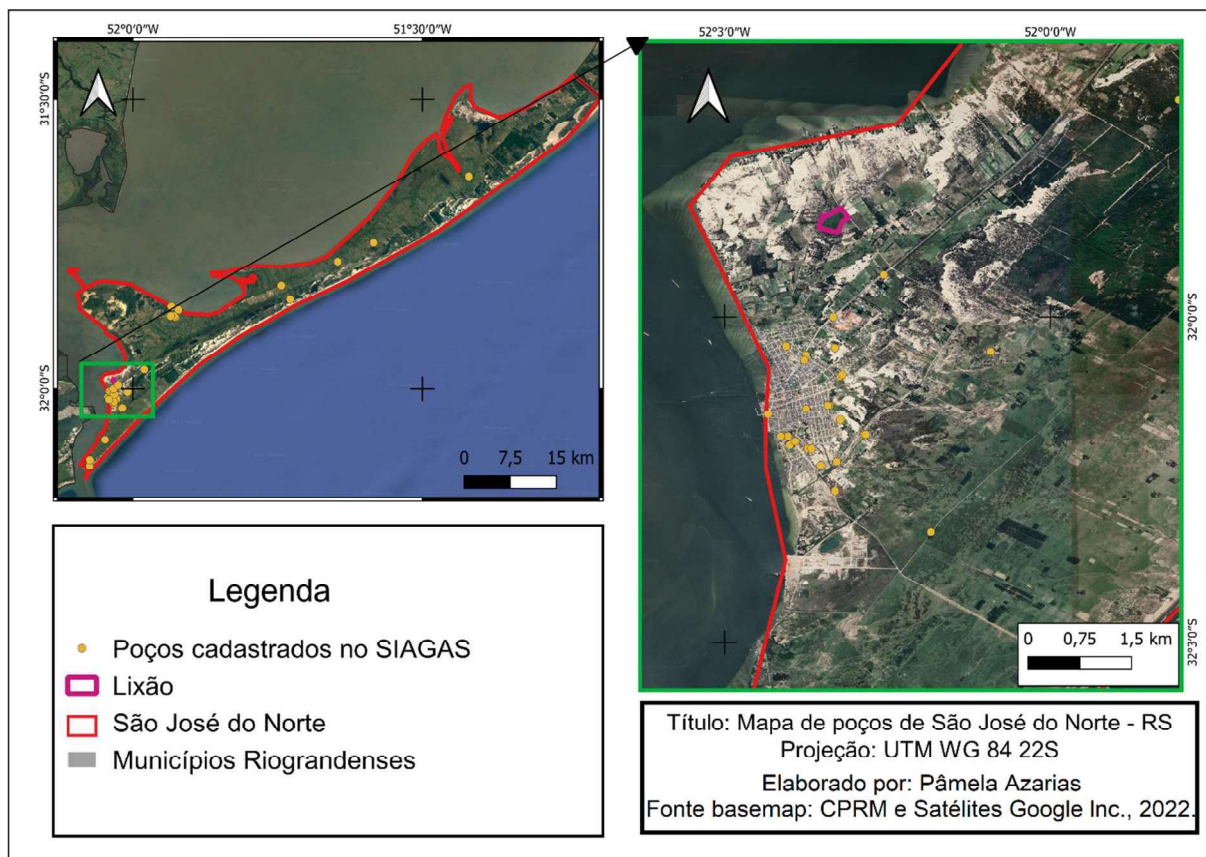


Figura 6- Mapa de poços de SJN- RS. Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 1- Uso da água subterrânea em São José do Norte. Dados CPRM - SIAGAS, 2022.

Natureza do poço	Quantidade	Uso da água
Ponteira	13	Abastecimento doméstico
	2	Irrigação
Tabular	5	Abastecimento doméstico
	4	Abastecimento urbano
	27	Não especificado

2.2. Geologia Regional

Geologicamente SJN foi construída sobre a Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Figura 7). A geologia da área corresponde a depósitos lagunares e eólicos pleistocênicos e holocênicos, pertencentes ao Sistema Laguna-Barreira III e IV, recoberto por vegetação de restinga (Fernandez *et al.*, 2019).

Sua formação se iniciou no terceiro evento transgressivo-regressivo que originou o Sistema Laguna-Barreira III, com início datado no Pleistoceno e se estendeu durante o Holoceno, formando depósitos de ambiente praiar, marinho raso e lagunar, responsável pela fase final de implantação da Lagoa dos Patos. Durante o Holoceno, sucedeu-se o mais recente evento transgressivo-regressivo, que originou o sistema Laguna-Barreira IV, composto por depósitos lagunares e eólicos, que se encontra ativo como campo de dunas móveis que migram sobre os depósitos lagunares (Tomazelli e Villwock, 2000).

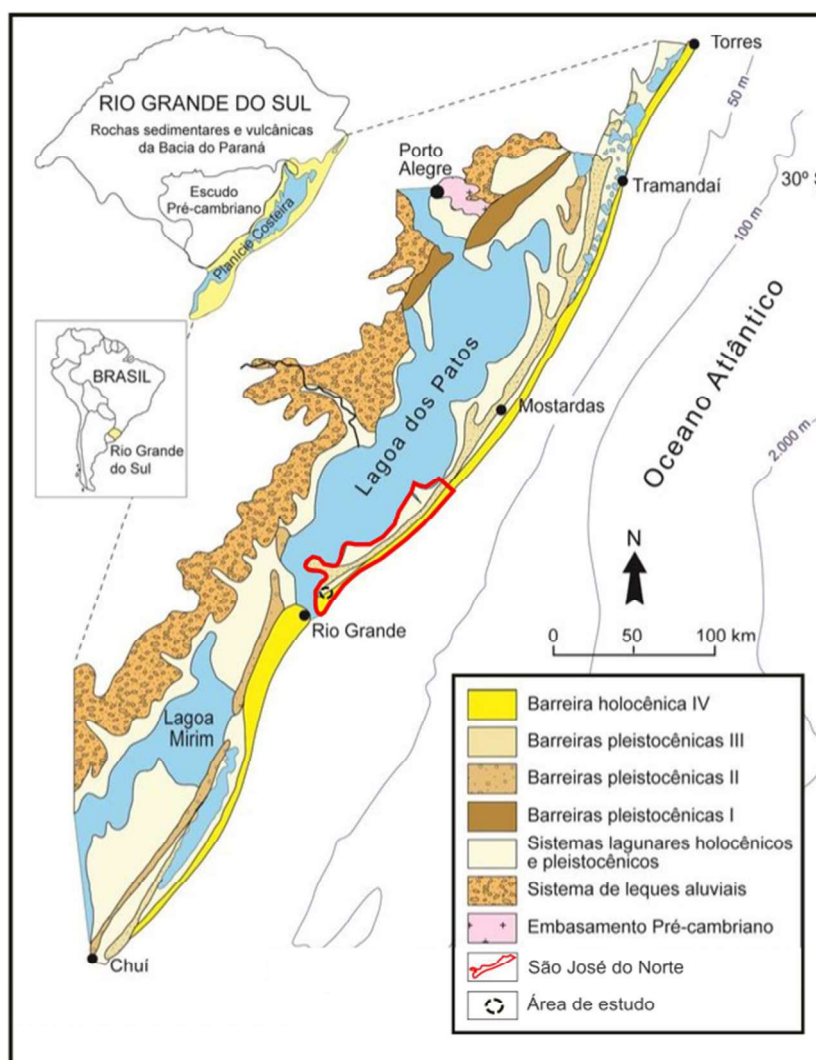


Figura 7- Mapa da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, o polígono em vermelho limita a área do Município de São José do Norte. Modificado de Tomazelli e Villwock, 1996.

SJN encontra-se sobre formações arenosas, quartzosas, com variação granulométrica de fina a muito fina, com alto grau de maturidade, correspondentes ao Sistema Laguna-Barreira IV e sobre depósitos inconsolidados de areia, cascalho, silte, argila e turfa, dos depósitos lagunares, retratado na Figura 8 (CPRM, 2009).

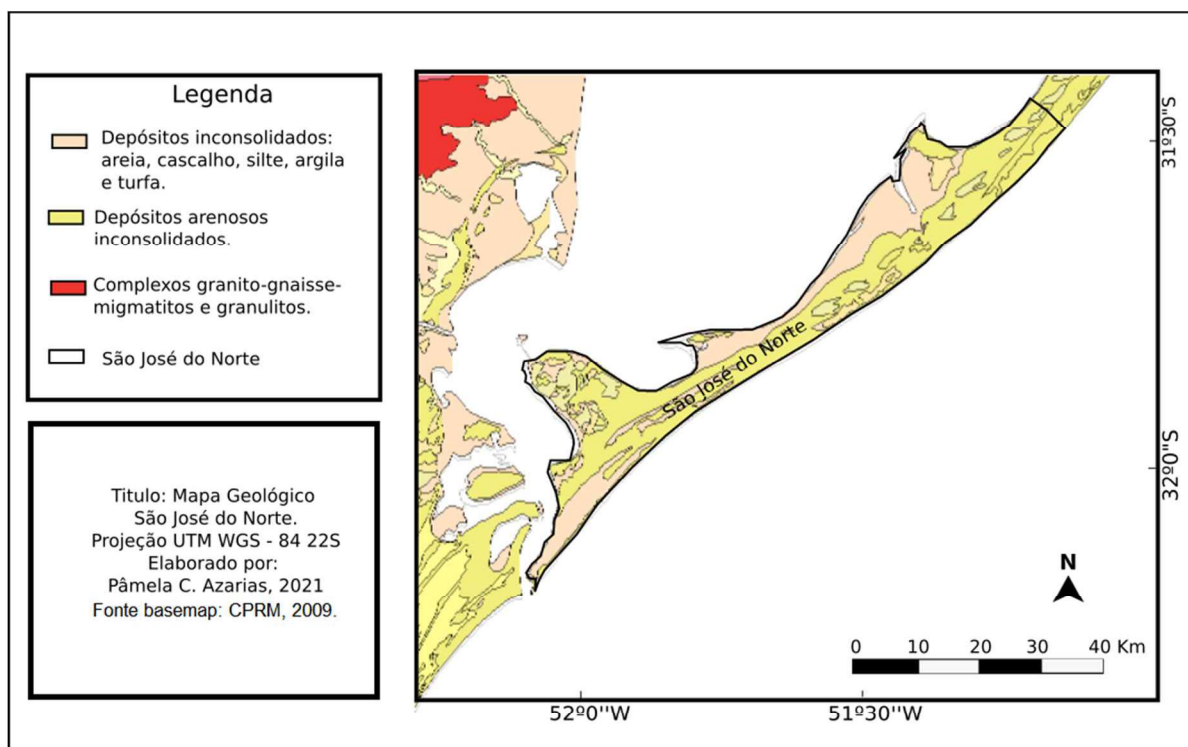


Figura 8 - Mapa Geológico de São José do Norte, mostrando os depósitos inconsolidados que se sobrepõem atualmente aos Sistemas Laguna Barreira III e IV. Elaborado pela autora, 2022.

Segundo dados de geofísicos de profundidade, SJN repousa sobre depósitos pleistocênicos e holocênicos, marcados por pacotes sedimentares inconsolidados (Barboza *et al.*, 2018). Os autores afirmam que esses depósitos podem ser distinguidos temporalmente pela inconformidade no padrão de empilhamento de retrogradacional/transgressivo para progradação/regressivo: o registro holocênico é registrado por cinco radarfácies, correspondentes aos ambientes lagunares, deltas lagunares, marinho raso e eólico (Fig. 9), enquanto o dos estratos pleistocênicos não foi determinado.

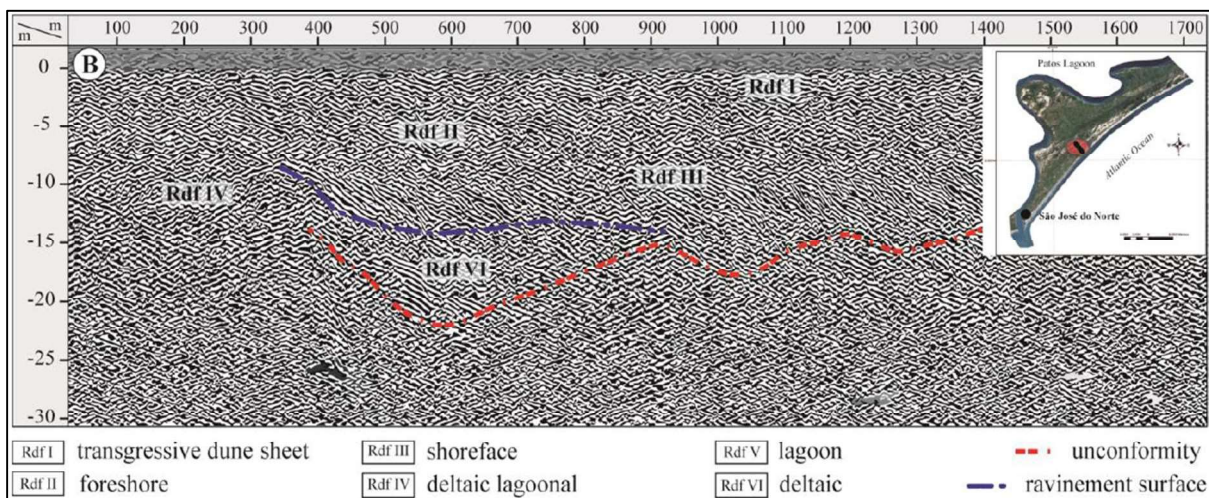


Figura 9 - Seção de georadar localizada no campo de dunas moveis de SJN próximo ao local de estudo deste trabalho. Modificado de Barboza *et al.* (2018).

3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido em três etapas: pré campo, campo e pós campo.

3.1. Pré Campo

A etapa pré-campo consistiu em adquirir-se um maior arcabouço acerca do local de estudo e dos métodos aplicados na pesquisa bibliográfica acerca das características geológicas e hidrológicas de São José do Norte, onde diversos estudos foram previamente realizados, e do funcionamento e das aplicações do método de georadar e de VANT em avaliações ambientais. A compilação dessas informações foi de extrema importância para compor um arcabouço teórico robusto e para promover o bom rendimento do trabalho de campo.

3.1.1. Avaliação Preliminar

A avaliação preliminar foi realizada nesta etapa onde através do levantamento histórico da área de estudo, para mapear a possível origem da contaminação registrada no radargrama em 2011, e portanto, investigada no presente estudo. De acordo com o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB (2011) esse levantamento é fundamental para o planejamento dos métodos empregados na investigação confirmatória.

O lixão estudado caracteriza-se como encerrado e em etapa de remediação ambiental. As informações proveitosas para a investigação preliminar foram levantadas em documentos de solicitação, monitoramento e pareceres técnicos vinculados à Licença de Operação (LO) nº 6283/2014 – localizada no arquivo físico na sede do órgão ambiental FEPAM. E a Licença Única (LU) nº 993/2021 – disponível no domínio público do site de Licenciamento Ambiental Online do Rio Grande do Sul (SOL).

A utilização da área de estudo para descarte de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) não possui seu início registrado nas informações fornecidas pela prefeitura municipal de SJN, sendo a documentação mais antiga acerca da realização dessa atividade, datada de outubro de 1999, em um auto de infração emitido pelo Ministério Público (MP).

O auto de infração se baseou na falta de impermeabilização inferior e superior assim como a inexistência de uma estação de tratamento para lixiviados provenientes da decomposição dos resíduos, sendo sua disposição realizada diretamente no solo, disposto em leiras distanciadas de 15 m de comprimento com altura de 1,8 m. Características que tornam o descarte de RSU de elevado risco de impacto ambiental, em decorrência do contato dos resíduos com águas pluviais, que intensificam a velocidade de decomposição dos mesmos em conjunto com a disposição diretamente no terreno e o não tratamento dos lixiviados formados, ocorre a facilitação da contaminação da área (CETESB, 2011).

O município então assumiu a responsabilidade legal pelo empreendimento e se comprometeu perante o MP a manter o descarte de RSU em uma área inferior a 10.000 m² e realizar o recobrimento do local e o tratamento de lixiviados.

Em 2011 após a promulgação da Lei nº 12.305/10 e instituição do PNRS, decretando a finalização dos empreendimentos compreendidos como lixões como o de SJN, a prefeitura iniciou o processo de regularização ambiental através da LO para converter o lixão em aterro controlado. Que foi indeferida em decorrência do local se manter sem impermeabilização inferior e superior e sem estação de tratamento de lixiviados. Estabelecendo que o empreendimento apenas poderia funcionar como estação de transbordo para que os RSU coletados na cidade fossem transferidos do veículo de coleta para o de transporte, para encaminhar os resíduos para um aterro fora dos limites municipais e devidamente licenciado.

Durante vistoria técnica realizada pela FEPAM em 2014, constatou-se que o lixão se mantinha em funcionamento, descumprindo o parecer técnico elaborado no indeferimento da LO em 2011, resultando novamente em um auto de infração acrescido por multa.

Durante 2021 a FEPAM elaborou uma diretriz técnica nº 003/2021 para auxiliar no processo de licenciamento e consequente remediação ambiental de áreas

suspeitas e contaminadas ou degradadas pela disposição de RSU de maneira irregular, através de uma Licença Única (LU). Onde foram estabelecidas condicionantes quanto ao:

1. Empreendimento,
2. À preservação e conservação ambiental,
3. Efluentes líquidos,
4. Resíduos sólidos,
5. Monitoramento
6. Ações de remediação
7. Publicidade da licença

Sendo pertinente para contextualização das discussões posteriores, elencar os seguintes artigos da LU:

“1.13 – não poderá haver a presença de catadores no empreendimento;

4.2 – é vetada a disposição de resíduos na área do empreendimento sem a devida autorização ou licenciamento do órgão ambiental;

6.1 - considerando as diretrizes da Resolução Conama nº 420/2009, a presente área foi declarada área Suspeita de Contaminação, devendo o empreendedor proceder com os demais procedimentos de investigação de áreas contaminadas conforme Diretriz Técnica FEPAM N.º 03/2021;

6.2 - deverá ser apresentado à FEPAM, no prazo de 90 (noventa) dias da emissão desta licença, relatório técnico de investigação confirmatória, de acordo com o item 6.2 da Diretriz Técnica FEPAM N.º 03/2021. “(LU nº 993/2021, FEPAM, Porto Alegre – RS)

As demais condicionantes do licenciamento constam no anexo 1. Segundo informado no andamento do processo no SOL, o empreendimento não realizou nenhum estudo acerca de atender o item 6.1 e 6.2 de confirmar a ocorrência de contaminação. Sendo o presente trabalho o primeiro estudo a atender essa demanda ambiental do local.

O local atualmente possui registrado oito (8) poços de monitoramento, construídos durante a solicitação de LO, contudo não foram realizadas nenhuma análise físico química através dos mesmos, e segundo parecer técnico elaborado pela

prefeitura em outubro de 2021, esses poços encontram-se inoperantes, cinco (05) não foram encontrados pelos responsáveis técnicos da prefeitura, dois (02) encontram-se quebrados e apenas um (01) foi encontrado em aparentemente bom estado, embora desprovido de tampa (Figura 10). Impossibilitando a realização dos testes, até a construção de novos poços de monitoramento ou projeto de revitalização dos poços localizados (Paes, 2021).

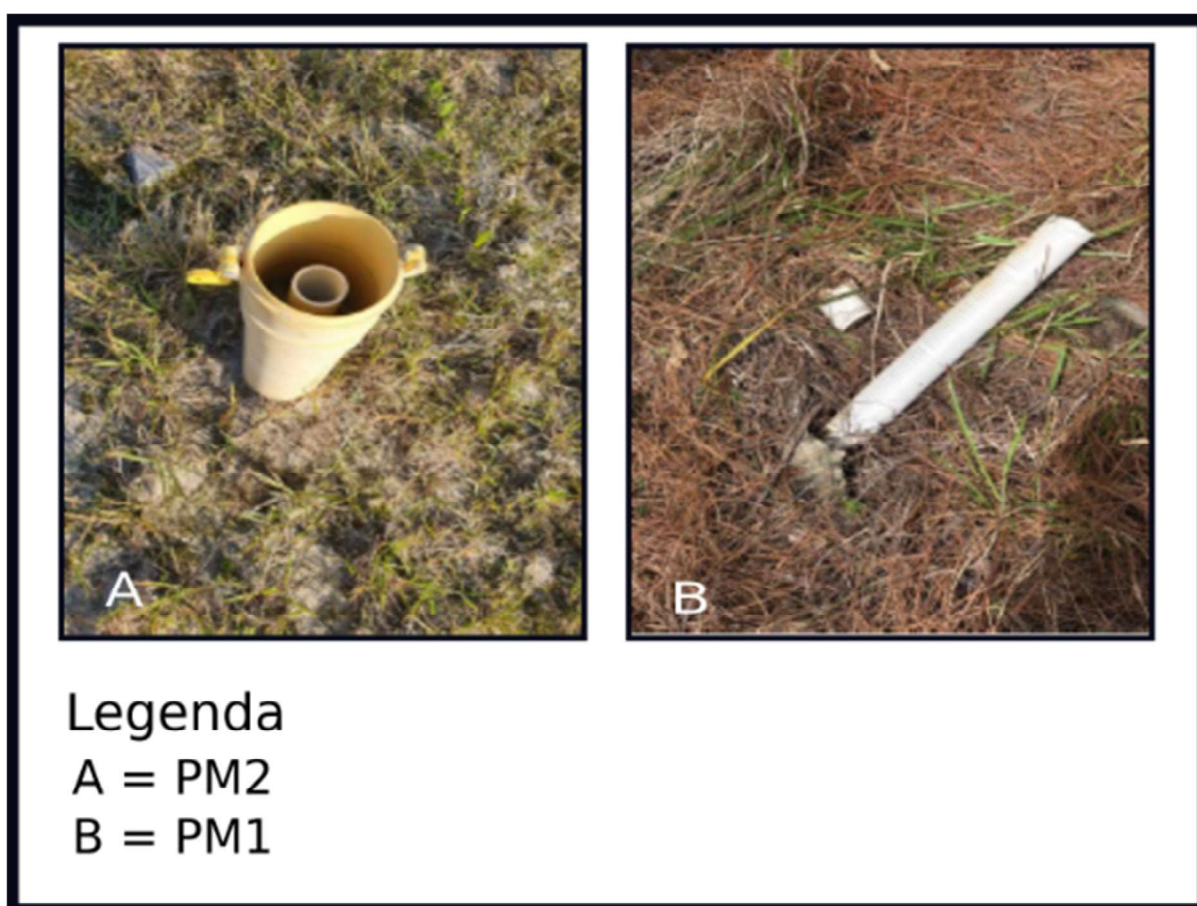


Figura 10 - Poços de monitoramento, os itens A e B correspondem respectivamente aos poços de monitoramento PM2 e PM1. Modificado de Ofício 2.084/2021 - Paes (2021).

Em levantamento dos dados de satélite do Google Earth Pro (Fig. 11), foram adquiridas nove (9) imagens. A mais antiga datada de 1985, possui baixa resolução, mas é onde evidencia-se o campo de dunas móveis preservado, mostrando que não ocorria descarte de resíduos sólidos no local até então.

A imagem subsequente é de 2004, onde já é possível visualizar os limites do terreno do lixão, permitindo inferir que o lixão teve seu início entre 1985 e 1999.

As imagens permitem identificar que ocorreu o aumento de atividade entre os anos de 2006 e 2009, possibilitando visualizar as trincheiras onde os RSU eram descartados durante o período de funcionamento do lixão.

Nas imagens datadas de 2013 a 2014, período posterior à Lei nº 12.305 e ao indeferimento da LO, de acordo com as imagens de satélite é possível inferir que o município estava cumprindo as decisões judiciais, onde as imagens passam a mostrar o local onde ocorria o depósito do RSU como uma área vegetada que se estende por todo o terreno do empreendimento.

Ocorre uma falta de dados de satélite entre os anos de 2014 e 2019, logo não é possível inferir em qual ano o descarte de resíduos no local retornou as atividades retratadas nas imagens a partir de 2019 onde no quadrante noroeste do do empreendimento, ocorre uma área descampada que pode indicar a atividade do empreendimento. A investigação confirmatória, para averiguar se esse espaço desmatado corresponde a um local de descarte foi efetuada através da coleta de dados aéreos por VANT.

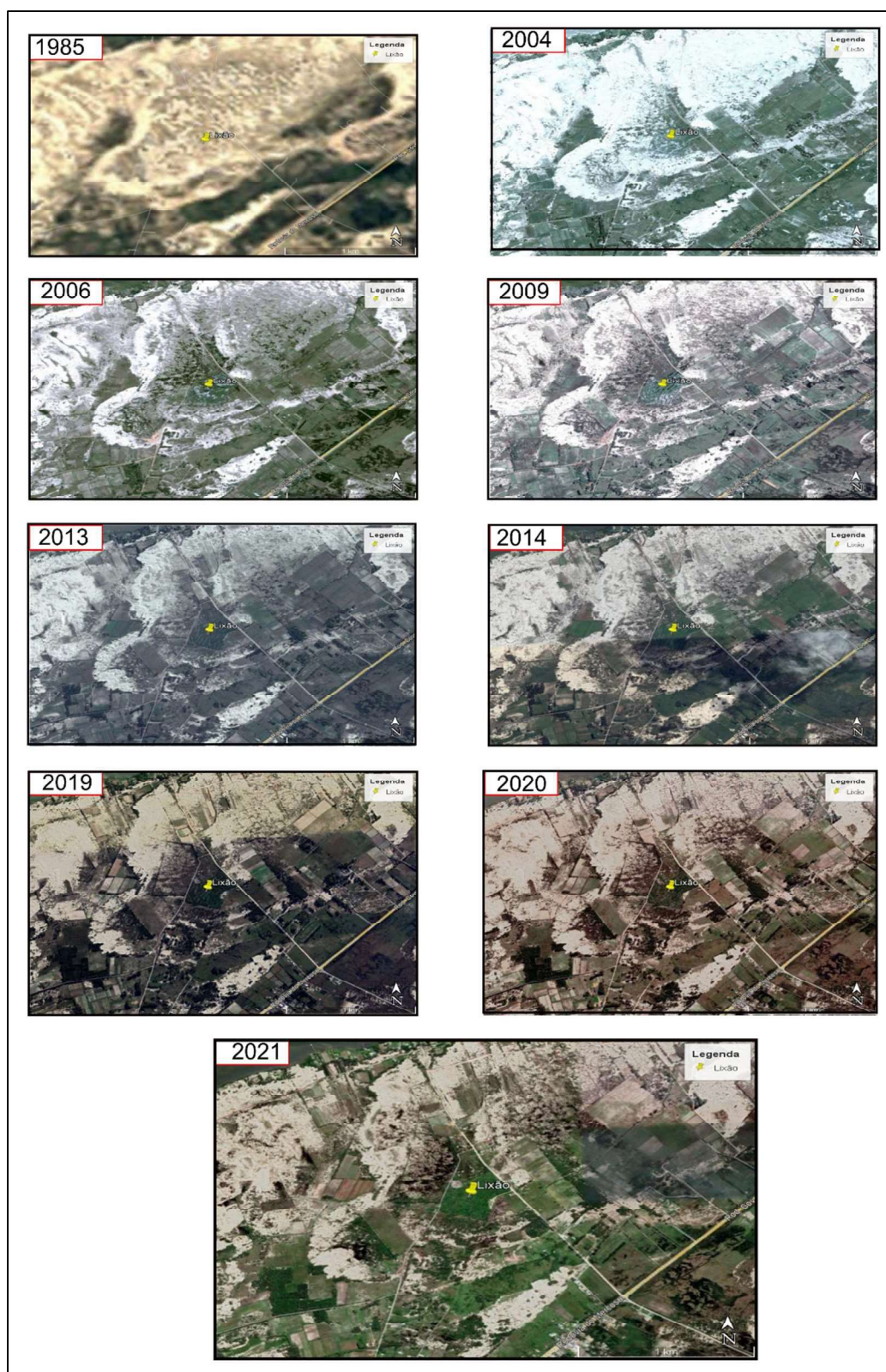


Figura 11 - Imagens de Satélite do local do lixão, mostrando como o local modificou seu aspecto natural ao longo do tempo, em decorrência do RSU descartado na área. Produzido pela autora com dados do Google Earth Pro, 2022.

3.2. Campo

Etapa realizada em SJN durante os dias 29 de novembro a 02 de dezembro de 2021, onde foram coletados os dados de georadar e de VANT.

3.2.1. Georadar

O método geofísico escolhido para investigação, foi o georadar, por se trata de um método indireto de fácil aplicação e alta resolução, sendo não destrutivo e não invasivo. Possuindo também a vantagem de ser de baixo custo quando comparado com métodos de estudo diretos aplicáveis em investigações ambientais confirmatória, como poços de monitoramento (Aquino, 2000).

O equipamento transmite através de uma antena pulsos de ondas de rádio de alta frequência (entre 10 e 2500 MHz) que ao adentrarem em subsuperfície registram as variações de resistividade elétrica dos materiais, cujo resultado visual dessa oscilação é mostrado pelos radargramas. Essa alternância ocorre devido ao princípio da reflexão de ondas eletromagnéticas, que ao encontrar corpos ou estratos com permissividades dielétricas (ϵ) ou coeficientes dielétricos (K) diferentes, causa a reflexão de parte da onda eletromagnética que é captada por uma antena receptora, enquanto outra parte continua se propagando em profundidade até encontrar uma nova variação nas camadas. O display do georadar processa o dado captado e permite uma visualização e um processamento prévio permitindo a análise da subsuperfície simultaneamente a coleta do mesmo (Davis e Annan, 1989). Como sintetizado na Figura 12.

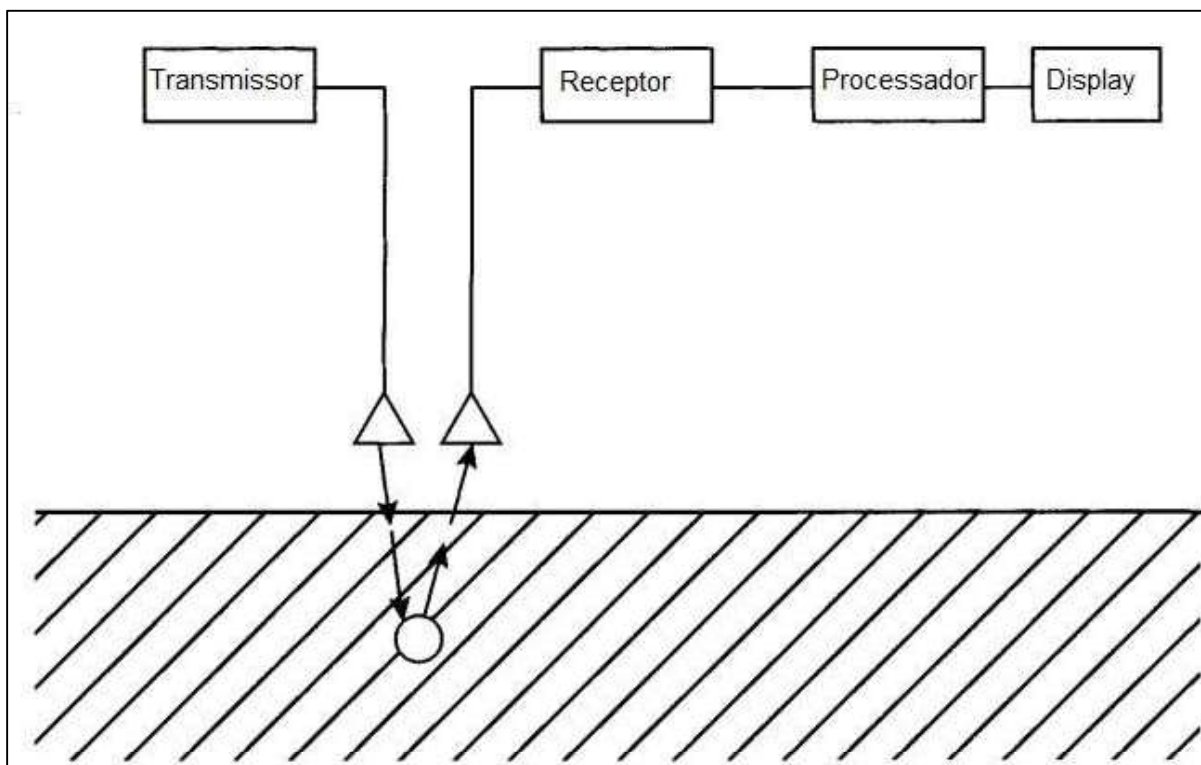


Figura 12- Bloco diagrama genérico mostrando o funcionamento de um georadar. Modificada de Daniels (2004).

A qualidade do dado obtido está diretamente ligada às propriedades que controlam o comportamento das ondas eletromagnéticas, segundo Davis e Annan (1989) as três de maior influência são:

- A condutividade elétrica (dominante em frequências < 1MHz), que se trata de uma propriedade eletrolítica, propriedade física que expressa a capacidade de um material em transmitir corrente elétrica. De acordo com a lei de Ohm essa capacidade é controlada pela porosidade, umidade, concentração de eletrólitos dissolvidos, a temperatura e o teor de matéria orgânica (MCNeill, 1980).
- A permissividade dielétrica (dominante em frequências > 1MHz), expressa a característica de um material em armazenar cargas elétricas. Aplicando esse princípio no método georadar, onde utiliza-se a permissividade dielétrica relativa (conhecida também como constante dielétrica), que relaciona a permissividade dielétrica do material com a permissividade dielétrica do vácuo.
- A constante de permeabilidade magnética, mensura a capacidade de um material em se polarizar quando submetido a um campo magnético, ou ainda, é a capacidade que um meio tem em armazenar campo magnético. Esta

propriedade é definida pela relação entre a força do campo magnético com a indução magnética.

Outra propriedade eletromagnética registrada pelo georadar é denominada Tempo Duplo de Propagação, que é determinada pela constante dielétrica do meio e registra o tempo de transmissão, reflexão e recepção das ondas eletromagnéticas. Sendo ela a propriedade que ao ser processada resulta na profundidade de penetração (Aquino, 2000).

Atualmente, existe uma grande gama de frequências para antenas de georadar, a escolha de qual delas utilizar ao coletar o dado é determinada com base no objetivo do estudo em questão. Pois a resolução e a profundidade são inversamente proporcionais, onde quanto maior a frequência da antena escolhida, maior será a resolução do radargrama e conseqüentemente menor será a profundidade do dado coletado. As recomendações da fabricante de georadares GSSI™, quanto a escolha da frequência em relação a profundidade média que ela pode adquirir está explanada na Tabela 2. Contudo, a profundidade alcançada na investigação é condicionada também pelo material geológico, podendo atingir uma profundidade maior em arenitos e menor em rochas ígneas não fraturadas (Daniels, 2004).

Tabela 2 - Frequência central da antena correlacionada com a profundidade de penetração da onda eletromagnética. Modificada de GSSI (2021).

Frequência central da antena (MHz)	Profundidade de penetração (m)
40	35
70	25
80	23
100	20
2200	até 0,75

Fatores externos, como: rádios, celulares, automóveis, interferem na coleta de dados por emitirem ondas eletromagnéticas, resultando em ruídos, que são removidos por filtros de frequências durante o processamento. Quando o georadar passa sobre fiações elétricas, tubulações de água, metais enterrados, ou outro

material cuja resistividade elétrica possui elevado contraste com a do meio, o dado registra o topo dessa superfície, que nos radargramas aparecem como hipérbolos (Daniels, 2004). Essa característica faz com que o georadar seja amplamente para estudos em cidades para mapeamento de tubulações, como mostrado no radargrama coletado em São Paulo capital (Figura 13), onde a intensidade de cabos de rede, telefone, energia, dentre outros é elevada, logo provoca uma elevada incidência de hipérbolos no dado (Paluha, 2017).

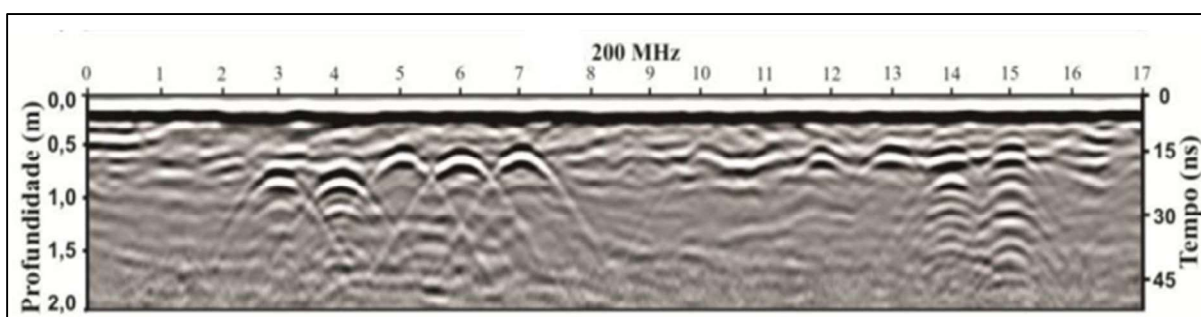


Figura 13- Radargrama coletado em mapeamento em zona urbana, mostrando interferências decorrentes de materiais enterrados em subsuperfície. Modificada de Paluha, 2017.

3.2.1.1. Aplicabilidade do método para investigações ambientais

Os métodos geofísicos que possuem seu uso recomendado para investigações ambientais são discriminados no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas elaborado pelo Órgão Ambiental CETESB (2001), sendo eles o georadar, o eletromagnético, a eletrorresistividade e a magnetometria.

A aplicação de métodos geofísicos é recomendada durante a investigação confirmatória, por permitir a determinação dos pontos de amostragem com maior precisão, através da determinação de anomalias que represente os locais de maior concentração da substância investigada. Assim como para mapear a propagação da contaminação e monitorar a mesma durante a investigação para remediação ambiental (CETESB, 2001).

Já durante a remediação sua aplicação é indicada no monitoramento e avaliação da eficiência dos trabalhos de recuperação do local, registrando assim uma redução na concentração dos contaminantes (CETESB, 2001).

Quando a investigação ambiental possui como provável fonte de contaminação um local destinado para descarte de RSU, a aplicação de métodos

geofísicos como o georadar se dá em decorrência do aumento na concentração de sais como: cloretos e sulfatos no solo e água subterrânea afetadas pela infiltração de chorume. Que elevam o teor de íons livres nesses locais, permitindo que a corrente elétrica se propague com mais facilidade do que em camadas não contaminadas, o que resulta em anomalias de baixa resistividade nos dados (Aquino, 2000).

Em dados de georadar essa anomalia de baixa resistividade aparece como uma atenuação intensa e continua podendo obliterar o sinal totalmente, aparecendo como um borrão como o da Figura 14 que foi adquirida sobre um aterro controlado (Lenz, 2016). Ao se distanciar da fonte de contaminação a tendência é de que a pluma se aprofunde e reduza sua intensidade, sendo possível mapear sua dispersão, conforme a geologia do meio volta a refletir nos dados (Aquino, 2000).

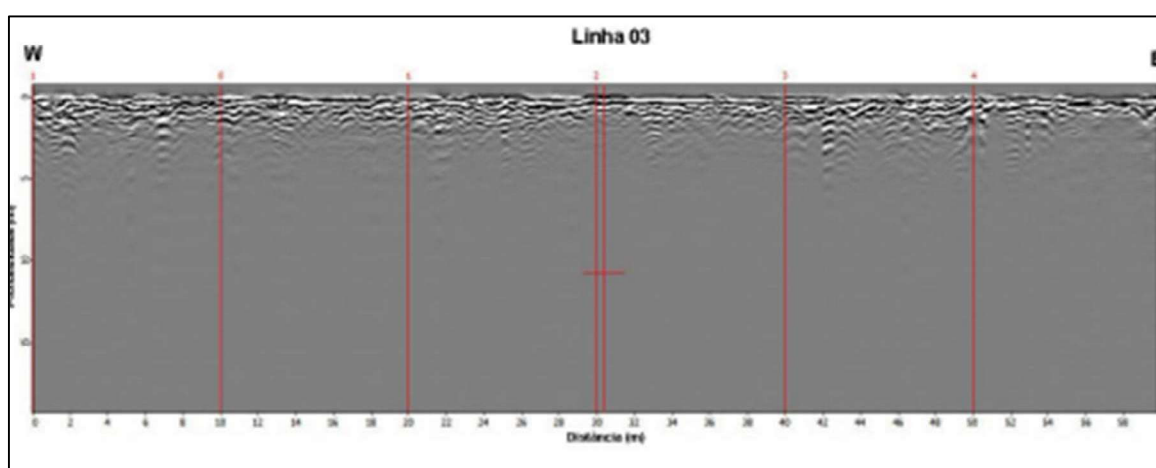


Figura 14- Radargrama mostrando como o sinal do georadar se comporta em dados coletados sobre aterro controlado, onde a perda de sinal é decorrente do chorume penetrado em subsuperfície. Modificado de Lenz (2016).

3.2.1.2. Levantamento das seções de georadar

O levantamento das seções de georadar ocorreu dia 30 de novembro de 2021, onde foram coletadas nove linhas (Figura 15), nas estradas e sobre o campo de dunas móveis nos arredores do lixão, conforme Barboza *et al.* (2014).

O georadar utilizado foi o Cobra Plug-In GPR com uma antena sub-echo SE-70 monoestática com frequência central de 80 MHz. As configurações utilizadas na aquisição constaram de uma janela de 900 ns e uma constante dielétrica de valor

10. Durante a aquisição foi utilizado um sistema de posicionamento GNSS Trimble® ProXRT (datum: WGS84), conectado via *bluetooth* ao georadar (Figura).

A coleta se iniciou no mesmo local onde se iniciou o dado coletado em 2011, através da visualização do dado bruto no display do georadar, juntamente com a viabilidade de caminhamento com o aparelho no local, foram determinadas as localizações das linhas subsequentes.

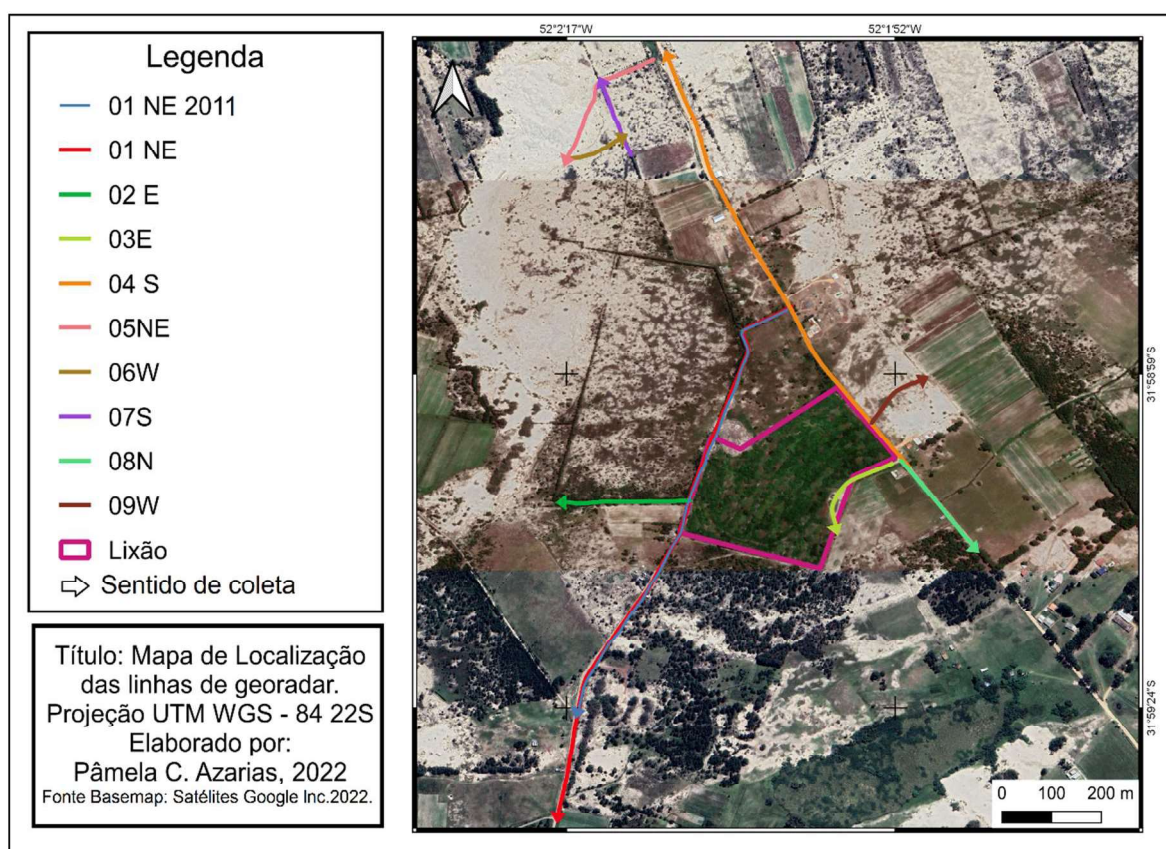


Figura 15 - Mapa da localização dos dados de georadar coletados em 2011 e 2022, assim como seu sentido de coleta. Elaborada pela autora, 2022.



Figura 16 - Fotografia demonstrando como ocorreu a coleta dos dados. Banco de dados da autora.

3.2.2. Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT)

Segundo o levantamento histórico realizado por Magalhães (2021) o uso de VANT por civis se iniciou em 1990, quando passou a ser produzido em escala e comercializado para uso recreativo e alternativo em levantamentos topográficos gerados através de aerofotogrametria. VANTs são equipados com sistema automatizado, câmera fotográfica e um receptor de coordenadas geográficas, fazendo com que ele consiga se orientar e obter imagens capturando o centro perspectivo delas a partir de um controle remoto por aplicativos (Rodrigues, 2018). Os controles do transmissor do referido equipamento permitem a operação total da câmera acoplada. Possuindo um sistema de localização interno, que permite a gravação do ponto de decolagem, agrega-se segurança ao aparelho, pois ele consegue retornar para esse local em caso de um eventual problema durante o voo, perda de sinal de vídeo ou do rádio transmissor ou nível de bateria muito baixo, o equipamento retorna e pousa automaticamente no último ponto de decolagem salvo em seu sistema. Esse sistema foi fundamental na realização do trabalho, pois houve perda de conexão e o VANT retornou ao local de origem (*home point*) ao final da aquisição.

Para uma coleta de dados com alta acurácia, é necessário seguir a metodologia elaborada para levantamento aéreos convencionais, por meio de câmera

acoplada em aeronaves, sendo necessário o planejamento do voo, a escolha de pontos de controles localizáveis nas imagens aéreas, e que a coleta deles ocorra por meio de uma tecnologia de posicionamento GNSS/GPS. Após a coleta de imagens elas necessitam passar por um processamento denominado “*Structure From Motion*”. Essa etapa é fornecida pelos próprios programas utilizados para o voo, onde o algoritmo localiza pontos correspondentes nas imagens coletadas e gera uma nuvem de pontos. A partir daí é gerado o ortomosaico das imagens (Snavely, 2008).

Para garantir que a imagem final possui em todas as suas partes a mesma escala, é necessário o processo de ortorretificação, que consiste na transformação cônica central, convertendo a angulação determinada pela câmera utilizada em uma projeção ortogonal. Mais fidedigna ao local, é ideal para utilização em cartas, mapas e investigações ambientais (Coelho, 2007).

Os pontos cotados e a produção de ortomosaicos, podem ser interpolados nas imagens pelos autoprocesso nos aplicativos usados para realizar o voo, resultando em imagens com distorções pouco significativas. Após, é possível georreferenciar os dados e utilizá-los em programas de Sistema de Informações Geográficas - SIG, como o QGis ou ArcGis (Simões, 2019).

As principais vantagens na utilização de VANT em relação a cartografia convencional, é o menor custo (Remondino, 2008 e 2011). Quando aplicado juntamente com GNSS possui uma acurácia cartográfica que permite seu uso em estudos na mineração, em planejamento urbanos, estudos ambientais, etc. (Simões, 2019).

3.2.2.2. Levantamento dos dados de aéreos

A coleta dos dados aéreos ocorreu dia 01 de dezembro de 2021, onde foram realizados voos livres e voos programados em grades, o fluxograma da Figura 17 mostra a ordem em que as atividades foram executadas.

A primeira etapa foi a do voo livre para conhecimento espacial do local, para determinar a altura de voo, o tempo e o número de sobrevoos necessários. Em sequência foram coletados os pontos cotados, pontos de controle (*ground control*

points – gcp), através do sistema de posicionamento GNSS Trimble® ProXRT (datum: WGS84), localizados no entorno do lixão (Figura 18).

A Figura 19 mostra a coleta do ponto cotado 1, que ocorreu na lateral da cerca do lixão, permitindo verificar o acúmulo de lixo recente no local e a Figura 20 mostra a coleta do ponto cotado 4, onde se encontra um poço de monitoramento desativado.

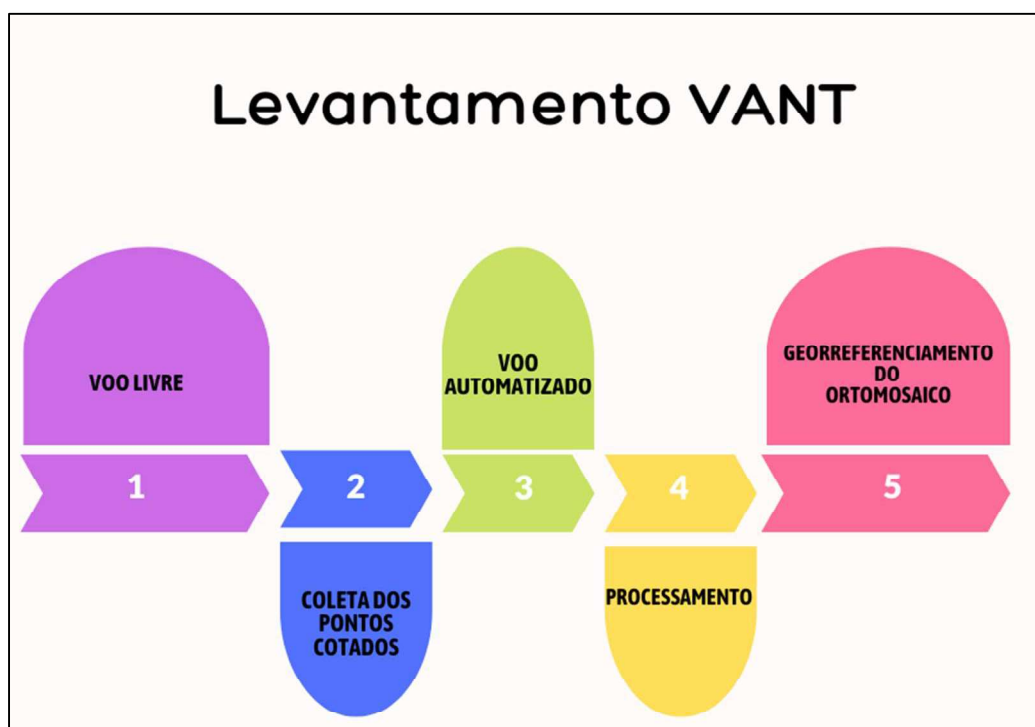


Figura 17 - Fluxograma do levantamento dos dados de VANT.

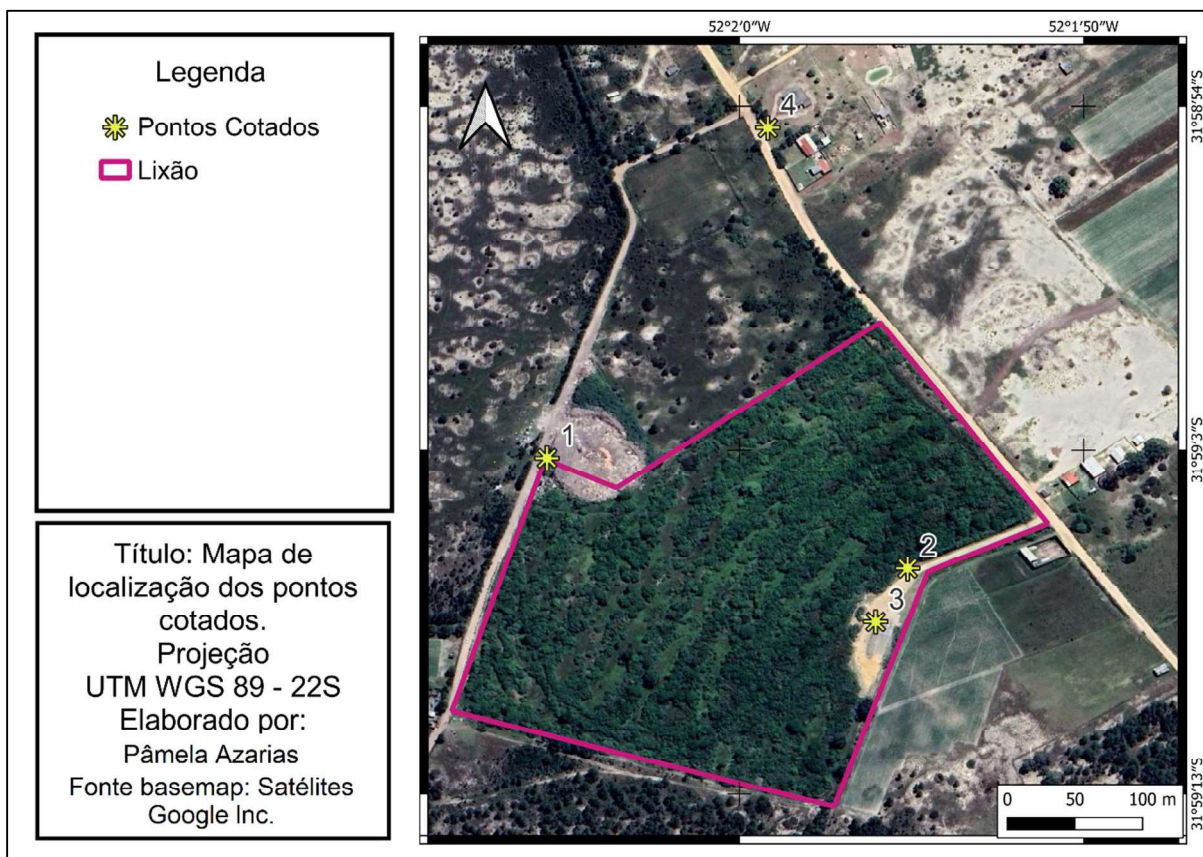


Figura 18 - Mapa de localização dos pontos cotados.



Figura 19 - Coleta do ponto cotado 1.



Figura 20 - Coleta do ponto cotado 4.

A etapa de coleta foi realizada através do VANT MAVIC 2 PRO (Figura 21), operado através do aplicativo DJI GO4 (voo livre) e PIX4D (grid automático).

Através do aplicativo PIX4D foi programado um sobrevoo com linhas de direção NE-SW, em uma área de 438 x 537 m na altura de 100 m, item A da Figura 22, com duração de 14 minutos, a fim de obter uma resolução espacial de 2,35 cm/pixel no ortofotomosaico. Neste, foram obtidas 176 fotografias. O item B retrata o segundo voo realizado na direção NW-SE, com as mesmas configurações e recobrimento de uma área de 524 x 436 m. Este segundo levantamento foi incompleto, devido a uma perda na conexão, contudo não resultou em perda de informações, pois esse voo era para garantir o preciosismo dos dados, ao coletar no mesmo local, mas em direção perpendicular à do primeiro voo. Ainda assim, foram obtidas 185 fotografias, item C da Figura 22, utilizadas a fim de melhorar a qualidade do ortofotomosaico produzido com o primeiro sobrevoo. Foi utilizada uma sobreposição de coleta longitudinal de 80% e lateral de 60% para garantir a qualidade geométrica das imagens.



Figura 21 – VANT MAVIC PRO 2.

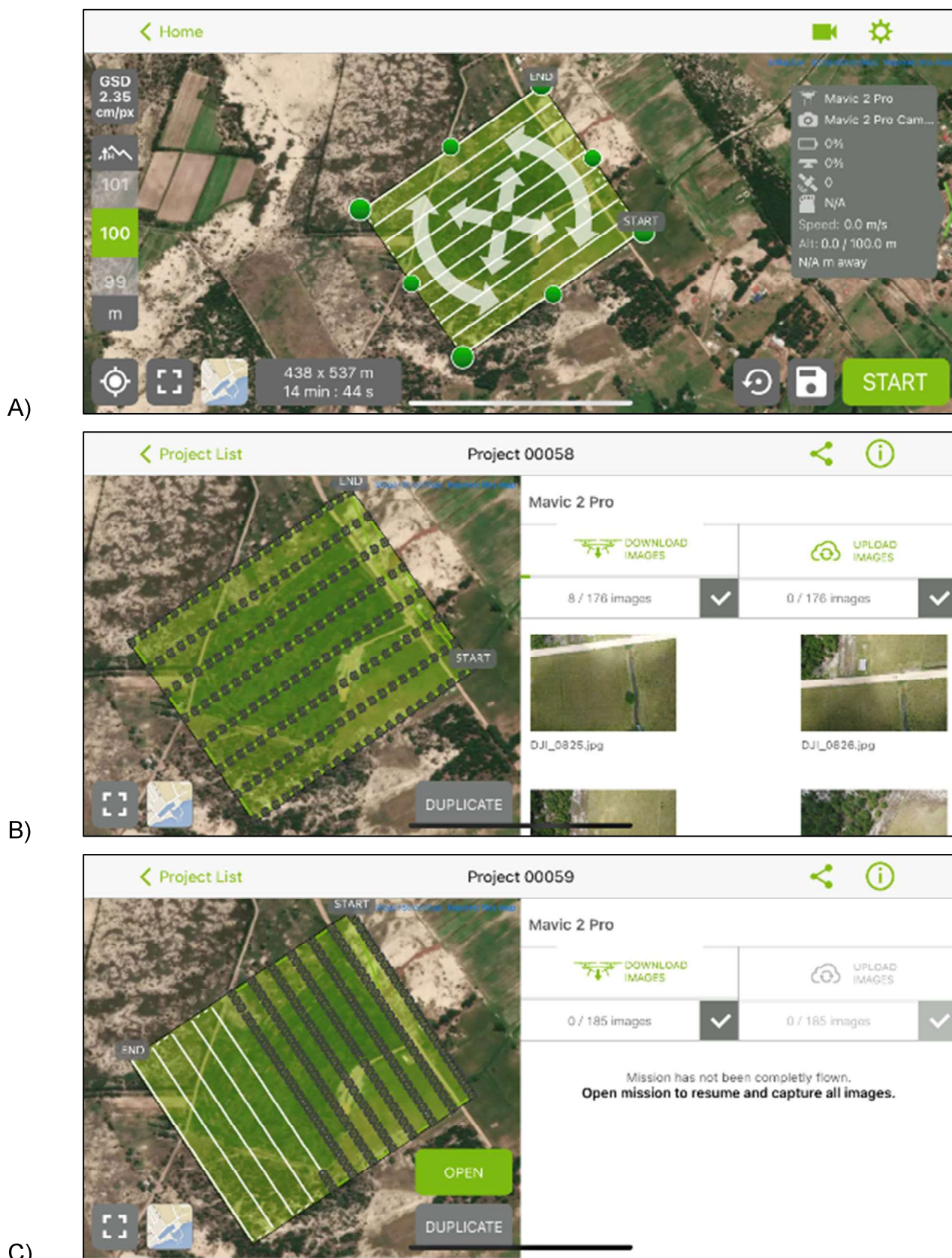


Figura 22 - Interface do aplicativo DJI GO 4PIX4D, durante os voos programados. Em A) plano de voo com as configurações. Em B) e C) resultados obtidos.

3.3. Pós Campo

A etapa de pós campo consistiu no processamento dos dados de subsuperfície e dos dados aéreos, assim como suas respectivas interpretações.

3.3.1. Processamento das seções de georadar

O processamento dos dados de georadar é uma etapa fundamental para uma boa interpretação, pois elimina as interferências que poderiam interferir na compreensão da situação local obtida pelo radargrama.

Essa etapa foi realizada por meio de dois programas o Radan™ e Prism2®, iniciando-se Radan™, onde os dados brutos são inseridos, para remoção de ruídos decorrente do meio externo (*background*). Sendo aplicado um filtro espacial para remoção dos ruídos aéreos, decorrente do espaço entre o terreno e o georadar durante a coleta do dado. Em seguida é aplicado o filtro de frequência, para reduzir ruídos aleatórios onde as frequências inferiores a 30 Mhz e superiores a 180 Mhz são cortadas por destoarem do valor central da antena.

No programa Prism2® aplica-se um ganho linear de 30, a fim de aumentar a resolução dos dados em profundidade sem suprimir a atenuação de sinal, alvo deste estudo.

Os dados são exportados novamente para o Radan™ para conversão do tempo duplo de propagação em profundidade e a correção altimétrica é realizada, onde ajustando-se a profundidade 0 a superfície do terreno, através dos dados altimétricos coletados pelo sistema de posicionamento GNSS Trimble® ProXRT (datum: WGS84). A linha 01NE_2011 não passa por essa etapa devido ao dado ter sido coletado em 2011, cuja altimetria foi realizada apenas com os dados coletados pelo próprio georadar.

3.3.2. Processamento das imagens coletadas

Todas as imagens capturadas durante os voos programados foram processadas no aplicativo Agisoft Metashape, resultando no ortomosaico.

O ortomosaico foi exportado para o programa QGis onde foi georreferenciada utilizando as coordenadas obtidas nos pontos cotados para garantir a acurácia do posicionamento geográfico.

As fotografias obtidas durante o voo livre não passaram por processamento, sendo analisadas diretamente e selecionadas para serem apresentadas no presente trabalho de acordo com a relevância do conteúdo das mesmas.

3.3.2. Interpretação

Para interpretação dos resultados obtidos nos dados de campo, os mesmos foram trabalhados em ambiente SIG através do programa QGis, onde os dados foram interpretados em conjunto com o banco de dados geológicos, hidrológicos e urbanos, disponibilizados pela CPRM, IBGE e SIAGAS. Neste ambiente foram gerados os mapas apresentados no escopo deste trabalho.

As delimitações da pluma de contaminação nos radargramas foram desenhadas através do programa Inkscape e trabalhadas no QGis para a elaboração do modelo de dispersão da contaminação apresentado na conclusão.

4. RESULTADOS

O presente trabalho resultou em um copilado de dez linhas de georadar, sendo uma delas o dado de 2011 e o restante de 2021 e um ortomosaico e duas fotografias capturadas durante o voo livre do VANT.

4.1. Radargramas

Os radargramas obtidos durante a coleta de dados deste trabalho são apresentadas em seis subgrupos definidos pelas semelhanças e peculiaridades das linhas.

4.1.1. *Radargrama 03E*

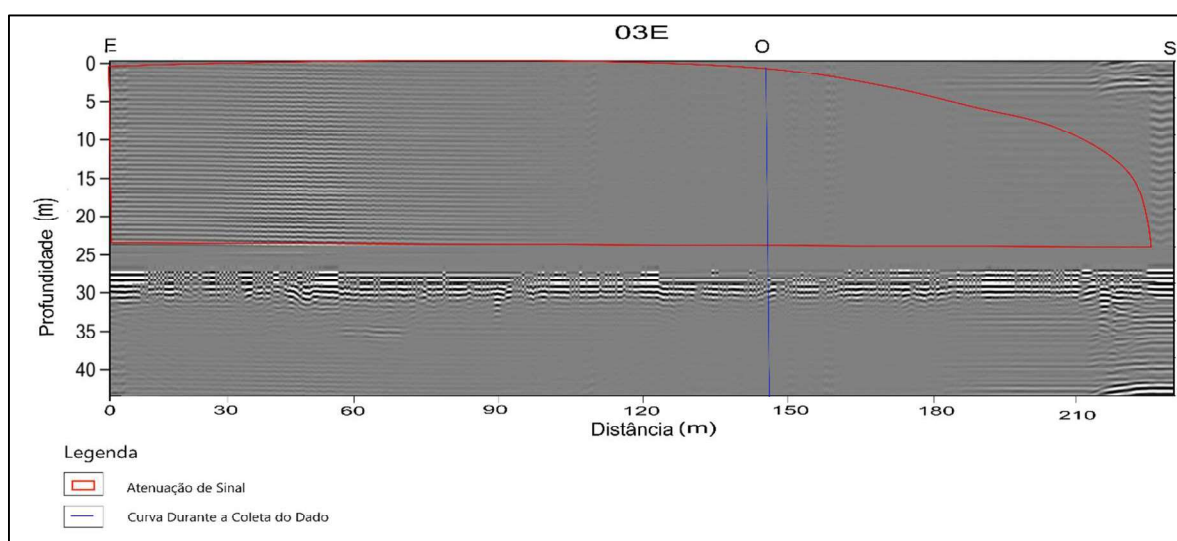
A Linha 03 E - 03E foi adquirida dentro do lixão, logo seguindo a hipótese elencada neste trabalho de que a área do lixão está contaminada subsuperficialmente, considera-se que a anomalia de baixa resistividade presente nesta linha é a ocasionada pelos contaminantes, e suas características definem a atenuação alvo, que se encontra circundada em vermelho nos presentes resultados.

A atenuação alvo na L03E, inicia na superfície e estende-se até os 23 m de profundidade, apresentando-se em dois padrões, nos primeiros 100 m de caminhamento, ocorre como refletores semitransparentes, e dos 120 a 230 m constata-se a obliteração do sinal (Figura 23).

O sinal dos 0 aos 23 m de profundidade volta a aparecer nos dados a partir dos 230 m, coincidindo com o final da cerca do lixão, onde não ocorria a disposição de resíduos.

Dos 23 aos 27 m de profundidade ocorre uma atenuação contínua na extensão da linha, que oblitera completamente o sinal e quando aplicamos ganho na imagem ela se mostra como refletores plano-paralelos, sua causa pode ser a mudança de material geológico, indicando uma pequena camada de sedimentos lagunares ou em decorrência da limitação do método.

Dos 31 aos 43 m de profundidade ocorre uma atenuação de sinal contínua marcada por refletores semitransparentes, que no restante dos dados de 2021 mostra-se descontínua e sutil, permitindo a visualização do padrão de estratigráfico. Em decorrência da falta de continuidade no restante dos dados essa atenuação não será considerada decorrente da contaminação do local.



4.1.2. Radargrama 02E

Na Linha 02 E - 02E (Figura 24), semi perpendicular a L01NE, a atenuação inicia subsuperficialmente, é marcada por refletores semitransparentes, conforme vai se aprofundando, até atingir a profundidade de 15 m onde passa a ser constante. O sinal passa a ser totalmente obliterado até a profundidade de 27 m, se estendendo por toda extensão da linha. Os refletores apresentam o padrão plano-paralelo ou com baixa inclinação, mergulhando para o noroeste.

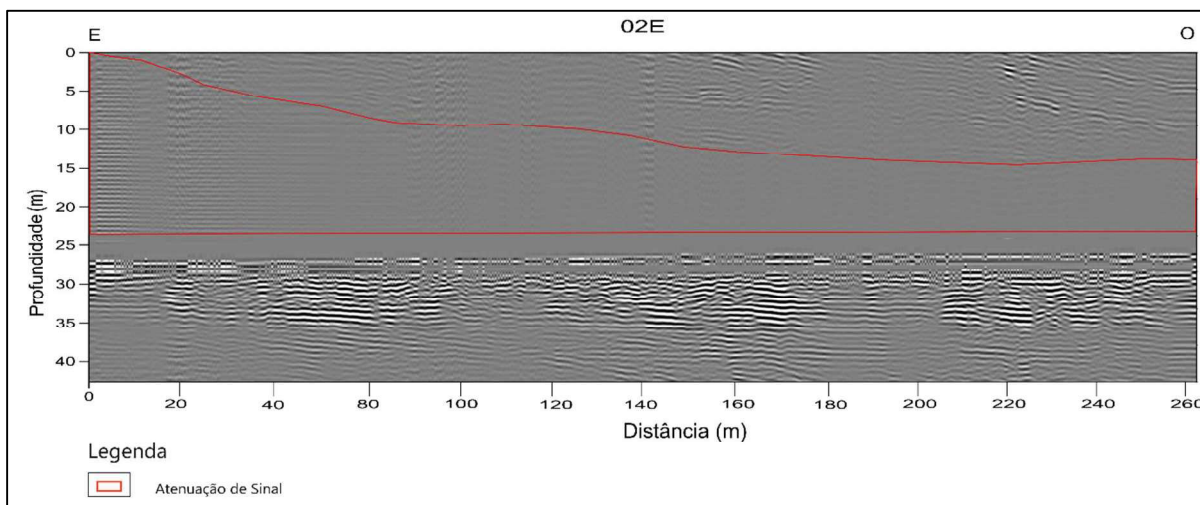


Figura 24 - Radargrama 02E.

4.1.3. Radargrama 04S e 08N

A Linha 04 S - 04S e a Linha 08 N - 08N são complementares, pois ambas se iniciam no mesmo local, mas são coletadas em sentidos opostos. Em decorrência deste fato elas foram coladas para uma melhor interpretação, resultando na Figura 25.

A atenuação na L04S ocorre subsuperficialmente no seu início e se estabiliza nas profundidades dos 15 aos 24 m por toda extensão do dado, com variações pontuais onde a atenuação inicia-se aos 10 m. A L08N, segue o mesmo padrão, com a anomalia iniciando-se em subsuperfície e se aprofundando conforme nos distanciamos do lixão até se dissipar. Em ambas os refletores apresentam-se migrando para noroeste.

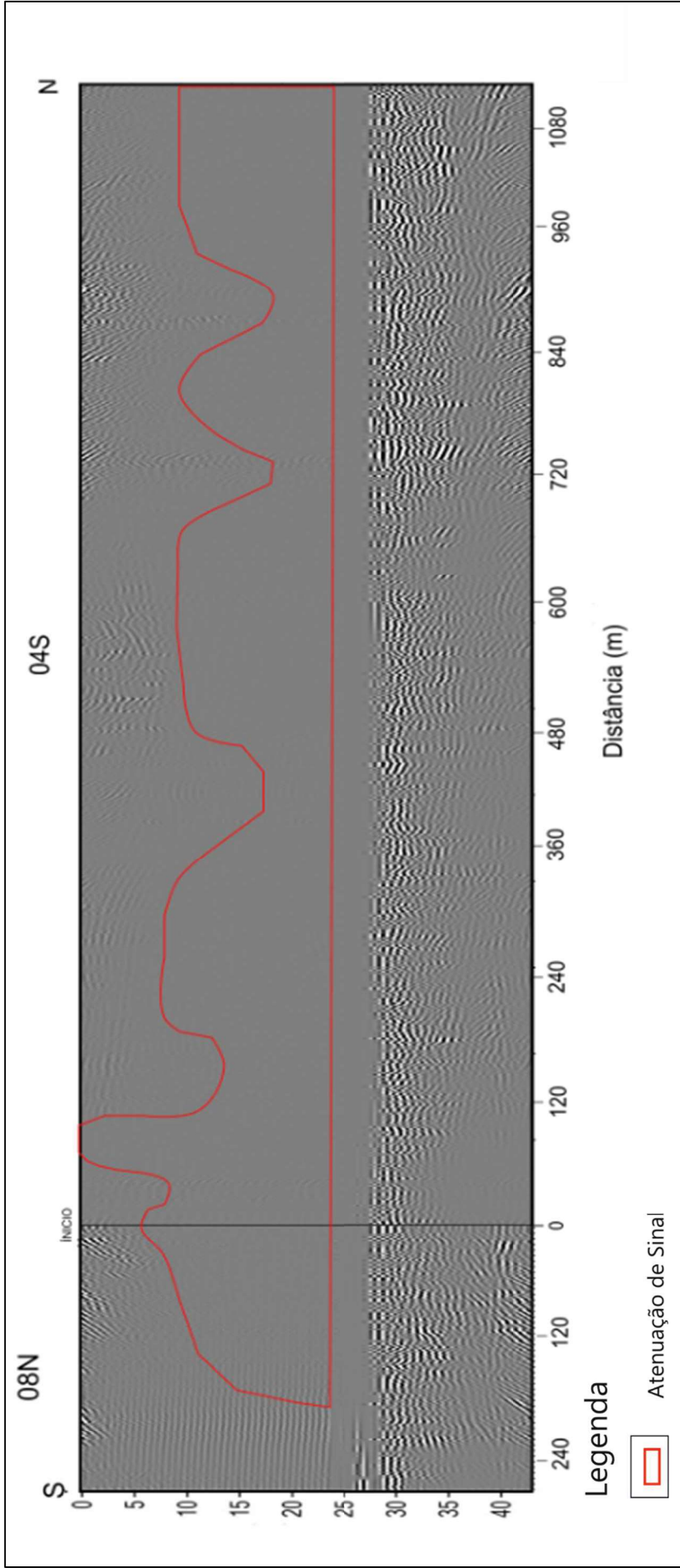


Figura 25 - Radargrama 08N colado com a 04S

4.1.4. Radargrama 05NE, 06O e 07S

As linhas 05NE, 06O e 07S são as linhas mais distantes do lixão e diferentemente do restante das linhas que foram coletadas em estradas ou caminhos, elas foram adquiridas sobre o campo de dunas. Em decorrência deste fato elas apresentam uma forte atenuação, marcada por refletores semitransparentes, ondulados e descontínuos, que não se enquadram nos padrões da atenuação alvo.

Na 05NE (Figura 26) a atenuação alvo ocorre como um bolsão dos 15 aos 24 m de profundidade, nos primeiros 120m de caminhamento.

Na 06O (Figura 27) ela ocorre novamente dos 15 aos 24 m de profundidade, durante os primeiros 80m de distância.

Na 07S (Figura 28) a profundidade de ocorrência se repete, ocorrendo dos 80 aos 150 m de distância.

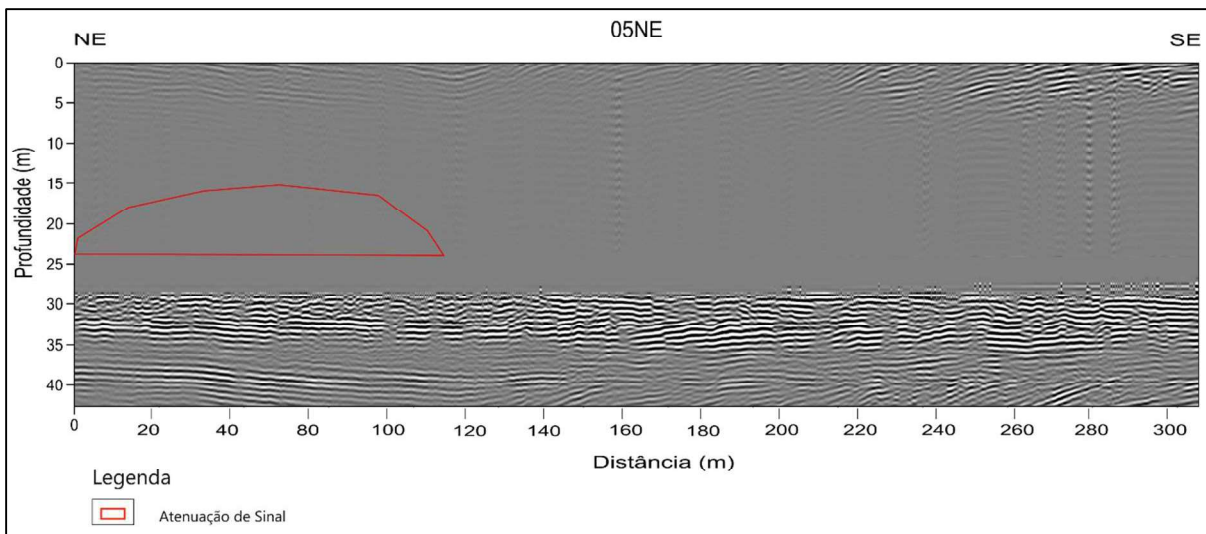


Figura 26 - Radargrama 05NE.

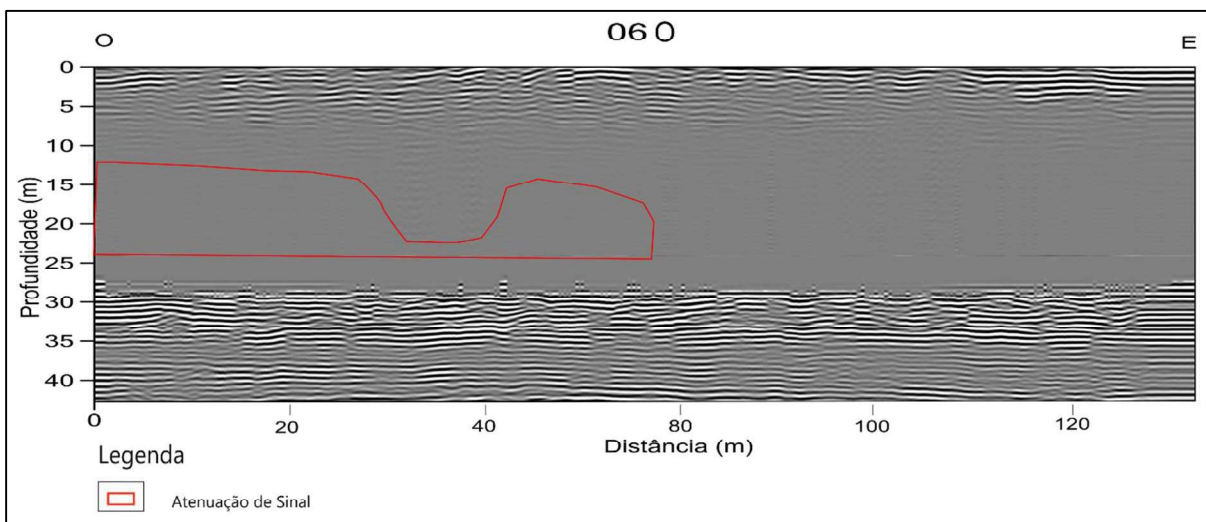


Figura 27 - Radargrama 06O.

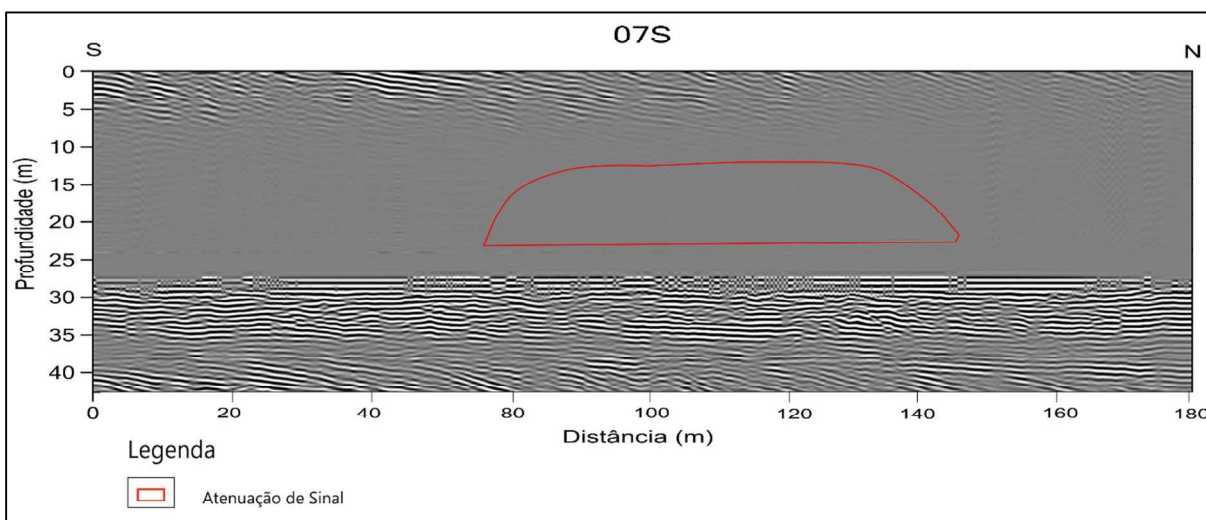


Figura 28 - Radargrama 07S.

4.1.5. Radargrama 09O

A Linha 09 O (Figura 29), foi coletada no caminho próximo ao poço de monitoramento (Figura 20) que encontramos e segue em direção a uma plantação de cebola. Apresenta a anomalia registrada nessa linha é idêntica a linha de referência 03E.

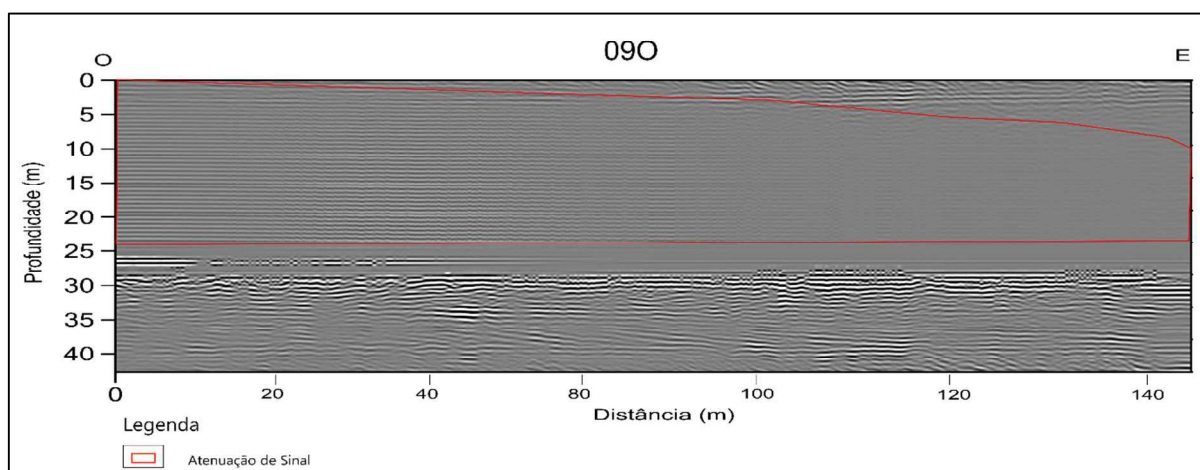


Figura 29 - Radargrama 09O.

4.1.6. Radargrama 01NE2011 e 01NE

A Linha 01NE de 2011 e a 01NE de 2021, foram coletadas tendo o início no mesmo local com uma diferença temporal de dez (10) anos.

Em 2011 o local apresentava uma anomalia de baixa resistividade, continua, marcada por refletores semitransparentes, com profundidade oscilando de 5 a 20 m, que se estendia do início do radargrama até os 550 m de distância (Figura 30).

Foram identificados dois padrões estratigráficos, marcados pelos refletores que da superfície até os 8 m de profundidade, sendo descontínuo e mergulhando para nordeste e sudoeste. Dos 8 aos 25 m de profundidade ocorre o padrão contínuo, mergulhando em direção ao nordeste.

Já em 2021 a 01NE apresenta a atenuação alvo, marcada pela obliteração do sinal dos 15 aos 26 m de profundidade, por toda sua extensão, sendo mais expressiva superficialmente nas distâncias de 50 a 200 m e de 350 a 600 m, mas estendendo-se até 1327,99 m de distância (Figura 31).

Percebe-se que o segundo setor mais expressivo em 2021 é o local onde ocorria a anomalia em 2011, corroborando que sua causa aumentou e se espalhou ao longo dos anos.

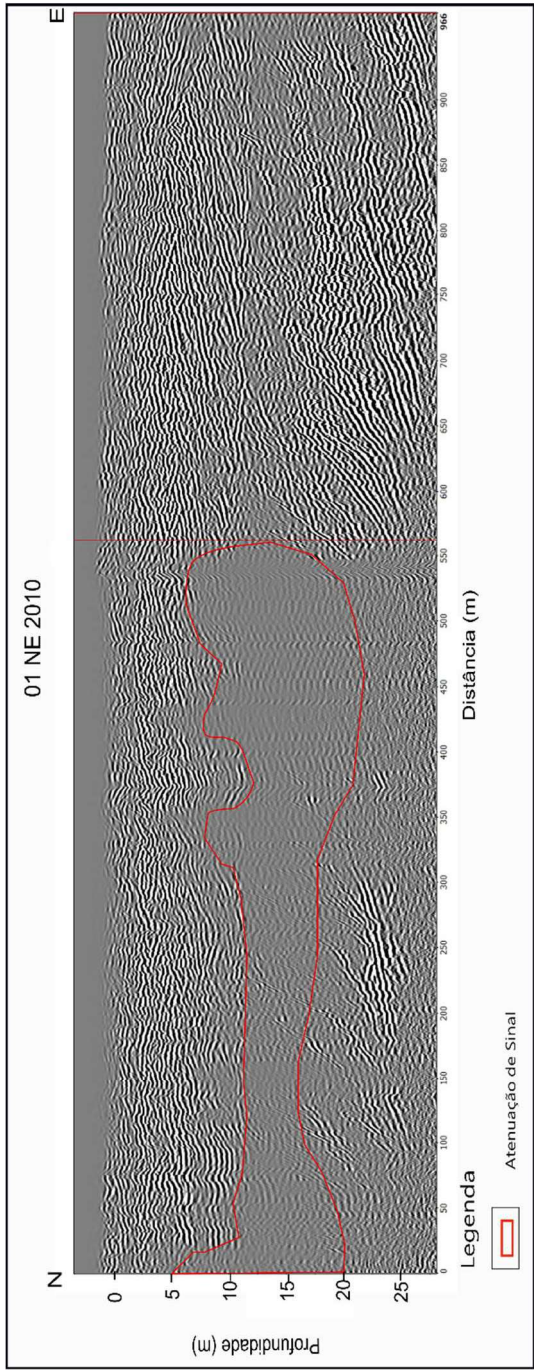


Figura 30 – Radargrama 01NE2011.

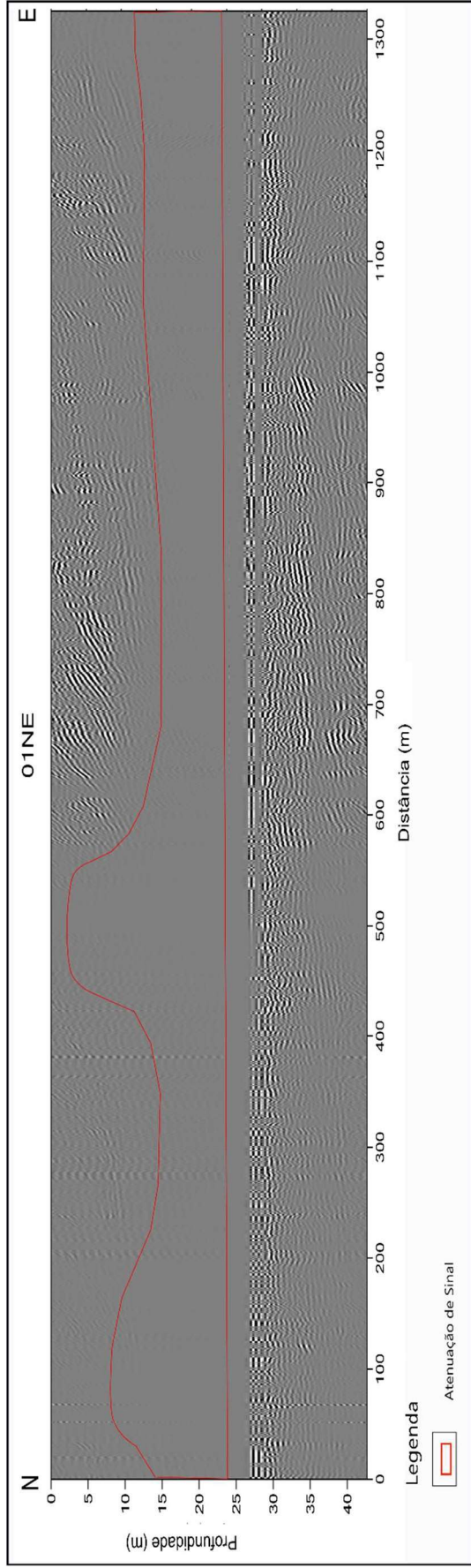


Figura 31 - Radargrama 01NE

4.2. Imagens Aéreas

Após o processamento das imagens coletadas durante os voos programados pelo VANT o conjunto de fotografias obtidas foram agrupadas e formaram o ortomosaico da Figura 32. Onde percebe-se a mesma mancha cinza observada nas imagens de satélite desde 2019, visando confirmar a hipótese de que este local desmatado é utilizado para descarte de RSU atualmente foi coletada a fotografia mostrada na Figura 33, permitindo visualizar os resíduos descartados no local.

Durante a realização do voo livre ocorria a atividade de transbordo dentro do empreendimento, onde o caminhão de coleta de RSU passa sua carga para um caminhão de transporte (Figura 34).

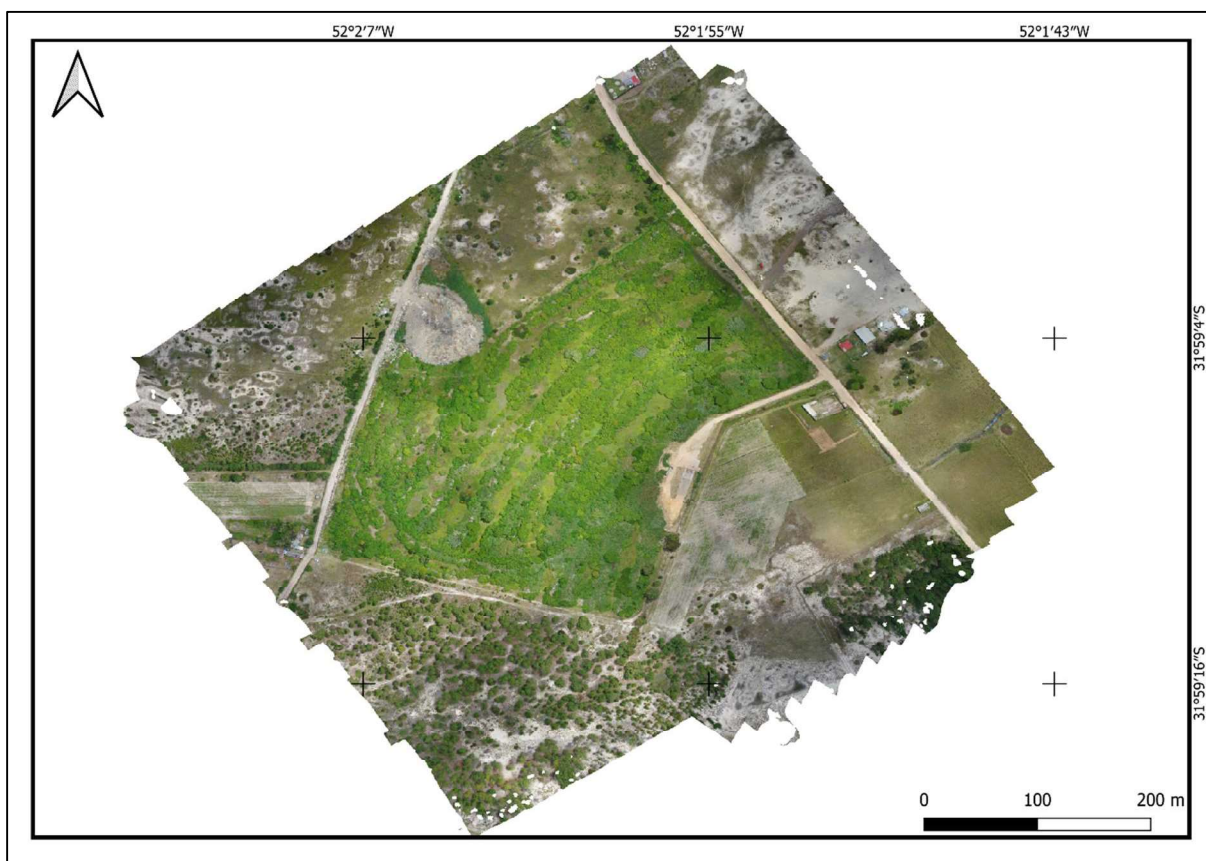


Figura 32 – Ortomosaico obtido através do processamento das imagens individuais coletadas nos dois voos automatizados realizado pelo VANT. Produzida pela autora.



Figura 33 - Imagem área do local de descarte de resíduos sólidos, sendo este o mesmo local que aparece como área desmatada no quadrante noroeste nas imagens de satélite. Banco de dados de fotografias do VANT.



Figura 34 - Fotografia do momento de transbordo dos RSU coletados pelo município. Banco de dados de fotografias do VANT.

5. DISCUSSÕES

Os resultados de georadar de 2021 apresentaram anomalias de baixa resistividade assim como o dado de 2011, possibilitando o mapeamento em duas dimensões da direção da atenuação, mostrando uma migração no sentido da Lagoa dos Patos.

As perdas de sinal da onda eletromagnética ocorrem devido a dispersão geométrica da frente de ondas, em decorrência dos efeitos da absorção e dispersão. Fatores como composição mineral, teor de saturação, teor de íons dissolvidos e porosidade do meio, o tornam mais condutivo, aumentando a absorção de sinal, provocando atenuações nos dados do georadar (Annan, 2002). Segundo Aquino (2000) perdas de sinal durante a coleta de dados geofísicos é recorrente, possuindo uma variada gama de possíveis causadores, logo tem-se como essencial elencarmos as causas mais recorrentes.

Segundo Santos Jr (2019) quando ocasionada pela baixa porosidade das rochas cristalinas, seu aspecto tende a ser refletores semitransparentes, contínuos e ondulados, permitindo a visualização dos refletores mesmo que com baixo contraste do que quando comparados a região com rochas sedimentares (Figura 35).

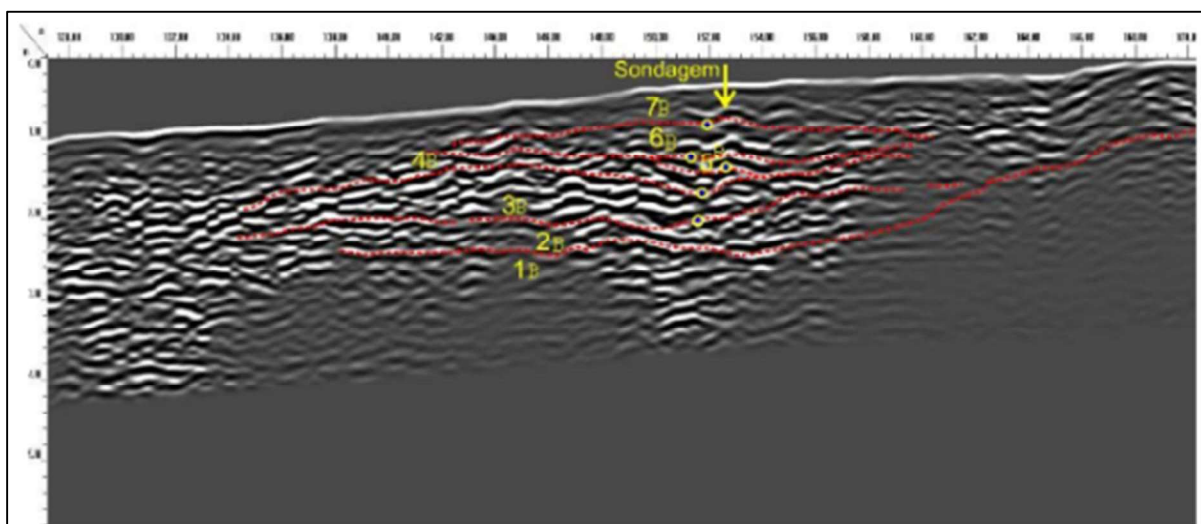


Figura 35 - Radargrama representativo de atenuação por rocha ígnea, 1B, sendo os pacotes superpostos sedimentares, arenosos e cascalhosos. Modificado de Santos Jr. 2019.

De acordo com Daniels (2004), quando a atenuação é decorrente da saturação dos poros por água, ocorrem reflexões semitransparentes, descontínuas que seguem a orientação das camadas. Santos (2016) elenca a delimitação da superfície que delimita a zona vadosa da zona saturada em camadas saturadas por meio da localização da de uma zona atenuada e contínua delimitada por uma região não atenuada, e por uma onde as atenuações são descontínuas, de acordo com a dispersão da porosidade na rocha (Figura 36).

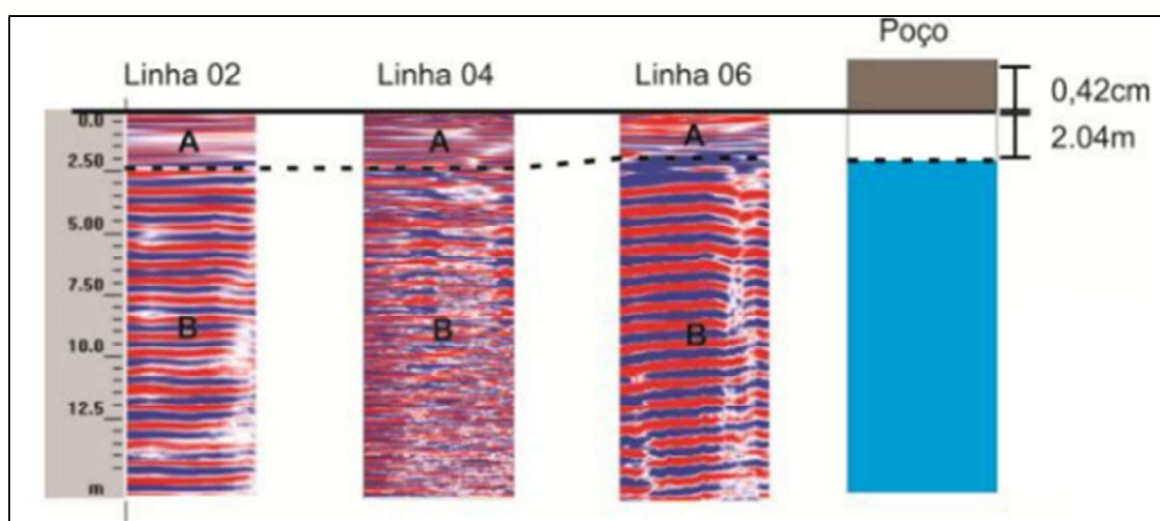


Figura 36 - Radargramas mostrando a atenuação de sinal decorrente da saturação em água do terreno. Modificada de Santos, 2016.

Correia (2016) relata em sua investigação acerca da variação dos níveis de maré ao longo das estações, que atenuações decorrentes do aumento da salinidade na mistura de águas. Resulta em reflexões transparentes, que obliteram o sinal e apresentam o formato cônico, onde o sinal volta a aparecer conforme a distância em relação ao mar aumenta, como na Figura 37 de Aquino (1998).

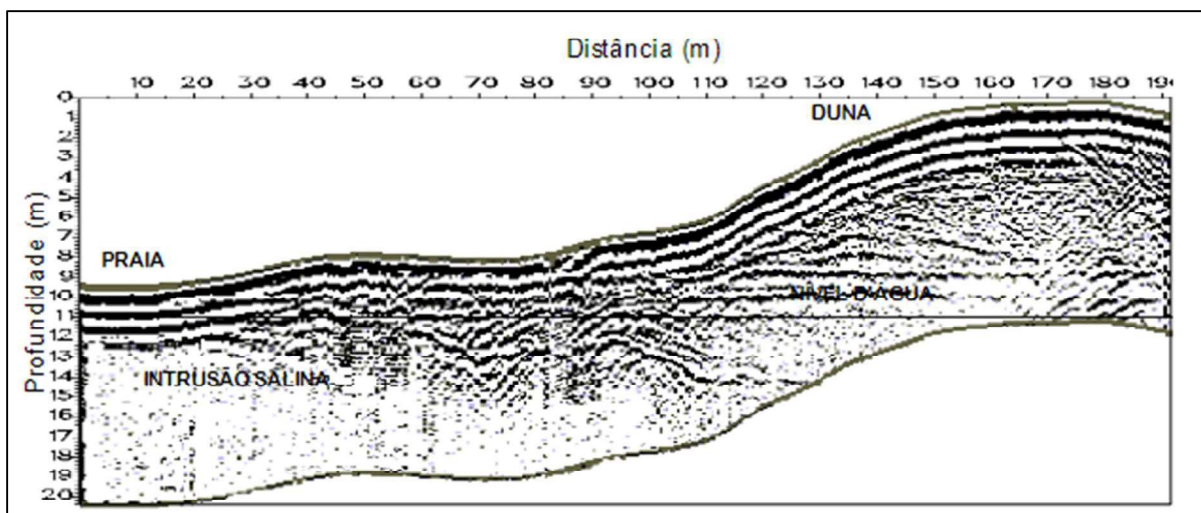


Figura 37 - Radargrama mostrando como o sinal é atenuado quando a causa é uma intrusão salina. Modificada de Aquino, 1998.

Segundo Aquino (2000), anomalias de baixa resistividade resultantes de contaminação por choro, ocorrem em decorrência do aumento de íons livres que passam a ocorrer nos locais contaminados e são espalhados pela movimentação da água subterrânea.

Isso resulta em dados com elevados contrastes entre a rocha hospedeira e os locais contaminados, que são caracterizados por atenuações semitransparentes sub-horizontais a refletores transparentes que obliteram totalmente o sinal. Em escala de mapeamento a atenuação resultante da contaminação tende a reduzir-se conforme o dado se afasta da fonte da contaminação.

A seção 03E (Figura 23), corresponde ao dado adquirido dentro do lixão e apresenta a atenuação que vai da superfície até os 24 m de profundidade, sendo condizente com os aspectos elencados por Aquino (2000), Lenz (2016) e CETESB (2011) dentre outros estudos, para ser categorizada como decorrente da penetração de choro. Considerando a pesquisa preliminar acerca do histórico do lixão, ficou constatado que o mesmo descartava os resíduos sem nenhum tratamento prévio diretamente no solo. Desta forma corrobora-se a hipótese levantada pelo presente trabalho de que os contaminantes decorrentes da decomposição dos RSU penetraram em subsuperfície.

Os dados das linhas 02E, 04S e 08N, mostram que a contaminação migra em direção a lagoa dos patos, a 04S e 08N (Figura 25), ainda permite determinar que

ela se estende por mais de um quilometro de distância do lixão, em sua forma mais densa, onde quanto mais longe da fonte mais profunda ela se encontra. O sentido de migração da pluma é compatível com o padrão de empilhamento visível nos dados e também observados por Barboza *et al.* (2018) para noroeste, assim como com o sentido de migração de águas subterrâneas definido no relatório técnico de Moraes (2015).

As linhas 04S e 08N permitem ver a mudança de padrão de empilhamento retrogradacional para transgressivo nos 24 m de profundidade e de progradacional para regressivo a partir dos 29 m, identificado nos locais onde não ocorre o contaminante o que permite a análise dos estratos.

Os radargramas 05NE, 06O e 07S foram os dados mais distantes do lixão a serem levantados, e se encontram a leste da linha 04S, mostrando que a pluma se estende lateralmente a mesma, mas em menor representatividade. Enquanto a linha 09O que também é lateral a 04S, mas a oeste e mais próxima do lixão, mostra a contaminação em toda sua extensão, corroborando que ele se trata da fonte.

A linha 01NE2011 (Figura 30), foi o dado que motivou a elaboração do presente estudo, onde pela anomalia na lateral do lixão foi presenciada pela primeira vez, na época ela apresentava-se pouco expressiva e ocorria apenas no início da linha. Já na linha 01NE (Figura 31) obtida no mesmo local em 2021 registrou-se um aumento expressivo na atenuação de 2011, que agora ocorre em profundidade e por toda a extensão da linha, aparece em profundidades inferiores a 15 m e mais expressiva nos pontos onde aparecia a contaminação inicial de 2011.

Em todos os dados de georadar coletados em 2021 ocorre uma interferência contínua dos 24 aos 29 m de profundidade, que pode ser interpretada como uma camada de depósito lagunar, que caracteristicamente possuem uma baixa permeabilidade o que explicaria o porquê da contaminação não se estender em profundidade como se estende lateralmente, hipótese que necessitaria de dados diretos para ser confirmada.

Com base nas informações elencadas foi elaborado o modelo de dispersão da pluma de contaminação (Figura 38), que permite uma melhor visualização dos dados discutidos.

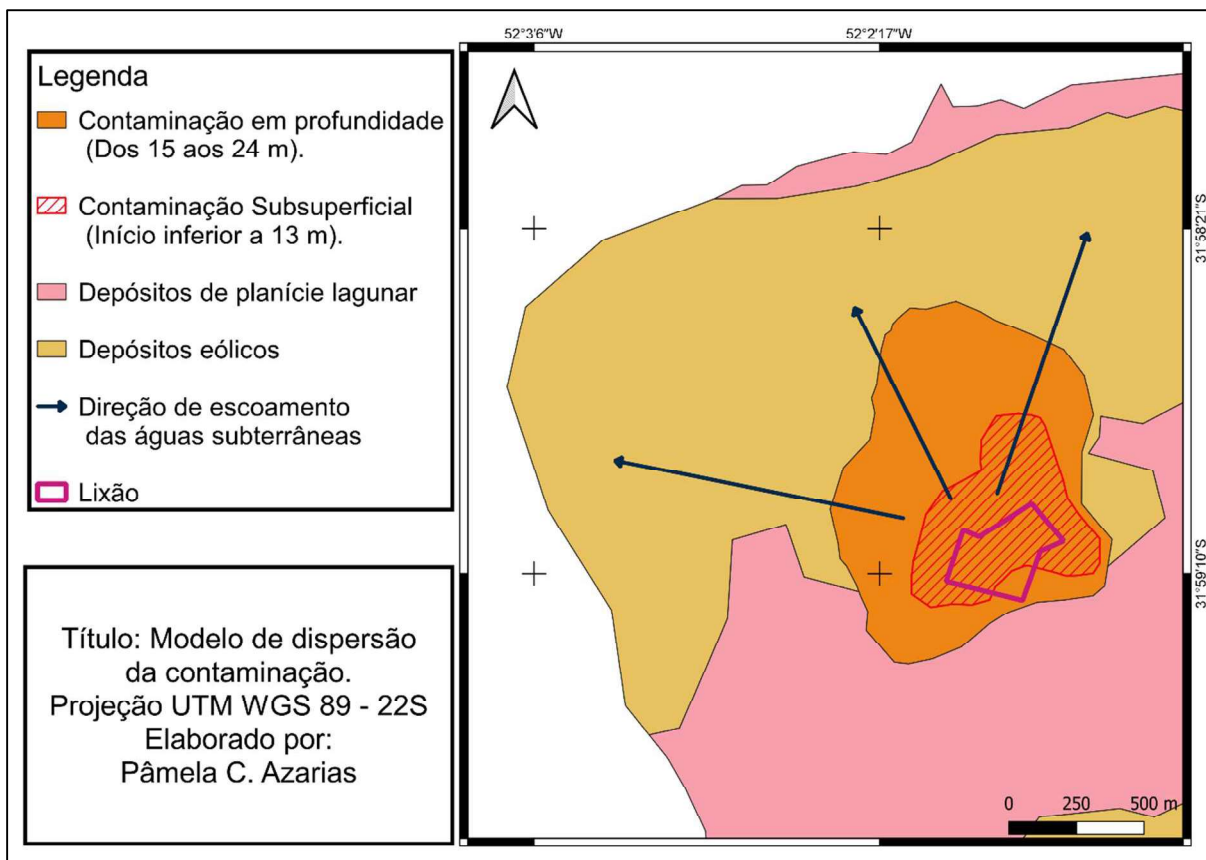


Figura 38 - Modelo de dispersão da contaminação.

Durante a investigação preliminar, o levantamento das imagens de satélite (Figura 11), levantou-se a hipótese de que o lixão se encontrava ativo, em decorrência do desmatamento local que aumentou, possivelmente em decorrência do descarte de resíduos sólidos. Ao analisarmos os dados da fotografia obtida em voo livre pelo VANT (Figura 33) confirmou essa hipótese, pois é possível visualizar o com uma escala de detalhes maior do que pelas imagens de satélite e constatar que ocorre o descarte de RSU no mesmo, corroborando que a condicionante 4.2 da LU - supracitada na avaliação preliminar, acerca da proibição de descarte de RSU no local – não está sendo cumprida pelo empreendimento.

Assim como a condicionante 1.13 - acerca da proibição de catadores nos arredores do empreendimento – não é atendida, sendo possível observar pessoas coletando lixo nas imagens da Figura 4 que foram capturadas durante a atividade de campo.

6. CONCLUSÃO

Concluindo-se que os objetivos do presente trabalho foram atendidos. Onde identificamos o padrão de atenuação que corresponde a contaminação, possibilitando mapeamento em duas dimensões da pluma e elaboração do modelo de dispersão.

Foi possível confirmar que a atenuação encontrada em 2011 era decorrente dos contaminantes gerados no processo de decomposição dos resíduos sólidos do lixão. Essa confirmação se deu por meio comparativo com o dado de 2021 onde os locais em que a atenuação se encontrava mais expressiva e com início mais superficial coincidiam com o local de ocorrência da anomalia em 2011, evidenciando que a causa da mesma aumentou e se espalhou durante os 10 anos que se transcorreram entre os dados. Ratificando a eficiência do uso de georadar durante a etapa de investigação confirmatória em áreas sob suspeita de contaminação decorrentes da disposição de resíduos sólidos.

A utilização de dados aéreos de satélite e os obtidos através do VANT se mostram eficientes para averiguar se empreendimento continua operando mesmo após seu encerramento oficial.

Ressalta-se que o local de estudo foi declarado como área suspeita de contaminação na condicionante 6.1 da LU nº 993-2021, onde foi condicionada a realizar as etapas de investigação ambiental, pelo item 6.2, ambas condicionantes não foram atendidas até o presente momento, segundo acompanhamento de andamentos de processos no SOL. Sendo assim a presente monografia se torna de suma relevância ambiental por contém a Avaliação Preliminar e Avaliação Confirmatória, reduzindo os custos municipais para atendimento das condicionantes impostas pelo órgão ambiental.

Por fim elenca-se a necessidade da realização da investigação detalhada, por métodos diretos, como sondagens e poços de monitoramento. Para que seja possível uma avaliação dos possíveis contaminantes e na elaboração de um projeto de remediação ambiental, para evitar que a pluma continue a se espalhar e venha causar danos à saúde dos seres vivos que utilizam da água subterrânea do local.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcântara, P.B. 2007. *Avaliação da influência da composição de resíduos sólidos urbanos no comportamento de aterros simulados*. Recife, 366p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco.

Annan, A.P. 2002. Ground Penetrating Radar. Workshop Notes. *Sensors & Software Inc*, Mississauga, Ontário, Canadá.

Annan, A.P. 2003. *Ground-penetrating radar principles, procedures and applications*. Mississauga, Sensors & Software Inc., 286p.

Aquino, W.F. 2000. *Métodos geofísicos eletromagnéticos aplicados ao diagnóstico da contaminação do solo e das águas subterrâneas em área de infiltração de resíduos industriais*. São Paulo, 121p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Aquino, W.F.; Botelho, M.A.B.; Gandolfo, O.C.B. 1998. Emprego de georadar na detecção de intrusão salina e na identificação de estruturas geológicas em áreas litorâneas. *In: X CONGRESSO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, 10., 1998, São Paulo. *Anais...* São Paulo, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, v.1, p. 102-111.

Atekwana, E.A.; Sauck, W.A.; Werkema Jr, D.D. 2000. Investigations of geoelectrical signatures at a hydrocarbon contaminated site. *Journal of Applied Geophysics*, 44(2-3):167-180.

Barboza, E.G.; Rosa, M.L.C.C.; Caron, F. 2014. Metodologia de aquisição e processamento em dados de georadar (GPR) nos depósitos quaternários da porção emersa da Bacia de Pelotas. *In: VI Simpósio Brasileiro de Geofísica*, 6., Porto Alegre. *Resumos Expandidos...* Porto Alegre, v. 1, p. 1-6.

Barboza, E.G.; Rosa, M.L.C.C.; Dillenburg, S.R.; Watanabe, D.S.Z.; Esteves, T.; Martins, E.M.; Gruber, N.L.S. 2018. Diachronic condition between maximum

transgressive and maximum eustatic sea-level in Holocene: Subsidies for coastal management. *Journal Of Coastal Research*, 85:446-450.

Bitencourt, V.J.B.; Dillenburg, S.R.; Barboza, E.G.; Rosa, M.L.C.C.; Manzolli, R. P. 2020. Padrões de empilhamento estratigráfico e seus reflexos na morfologia da Barreira Costeira Holocênica no Litoral Médio do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 21(3):529-548.

Brewster, M.L.; Annan, A.P. 1994. Ground-penetrating radar monitoring of a controlled DNAPL release: 200 MHz Radar. *Geophysics*, 59(8):1211-1221.

Cartwright, K.; McComas, M.R. 1968. Geophysical surveys in the vicinity of sanitary landfills in Northeastern Illinois. *Groundwater Journal*, 6:23-30.

Coelho, L.; Brito, J.N. 2007. *Fotogrametria Digital*. Rio de Janeiro: UERJ, 196 p.

Consoni, A.J.; Peres, C.S.; Castro A.P. 1995. Origem e composição do lixo. In: Jardim, N.S.; Wells, C. (Orgs.). *Lixo municipal: Manual de gerenciamento integrado*. 1 ed. São Paulo, CEMPRE, p. 29-40.

Correia, K.A.; Silva, M.W.C.; Mendes, A.C.; Miranda, A.G.O.; Luczynsky, E.; Cunha, I.R.V. 2019. A utilização do Ground-Penetrating Radar (GPR) na definição de penetração de cunha salina e no monitoramento do nível freático em praia estuarina amazônica. *Águas Subterrâneas*, 33(1):87-101.

Couto Jr, M.A. 2015. *Caracterização Hidrogeológica na Região de Termas de Ibirá, Bacia do Paraná, por Meio de Inversão Conjunta 1D de Sondagens TDEM/SEVs*. São Paulo, 148p. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geofísica, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo.

Daniels, D.J. 2004. *Ground Penetrating Radar*. 2 ed. London, The Institute of Electrical Engineers, 726p.

Daniels, J.J.; Roberts, R.; Vendl, M. 1995. Ground penetrating radar for the detection of liquid contaminants. *Journal of Applied Geophysics*, 33(1-3):195-207.

Davis, J.L.; Annan, A.P. 1989. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 37(5):531-551.

Faria, S. H. 2010. *O uso do georradar na determinação de parâmetros da estrutura de pavimentos flexíveis*. Viçosa, 125 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa.

Fernandez, G.B.; Rocha, T.B.; Barboza, E.G.; Dillenburg, S.R.; Rosa, M.L.C.C.; Angulo, R.J.; Souza, M.C.; Oliveira, L.H.S.; Dominguez, J.M.L. 2019. Natural Landscapes Along Brazilian Coastline. *In: Salgado, A.A.R.; Santos, L.J.C.; Paisani, J.C. (Eds.). The physical geography of Brazil: Environment, vegetation and landscape*. Cham, Springer, 199-218.

Greenhouse, J.; Brewster, M.; Schneider, G.; Redman, D; Annan, A.P.; Olhoeft, G.; Lucius, J.; Sander, K.; Mazzella, A. 1993. Geophysics and Solvents: The Borden Experiment. *The Leading Edge*, 12(4):261-267.

Greenhouse, J.P. 1996. *Aplicações de metodologias geofísicas em estudos ambientais e geotécnicos*. Rio Claro, CEA/UNESP, 111p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2014. *Censo Brasileiro de 2014*. Rio de Janeiro, IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>> Acesso em 31 de março de 2022.

INFOSANBAS. Informações sobre saneamento básico na palma da mão. 2011. *Saúde e Saneamento*. Disponível em: <<https://infosanbas.org.br/municipio/sao-jose-do-norte-rs/>>. Acesso em 31 de março de 2022.

Lanz, E.; Jemmi, L.; Mller, R.; Green, A.; Pugin, A.; Huggenberger, P. 1994. Integrated studies of swiss waste disposal sites: Results from georradar and other geophysical surveys. *In: 5th International Conference On Ground Penetrating Radar (GPR '94)*, 1994, Kitchener. *Proceedings...* Kitchener, European Association of Geoscientists & Engineers, 1261-1274.

Lenz, G. H. 2016. *Estudos geofísicos em aterro controlado, Caçapava do Sul – RS*. Caçapava do Sul, 59 p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geofísica, Universidade Federal do Pampa.

Magalhães, D.M. 2021. *Uso de drones como suporte ao planejamento territorial: da coleta de dados à geovisualização*. Belo Horizonte, 257 p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

Mendes, J.M.B. 1987. *Técnica geofísica aplicada no mapeamento e monitoramento de poluição e contaminação de águas subterrâneas*. São Paulo, 196 p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Moraes R.M.D. 2015. *Relatórios Ambientais*. Sede Da Fepam, No Endereço Av. Borges De Medeiros, 261, Centro Histórico, Porto Alegre - RS, No Processo Nº 7081-0567/10-6.

Mota, J.C.; Almeida, M.M.; Alencar, V.C.; Curi, W.F. 2009. Características e impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos: uma visão conceitual. *In: I CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO*, 1., 2009, São Paulo. *Anais...* São Paulo, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, v.1, p. 1-15.

Nascimento, C.T.C.; Koide, S.; Pires, A.C.B. 1998. Análise geofísica, por meio de GPR, do espalhamento de efluente de fossa séptica no subsolo. *In: X CONGRESSO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, 10., 1998, São Paulo. *Anais...* São Paulo, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, v.1, p. 1-9.

Nex, F.; Remondino, F. 2014. UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics*, 6(1):1-15.

Poluha, B. 2017. *Mapeamento GPR 2D/3D de interferências enterradas no SCGR-II do IAG: aplicações no planejamento urbano*. São Paulo, 84 p. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geofísica, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo

Reichert, G.A. 1999. Gerenciamento integrado de resíduos sólidos: uma proposta inovadora. *Ciência e Ambiente*, 18:53-68.

Remondino, F.; Barazzetti, L.; Nex, F.; Scaioni, M., Sarazzi, D. 2011. UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling – current status and future perspectives. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38:25-31.

Rodrigues, D.A.; Gallardo, A.L.C.F. 2018. Vantagens da aerofotogrametria por drone na obtenção de dados topográficos em estudos de lixões e aterros sanitários. *In: VII Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, 7.*, São Paulo. *Anais...* São Paulo, v.1, p. 1-19.

Santos, I.R.M.; Oliveira Neto, E.R.; Dias, R.M.; Santos, F.M.; Porto, C.P.F.M.; Cecilio, A.; Araujo, J.; Lima, A.M.; Machado, J.; Figueiredo Junior, A.G. 2016. O uso de radar de penetração do solo (GPR) na identificação do lençol freático – Projeto Renaturalização do Rio Jacaré. *In: VII Simpósio Brasileiro de Geofísica, 7.*, Ouro Preto. *Anais...* Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Geofísica, v.1, p. 1-2.

Santos Junior, J.B.C. 2019. *Estratigrafia de georadar (GPR) e evolução de rampa coluvial durante o último máximo glacial UMG: Cerro do Touro, Jaraguá do Sul - SC*. Florianópolis, 68p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geografia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina.

SGB. Serviço Geológico Brasileiro. [Downloads]. Disponível em: <<https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>>. Acesso em 12 de março de 2021.

SIAGAS. Serviço Geológico do Brasil. [Bacias Hidrográficas]. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php>. Acesso em 10 de novembro de 2021.

Simões, R.S.; Oliveira, U.R.; Espinoza, J.; Albuquerque, M.G.; Leal-Alves, D.C. 2019. Uso de drone de pequeno porte para análise costeira: enfoque metodológico. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(2):622-640.

Soares E.A. 2021. Relatórios Ambientais. Processo Nº 2533-0567/21-2 << Sistema Online De Licenciamento Ambiental Do Rio Grande Do Sul - Sol>>

Snavely, K.N. 2008. *Scene reconstruction and visualization from internet photo collections*. Seattle, 192 p. Doctoral Dissertation, Computer Science & Engineering, University of Washington.

Tagliani, C. R. A. (2003). Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações.

Tomazelli, L.J.; Dillenburg, S.; Villwock, J.A. 2000. Late Quaternary geological history of Rio Grande do Sul coastal plain, Southern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(3):470-472.

Villwock, J.A.; Tomazelli, L.J.; Loss, L.A.; Dehnhardt, E.A.; Horn Filho, N.O.; Bachi, F.A.; Dehnhardt, B.A. 1986. Geology of the Rio Grande Do Sul coastal province. *In: Rabassa J. (Ed.). Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*. 1. ed. Rotterdam, CRC Press, 344p.

ANEXO 1. LICENÇA ÚNICA Nº 993-2021

- 6.1- considerando as diretrizes da Resolução Conama nº 420/2009, a presente área foi declarada área Suspeita de Contaminação, devendo o empreendedor proceder com os demais procedimentos de investigação de áreas contaminadas conforme Diretriz Técnica FEPAM N.º 03/2021;
- 6.2- deverá ser apresentado à Fepam, no prazo de 90 (noventa) dias da emissão desta licença, relatório técnico de investigação confirmatória, de acordo com o item 6.2 da Diretriz Técnica FEPAM N.º 03/2021;
- 6.3- os formulários referentes à Fase III - Diagnóstico de Áreas Contaminadas e Fase IV - Projeto serão solicitados ao empreendedor pela FEPAM posteriormente;

7. Quanto à Publicidade da Licença:

- 7.1- deverá ser instalada placa de identificação e divulgação da Licença Ambiental, conforme Portaria Nº 17/2009 DPRES, segundo modelo disponível na home page da FEPAM (www.fepam.rs.gov.br);
- 7.2- deverá ser registrado na matrícula do imóvel junto ao Cartório de Registro de Imóveis da Comarca ao qual pertence, que a área foi utilizada para disposição de resíduos sólidos, indicando a poligonal georreferenciada, a tipologia do resíduo disposto e o uso restrito da área. A Declaração de Passivo Ambiental será emitida pela FEPAM e estará disponível no processo de remediação ou monitoramento de área degradada, devendo ser apresentado a esta Fundação, no prazo de 60 (sessenta) dias, a cópia do documento de escritura pública do imóvel atualizada;

III - Documentos a apresentar para renovação desta Licença:

- 1- laudo técnico acompanhado de registro fotográfico detalhado, firmado pelo responsável técnico, apresentando as reais condições do empreendimento em cumprimento a presente licença;
- 2- declaração do empreendedor quanto à responsabilidade técnica pela operação do empreendimento, remetendo cópia da ART do responsável técnico;
- 3- planta atualizada da área onde conste todas as unidades existentes em operação e encerradas e pontos de monitoramento com as respectivas coordenadas em grau decimal sistema SIRGAS2000, quando houver e quadro de áreas;
- 4- layout geral do empreendimento;
- 5- imagem de satélite atualizada e colorida, indicando a localização da área e descrição das vias de acesso desde a sede do município;
- 6- acessar o SOL - Sistema On Line de Licenciamento Ambiental, em www.sol.rs.gov.br, e seguir as orientações preenchendo as informações e apresentando as documentações solicitadas. O Manual de Operação do SOL encontra-se disponível na sua tela de acesso;

Havendo alteração nos atos constitutivos, a empresa deverá apresentar, imediatamente, cópia da mesma à FEPAM, sob pena do empreendedor acima identificado continuar com a responsabilidade sobre a atividade/empreendimento licenciada por este documento;

Esta licença é válida para as condições acima até 23 de abril de 2026, caso ocorra o descumprimento das condições e restrições desta licença, o empreendedor estará sujeito às penalidades previstas em Lei.

Esta licença não dispensa nem substitui quaisquer alvarás ou certidões de qualquer natureza exigidos pela Legislação Federal, Estadual ou Municipal, nem exclui as demais licenças ambientais;

Esta licença deverá estar disponível no local da atividade licenciada para efeito de fiscalização.

Data de emissão: Porto Alegre, 22 de abril de 2021.

Este documento é válido para as condições acima no período de 23/04/2021 a 23/04/2026.

A renovação desta licença deve ser requerida com antecedência mínima de 120 dias da expiração de seu prazo de validade, fixado na respectiva licença, conforme Art. 14 § 4.º da Lei Complementar nº 140, de 08/12/2011.

Este documento foi certificado por assinatura digital, processo eletrônico baseado em sistema criptográfico assimétrico, assinado eletronicamente por chave privada, garantida integridade de seu conteúdo e está à disposição no site www.fepam.rs.gov.br.

fepam@.