

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Trabalho de Formatura 23/03

**O ATERRO SANITÁRIO DE BAURU (SP): EVOLUÇÃO DA CONTAMINAÇÃO  
E DOS IMPACTOS CAUSADOS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

ALINE BROMBAL VISNADI

Orientador: Prof. Ricardo Hirata

Coorientador: Dr. Fernando Augusto Saraiva

SÃO PAULO

2023

## **AGRADECIMENTOS**

O desenvolvimento deste trabalho de formatura contou com a colaboração e o suporte de diversas pessoas, às quais expresso meu sincero agradecimento:

Aos meus pais, Maria Ana e Jair, que constituem a mais sólida base de amor, apoio e incentivo possível.

Aos meus irmãos, Fábio e Débora, minhas maiores inspirações, por toda cumplicidade, companheirismo e por tornarem todos os momentos difíceis mais leves.

Ao orientador e coorientador Ricardo Hirata e Fernando Augusto Saraiva, respectivamente, que me acompanharam durante o ano, dando todo o suporte necessário para o desenvolvimento deste projeto.

Aos professores do curso de geologia, cujos ensinamentos foram fundamentais para minha jornada e tornaram possível a conclusão dessa etapa.

À equipe que me acompanhou em campo: Mariana Bernardini, Élvio, Paulinho, Henrique e Samuca, cujo apoio foi imprescindível para a realização deste projeto, por toda a paciência e aprendizado.

Ao CEPAS|USP e seus laboratórios, que disponibilizou equipamentos e recursos para que este projeto fosse possível, e em especial à Elí Cristina Caçador, que me ensinou e acompanhou durante todo o processo de análises químicas.

E, por fim, aos amigos que me acompanharam nesse processo, em especial à Carolina Rodrigues e Mirela Visnadi, e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para este projeto.

## RESUMO

A disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos (RSU) constitui um problema que tem recebido grande atenção nos últimos anos. No Estado de São Paulo, a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), desde 2005, estabelece procedimentos específicos que regulamentam o tratamento desses resíduos, a fim de minimizar o potencial de contaminação do solo, das águas (superficiais e subterrâneas) e do ar. O Aterro de RSU de Bauru (SP) foi estudado entre janeiro de 2003 a abril de 2008, onde se detectou uma pluma contaminante, sendo que sua operação se estendeu de 1993 a 2013. O estudo anterior se constituiu de técnicas de geofísica de superfície, bem como amostragem de solo e água subterrânea, permitindo detectar a presença de plumas de contaminação em três principais regiões do aterro. Utilizando-se de técnicas semelhantes, este trabalho de formatura avaliou a situação atual da contaminação no aterro, através da comparação dos resultados em dois momentos distintos do tempo. A aplicação do método geofísico de eletrorresistividade proporcionou uma compreensão substancial do comportamento dos potenciais contaminantes na subsuperfície do aterro. Essa abordagem revelou uma direção visível de migração preferencial para a porção noroeste da área de estudo, coincidindo com a presença de um paleocanal de drenagem. Posteriormente, os dados hidroquímicos corroboraram os resultados obtidos por essas técnicas, confirmando maiores concentrações do íon indicador na área identificada pelos caminhamentos elétricos (CE). A partir disso, foi possível avaliar a precisão e compreensão obtidas a partir da integração dessas técnicas clássicas para um monitoramento assertivo. As técnicas de geofísica de superfície se mostraram precisas, podendo servir de apoio às avaliações de impacto das regiões no entorno do aterro, bem como ajudar a traçar estratégias para a remediação dessas áreas. Adicionalmente, a análise comparativa dos dados hidroquímicos históricos e atuais revela que a concentração mais elevada de íons indicadores, previamente identificada na área do poço de monitoramento PP-7, deslocou-se em direção aos poços PP-1 e PP-18. Este deslocamento segue a trajetória prevista do fluxo de água subterrânea inferida na elaboração do mapa potenciométrico.

**Palavras-chave:** aterro sanitário; contaminação; geofísica de superfície; investigação ambiental.

## ABSTRACT

The improper disposal of urban solid waste (USW) has become a significant issue receiving considerable attention in recent years. In the State of São Paulo, the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB) has been implementing specific procedures since 2005 to regulate the treatment of these wastes, aiming to minimize the potential contamination of soil, surface and groundwater, and air. The Bauru Urban Solid Waste Landfill in São Paulo was studied from January 2003 to April 2008, revealing a contaminant plume, with its operation spanning from 1993 to 2013. The previous study involved surface geophysics techniques, as well as soil and groundwater sampling, detecting contamination plumes in three main regions of the landfill. Using similar techniques, this graduation project evaluated the current contamination status at the landfill by comparing results at two different time points. The application of the geophysical method of electrical resistivity provided a substantial understanding of the behavior of potential contaminants in the subsurface of the landfill. This approach revealed a visible direction of preferential migration towards the northwest portion of the study area, coinciding with the presence of a paleodrainage channel. Subsequently, hydrochemical data corroborated the results obtained by these techniques, confirming higher concentrations of the indicator ion in the area identified by electrical traverses (ET). This allowed for an assessment of the accuracy and understanding gained from integrating these classical techniques for effective monitoring. Surface geophysics techniques proved to be accurate and can support assessments of the impact on areas surrounding the landfill, as well as aid in devising strategies for remediation of these areas. Additionally, the comparative analysis of historical and current hydrochemical data reveals that the higher concentration of indicator ions, previously identified in the monitoring well PP-7 area, has shifted towards wells PP-1 and PP-18. This movement follows the predicted trajectory of groundwater flow inferred in the development of the potentiometric map.

**Keywords:** landfill; contamination; surface geophysics; environmental investigation.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>2</b>
<b>4.1 O município.....</b>	<b>2</b>
<b>4.2 O Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos de Bauru (ARSUB).....</b>	<b>3</b>
<b>4.2.1 Geologia e Hidrogeologia Local.....</b>	<b>3</b>
<b>4.2.2 Histórico de Atividades do Aterro.....</b>	<b>4</b>
<b>4.2.3 Trabalhos Prévios.....</b>	<b>6</b>
<b>4.3 O impacto de aterros de resíduos sólidos na água subterrânea.....</b>	<b>11</b>
<b>4.4 A geofísica de superfície aplicada à investigação geoambiental.....</b>	<b>14</b>
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
<b>5.1 Reconhecimento da área .....</b>	<b>15</b>
<b>5.2 Métodos geofísicos .....</b>	<b>17</b>
<b>5.2.1 Caminhamento Elétrico (CE).....</b>	<b>17</b>
<b>5.2.2 Sondagens elétricas verticais (SEVs).....</b>	<b>19</b>
<b>5.3 Análises hidrogeoquímicas .....</b>	<b>20</b>
<b>6. RESULTADOS OBTIDOS.....</b>	<b>23</b>
<b>6.1 Reconhecimento da área.....</b>	<b>23</b>
<b>6.1.1 Imageamento histórico.....</b>	<b>23</b>
<b>6.1.2 Topografia da área.....</b>	<b>28</b>
<b>6.2.2 Reconhecimento in loco.....</b>	<b>29</b>
<b>6.2 Métodos indiretos.....</b>	<b>30</b>
<b>6.3 Análises diretas.....</b>	<b>33</b>
<b>7. DISCUSSÕES.....</b>	<b>42</b>
<b>7.1 Avaliação dos dados obtidos nas campanhas de 2023.....</b>	<b>42</b>
<b>7.2 Comparação aos dados históricos.....</b>	<b>45</b>
<b>8. Conclusões.....</b>	<b>47</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>48</b>

Anexo A: Tabelas – Resultados Hidrogeoquímicos



## **1. INTRODUÇÃO**

A CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) define como áreas contaminadas aquelas nas quais há comprovação de degradação, causada pela introdução de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, quer infiltrados, depositados ou acumulados, de modo planejado, accidental ou naturalmente, que impacta de forma indesejada aquíferos, rochas, sedimentos ou materiais de cobertura em aterros.

Já o Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) é um procedimento técnico e administrativo previsto na legislação ambiental federal, por meio da Resolução CONAMA nº 420/2009 e na legislação do Estado de São Paulo, especialmente pela Lei Estadual nº 13.577/2009 e pelo Decreto Estadual nº 59.263/2013, que estabelece as diretrizes para a condução de todas as fases de identificação e reabilitação de áreas contaminadas.

O Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos de Bauru (ARSUB), localizado a cerca de 15km do centro urbano, foi ativo entre os anos de 1993 e 2013, mas em 2008 a sua capacidade prevista pelo projeto original estava esgotada. Além disso, até o fim de 2007, o aterro não contava com um sistema de tratamento e destinação final do seu chorume, formado pela decomposição da matéria orgânica depositada. Assim, a grande quantidade de chorume, por vezes, transbordou durante as estações chuvosas, havendo indícios de sua infiltração pela base da estrutura do aterro (Mondelli, 2008), o que implicou no seu cadastro como área contaminada pela CETESB.

Segundo a CETESB (2011), durante o funcionamento do aterro, foram apresentados três projetos de ampliação deste, junto à Agência Ambiental de Bauru e à Empresa Municipal de Desenvolvimento Urbano e Rural (EMDURB) nos anos de 2007, 2009 e 2010. Em dezembro de 2010, a CETESB realizou a análise da última proposta através do Parecer Técnico 001/2011/LPGP, sendo aprovada mediante a perspectiva de um plano de encerramento das atividades do aterro e de exigências técnicas. Assim, o aterro ganhou uma sobrevida de 34 meses, com encerramento de suas atividades em outubro de 2013.

Segundo o IBGE, em 2010, os cerca de 334.039 habitantes da cidade de Bauru descartavam entre 220 e 250 toneladas/dia de lixo e até 2007 mais 1,8 tonelada/dia de resíduos hospitalares, que eram depositados em valas sépticas nas faces sul-sudeste do aterro.

Mondelli (2008) publicou um estudo em que caracterizava a poluição e contaminação na área do ARSUB, a partir da aplicação de testes, ensaios geofísicos e hidrogeoquímicos

nos poços de monitoramento existentes na área. Com isso, a autora diagnosticou a presença de plumas em três regiões principais do aterro: uma principal, a oeste, no sentido do fluxo subterrâneo do local; e outras, nas regiões sul e leste, detectadas por meio de levantamentos geofísicos. Os parâmetros com concentração acima dos limites adotados pela CETESB para água subterrânea identificados pela autora nos poços amostrados foram: pH, fosfato total, metais (Pb, Fe e Cr) e DBO.

Após quinze anos do estudo pioneiro, o presente trabalho de formatura realizou uma nova avaliação da área contaminada, utilizando-se de métodos semelhantes aos utilizados anteriormente, a fim de compreender a evolução dessas plumas ao longo dos anos.

## **2. METAS E OBJETIVOS**

Este projeto tem como objetivo principal estudar os impactos do Aterro de Resíduos Sólidos de Bauru, por meio do método geofísico da eletrorresistividade e de indicadores hidrogeoquímicos, comparando-os com resultados de avaliações anteriores.

São objetivos específicos:

- Entender a hidráulica e o fluxo da água subterrânea na região do ARSUS;
- Avaliar a evolução dos contaminantes no meio, a partir de uma comparação histórica entre o período do último estudo (janeiro de 2003 a abril de 2008) e o estudo atual;
- Avaliar a aplicação de técnicas de geofísica de superfície para investigação do subsolo e identificação de áreas potencialmente contaminadas;
- Utilizar as análises diretas e dados hidroquímicos como instrumento de verificação e validação dos métodos geofísicos; e
- Verificar a capacidade do meio em degradar naturalmente o resíduo.

## **3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 O município**

Localizado na porção centro-oeste do Estado de São Paulo e distante a 326km da capital, o município de Bauru é considerado o mais populoso da região, com 371.690 habitantes (IBGE, 2017). O município possui uma área de 667,684km<sup>2</sup> e está posicionada a uma latitude 22°18'54"S e a uma longitude 49°03'39"O. A cidade localiza-se no Planalto Ocidental, cujo relevo apresenta predomínio de morros e colinas estruturalmente controlados – com leve caiamento para oeste (Prefeitura Municipal de Bauru, 2017).

### 3.2 O Aterro de Resíduos Sólidos Urbano de Bauru (ARSUB)

#### 4.2.1 Geologia e Hidrogeologia Local

O ARSUB está inserido sobre as sequências sedimentares da Bacia do Paraná, aflorando, especificamente, sobre sedimentos das Formações Adamantina e Marília – de idade mesozoica, pertencentes ao Grupo Bauru (Figura 1).

A Formação Adamantina é composta, principalmente, por arenitos finos a muito finos, podendo se intercalar a cimentos e nódulos carbonáticos - provenientes de depósitos fluviais siltosos – que resultam de frontes de pequenos deltas gerados a partir da entrada dos rios dos sistemas fluviais (Fulfaro e Bjomberg, 1993; Furtado, 2007). Ao longo da formação, são visíveis estruturas como marcas de onda e estratificações cruzadas.

A Formação Marília, por sua vez, é constituída de sedimentos muito mal selecionados, causando, assim, uma ocorrência de granulometrias mais grossas e grãos angulosos, bem como a presença de minerais mais pesados e instáveis (Soares *et al*, 1980; Mondelli, 2008). Assim, a unidade apresenta, principalmente, arenitos conglomeráticos, bem como bancos areníticos separados por camadas de lamitos intensamente bioturbadas (Mondelli, 2008). Em algumas áreas, é visível a presença de forte cimentação por nódulos carbonáticos, podendo representar até 40% da rocha (DAE, 2014; Mondelli, 2008).

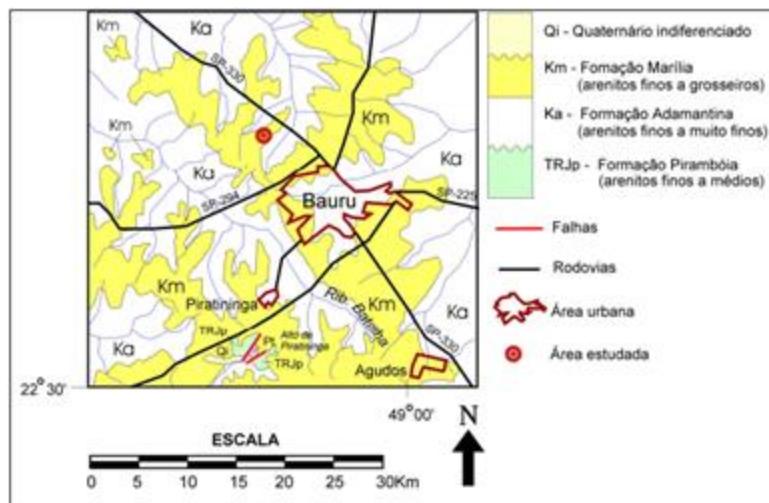


Figura 1: Geologia da região de Bauru com destaque para a área estudada (Modificado de Mondelli, 2008).

Ressalta-se que ambas as formações possuem deposição no período Cretáceo Superior, com ocorrência da Formação Marília, em geral, em cotas mais altas que a Formação

Adamantina (Cavaguti, 1981). Também é importante ressaltar a presença de afloramentos da Formação Serra Geral, na forma de derrames e soleiras basálticas (Paula e Silva *et al*, 2008).

Ademais, a área de estudo está situada entre vales constituídos pelos Córregos Gabiroba – a oeste; e Ribeirão da Água Parada – a leste; na qual os sedimentos da Formação Marília são quase totalmente recobertos por camadas de aluvião e colúvio. As rochas que afloram nessa região compõem o Sistema Aquífero Bauru (SAB), que possui comportamento de aquífero livre a localmente confinado e apresenta vazões entre 12 e 13 m<sup>3</sup>/h – que são consideradas pequenas.

Na região do estudo, o SAB apresenta espessuras gerais entre 100m e 150m, podendo atingir 200m em regiões mais elevadas (Simonato *et al*, 2016). Os valores de porosidade efetiva do SAB variam entre 5 e 15%, e a transmissividade varia entre 10m<sup>2</sup>/d e 100m<sup>2</sup>/d – apresentando uma média de 35m<sup>2</sup>/d (Prefeitura Municipal de Bauru, 2017).

#### *4.2.2 Histórico de Atividades do Aterro*

O Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos de Bauru (ARSUB) localiza-se a 15km do centro urbano (Figura 2) e ocupa uma área de 268.985m<sup>2</sup>. O aterro está localizado em zona rural, possuindo, ao seu redor, a ocorrência de atividades rurais – como pecuária e plantações de cana de açúcar – e uma penitenciária. Segundo Mondelli *et al* (2016), as atividades pecuárias presentes nos arredores do aterro possivelmente influenciam a qualidade das águas dos poços de monitoramento presentes neste.

O aterro foi originalmente projetado em 1992 pela Escola de Engenharia de São Carlos, e possuiu o início de suas atividades no ano de 1993 (Jesus, 2012), sendo sua operação responsabilidade da EMDURB. Em seu projeto inicial, eram calculadas três camadas somando 15m de altura no total a qual varia de leste à oeste devido às diferenças topográficas (FIPAI, 1992).

A proteção base do aterro foi feita a partir de quatro camadas de 20cm de solo, as quais foram compactadas 3% acima do teor de umidade ótimo, com rolo pé-de-carneiro. Sobreposto a essas, executou-se uma imprimação betuminosa em duas demãos com asfalto diluído CM-30. Isso faria com que a base do aterro se situasse a cerca de 5m do topo da zona saturada (FIPAI, 1992).

Até 2007, o ARSUB recebia cerca de 220 a 250 toneladas/dia de lixo provenientes do descarte urbano (IBGE, 2010), além de 1,8 tonelada/dia de resíduos hospitalares, os quais eram depositados em valas sépticas a sul e sudeste deste. O fundo e as laterais dessas valas recebiam uma camada de asfalto diluído CM-30 antes da deposição dos resíduos (Mondelli *et al*, 2016). No entanto, a EMDURB decidiu, então, deixar de receber os resíduos gerados

por hospitais, clínicas e laboratórios da cidade, tendo para isso contratado uma empresa privada que tratou de seu gerenciamento e tratamento (Jornal da Cidade de Bauru, 2008). Ao fim de 2012, os resíduos de serviços de saúde eram estocados em câmaras frigoríficas construídas na área do Aterro e, posteriormente, incinerados (Jesus, 2012).

Em outubro de 2007, foi encaminhado um processo ao Departamento de Avaliação de Impactos Ambientais (DAIA) solicitando a ampliação do aterro, a partir do alteamento de uma quarta camada de resíduos sobre o aterro já existente (Jesus, 2012). Segundo Mondelli (2008), uma das exigências do DAIA para que isso fosse possível era a instalação de lagoas de armazenamento de chorume, as quais foram construídas e entraram em operação em janeiro de 2008. Até então, o aterro não contava com um sistema de tratamento e destinação final do chorume. Provavelmente por terem sido sub-dimensionadas, as lagoas de chorume transbordavam durante as estações chuvosas, o que fazia com parte desses efluentes se infiltrasse novamente na massa de resíduos e, muito provavelmente, no subsolo (Mondelli et al, 2016; Mondelli, 2008).

Considerando a grande extensão do aterro, um problema que causa preocupação é a pequena quantidade de chorume coletada por seu sistema de drenagem, que indica falhas no sistema de impermeabilização e, assim, uma possível infiltração do chorume pela base do ARSUB (Mondelli, 2008). Segundo Mondelli (2008), era frequente a quebra de equipamentos de transporte, compactação e recobrimento do lixo. Com isso, os resíduos passavam muito tempo expostos, produzindo, assim, maior volume de chorume pelo aporte de águas de chuva na superfície – que não era conduzido a sistemas de tratamento para evitar a contaminação.

Em janeiro de 2009, o “Projeto de Ampliação e Encerramento do Aterro Sanitário de Bauru” foi apresentado pela Weber Consultoria Ambiental Ltda. Este, propunha a execução de quatro camadas de resíduos sobre o maciço existente, com um alteamento total de 20m (CETESB, 2011). A CETESB solicitou, então, a apresentação de estudos que demonstrassem a estabilidade geotécnica do maciço, além de outras complementações necessárias. No entanto, os estudos apresentados pela Prefeitura não teriam atendido o que foi solicitado (CETESB, 2011).

Em outubro de 2010, uma nova proposta de ampliação foi apresentada pela EMDURB em conjunto com a Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB) da UNESP (CETESB, 2011). A ampliação do Aterro foi, então, aprovada no alteamento do aterro para 4<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup> e 6<sup>a</sup> camadas. No entanto, em janeiro de 2011, a CETESB determinou que a ampliação para a 6<sup>a</sup> camada teria ultrapassado as condições previstas no licenciamento inicial, e foi decidido que as atividades do ARSUB teriam continuidade apenas sob a perspectiva de encerramento.

Em 2010, a EMDURB havia assinado um contrato com a empresa Monte Azul Engenharia Ambiental Ltda., comprometendo-se a retirar, transportar, tratar e destinar os

3000m<sup>3</sup> de percolado acolhidos pelas lagoas de chorume no ARSUB até outubro de 2012. No entanto, a retirada do chorume não foi iniciada até o fim de 2012, quando o CADRI (Certificado de Autorização de Destinação de Resíduos Industriais) foi emitido pela CETESB (Jesus, 2012). Em meados de 2013, a área de estudo passou por um processo de encerramento da operação (Prefeitura Municipal de Bauru, 2014).



Figura 2: Início ao encerramento das atividades do Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos de Bauru.  
(Informações retiradas do parecer técnico 001/2011 da CETESB).

#### 4.2.3 Trabalhos prévios

O estudo realizado por Mondelli (2008), base comparativa para este trabalho, realizado no período de janeiro de 2003 a abril de 2008, utilizou métodos geofísicos e doze campanhas de amostragem de água subterrânea em quinze poços de monitoramento (Figuras 3, 4 e 5), a fim de confirmar a contaminação na região do ARSUB.

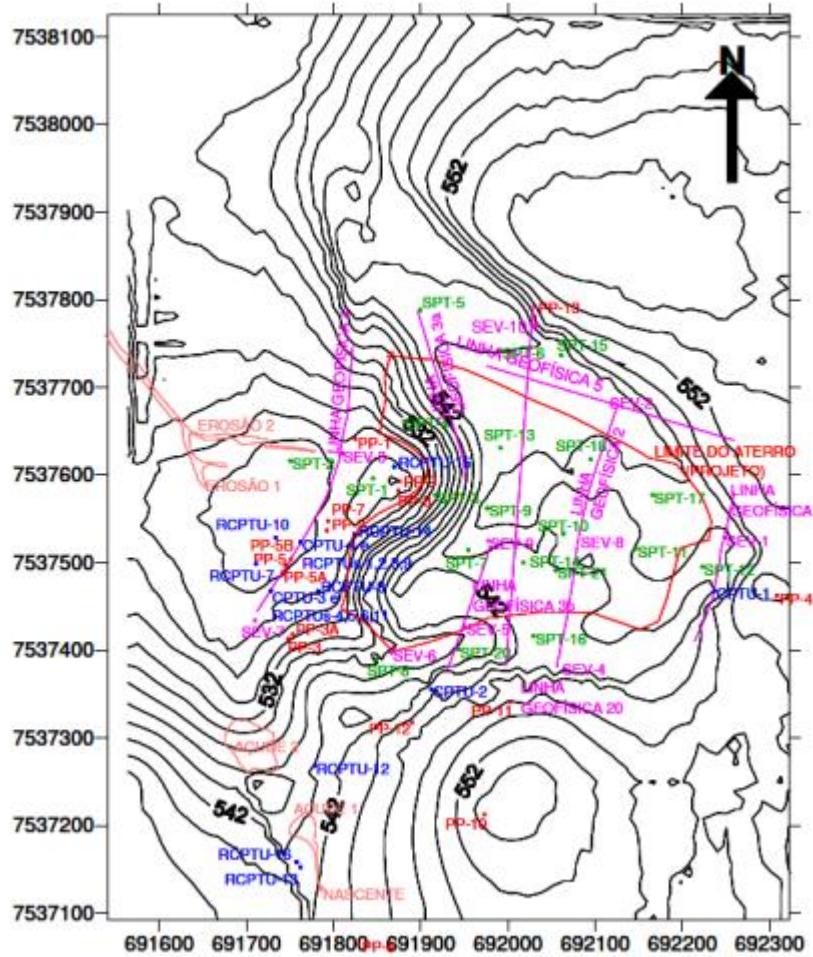


Figura 3: Localização dos ensaios realizados no estudo de Mondelli (2008). Retirado de Mondelli (2008).

A autora identificou três regiões do aterro que apresentavam plumas de contaminação, sendo uma delas mais rasa e oriunda do descarte dos resíduos hospitalares; outra mais profunda, advinda da influência direta das lagoas de chorume; e a última também profunda em pontos de localização abaixo dos resíduos. A profundidade atingida pela contaminação, de aproximadamente 25m, ocorre devido aos elevados gradientes hidráulicos e às permeabilidades do aquífero (Mondelli, 2008). Não foram encontrados mapas indicando a localização e sentido de deslocamento das plumas identificadas pela autora na região do aterro que possibilitassem uma comparação com os resultados obtidos atualmente.

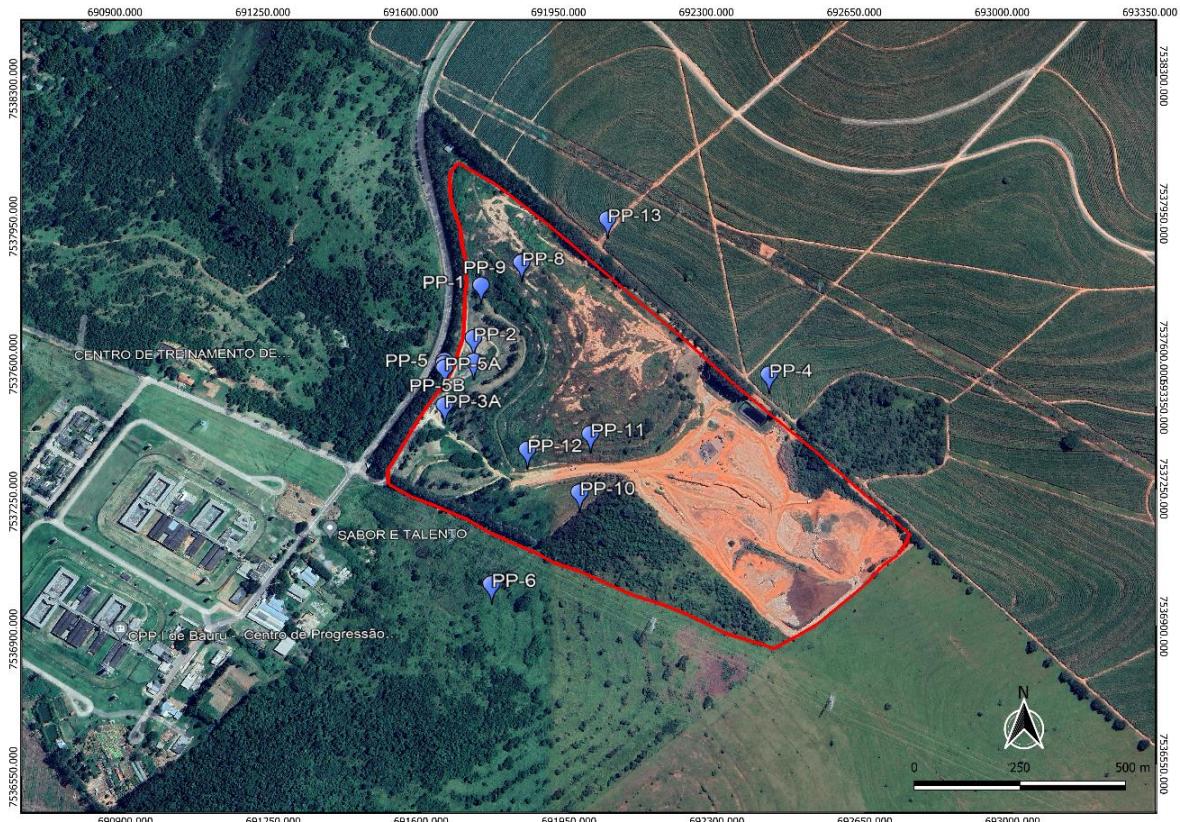


Figura 4: Localização dos poços de monitoramento no ARSUB utilizados no estudo de Mondelli, 2008. O polígono vermelho delimita a Área de Estudo (Modificado de Google Earth ®).

Mondelli (2008) realizou seis linhas de Caminhamento Elétrico (CE) na área do aterro, com espaçamento dos eletrodos de 10m e seus múltiplos entre os eletrodos, permitindo a investigação até profundidades máximas próximas a 25m (Figura 5). A aplicação dessa técnica possibilitou a identificação da zona saturada e a identificação dos principais pontos indicativos das plumas de contaminação. As Figuras 6, 7 e 8 mostram os resultados dos caminhamentos obtidos pelas linhas 3b, 4 e 5 pela autora, as quais foram replicadas no presente trabalho.

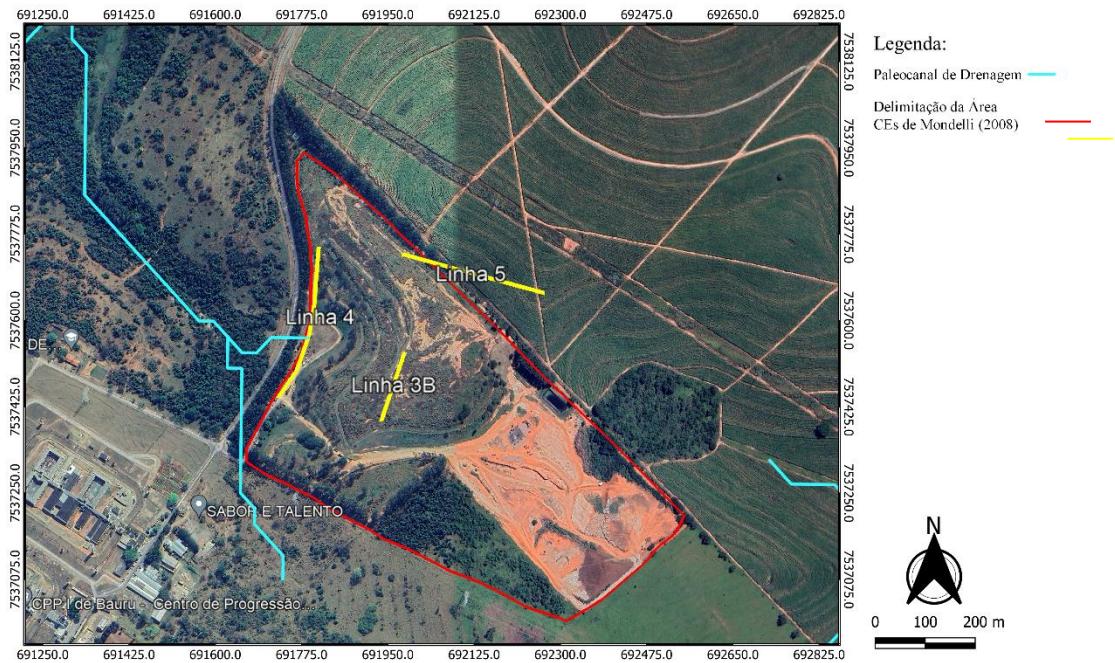


Figura 5: Linhas de Caminhamento Elétrico (CE) de Mondelli (2008) que foram replicadas neste estudo.

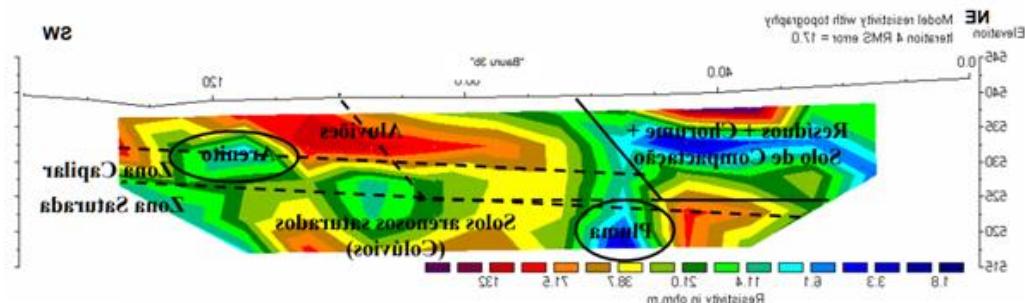


Figura 6: Seção de resistividade da Linha 3b obtida por Mondelli, 2008. Ressalta-se que a figura se encontra invertida horizontalmente, para que o perfil seja representado na mesma direção que o atual, a fim de facilitar a comparação dos dados da autora com os obtidos neste trabalho.

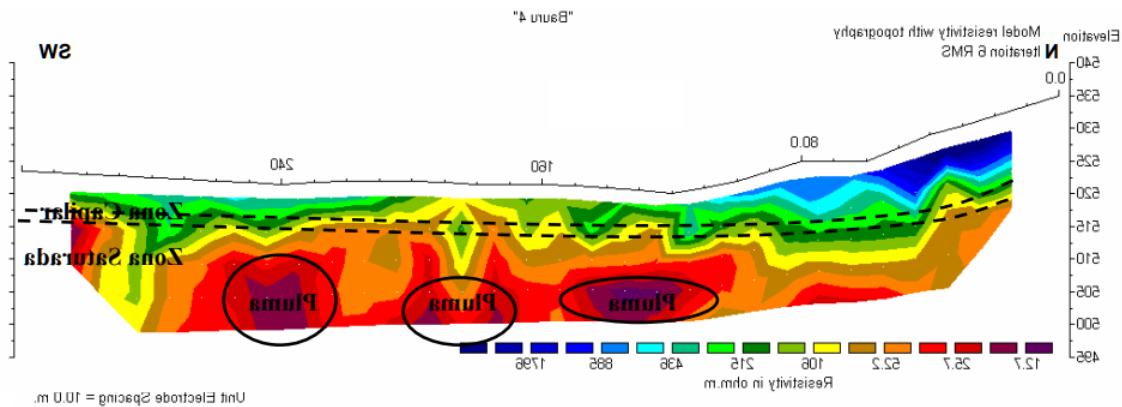


Figura 7: Seção de resistividade da Linha 4 obtida por Mondelli, 2008. Ressalta-se que a figura se encontra invertida horizontalmente, para que o perfil seja representado no formato W-E, a fim de facilitar a comparação dos dados da autora com os obtidos neste trabalho.

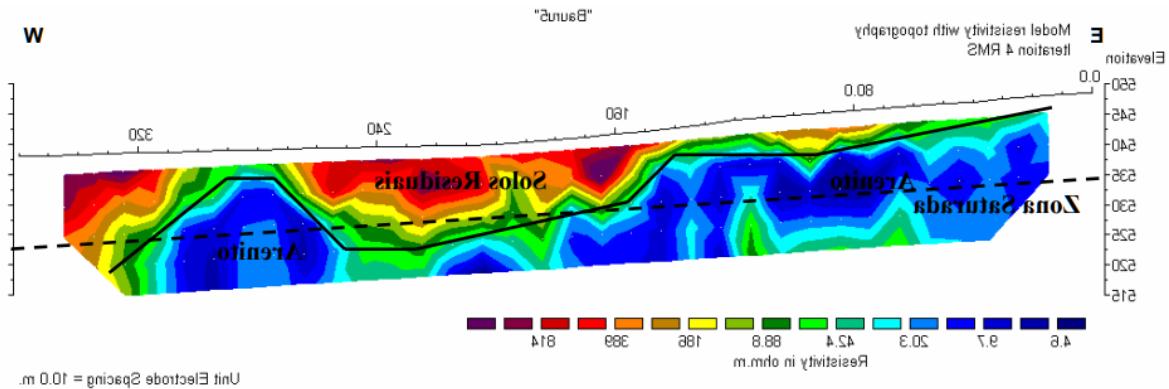


Figura 8: Seção de resistividade da Linha 5 obtida por Mondelli, 2008. Ressalta-se que a figura se encontra invertida horizontalmente, para que o perfil seja representado no formato W-E, a fim de facilitar a comparação dos dados da autora com os obtidos neste trabalho.

A autora interpretou a área onde a Linha 3b foi executada como uma região de transição entre solos residuais de arenitos e outros solos sedimentares encontrados na região do aterro, o que teria gerado dificuldades na interpretação dessa linha para Mondelli. Ainda para esta linha, a autora identificou solos aluvionares, não identificados em campo neste trabalho, tanto mais por se tratar de área com topografia elevada, não condizente com aluviões recentes. Segundo a autora, a Linha 4 estava localizada em uma região com solos mais permeáveis, o que possibilitaria uma maior concentração da pluma, conforme evidenciado pelos valores mais baixos de resistividades vistos na Figura 7. É importante notar que, exclusivamente para essa linha, a autora empregou uma escala de cores invertida em comparação às demais para representar os valores de condutividade e resistividade obtidos. Portanto, nas representações da Linha 4, cores quentes indicam menores resistividades. Ademais, os altos valores de resistividade observados na Linha 5, representada na Figura 8, confirmariam a existência de solos residuais menos evoluídos e, portanto, mais resistentes na região.

As análises diretas, por sua vez, permitiram à pesquisadora identificar seis parâmetros principais que excederam os padrões de qualidade para consumo humano estabelecidos pela CETESB: pH, fosfato total, ferro (Fe), chumbo (Pb), cromo (Cr) e DBO. O fosfato total foi detectado em concentrações acima do padrão de potabilidade em quase todos os poços de monitoramento, exceto no PP-13, chegando a ultrapassar esse padrão em mais de vinte vezes. Além disso, as análises da água subterrânea da região também indicaram alta presença de ferro, que foi interpretada pela pesquisadora como possivelmente proveniente da presença desse elemento nos solos lateríticos (Mondelli *et al*, 2016). Em relação ao chumbo (Pb), Mondelli (2008) identificou concentrações que ultrapassavam o limite de potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde (2004) em apenas alguns poços e em momentos esparsos no tempo. A autora destaca, também, a concentração de cloreto nos

poços PP-1, PP-2 e PP-7 que, embora apresentem valores que podem ser considerados baixos ou normais para águas subterrâneas, ainda excedem os demais.

Além disso, os ensaios diretos possibilitaram à autora a análise da alcalinidade das águas subterrâneas da região. Segundo Mondelli *et al* (2016), as águas dos poços PP-5, PP-5A, PP-5B, PP-4, PP-10, PP-11 e PP-12 apresentaram valores mais alcalinos que as dos demais poços, podendo estar relacionadas tanto à geologia local – devido aos altos teores de cálcio, que frequentemente está presente no Arenito Bauru – ou à alcalinidade do chorume, podendo indicar contaminação por este nesses poços. Foram destacadas pela autora concentrações variáveis entre 4,64 e 5,89 para esse parâmetro, ultrapassando os valores máximos observados para poços de exploração do Aquífero Bauru e monitorados pela CETESB, segundo o *Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo 2001-2003* (CETESB, 2004).

Ressalta-se que o trabalho de Mondelli (2008) não incluiu figuras contendo dados hidrogeoquímicos que representassem a contaminação.

#### **4.3 O impacto de aterros de resíduos sólidos na água subterrânea**

Conforme Kehew (2001) destaca, até a década de 1960, o descarte de resíduos sólidos era realizado sem uma compreensão significativa da geologia e hidrogeologia dos locais de disposição. A disposição inadequada desses resíduos pode acarretar uma série de impactos, incluindo a contaminação das águas subterrâneas por meio da passagem de lixiviados. Apesar de, atualmente, a qualidade da água subterrânea em áreas de aterros de resíduos ser monitorada com certa frequência, ainda existe uma carência significativa de análises detalhadas dos fenômenos hidrogeoquímicos presentes nesses ambientes (Kehew, 2001).

A Norma Brasileira NBR 15849 (ABNT, 2010) define o lixiviado como “o líquido que resulta da infiltração de águas pluviais no maciço de resíduos, da umidade dos resíduos e da água de constituição de resíduos orgânicos, liberada durante sua decomposição no corpo do aterro sanitário”. Destaca-se a distinção entre lixiviado e chorume, conforme discutido por Tandel (1998), visto que o último se refere ao líquido originado da digestão da matéria orgânica por meio das enzimas produzidas por bactérias.

A quantidade de lixiviado gerada em aterros é influenciada por fatores intrínsecos aos resíduos aterrados, como densidade, volume, umidade e composição gravimétrica, além de variáveis ambientais como temperatura e pluviosidade regional (Iunes, 2020). Segundo Pohland e Harper (1985), períodos de elevada pluviosidade podem resultar em concentrações menores de substâncias no lixiviado, devido à diluição causada pela maior infiltração de água da chuva. As características geológicas e hidrogeoquímicas locais também exercem um papel

crucial na formação do lixiviado, podendo resultar em diferentes níveis de risco para o aquífero diante de um evento contaminante (Alves e Bertolo, 2012 & Foster e Hirata, 1991). Em relação à composição, espera-se, de modo geral, encontrar concentrações elevadas de carbono orgânico, cloretos, ferro e outros contaminantes, refletindo a natureza dos resíduos depositados (Cavalcanti, 2013).

O tempo desempenha um papel significativo na qualidade e quantidade dos lixiviados, principalmente devido à sua influência na maturação desses. Essa maturação é frequentemente subdividida em fases por vários autores, visando uma melhor compreensão das variações observadas nos aterros ao longo do tempo. Pohland e Harper (1985) propuseram um modelo amplamente adotado, utilizado por diversos pesquisadores, que divide as fases do aterro em cinco estágios distintos: Ajustes Iniciais (Fase I), Transição (Fase II), Acidogênese (Fase III), Metanogênese (Fase IV) e Maturação (Fase V), conforme mostra a Figura 9.

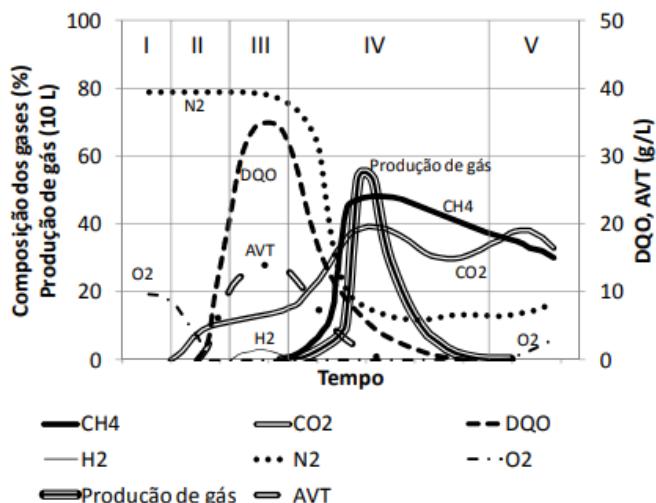


Figura 9: Fases do aterro conforme o modelo de Pohland e Harper, 1985 (Retirado de Alves, 2012).

Na Fase I, ocorre o posicionamento inicial dos resíduos, no qual há acúmulo inicial de umidade. É uma fase breve, em que o oxigênio passa a ser consumido por bactérias aeróbias. Na Fase II, ou de Transição, a capacidade de campo é excedida e o lixiviado é gerado. Nessa fase, estabelece-se uma tendência em direção a condições redutoras, pois há uma transição da estabilização microbiana para anaeróbica. A Fase III, Acidogênese, é marcada pela formação e predominância de ácidos carboxílicos, hidrogênio e CO<sub>2</sub> devido à hidrólise e fermentação contínuas dos constituintes dos resíduos e lixiviado. Neste estágio, uma redução significativa do pH ocorre devido à presença dos ácidos orgânicos, resultando na dissolução de metais e outras substâncias orgânicas. A Fase IV, ou Metanogênese, é caracterizada pela produção de metano e dióxido de carbono a partir dos ácidos e hidrogênio gerados

anteriormente. A redução da concentração de ácidos no aterro resulta em um aumento do pH, levando à precipitação dos metais que se dissolveram na Fase III. O tempo necessário para atingir a fase metanogênica estável varia amplamente, dependendo do conteúdo de água e da vazão do lixiviado, podendo ocorrer mais rapidamente quando esses estão presentes em maior quantidade (Mcbean *et al*, 1995). O tempo para atingir a fase metanogênica estável também varia substancialmente de acordo com o clima regional. Mcbean *et al* (1995) observaram um período de aproximadamente 4 a 5 anos para essa estabilidade em países de clima temperado. Em contraste, Chen (1996) reportou um prazo máximo de 1,5 anos para nove aterros distintos em países de clima tropical. Por fim, na fase V, de maturação, a produção mensurável de gases diminui consideravelmente, e as condições ambientais naturais são gradualmente restauradas. O pH do lixiviado tende a estabilizar-se em torno de 7, enquanto as concentrações de substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas reduzem significativamente.

Ressalta-se que as fases que causam variações na composição do lixiviado ao longo do tempo nos aterros de resíduos sólidos também são observadas nos aquíferos afetados por esse lixiviado (Alves e Bertolo, 2012). Os autores destacam o significativo entendimento do impacto do lixiviado na fase metanogênica sobre as águas subterrâneas. Durante esta fase, o lixiviado estabelece uma sequência de zonas-redox na água subterrânea, variando de condições metanogênicas próximas ao aterro para condições aeróbicas nas bordas da pluma. Essas condições podem influenciar o comportamento de múltiplas substâncias dissolvidas na pluma de contaminação originada pelo lixiviado (Alves e Bertolo, 2012).

Alves e Bertolo (2012) categorizam as substâncias presentes no lixiviado e nas águas subterrâneas impactadas por resíduos sólidos em quatro grupos principais: matéria orgânica dissolvida, íons maiores, metais pesados e compostos orgânicos xenobióticos. No que diz respeito à matéria orgânica dissolvida, os autores enfatizam que a redução de suas concentrações está predominantemente associada à sua degradação, cuja meia-vida varia em torno de 1 a 3 anos em países de clima temperado, e é esperado que seja ainda menor em regiões tropicais. Os íons maiores estão sujeitos a uma variedade de processos geoquímicos. Souto (2009) observou concentrações mais elevadas de cloreto em lixiviados brasileiros do que os relatados na literatura internacional, podendo sugerir a presença de plumas mais extensas desse analito em condições naturais. Os metais pesados, segundo os autores, não são considerados uma preocupação ambiental prioritária em aquíferos contaminados, de acordo com a literatura internacional. Isso se deve à sua forte atenuação por meio de processos de adsorção e precipitação. No entanto, eles destacam que os compostos orgânicos xenobióticos representam os principais riscos associados aos aterros. O comportamento desses compostos pode ser considerado complexo, pois alguns podem se degradar em ambientes redutores, enquanto outros apenas em ambientes oxidantes. Além

disso, há uma escassez significativa de informações disponíveis sobre a degradação desses compostos em ambientes fortemente redutores, como os formados pelos lixiviados de aterros de resíduos domiciliares (Alves e Bertolo, 2012).

#### **4.4 A geofísica de superfície aplicada à investigação geoambiental**

Os métodos geofísicos são descritos por Aquino (1999) como técnicas indiretas de investigação do subsolo, realizadas por meio da aquisição de dados instrumentais na superfície, caracterizando-se, assim, como métodos não destrutivos e não invasivos, ou seja, não alteram o meio físico. Essas investigações são aplicadas para estudo da contaminação de solo e água subterrânea desde a década de 70, porém o conhecimento acerca dos níveis detectáveis de contaminação por esses métodos era limitado (Laureano, 2007).

Esses métodos apresentam diversas vantagens em relação aos métodos tradicionais de investigação de subsuperfície. Iwai (2012) ressalta como uma das principais a possibilidade de realização de perfis contínuos, que permitem verificar as variações laterais provenientes das mudanças litológicas ou do meio em subsuperfície com maior precisão, além de apresentar maior rapidez na avaliação de grandes áreas com custos relativamente menores.

A interpretação dos dados geofísicos pode, também, contribuir para a obtenção de informações características do meio geológico que podem determinar o comportamento dos contaminantes em subsuperfície, como a presença de falhas ou fraturas, caminhos preferenciais de propagação subterrânea, profundidade do embasamento, litologia e estratigrafia, entre outros (Iwai, 2012).

De acordo com relatos apresentados em Reynolds (1997), métodos geofísicos, como a eletrorresistividade, são apontados como os principais para mapear plumas de contaminação ocasionadas pela infiltração de chorume nos depósitos de resíduos. A integração desses dados aos métodos convencionais é considerada uma abordagem que reduz as ambiguidades inerentes à interpretação dos dados.

Saraiva (2010), comparando diferentes métodos e técnicas geofísicas na detecção de resíduos e pluma de lixiviado, determinou a maior precisão e assertividade dos métodos elétricos, em especial a técnica do caminhamento elétrico no estudo da contaminação das águas subterrâneas e do solo.

Adicionalmente, essa técnica demonstra versatilidade por poder ser aplicada em diversas áreas ambientais. Estudos como o de Costa e Silva (2001) em cemitérios, Lago e Elis (2004) em depósitos de lixo urbano, assim como em áreas contaminadas por derivados de petróleo analisadas por Ortega e Porsani (2005), ressaltam a aplicabilidade desses métodos em

identificar contaminações no solo ou na água em diversos ambientes, através da verificação de mudanças na condutividade ou resistividade do meio analisado.

Ao tratar de aterros e lixões, por sua vez, Bortolin e Filho (2012) ressaltam que a presença de chorume nesses locais pode levar à corrosão dos metais presentes nos resíduos, liberando íons que se misturam aos materiais geológicos. Essa interação resulta em regiões com eletrólitos ricos em íons, que facilita a condução de corrente elétrica na forma iônica. Consequentemente, nos locais afetados por chorume, os valores de resistividade tendem a ser mais baixos. Essa característica permite a detecção mais eficaz de contaminações por meio desses métodos de eletrorresistividade, tornando-os amplamente vantajosos nesses cenários.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

Este projeto utilizou de métodos geofísicos semelhantes aos utilizados previamente para o estudo do ARSUB, bem como de análises hidrogeoquímicas para seu desenvolvimento, de forma a obter um termo de comparação entre o trabalho antigo e o atual. Também foram realizados reconhecimentos da área via imageamento e visitas presenciais. Essa abordagem permitiu avaliar a evolução da área ao longo do tempo, bem como possíveis diferenças entre os estudos.

### 5.1 Reconhecimento da área

Inicialmente, foi realizado um reconhecimento da área através de análise de aerolevantamentos e imagens de satélite existentes, disponíveis em domínio público, os quais permitiram a comparação histórica da região em estudo. Subsequentemente, conduziu-se uma campanha de campo inicial, entre os dias 21 e 25 de agosto, a qual viabilizou um reconhecimento e avaliação da área *in loco*. Durante esta campanha, foram observadas as condições dos poços de monitoramento utilizados neste estudo, bem como realizada uma avaliação da situação do empreendimento e de seus arredores. Constatou-se a instalação de poços de monitoramento adicionais no Aterro após o estudo de Mondelli (2008). Os poços empregados no referido estudo possuem numeração de 1 a 13, enquanto os mais recentes recebem a numeração de 14 a 20 (Figura 10). A condição e situação desses poços mais recentes também foram objetos de verificação.

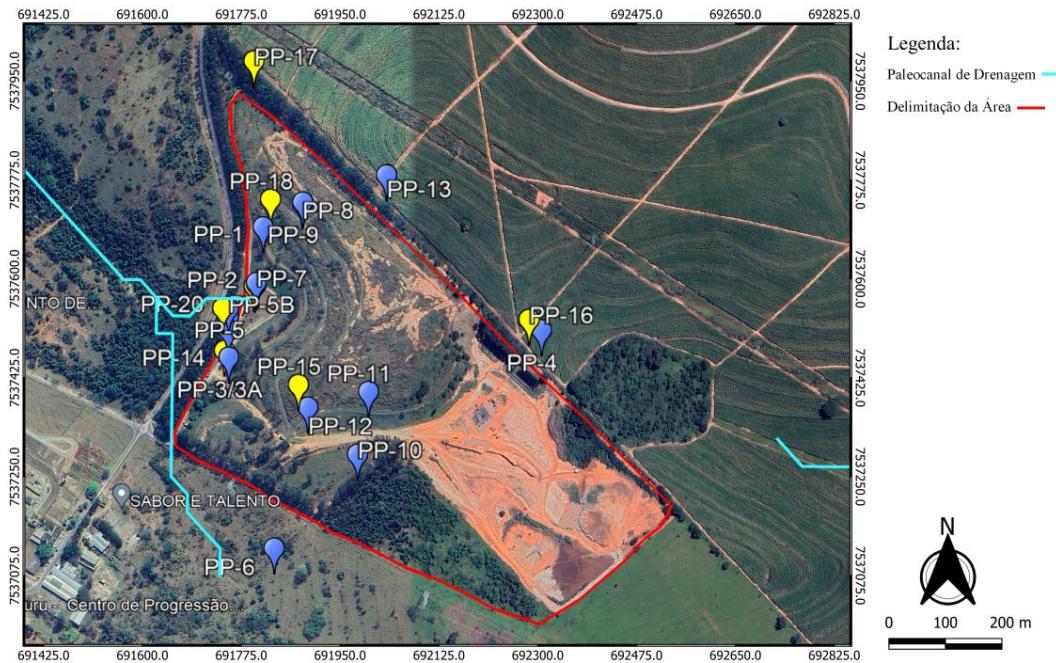


Figura 10: Poços de monitoramento presentes no ARSUB. Em azul, tem-se os poços utilizados no estudo de Mondelli (2008). Em amarelo, tem-se os poços instalados após esse estudo.

Neste estágio inicial de trabalho de campo, foi identificada a necessidade de realizar o desenvolvimento dos poços do ARSUB (Figura 11), em conformidade com a Norma Brasileira 15.495-2 (ABNT, 2009). Tal procedimento se mostrou necessário, dado que o último registro obtido de monitoramento desses poços data de 2013.



Figura 11: Desenvolvimento dos poços de monitoramento sendo realizados no Aterro de Bauru a partir do método de pistoneamento.

O desenvolvimento dos poços foi realizado a partir do método de pistoneamento, no qual um pistão, fixado na extremidade de um tubo, é introduzido no poço de monitoramento. A partir disso, aplicou-se o método, a partir da execução alternada de movimentos ascendentes e descendentes, permitindo que a água seja, assim, bombeada para cima e para fora do poço (ABNT NBR 15.495-2/2009). Aproveitou-se dessa campanha de campo para realizar a medição de níveis d'água prévios ao desenvolvimento (Figura 10).



Figura 12: Medição dos níveis d'água dos poços de monitoramento do Aterro de Bauru na campanha de Agosto/2023.

## 5.2 Métodos Geofísicos

### 5.2.1 Caminhamento elétrico (CE)

A técnica do caminhamento elétrico (CE) é uma técnica de investigação horizontal baseada na interpretação da resistividade do terreno, a partir da obtenção de medidas obtidas na superfície e que permitem estudar sua variação lateral a profundidades aproximadamente constantes (Gallas, 2003). Para isso, pares de eletrodos são colocados em contato galvânico com o solo e posicionados a um espaçamento fixo, podendo estar distribuídos em diferentes arranjos que indicam as posições dos eletrodos, denominados Wenner, Schlumberger, dipolo-dipolo ou polo-dipolo. Através do circuito eletrodo/solo, são introduzidas correntes elétricas, estabelecendo um fluxo de corrente (Gallas, 2003) e dessa forma são realizadas diversas medições de resistividade aparente onde cada ponto medido é plotado em um gráfico, a partir do qual se tem a posição em superfície pela profundidade estimada.

No período compreendido entre os dias 21 e 25 de agosto, conduziu-se uma campanha de campo à área de estudo, na qual aplicou-se a técnica do Caminhamento Elétrico

(CE) utilizando arranjo dipolo-dipolo, com espaçamento de 5m e seus múltiplos, conforme ilustrado na Figura 13. Foram realizadas três linhas principais, buscando aderir à mesma localização empregada no estudo anterior conduzido por Mondelli (2008), além de outras duas, posicionadas visando interceptar eventuais fluxos de águas subterrâneas e lixiviado, não identificados no trabalho anterior, conforme dispostas na Figura 14.



Figura 13: Caminhamento Elétrico (CE) realizado na área de estudo, com eletrodos dispostos em arranjo dipolo-dipolo. Em A) Linha 3; em B) Linha 4; e em C) Linha 4A.

Os caminhamentos foram conduzidos ao longo de uma extensão de 235m, com a disposição de 48 eletrodos, posicionados em intervalos de 5m, utilizando o equipamento Syscall Pro 48, de propriedade do CEPAS|USP. Para baixar os dados do equipamento, foi utilizado o programa Prosys II, sendo que este exporta os dados em formato .dat e .bin, ambos compatíveis com o software RES2DInv, que foi utilizado para o tratamento dos dados. Esse tratamento foi realizado tomando-se o cuidado de cortar dados anômalos ou com a leitura prejudicada por alguma situação de campo – sugestão, essa, que é realizada pelo próprio programa – diminuindo, assim, o erro no processamento dos dados. O erro inicial obtido foi de cerca de 90%, sendo que este diminui para aproximadamente 10% após o tratamento dos dados.

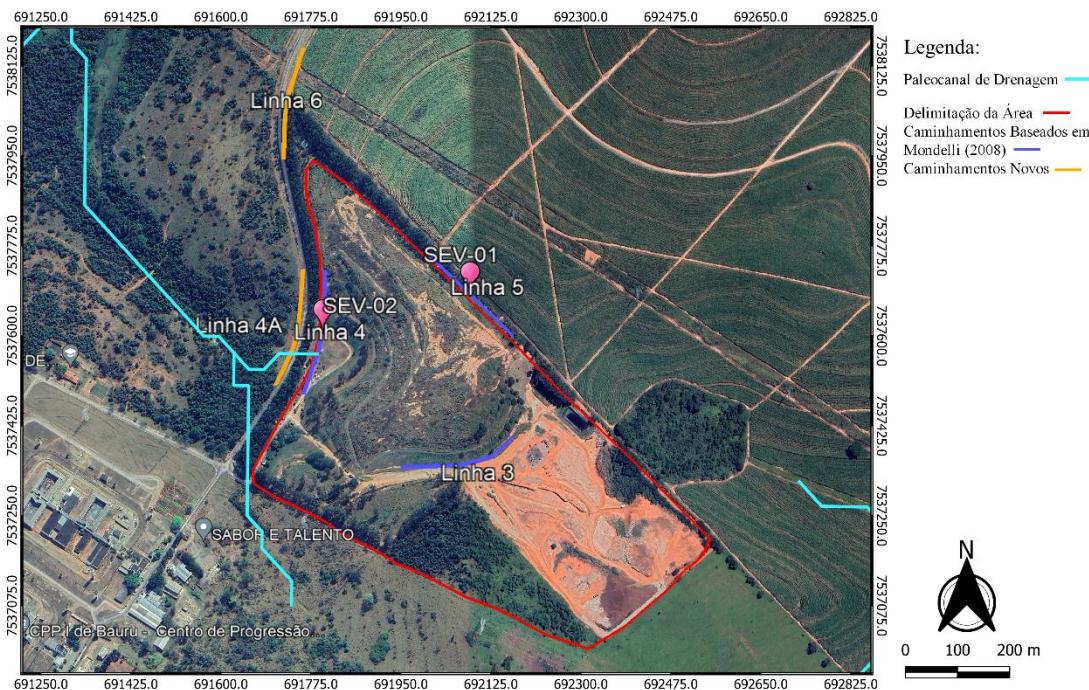


Figura 14: Mapa de localização das análises geofísicas realizadas no Aterro de Bauru.

### 5.2.2 Sondagens Elétricas Verticais (SEVs)

O método da Sondagem Elétrica Vertical (SEV) é um estudo das variações verticais de resistividade com a profundidade (Gallas, 2000). A aplicação da SEV se dá a partir do posicionamento de dois pares de elétrodos em contato galvânico com o solo, mais comumente em um arranjo do tipo Schlumberger (Figura 15). A partir disso, um dos pares (A/B) será utilizado para injetar a corrente elétrica ( $I$ ) no solo, enquanto no segundo par (M/N) será possível medir a diferença de potencial ( $\Delta V$ ) gerada pela passagem dessa corrente.

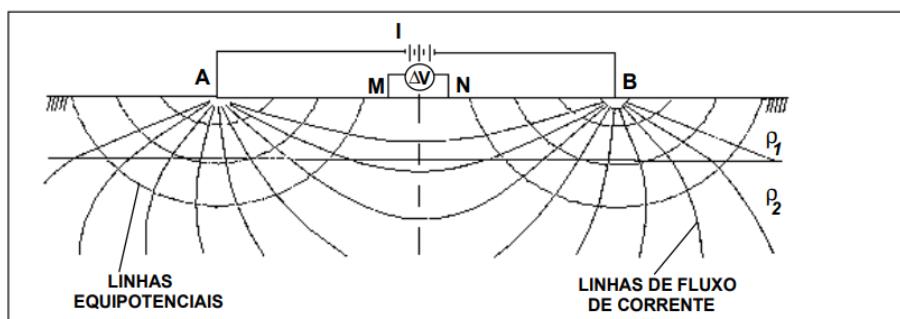


Figura 15: Disposição dos eletrodos no solo em arranjo Schlumberger (Gallas, 2000).

A abertura entre os eletrodos deve aumentar gradativamente, para que seja possível atingir níveis mais profundos de investigação (Gallas, 2000). Com a obtenção dos valores para ambos os pares, é possível calcular a resistividade aparente do material em subsolo e,

assim, determinar a distribuição das resistividades do subsolo abaixo do ponto estudado em estratos horizontais ou horizontalizados.

Durante a campanha de campo inicial, realizada em agosto, foram implementadas duas Sondagens Elétricas Verticais (SEVs) na área de estudo (Figura 16), designadas como SEV-01 e SEV-02. Estas sondagens foram posicionadas, respectivamente, nos pontos centrais das linhas de Caminhamento Elétrico (CE) 5 e 4, conforme dispostas na Figura 14.



Figura 16: Sondagens Elétricas Verticais (SEVs) realizadas na Área de Estudo. Em A) SEV-01; em B) SEV-02.

Para essas medições, o espaçamento máximo AB/2 utilizado foi de 50m, o que permitiu a investigação até profundidades próximas de 25m. Posteriormente, os dados foram processados utilizando o software IPI2win.

### 5.3 Análises hidrogeoquímicas

Com a finalidade de avaliar as condições físico-químicas das águas do aquífero e se estas se encontram contaminadas, entre os dias 11 e 15 de setembro, foi realizada uma campanha de amostragem de água subterrânea nos mesmos poços de monitoramento realizados no estudo de Mondelli (2008) e nos poços de monitoramento instalados posteriormente no Aterro (Figura 17).

A amostragem foi realizada com a técnica de baixa vazão, realizada a partir do controle do rebaixamento do nível d'água durante a purga para amostragem (ABNT NBR 15.847, 2010). A técnica foi empregada com o uso de uma bomba pneumática de bexiga com tubos de pequenos diâmetros, acoplada a um painel de controle, podendo ser alimentado por um

pequeno compressor elétrico ou um cilindro de CO<sub>2</sub>, constituindo um sistema automatizado (Junior & Reis, 2005).



Figura 17: Amostragem do PP-14 no ARSUB a partir da técnica de baixa vazão.

A campanha de amostragem incorporou a avaliação *in loco* de parâmetros físico-químicos, utilizando uma Sonda Multiparâmetros HI 9829. Dentre os parâmetros medidos destacam-se o pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, ORP (Eh) e temperatura da amostra.

Foram coletados dois frascos de 100mL para cada poço de monitoramento. Adicionalmente, as amostras foram submetidas à filtração em campo, utilizando um filtro de 45µm. Os recipientes contendo as amostras foram devidamente nomeados e refrigerados para preservação até a realização das análises no laboratório LAQUA (Laboratório de Análises Químicas), pertencente ao CEPAS|USP. As amostras foram, então, preparadas e submetidas a análises laboratoriais detalhadas no LAQUA, utilizando o equipamento Dionex *Combined Five Anion Standard*, com foco nos íons maiores e traços, destacando os parâmetros de cloreto, nitrato e amônio (Figura 18).

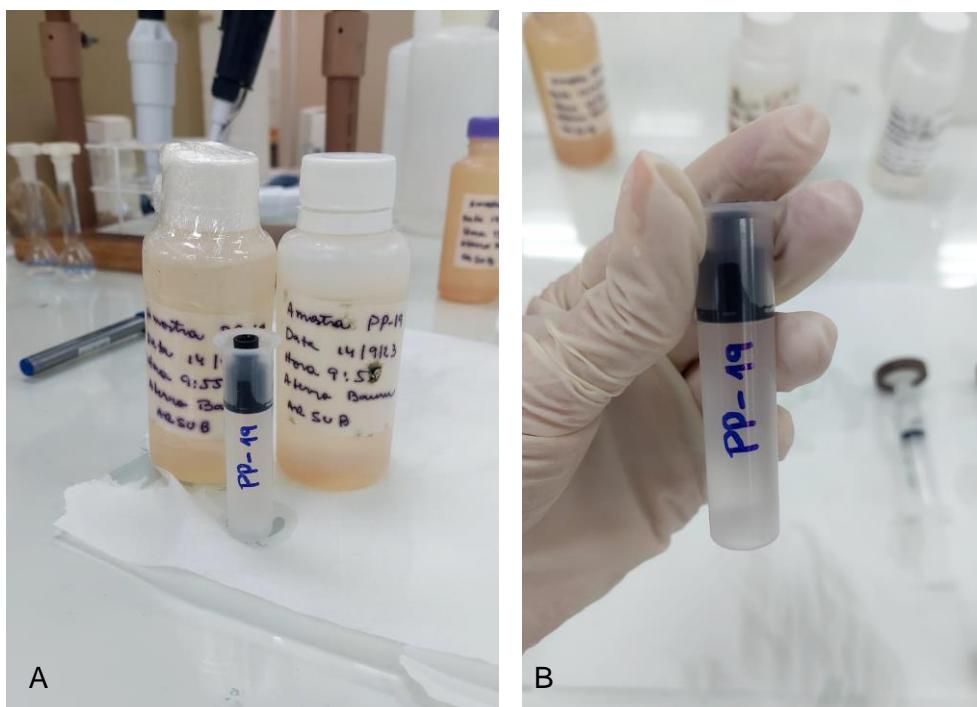


Figura 18: Exemplo de amostra coletada e preparada para análise no LAQUA. Em A) Verificam-se os frascos conforme coletados no ARSUB. Vê-se que os frascos foram rotulados com a identificação do poço, data e hora de coleta, análise a ser realizada e localização do projeto. Em B) Verifica-se uma alíquota da amostra retirada e preparada em frasco para ser analisada no equipamento *Dionex Combined Five Anion Standard*.

Também foram conduzidos ensaios de alcalinidade para determinação do carbonato nas amostras de água subterrânea. Devido ao pH das amostras coletadas, o ensaio realizado foi o de alcalinidade total. Para esse propósito, foi necessário realizar a preparação de um indicador misto, que consistindo em 40cm<sup>3</sup> de solução alcoólica contendo 0,1% de verde de bromocresol e 0,2% de vermelho de metila, na proporção 3:1. Dessa forma, foram dissolvidos 0,03g de verde de bromocresol em 30cm<sup>3</sup> de etanol, e 0,02g de vermelho de metila em 10cm<sup>3</sup> de etanol.

Então, deu-se sequência ao ensaio de alcalinidade a partir da transferência de 100mL de amostra para um frasco, no qual foram acrescentadas quatro gotas de indicador misto. A partir disso, realizou-se uma titulação com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1N. Posteriormente, o cálculo da alcalinidade se deu a partir da seguinte fórmula:

$$CaCO_3(mg\ dm^{-3}) = \frac{N_{H_2SO_4}V_{H_2SO_4}(cm^3) \times 30 \times 1,67 \times 10^3}{V_{amostra}(cm^3)}, \text{ onde:}$$

$N_{H_2SO_4}$  = concentração da solução de ácido sulfúrico (0,1N);

$V_{H_2SO_4}(cm^3)$  = volume de  $H_2SO_4$  utilizado na titulação;

$V_{amostra}(cm^3)$  = volume da amostra de água subterrânea.

## 6. RESULTADOS OBTIDOS

### 6.1 Reconhecimento da área

#### 6.1.1 Imageamento Histórico

Conforme apontamento no tópico anterior, antes que se pudesse realizar o reconhecimento da área *in loco*, fez-se necessário o levantamento de imagens de satélite – através da plataforma *Google Earth* – para compreensão abrangente das alterações ambientais na região.

A figura 19 representa o registro mais antigo de imageamento por satélite disponível em domínio público da área de estudo. Por datar de dezembro de 1985, aproximadamente quatro décadas atrás, torna-se evidente que não apresenta resolução propícia para análises quando comparada aos registros posteriores. Ressalta-se que a imagem precede o início das atividades do aterro, que foi projetado pela EMDURB em 1992 e teve suas operações iniciadas no ano subsequente.



Figura 19: Imagem de satélite da área de estudo em dezembro de 1985. O polígono em vermelho demarca os limites do ARSUB. (Modificado de Google Earth ®)

Devido à limitação na qualidade da imagem, não é possível concluir de forma definitiva se atividades agropecuárias nos arredores da área já estavam em vigor na época. Contudo, é visível que o Centro de Progressão Penitenciária de Bauru (CPP), localizado a sudoeste do aterro, ainda não havia sido construído nesta data. Apesar das condições da imagem de 1985, ela oferece um vislumbre da situação da área de estudo antes do início das operações do ARSUB, claramente voltada à atividade agrícola.

A análise comparativa com imagens posteriores permite identificar as transformações ocorridas na área ao longo do tempo, fornecendo informações essenciais para compreender as mudanças ambientais que ocorreram na região desde o início das atividades do aterro até os dias atuais.

O próximo registro encontrado, representado na figura 20, é datado de agosto de 2004, aproximadamente uma década após o início das operações no ARSUB. Neste momento, é evidente que a porção centro-noroeste do aterro é mais intensamente utilizada para o descarte de resíduos. Em contraste, a porção sudeste do aterro mantém um estado de preservação mais notável, com uma grande quantidade de vegetação preservada, comprovando que se trata de um período anterior à sua ampliação.



Figura 20: Imagem de satélite da área de estudo em agosto de 2004. O polígono em vermelho demarca os limites do ARSUB. (Modificado de Google Earth ®)

Quanto aos arredores do aterro, na porção sudoeste da figura, pode-se observar que o CPP I e II já haviam sido construídos e estavam em operação. Além disso, as marcações no terreno a norte e sudeste indicam a existência de atividade agrícola vigente na época em que a imagem foi capturada.

Continuando o estudo histórico, a figura 19, datada de outubro de 2013, fornece a informação após um intervalo de quase uma década do registro anterior, apresentando uma visão crucial do aterro em um momento significativo, tendo em vista que se trata do mês de encerramento das atividades do ARSUB.



Figura 21: Imagem de satélite da área de estudo em outubro de 2013. O polígono em vermelho demarca os limites do ARSUB. (Modificado de Google Earth ®)

É importante destacar que, apesar da falta de imagens representativas disponíveis para o período de 2004 e 2013 na região, o ARSUB passou por mudanças significativas durante esse período. Conforme mencionado anteriormente, em 2010 houve a aprovação da expansão do ARSUB em sua 4<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup> e 6<sup>a</sup> camada. No entanto, segundo a CETESB (2011), a 6<sup>a</sup> camada não cumpriu as condições estabelecidas no licenciamento oficial e o aterro deveria, então, operar com a perspectiva de encerramento.

A expansão do aterro já é evidente na Figura 21, que revela uma tendência de ocupação da área do aterro em direção sudeste para o descarte de resíduos, região que anteriormente se apresentava amplamente preservada na Figura 20

No que diz respeito aos arredores do aterro, é possível observar uma ampliação das atividades urbanas a sudoeste, assim como o aumento das atividades agrícolas a nordeste – agora claramente demarcadas.

A Figura 22, datada de abril de 2015, marca o primeiro registro representativo após o encerramento das atividades do ARSUB.



Figura 22: Imagem de satélite da área de estudo em abril de 2015. O polígono em vermelho demarca os limites do ARSUB. (Modificado de Google Earth ®)

Nesta imagem, é notável a recuperação da vegetação na região do aterro, que passa a ocupar a porção centro-oeste deste. Esse aumento na cobertura vegetal poderia evidenciar um processo de regeneração natural, que teria sido influenciado pelo encerramento das atividades do ARSUB.

A análise segue com a Figura 23, datada de fevereiro de 2018, representando um marco de aproximadamente cinco anos após o encerramento das atividades no aterro. Nessa imagem, é também notável a ampliação da cobertura vegetal que havíamos observado na imagem anterior. Essa expansão se direciona ao centro do aterro. Além disso, um início de cobertura vegetal também se projeta no extremo leste do aterro.

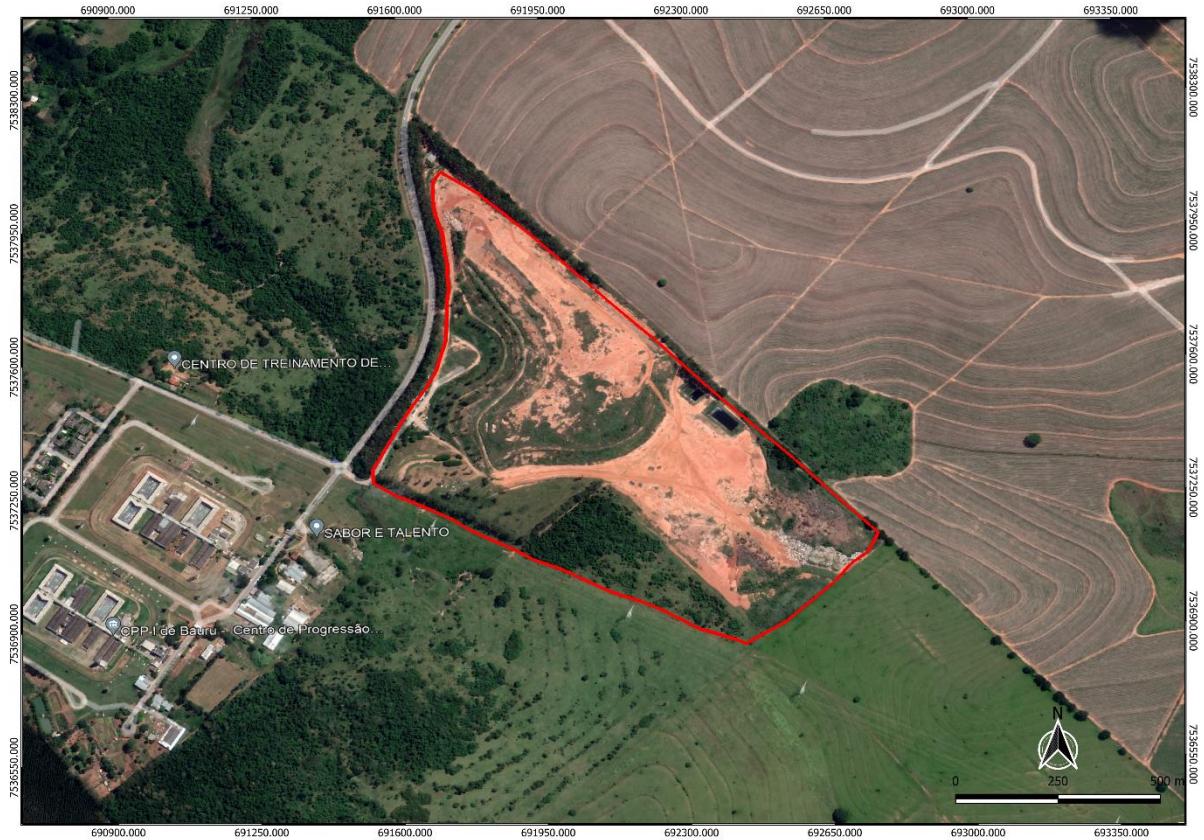


Figura 23: Imagem de satélite da área de estudo em fevereiro de 2018. O polígono em vermelho demarca os limites do ARSUB. (Modificado de Google Earth ®)

Por fim, a Figura 24, imagem mais recente da área, datada de maio de 2023, representa um período de dez anos após o encerramento das atividades do aterro. A análise desta imagem revela mudanças significativas na área de estudo. A cobertura vegetal, que anteriormente se estendia principalmente a centro-noroeste do aterro, agora praticamente ocupa toda essa área, a qual havíamos identificado na Figura 8 como a região mais intensamente utilizada para o descarte de resíduos no início das operações. No entanto, a área centro-leste do aterro, mais utilizada após sua ampliação, ainda exibe características visuais semelhantes àquelas observadas no momento de encerramento das atividades do aterro.



Figura 24: Imagem de satélite da área de estudo em maio de 2023. O polígono em vermelho demarca os limites do ARSUB. (Modificado de Google Earth ®)

### 6.1.2 Topografia da área

A fim de melhor compreender o fluxo subterrâneo da área de estudo, foi elaborado um mapa topográfico do Aterro de Bauru, utilizando os dados de elevação mais recentes obtidos através do Google Earth ®, de maio de 2023. Esses dados foram exportados para o software QGIS (versão 3.28.9), a fim de serem interpolados. A metodologia empregada para interpolação baseou-se no método *Triangulated Irregular Network* (TIN), que possibilita uma representação que considera de maneira eficaz as descontinuidades presentes nas feições do relevo, resultando em um modelo que reflete suas variações (Namikawa *et al*, 2003).

O mapa topográfico gerado foi sobreposto à imagem de satélite mais recente da área, para melhor visualização (Figura 25).

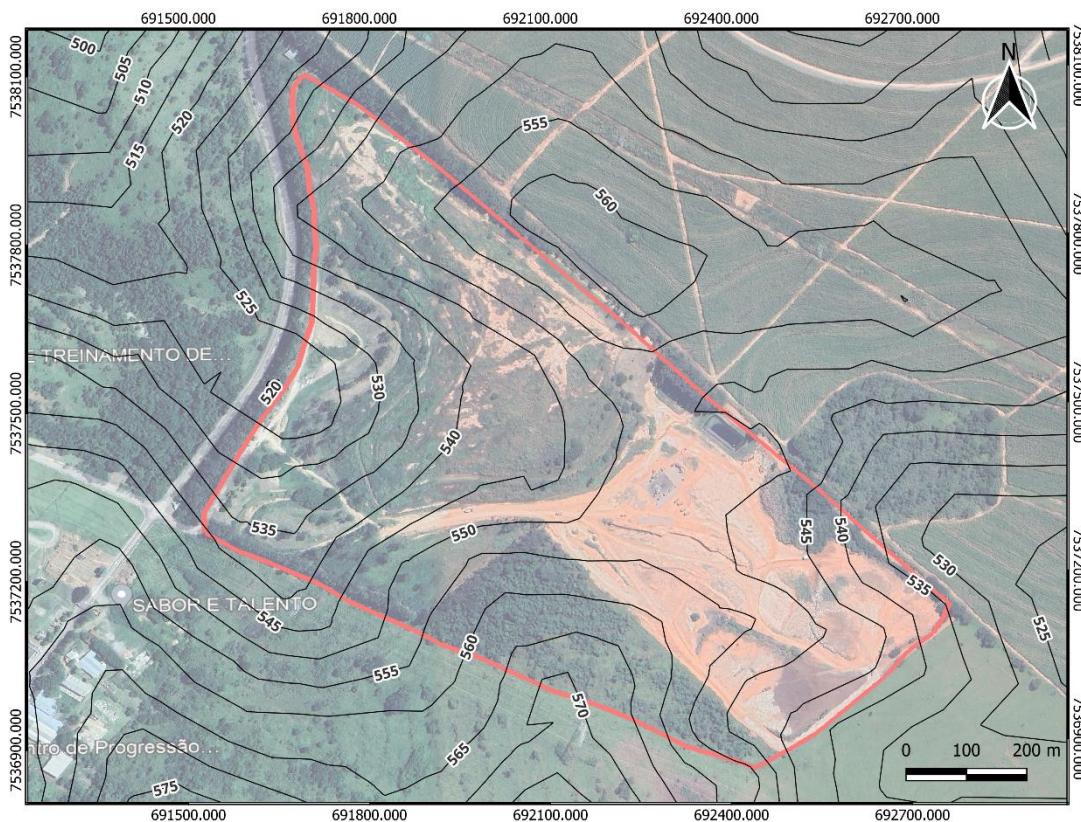


Figura 25: Mapa topográfico da área de estudo sobreposto à imagem de satélite mais recente da região. (Dados obtidos do Google Earth ® e interpolados utilizando o software QGIS).

### 6.1.3 Reconhecimento *in loco*

Como mencionado anteriormente, a campanha de campo realizada em agosto viabilizou a avaliação das condições e situações dos poços de monitoramento em estudo, incluindo a medição prévia de seus níveis d'água antes do processo de desenvolvimento. A Tabela 1 oferece uma síntese concisa dos resultados obtidos durante essa investigação.

Poço de Monitoramento	Diâmetro do Poço (")	Profundidade do Poço (m)		Nível d'Água (m)*	Observações
		Perfil	Medida		
PP-01	4	12,00	11,58	9,93	Acabamento sem selo de concreto. Presença de trincas laterais.
PP-02	4	12,00	11,66	9,49	Poço com abelhas. Presença de raízes.
PP-03	4	14,00	10,73	Seco	Poço seco - presença de raízes.
PP-03A	4	24,00	21,31	11,30	-
PP-04	4	37,40	30,33	24,51	-
PP-05	4	8,00	7,4	Seco	Poço seco.
PP-05A	4	21,50	19,68	8,22	-
PP-05B	4	24,50	24,98	-	-
PP-06	4	6,00	6,15	-	-
PP-07	4	12,00	10,71	9,47	Presença de raízes
PP-08	4	18,00	22,98	8,34	Presença de animais peçonhosos
PP-09	4	14,00	12,35	8,27	Presença de animais peçonhosos
PP-10	4	42,00	39,58*	33,69	Poço com acabamento externo quebrado. Verificar profundidade.
PP-11	4	38,00	30,68	23,56	Presença de rato
PP-12	4	26,00	22,68	19,05	Presença de formigueiro
PP-13	2	13,80	12,31	11,40	Poço destruído - informado por trabalhadores do Aterro
PP-14	2	23,00	22,69	19,80	-
PP-15	2	27,00	27,03	24,22	-
PP-17	2	18,30	18,71	14,82	Poço destruído - informado por trabalhadores do Aterro
PP-18	2	11,50	11,64	9,65	Poço estava aberto
PP-19B	2	20,00	20,42	9,46	-
PP-20	2	10,50	7,05	Seco	Poço seco.

Notas:
Poços Área Externa
Poços Lagoa de Chorume
Próximos à Valas Sépticas
Possível Background
*

O nível d'água disposto nessa tabela é prévio ao desenvolvimento dos poços

Tabela 1: Situação dos poços de monitoramento no ARSUB no momento de reconhecimento inicial *in loco* (agosto, 2023).

É relevante destacar que, segundo relatos de trabalhadores locais, dois dos poços de monitoramento do Aterro (PP-13 e PP-17) foram destruídos, embora as razões para tais eventos não tenham sido especificadas. Adicionalmente, três poços de monitoramento (PP-03, PP-05 e PP-20) foram encontrados em condições de esgotamento. Os demais poços foram posteriormente desenvolvidos e tiveram alíquotas coletadas para posterior análise química.

## 6.2 Métodos indiretos

Conforme mencionado anteriormente, os dados provenientes do Caminhamento Elétrico (CE) foram submetidos a processamento por meio do software RES2DInv. A partir desse procedimento, obteve-se uma seção modelada de resistividade para as linhas realizadas, ilustradas pelas Figuras 26 a 30.

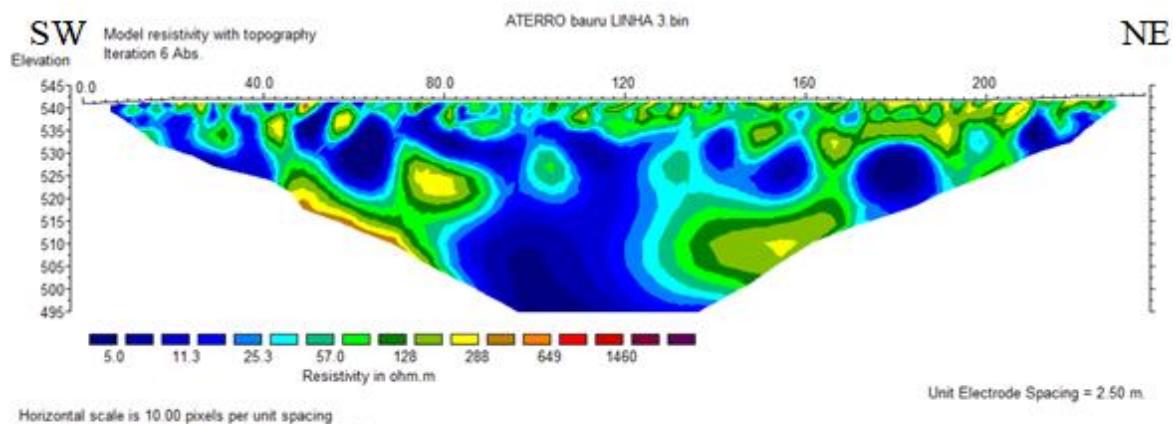


Figura 26: Seção modelada de resistividade obtida para a Linha 3.

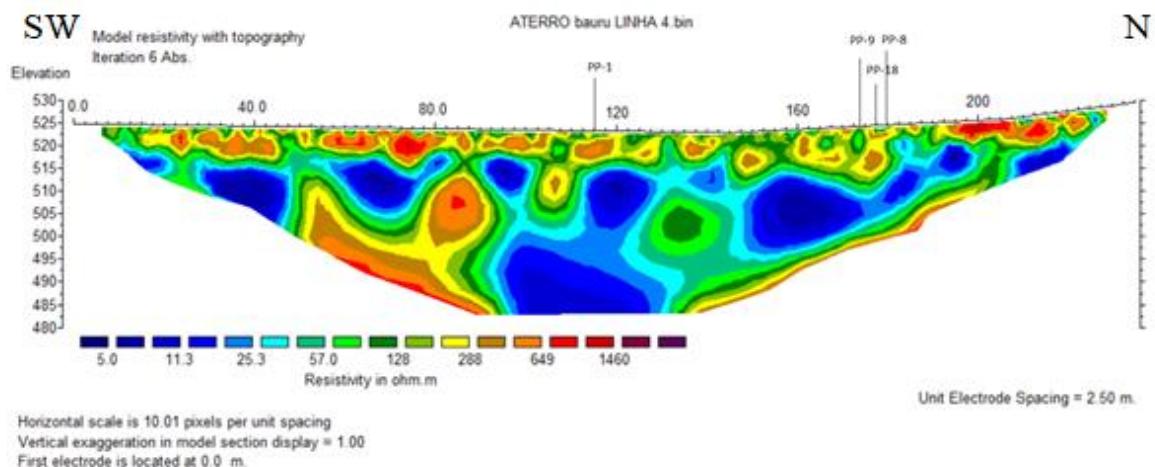


Figura 27: Seção modelada de resistividade obtida para a Linha 4, com indicação da posição dos poços PP-1, PP-8, PP-9 e PP-18 em relação à linha.

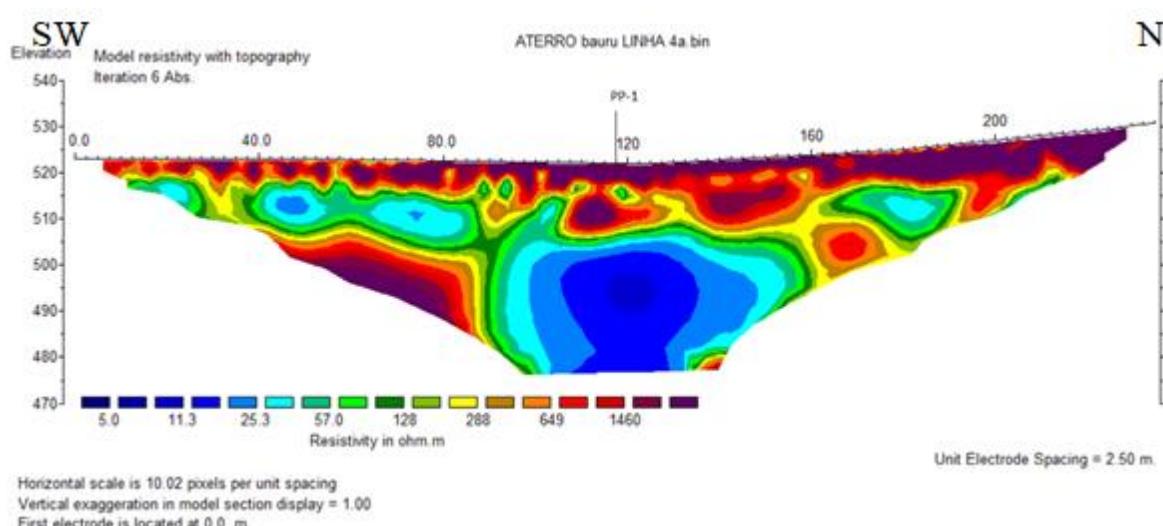


Figura 28: Seção modelada de resistividade obtida para a Linha 4A, com indicação da posição do PP-1 em relação à linha.

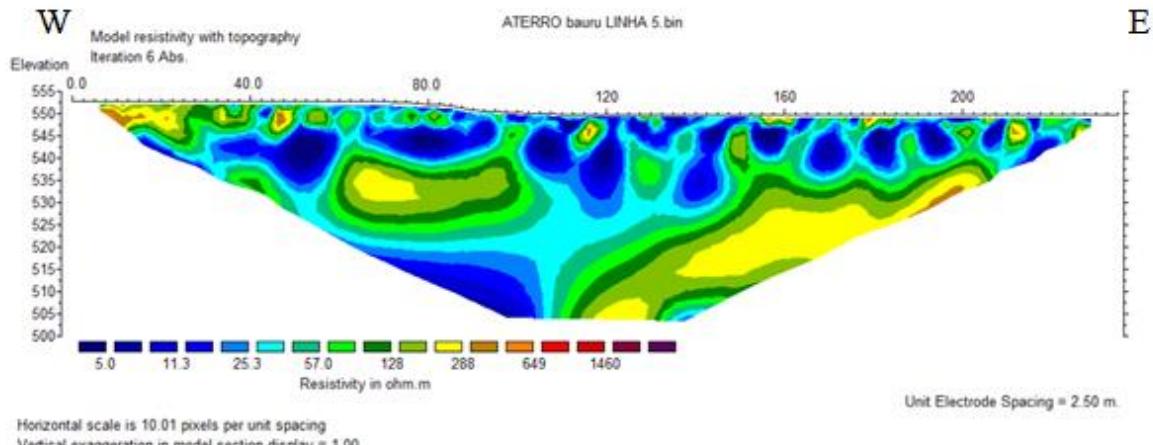


Figura 29: Seção modelada de resistividade obtida para a Linha 5.

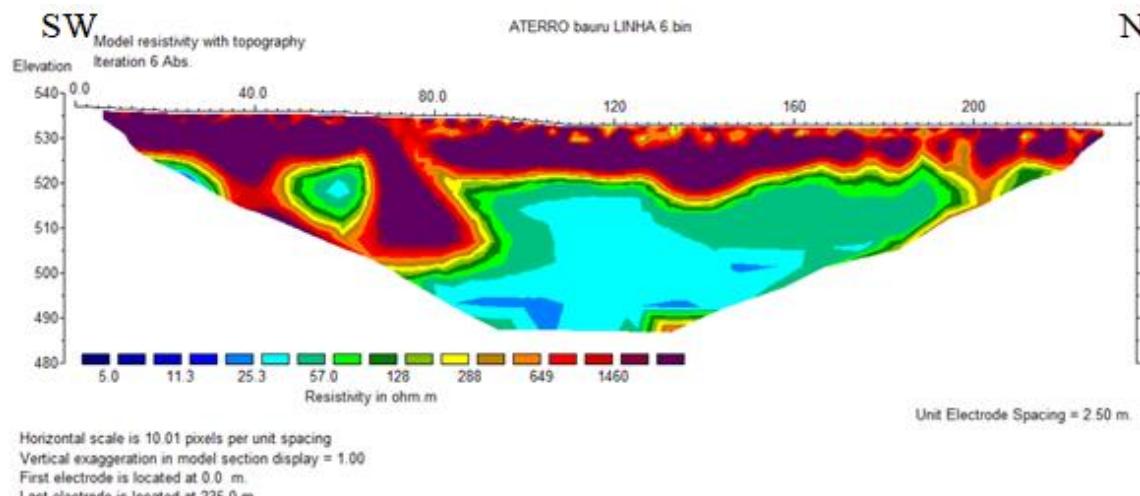


Figura 30: Seção modelada de resistividade obtida para a Linha 6.

Através dos métodos indiretos, dados provenientes das Sondagens Elétricas Verticais (SEVs) foram adquiridos, os quais, conforme previamente mencionado, foram submetidos a processamento por meio do software IPI2Win. As curvas foram ajustadas utilizando esse software, e os resultados obtidos podem ser visualizados nas Figuras 31 e 32.

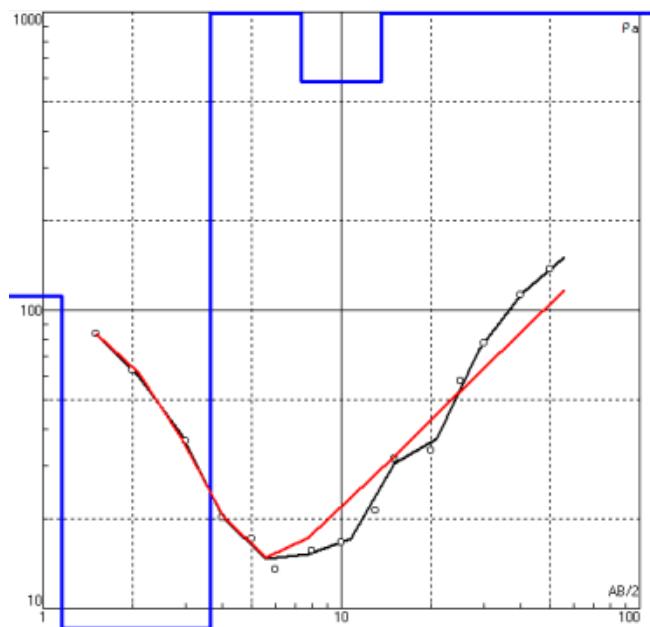


Figura 31: Curva ajustada para a SEV-01 utilizando o software IPI2Win.

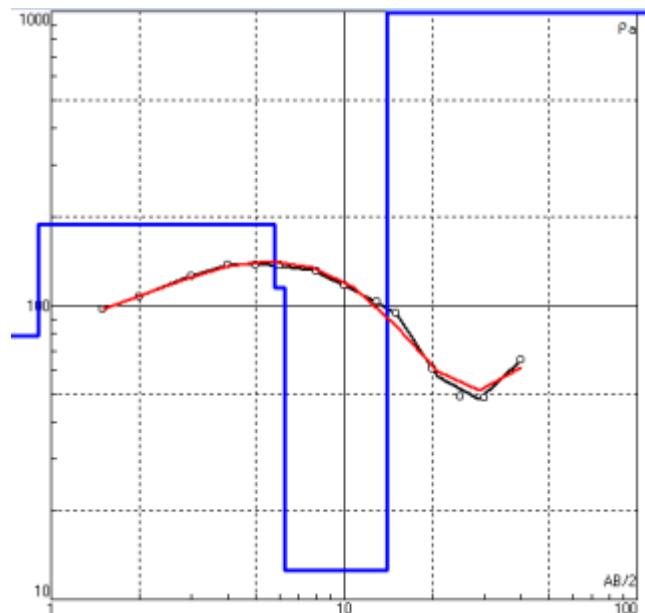


Figura 32: Curva ajustada para a SEV-02 utilizando o software IPI2Win.

### 6.3 Análises diretas

Foram realizadas medições do nível d'água dos poços de monitoramento em dois momentos distintos: durante a avaliação *in loco*, anterior ao processo de desenvolvimento, e novamente durante a fase de coleta de amostras. Essas medições permitiram a construção de um mapa potenciométrico, visando compreender o comportamento do fluxo de água subterrânea na área do aterro (Figura 33). É importante destacar que, por se tratar de uma área de recarga e devido à considerável variação das profundidades dos poços, os poços com

seções filtrantes em profundidades muito díspares foram desconsiderados, a fim de garantir uma representação mais precisa do fluxo d'água.

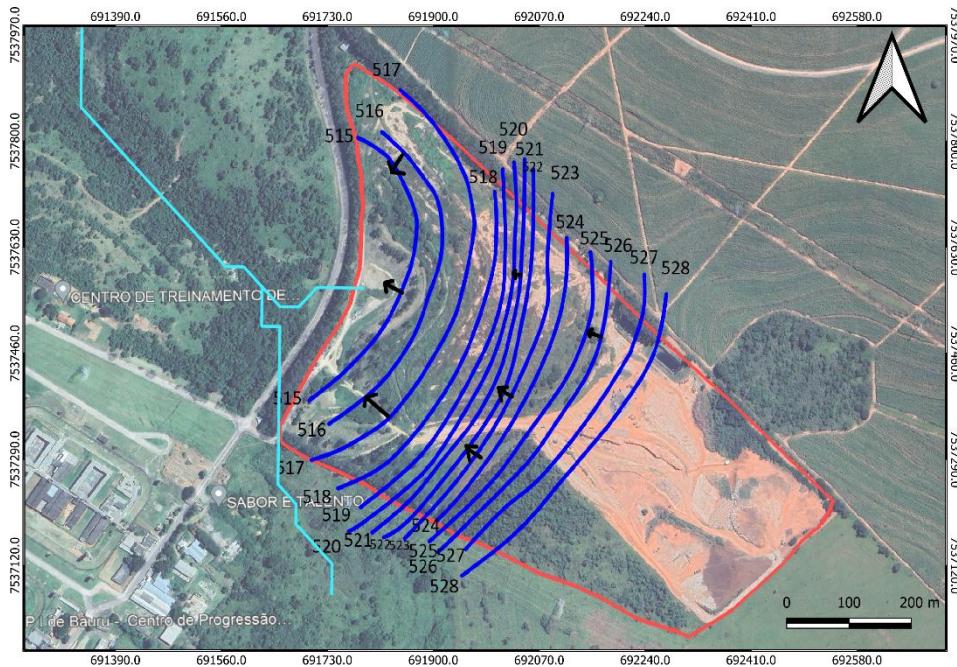


Figura 33: Mapa potenciométrico do ARSB. Em azul escuro tem-se as linhas equipotenciais. As setas indicam o fluxo da água subterrânea. Em azul claro, está indicado o paleocanal de drenagem.

Outros resultados provenientes das análises diretas tratam dos parâmetros físico-químicos, cujos dados são apresentados na Tabela 2.

Poço de Monitoramento	Campanha	Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	OD (mg/L)	ORP (mV)
PP-01	set-23	1.583,00	6,23	24,77	0,02	-60,00
PP-02	set-23	1.403,00	6,17	24,50	0,00	-60,40
PP-03A	set-23	90,00	5,96	24,60	3,98	238,10
PP-04	set-23	248,00	5,80	25,98	0,28	51,90
PP-05A	set-23	109,00	6,10	23,93	3,70	196,20
PP-05B	set-23	186,00	6,73	23,44	4,19	130,90
PP-06	set-23	29,00	5,12	23,22	0,00	-173,70
PP-07	set-23	1.461,00	6,17	24,16	0,05	-26,20
PP-08	set-23	415,00	5,97	28,10	0,09	102,70
PP-09	set-23	125,00	5,72	26,68	3,05	235,60
PP-10	set-23	294,00	7,01	24,36	3,41	193,10
PP-11	set-23	442,00	6,09	27,21	1,04	-26,90
PP-12	set-23	514,00	6,47	23,91	3,13	207,50
PP-14	set-23	587,00	6,48	25,37	0,02	-47,00
PP-15	set-23	849,00	6,66	26,32	2,15	211,10
PP-16	set-23	682,00	6,61	29,09	0,20	-49,30
PP-18	set-23	1.808,00	5,74	27,20	0,00	113,40
PP-19	set-23	1.440,00	6,17	24,13	0,00	-75,30
PP-19B	set-23	104,00	6,02	24,37	4,53	264,70

Tabela 2: Resultados para as medições de parâmetros físico-químicos em amostras de água

Com o intuito de proporcionar uma compreensão mais efetiva desses resultados, foram confeccionados gráficos que apresentam a evolução histórica do parâmetro de Condutividade Elétrica (CE) ao longo do tempo. Para facilitar a visualização dos resultados, os poços de monitoramento foram subdivididos de acordo com suas localizações no Aterro, a saber: Área Externa – poços situados fora do perímetro do aterro, próximos à rodovia (PP-5A e PP-5B); Entrada do Aterro – poços localizados nas proximidades da guarita na entrada do aterro (PP-3A e PP-14); Valas Sépticas – poços próximos às valas sépticas, onde ocorria o descarte hospitalar (PP-11, PP-12 e PP-15); Lagoa de Chorume – poços adjacentes à lagoa de chorume (PP-04 e PP-16); Área Interna – poços localizados na porção inicialmente mais utilizada no aterro, a noroeste (PP-1, PP-2, PP-7, PP-8, PP-9, PP-18, PP-19 e PP-19B); e Background – poços posicionados em locais mais afastados da atividade principal do aterro (PP-10 e PP-6). Vale ressaltar que existem apenas dados históricos para os poços numerados de 1 a 13, os quais foram utilizados no estudo anterior de Mondelli (2008).

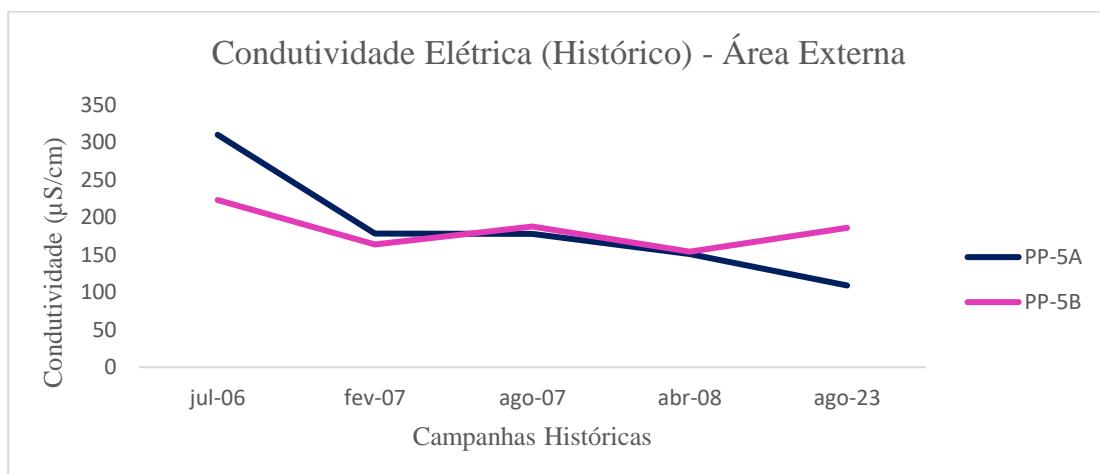


Figura 34: Evolução histórica da Condutividade Elétrica nos poços de monitoramento da Área Externa.

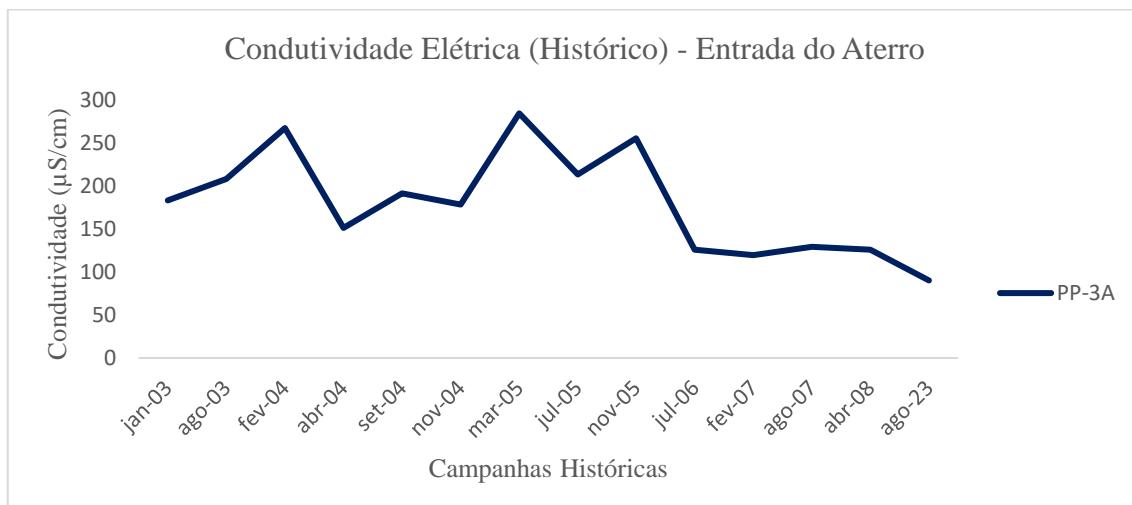


Figura 35: Evolução histórica da Condutividade Elétrica nos poços de monitoramento da Entrada do Aterro.

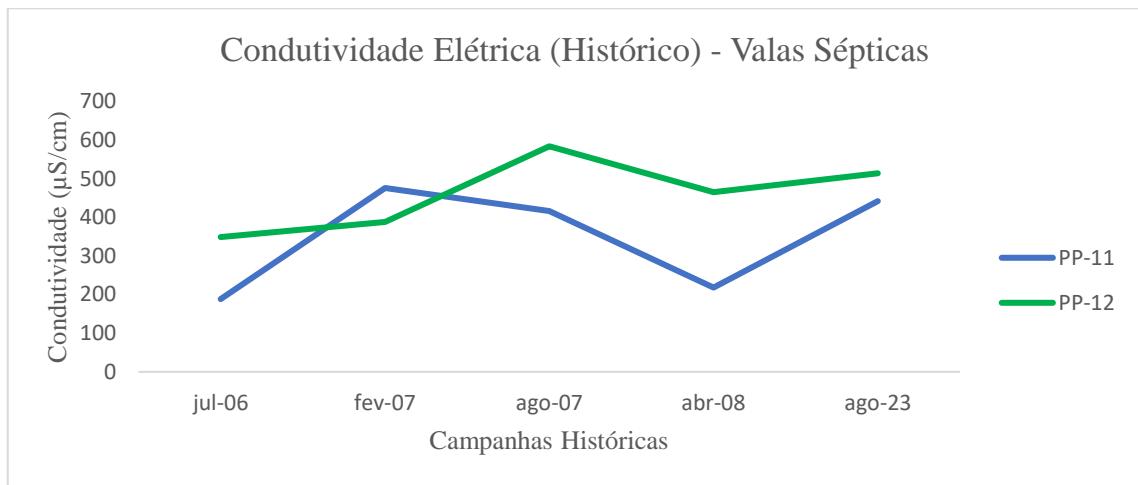


Figura 36: Evolução histórica da Condutividade Elétrica nos poços de monitoramento adjacentes às Valas Sépticas.

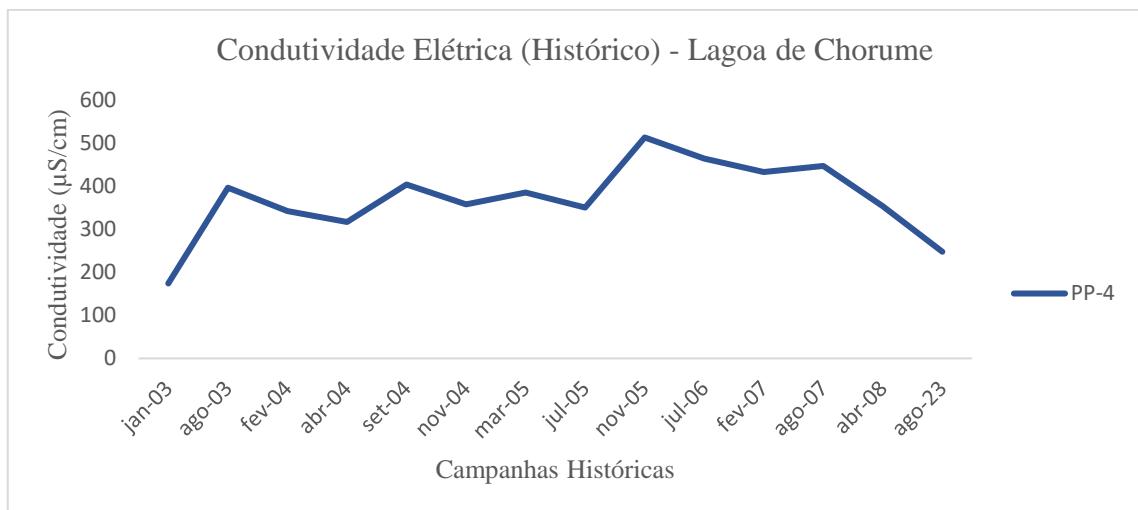


Figura 37: Evolução histórica da Condutividade Elétrica nos poços de monitoramento adjacentes à Lagoa de Chorume.

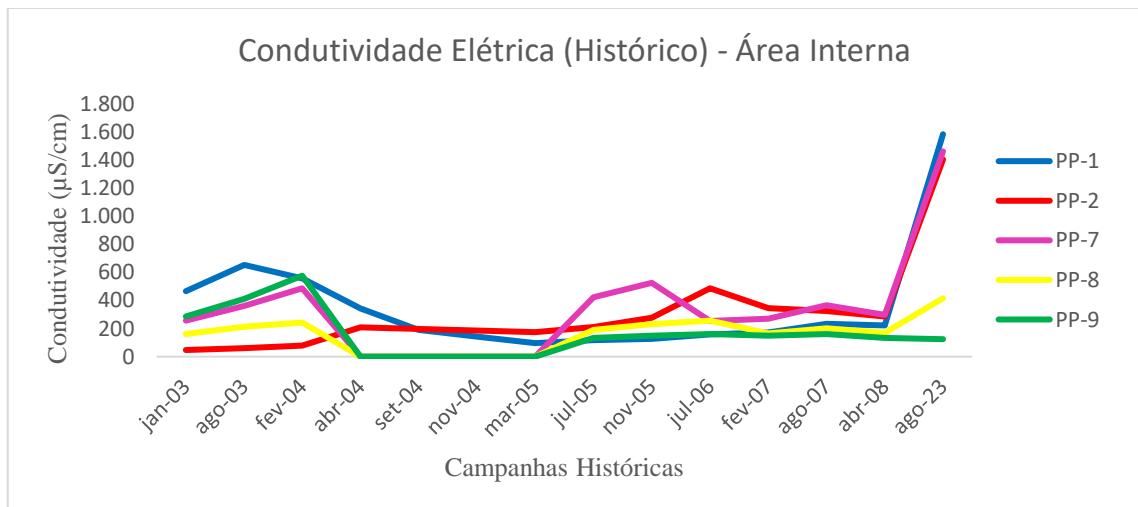


Figura 38: Evolução histórica da Condutividade Elétrica nos poços de monitoramento da Área Interna.

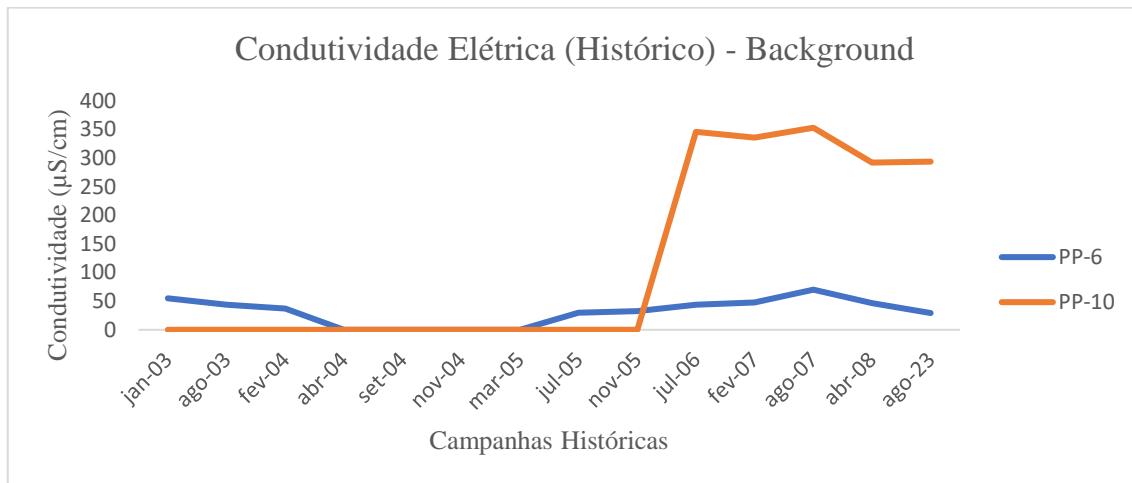


Figura 39: Evolução histórica da Condutividade Elétrica nos poços de monitoramento da área de Background.

As análises diretas também proporcionaram a determinação das concentrações de íons maiores e traços nas amostras de água subterrânea coletadas. Assim, foram elaborados gráficos que ilustram a variação das concentrações dos íons cloreto e nitrato ao longo das campanhas históricas, com base na subdivisão das áreas mencionada anteriormente. Os resultados integrais para a campanha realizada em setembro de 2023, bem como sua comparação com as campanhas históricas, estão disponíveis no Anexo A deste trabalho. Ademais, os resultados obtidos para os ensaios de alcalinidade realizados podem ser verificados na Tabela 8 do mesmo anexo.

As figuras 40 a 45 apresentam a evolução histórica para o íon cloreto nos poços de monitoramento do aterro.

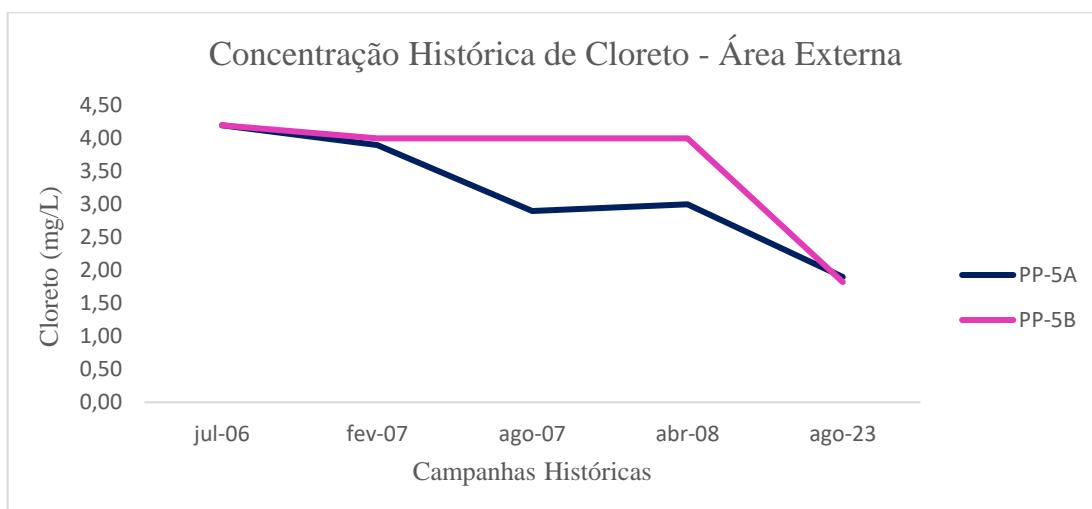


Figura 40: Evolução histórica da concentração do íon cloreto nos poços de monitoramento da Área Externa.



Figura 41: Evolução histórica da concentração do íon cloreto nos poços de monitoramento da Área Externa.

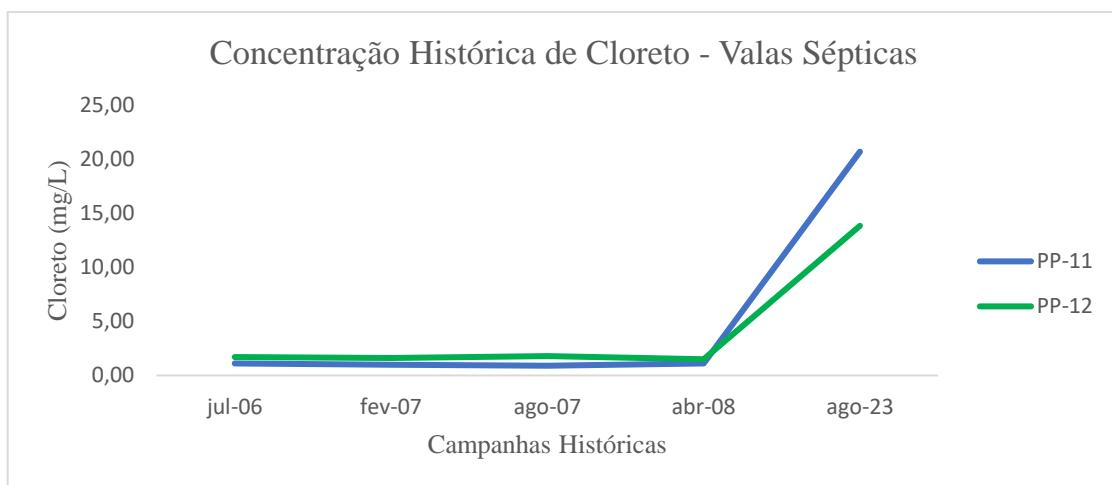


Figura 42: Evolução histórica da concentração do íon cloreto nos poços de monitoramento adjacentes às Valas Sépticas.

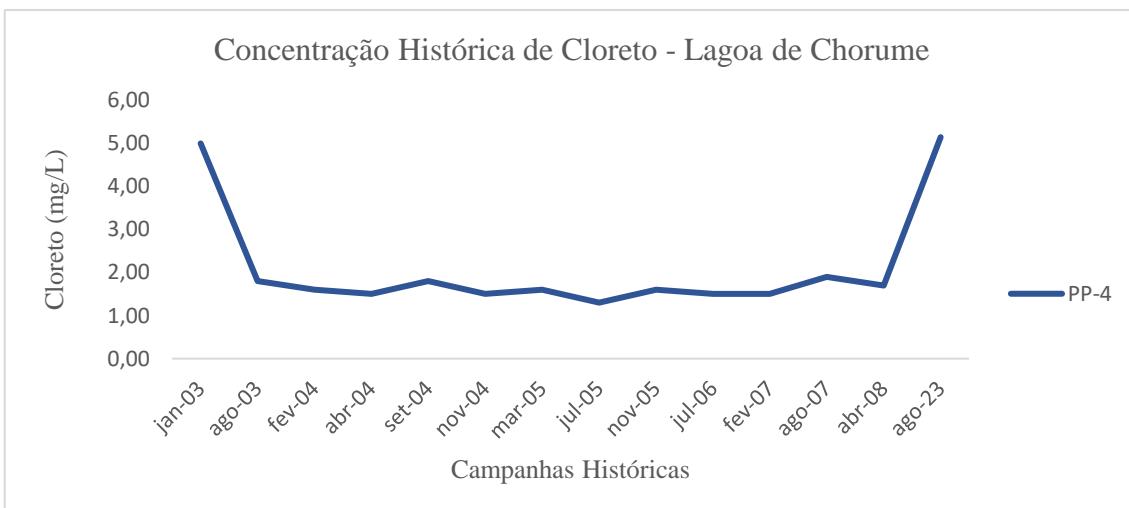


Figura 43: Evolução histórica da concentração do íon cloreto nos poços de monitoramento adjacentes Lagoa de Chorume.

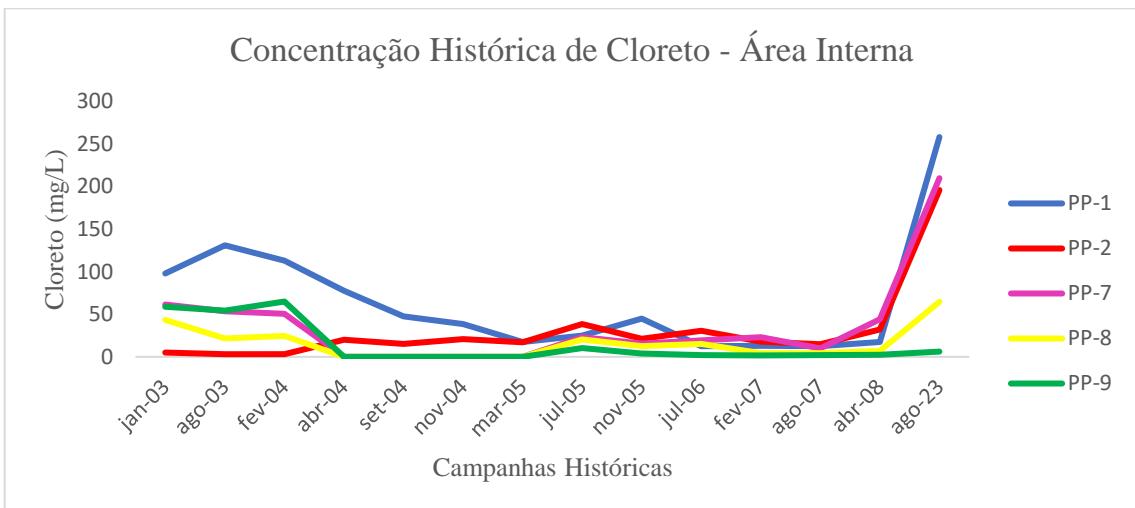


Figura 44: Evolução histórica da concentração do íon cloreto nos poços de monitoramento da Área Interna.

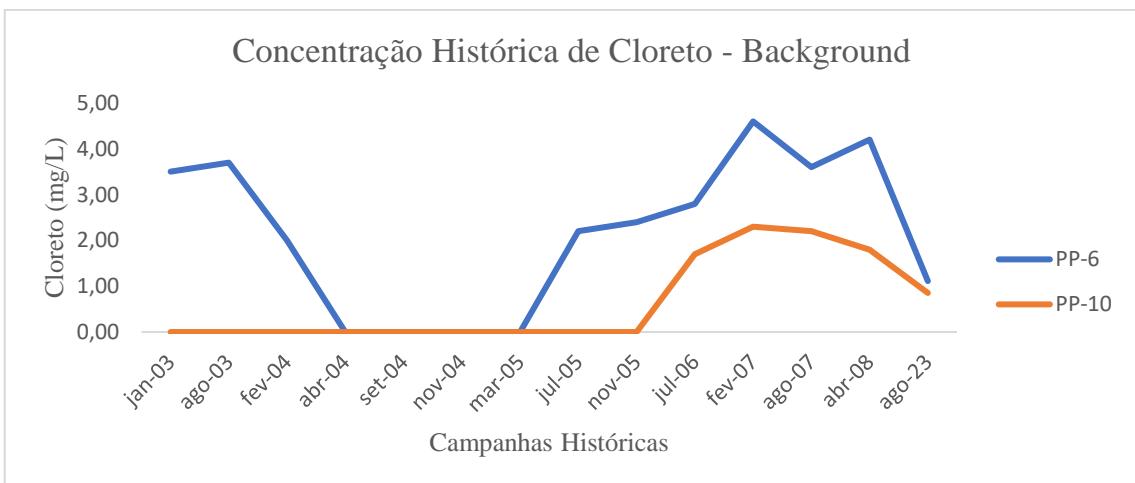


Figura 45: Evolução histórica da concentração do íon cloreto nos poços de monitoramento de Background.

As figuras 46 a 51 apresentam a evolução histórica para o íon nitrato nos poços de monitoramento do aterro.

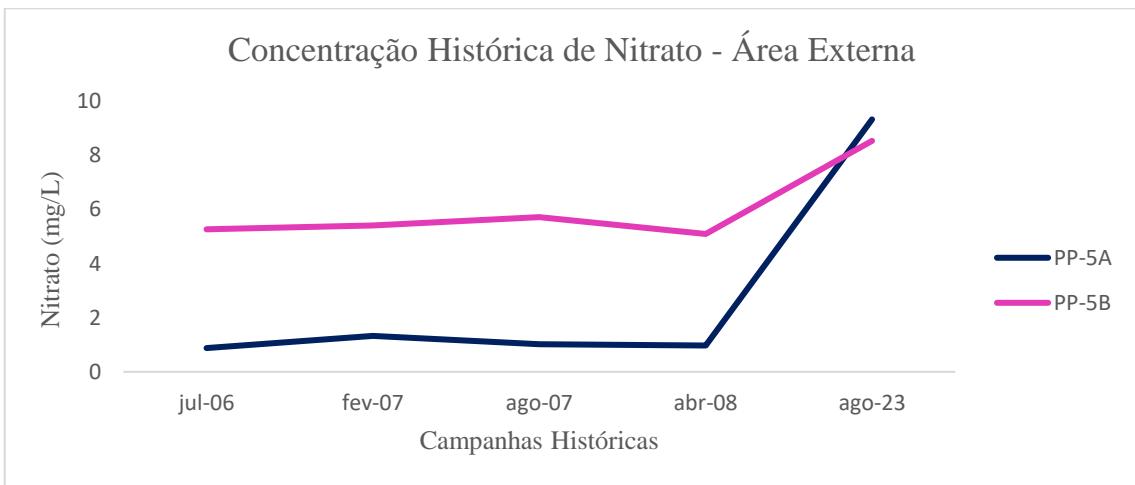


Figura 46: Evolução histórica da concentração do íon nitrato nos poços de monitoramento da Área Externa.



Figura 47: Evolução histórica da concentração do íon nitrato nos poços de monitoramento da Área Externa.

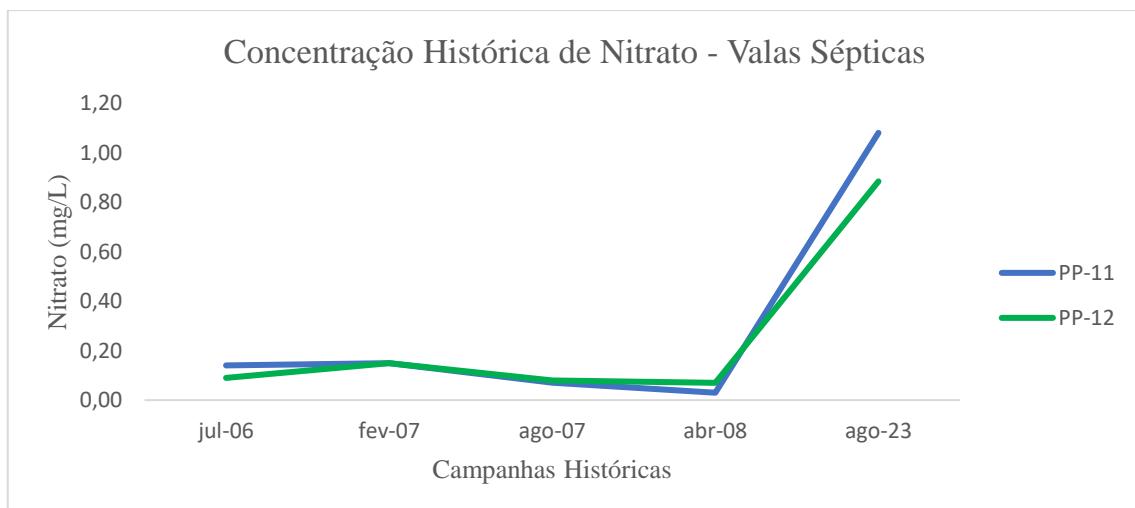


Figura 48: Evolução histórica da concentração do íon nitrato nos poços de monitoramento adjacentes às Valas Sépticas.

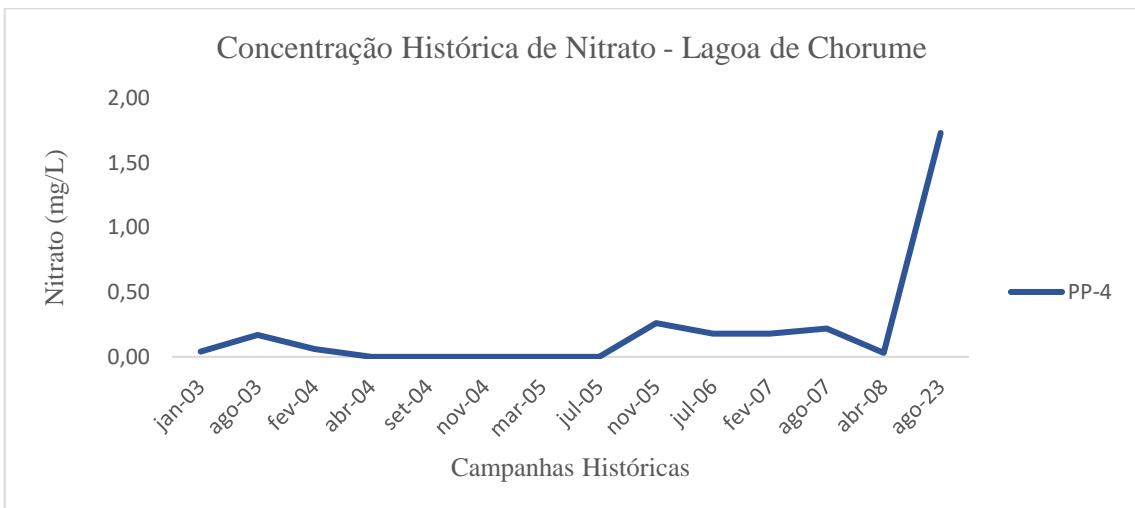


Figura 49: Evolução histórica da concentração do íon nitrato nos poços de monitoramento adjacentes Lagoa de Chorume.

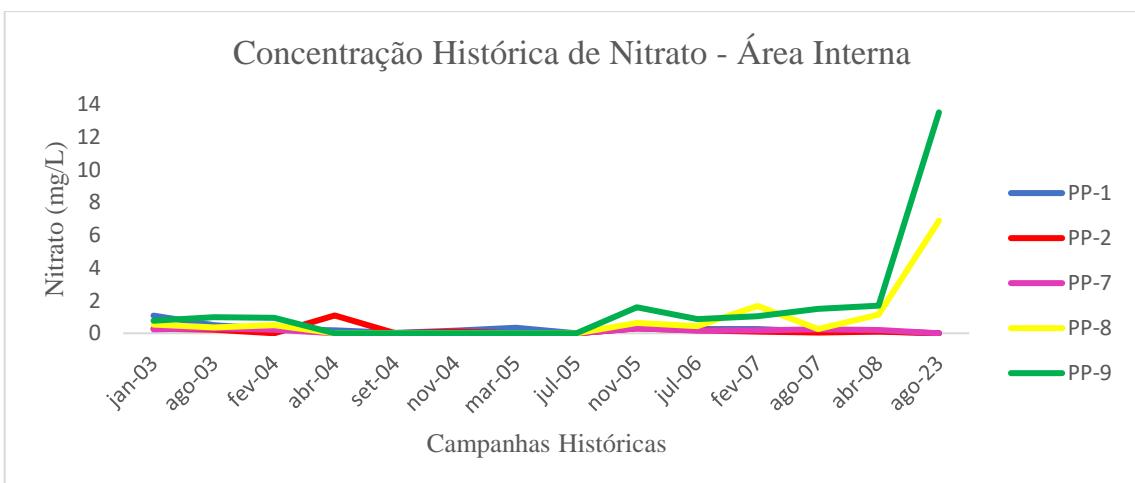


Figura 50: Evolução histórica da concentração do íon nitrato nos poços de monitoramento da Área Interna.

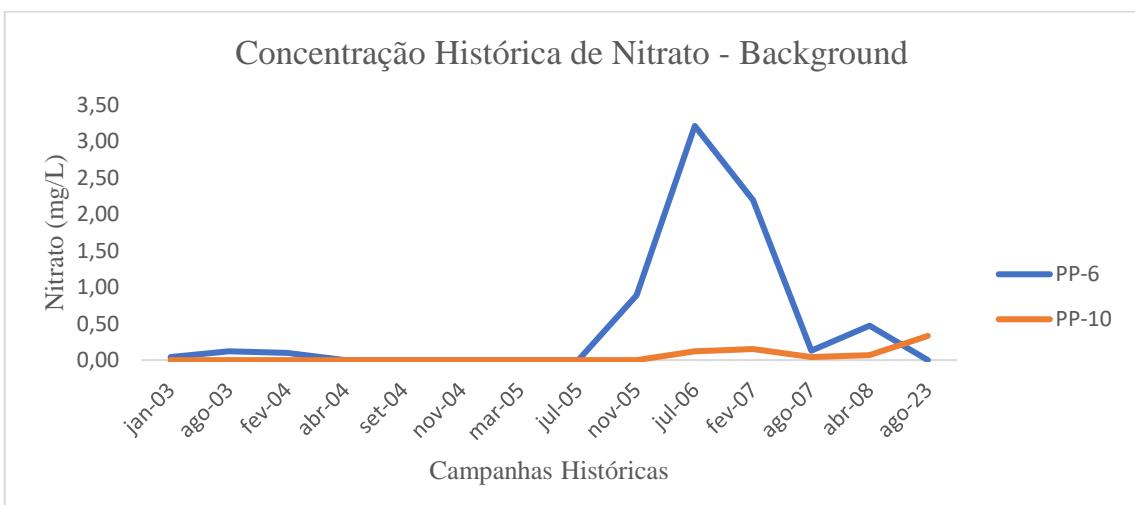


Figura 51: Evolução histórica da concentração do íon nitrato nos poços de monitoramento de Background.

## **7. DISCUSSÕES**

### **7.1 Avaliação dos dados obtidos nas campanhas de 2023**

Ao tratar dos resultados obtidos para o Caminhamento Elétrico (CE), a interpretação da Linha 3 (Figura 26) revelou a presença de um material homogêneo na região do caminhamento. Notou-se a presença de um material mais condutivo ao longo de todo o perfil de resistividade, desde a superfície. Isso é compatível com a presença de resíduo disposto próximo à superfície. É relevante mencionar que esse caminhamento foi realizado após um período intenso de chuvas na região, o que pode ter influenciado, visto que a zona saturada nessa linha parece estar em um nível mais elevado que as demais.

Para a interpretação da Linha 4 (Figura 27), é importante mencionar que essa possui seu centro alinhado com a drenagem presente na região, conforme Figura 14. Na seção de resistividade obtida, é possível observar que os primeiros 10m apresentam um material heterogêneo, muito resistivo em alguns locais, o que é compatível com o descarte de resíduos de construção civil e outros materiais de lixo domiciliar no local. Na profundidade de aproximadamente 10m, é possível visualizar o início do nível d'água. Ainda nessa profundidade, entre os trechos 50m e 90m do caminhamento, visualiza-se uma camada mais resistiva em subsuperfície, podendo ser associada a uma rocha menos intemperizada. Entre o trecho 90m e 130m do caminhamento, ocorre a presença de uma zona muito condutiva que se estende até profundidades indefinidas, a qual interpreta-se estar associada à migração do lixiviado. A posição dessa zona condutiva coincide com a linha de drenagem que adentra a região.

Em conjunto com a Linha 4, é possível analisar a SEV-02 (Figura 32), que foi realizada no centro da Linha. Nessa curva, é possível visualizar uma primeira camada mais resistiva nos 8-9m iniciais. Essa resistividade, então, diminui, indicando uma segunda camada possivelmente associada à franja capilar – indicando que o nível d'água deva estar próximo dessa profundidade. Por fim, é possível verificar uma terceira camada mais condutiva, coincidente com a zona vista no caminhamento elétrico entre 90m e 130m, possivelmente associada a contaminação e ao paleocanal da drenagem.

A Linha 4A (Figura 28), por sua vez, apresenta material mais resistivo na superfície. Em maior profundidade, essa linha também apresentou uma zona muito condutiva, em regiões semelhantes à da antiga drenagem, podendo indicar a migração de uma grande pluma de contaminação associada a uma possível fratura em subsuperfície.

Analizando a Linha 5 (Figura 29), verifica-se uma porção mais resistiva no começo e no terço final do caminhamento, localizada, aproximadamente, a partir de 15m de profundidade.

Essa porção pode ser associada a uma rocha menos intemperizada. Analisando em conjunto a SEV-01 (Figura 31), realizada ao centro dessa linha, é possível verificar um decréscimo de resistividade muito grande no início da curva, o que coincide com os resultados obtidos no caminhamento. Também é visível uma mudança abrupta nessa condição a partir dos 10m até o final da linha, mostrando aumento da resistividade que pode estar associada à presença de rocha sã em subsuperfície.

A Linha 6 (Figura 30), por sua vez, também apresenta material bem mais resistivo desde a superfície, bem como um nível d'água iniciando em aproximadamente 10m de profundidade. No entanto, nessa linha não são vistas resistividades muito baixas que indiquem contaminação. Uma possível interpretação é que possa se tratar de uma região em que a contaminação, se presente, esteja mais diluída.

Para a análise dos resultados obtidos por meio das análises diretas, foram elaborados gráficos com o propósito de observar a correlação entre cloreto e nitrato (Figura 53), assim como entre cloreto e condutividade elétrica (Figura 52).

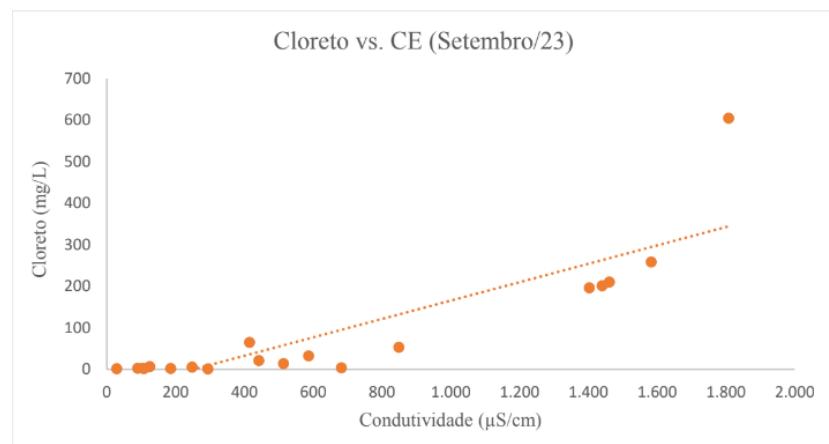


Figura 52: Gráfico de correlação entre Cloreto (mg/L) e Condutividade Elétrica ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) nos poços de monitoramento, na campanha de setembro de 2023.

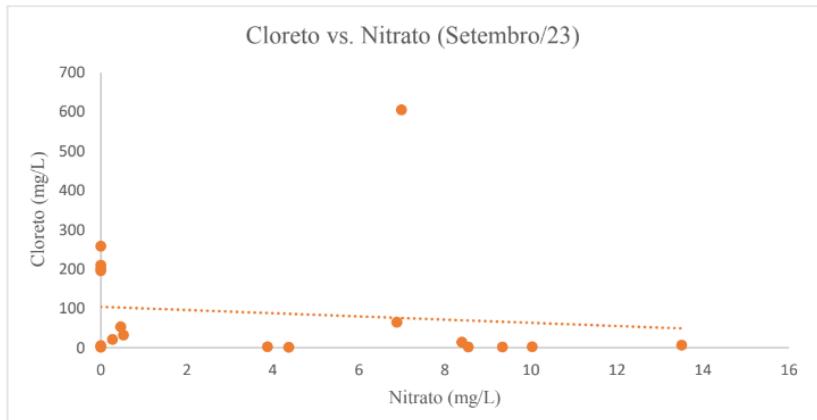


Figura 53: Gráfico de correlação entre Cloreto (mg/L) e Nitrato (mg/L) nos poços de monitoramento, na campanha de setembro de 2023.

Examinando os gráficos, constatou-se uma relação significativa entre cloreto e condutividade elétrica nos poços estudados, ao passo que a correlação entre cloreto e nitrato é ruim. Essa observação se fundamenta no aumento significativo da condutividade elétrica nos poços que possuem elevados teores de cloreto, sugerindo que esse íon seja um dos principais a influenciar esse parâmetro físico-químico. Considerando essa análise e a maior mobilidade do cloreto em comparação com o nitrato nos solos e águas subterrâneas, o que evidencia uma menor tendência de retenção no solo, o cloreto se configura como um marcador mais eficiente para avaliar a progressão de uma contaminação ao longo do tempo. Assim, o cloreto foi selecionado como íon indicador preferencial, pois acredita-se que este ofereça informações mais precisas sobre a disseminação e o alcance da contaminação.

A partir disso, foi desenvolvido um mapa exibindo as concentrações de cloreto obtidas durante a presente campanha. Neste contexto, as concentrações do parâmetro foram comparadas ao padrão organoléptico de potabilidade estabelecido pela Portaria Nº 888 do Ministério da Saúde, de maio de 2021, que estabelece o valor de referência do analito em 250mg/L. Essa comparação possibilitou a elaboração de um possível modelo da pluma de contaminação e sua direção de acordo com o fluxo subterrâneo ilustrado na Figura 33.

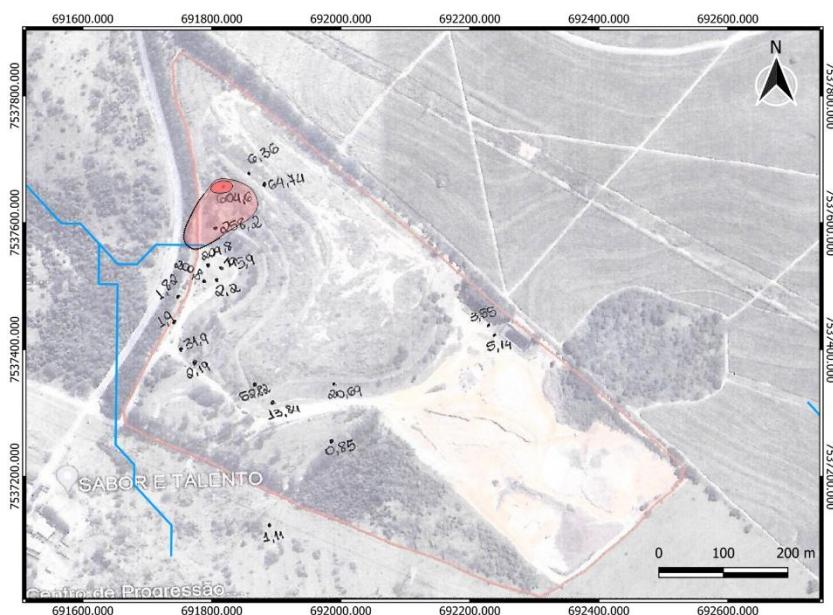


Figura 54: Modelo possível para a pluma de cloreto de acordo com as concentrações obtidas para o íon em setembro, 2023.

Além disso, ao observar as concentrações do íon indicador nos poços de monitoramento, torna-se evidente que as áreas de maior concentração do referido íon correspondem às regiões identificadas como as de possível contaminação inferidas pelos caminhamentos das Linhas 4 e 4A (Figuras 27 e 28). Essas áreas também coincidem com a drenagem, conforme discutido anteriormente.

Pode-se afirmar, também, que os dados de análises diretas corroboram os métodos geofísicos, com base nos níveis d'água registrados nos poços de monitoramento. Como discutido anteriormente, na SEV-02, situada no ponto central da Linha 4, estima-se que o nível d'água esteja em torno de 8m a 9m. Além disso, conforme ilustrado pela Figura 27, sabe-se que o PP-1 está localizado na direção central da Linha 4. Ao analisar o nível d'água registrado para o PP-1 (Tabela 3), constata-se que estava em 9,90m, corroborando, assim, o resultado obtido pela abordagem geofísica.

Além disso, foram identificadas concentrações de nitrato nos poços PP-9 e PP-19B que excedem os limites estabelecidos pela legislação, assim como concentração de amônio superior ao valor de referência no poço PP-11.

## 7.2 Comparação aos dados históricos

A consistência entre os locais e metodologias empregados nas linhas 3, 4 e 5 permitem uma análise comparativa entre os resultados obtidos no estudo atual e por Mondelli (2008), o que é crucial para avaliar mudanças ao longo do tempo ou identificar variações significativas na área de estudo.

A linha 3 deste estudo não foi realizada exatamente no mesmo local de Mondelli (2008), pois a área anterior estava impedida. Nesse caso, a linha foi mantida nas proximidades da linha 3B (Figura 6) do trabalho anterior. Apesar de não serem coincidentes no terreno, nota-se grande similaridade entre as linhas, especialmente na porção central de ambas, que apresentam uma grande zona de elevada condutividade, possivelmente indicando a migração do lixiviado verticalmente. É importante destacar que o trabalho atual foi feito com equipamento mais moderno e com espaçamento entre os eletrodos bastante inferior ao de Mondelli (2008), conseguindo, assim, maior detalhamento e assertividade. Apesar disso, o centro dos arranjos coincide. Ressalta-se, também, que pelo mapeamento histórico efetuado, não foi encontrada qualquer referência aos possíveis aluviões apontados pelo trabalho de Mondelli (2008), o que também não pode ser visualizado pelos mapas topográficos.

A linha 4 do estudo anterior (Figura 5), que coincide em localização com a linha de mesmo nome do estudo anterior, apresenta inversão da paleta de cores utilizada para a escala, ou seja, cores quentes indicam menores resistividades na seção elaborada por Mondelli (2008). Apesar disso, os resultados também são coincidentes, indicando algumas zonas preferenciais de migração das águas subterrâneas. Nota-se claramente que a zona coincidente com o paleocanal aparece em ambas as figuras por volta de 120m de caminhamento, porém é menos visível no trabalho anterior pois atingiu profundidades menores de investigação.

Por fim, para a linha 5, tanto o resultado atual como o anterior (Figura 8) mostram cores mais frias, indicando zonas mais saturadas que são encontradas próximas à superfície em quase todo perfil. As diferenças desse trabalho ao anterior são encontradas apenas em uma pequena porção inicial do mapeamento, que mostra zonas de altas resistividades. Infere-se, porém, que isso ocorre devido a escala de trabalho que foi utilizada. No estudo de Mondelli (2008), foi utilizado maior espaçamento entre os eletrodos, o que conferiu menor detalhe. Portanto, pode-se observar que esses solos mais resistivos ocorrem no início de ambos os perfis, porém o atual definiu melhor as diferenças entre as porções mais e menos saturadas das linhas devido ao maior nível de detalhes.

Conforme apontado anteriormente, o trabalho de Mondelli (2008) não incluiu figuras contendo dados hidrogeoquímicos que representassem a contaminação. Entretanto, para permitir uma comparação visual mais precisa da evolução da contaminação no ARSUB, foram criados mapas no software ArcGIS que ilustram a variação das concentrações de cloreto em abril de 2008 (última campanha conduzida por Mondelli) e na campanha mais recente (Figura 55).

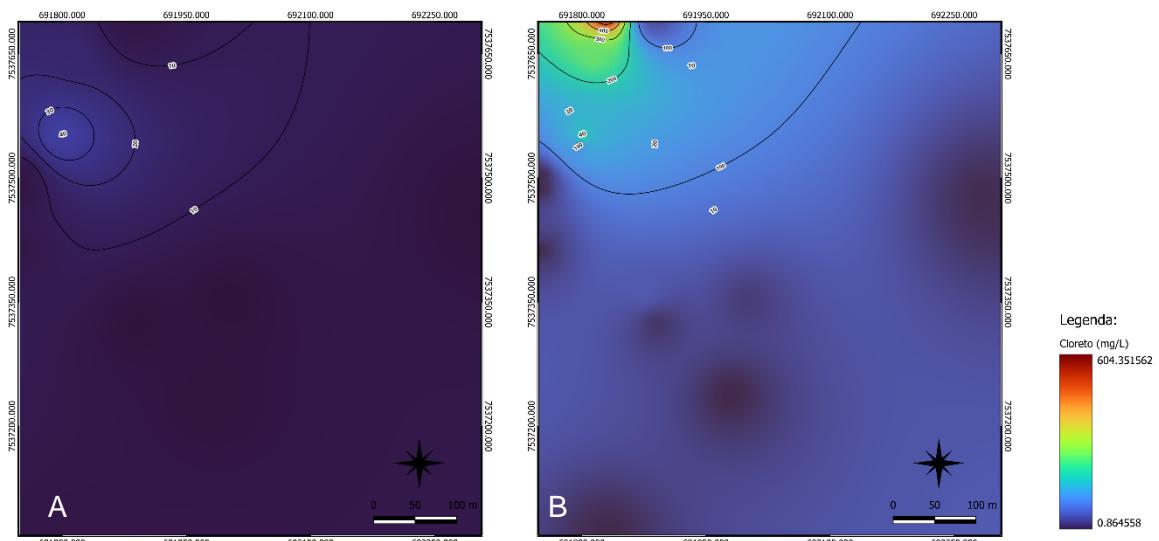


Figura 55: Mapas de concentração de cloreto (em mg/L) na área do ARSUB. Em A) Concentração em 2008; em B) Concentração em 2023.

Os mapas evidenciam um aumento nas concentrações totais de cloreto desde 2008. Naquela época, a concentração máxima registrada para o parâmetro era em torno de 47mg/L, enquanto atualmente são observadas concentrações da ordem de 200mg/L, podendo atingir cerca de 600mg/L.

Os gráficos de evolução histórica (Figuras 32 a 51) revelam um aumento nas concentrações de íons nitrato na água subterrânea da região do ARSUB. Esse aumento é

observado em todos os poços de monitoramento, exceto nos poços PP-3A e PP-6. Já em relação ao cloreto, a tendência de aumento nas concentrações se mantém na maioria dos poços, com exceção dos poços PP-3A, PP-5A, PP-5B, PP-6 e PP-10, que apresentaram queda – sugerindo sua migração.

É importante ressaltar que Mondelli (2008) não forneceu os dados brutos de alcalinidade obtidos durante o monitoramento, o que impossibilitou a comparação da evolução histórica desse parâmetro.

## **8. Conclusões**

A aplicação de técnicas de geofísica de superfície para a investigação do subsolo e de áreas contaminadas revelou-se um método preciso e vantajoso nesta pesquisa, uma vez que os resultados obtidos foram posteriormente validados por meio de análises diretas. A integração de técnicas de geofísica de superfície e hidroquímica proporcionou uma compreensão substancial acerca do comportamento dos contaminantes na subsuperfície do Aterro de Bauru. Atualmente, observa-se uma direção visível de migração preferencial dos contaminantes para a região oeste da área, onde está presente o paleocanal de drenagem. Isso corrobora o modelo conceitual hidrogeológico da área idealizado por Mondelli (2008).

Pela análise histórica da condutividade elétrica, é perceptível um considerável aumento de íons dissolvidos na água subterrânea, o que pode afetar adversamente a possibilidade de uso dessas águas para outros propósitos, sejam agrícolas ou de uso doméstico. Em adição a isso, ao analisar as concentrações atuais de cloreto na área do aterro, em conjunto com as observações de Souto (2009), que reportou concentrações elevadas desse elemento em lixiviados, e considerando a migração e aumento da concentração do elemento na área do aterro ao longo dos últimos anos, sugere-se a investigação de uma possível extensão da pluma de contaminação para a região noroeste da área de estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, C. F. de C.; BERTOLO, R. A., 2012, Geoquímica de águas subterrâneas impactadas por aterros de resíduos sólidos: Revista Águas Subterrâneas, nº 26, v 1, p 43-64.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15.847 – Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – métodos de purga, 2010.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15.849 – Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento, 2010.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15.495-2 – Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares. Parte 2: Desenvolvimento, 2009.
- Aquino, W. F., 1999, Métodos geofísicos aplicados à investigação de contaminação subterrânea: estudo de casos: 4º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, São José dos Campos, São Paulo, p 113-117.
- BORTOLIN, J. R. M.; FILHO, W. M., 2012, Monitoramento temporal da pluma de contaminação no aterro de resíduos urbanos de Rio Claro (SP) por meio do método geofísico da eletrorresistividade: Revista do Instituto de Geociências – USP, nº 3, v 12, p 99-113, doi: 10.5327/Z1519-874X2012000300007.
- BUTLER, J. J. Jr., 1997, The design, performance and analysis of slug tests (2nd ed): Washington, D.C, Lewis Publisher, 252 p.
- CAVALCANTI, M. M., 2013, Aplicação de métodos geoelétricos no delineamento da pluma de contaminação nos limites do aterro controlado do Jokey Clube de Brasília [Tese de Mestrado]: Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, 128p.
- CETESB, 2004, Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo 2001-2003, Série Relatórios/CETESB, São Paulo, SP, 103p.
- CETESB, 2011, Parecer técnico nº 001/2011/LPGP. Companhia Estadual do Estado de São Paulo, São Paulo, 15p.
- CHEN, P., 1996, Assessment of leachates from sanitary landfills: Impact of age, rainfall and treatment: Environmental International, nº 2, v 22, p 225-237.
- COSTA E SILVA, L. M., 2001, Programa PAX-VÓBIS *in* International Congress of the Brazilian Geophysical Society, nº 7, p 275-277.
- Departamento de Águas e Esgoto de Bauru – DAE, 2014. Plano Diretor de água do município de Bauru/SP. Volume 1.

- FIPAI, 1992, Aterro Sanitário da Cidade de Bauru-SP *in* EIA-RIMA, Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial, São Carlos, SP, vol 1 a 5.
- FULFARO, V. J. & BJOMBERG, A. J. S., 1993, Geologia *in* CINTRA, J. C. A. & ALBIERO, J. H., Solos do Interior de São Paulo, ABMS-SP, 399 p.
- FURTADO, Z. N. C., 2007, Vulnerabilidade dos recursos hídricos subsuperficiais na área urbana central do município de Araçatuba-SP [Tese de Mestrado]: Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 136 p.
- FOSTER, S. S.; HIRATA, R. C., 1991, Determinacion del Riesgo de Contaminacion de Águas Subterrâneas – Uma metodología baseada em dados existentes. Peru: Centro panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente/Organizacion Mundial de la Salud, 81p.
- GALLAS, J. D. F., 2000, Principais métodos geoelétricos e suas aplicações em prospecção mineral, hidrogeologia, geologia de engenharia e engenharia ambiental [Tese de Doutorado]: Rio Claro, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 174 p.
- GALLAS, J. D. F., 2003, Prospecção de água subterrânea em aquíferos cristalinos com o emprego de métodos indiretos: Revista do Instituto Geológico, v. 1, p 43-51.
- IBGE Cidades, 2017: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/bauru.html> (acessado abril 2023).
- IUNES, A. S., 2020, Estudo de vulnerabilidade ambiental à contaminação dos aquíferos nas proximidades do aterro sanitário de Brasília [Monografia]: Brasília, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, 77p.
- IWAI, C. K., 2012, Avaliação da qualidade das águas subterrâneas e do solo em áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte: aterro sanitário em valas [Tese de Doutorado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, 270p.
- JESUS, L. S., 2012, Estudo da permeabilidade dos solos de fundação do Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos de Bauru/SP [Tese de Mestrado]: Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 190 p.
- KEHEW, A. E., 2001, Applied Chemical Hydrogeology, Prentice-Hall: Upper Saddle River, 368p.
- LAGO, A. L.; ELIS, V. R., 2004, Aplicação integrada de métodos geofísicos em área de disposição de resíduos sólidos urbanos em Bauru-SP *in* Simpósio de Geofísica, São Paulo, 4p.

LAUREANO, A. T., 2007, Estudos geofísicos no aterro sanitário de Cuiabá, MT [Tese de Mestrado]: Mato Grosso, Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, 164p.

MCBEAN, E. A.; ROVERS, F. A.; FARQUHAR, G. J., 1995, Solid waste landfill engineering and design. Prentice-Hall: Englewood Cliffs.

Ministério da Saúde, 2004, Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigência da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências: Portaria nº 518, de 26 de março de 2004.

MONDELLI, G., 2008, Integração de diferentes técnicas de investigação para avaliação da poluição e contaminação de uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos [Tese de Doutorado]: São Carlos, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, doi: 10.11606/T.18.2008.tde-11032009-09576

MONDELLI, G.; GIACCHETTI, H. L.; HAMADA, J., 2016, Avaliação da contaminação no entorno de um aterro de resíduos sólidos urbanos com base em resultados de poços de monitoramento: Engenharia Sanitária e Ambiental, v 21, n. 1, doi: 10.1590/S1413-41520201600100120706

NAMIKAWA, L. M., FELGUEIRAS, C. A., MURA, J. C., ROSIM, S., LOPES, E. S. S., 2003, Modelagem numérica de terreno e aplicações: São José dos Campos, Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 142p.

ORTEGA, R.A.; PORISANI, J.L., 2005, Localização e delineamento de pluma de contaminação por hidrocarbonetos através dos métodos GPR e tomografia elétrica: resultados preliminares *in International Congress of the Brazilian Geophysical Society*, nº 9, 6p.

PAULA E SILVA, F., KIANG, C. H., CAETANO-CHANG, M. R., SINELLI, O., 2008, O arcabouço geológico e hidrofácies do sistema aquífero Guarani, no município de Ribeirão Preto (SP): Revista Brasileira de Geociências, v 38, n. 1, p 56-67.

POHLAND, F.; HARPER, S., 1985, Critical review and summary of leachate and gas production from landfills. Washington DC. 165p.

Prefeitura Municipal de Bauru, 2014, CETESB divulga nota do Aterro Sanitário de Bauru: <https://www2.bauru.sp.gov.br/materia.aspx?n=15755> (acessado abril 2023)

Prefeitura Municipal de Bauru, 2017, Plano Municipal de Saneamento Básico, Vol 1: [https://smastr20.blob.core.windows.net/conesan/Bauru\\_AE\\_DU\\_RS\\_2017.pdf](https://smastr20.blob.core.windows.net/conesan/Bauru_AE_DU_RS_2017.pdf) (acessado abril 2023).

REYNOLDS, J. M., 1997, An introduction to applied and environmental geophysics. John Wiley and Sons Ltd, Chichester, 796p.

SARAIVA, F.A., 2010, Avaliação de métodos geofísicos no comportamento espacial de plumas de neochorume [Tese de Doutorado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, 103p.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B.; FÚLFARO, V. J.; AMARAL, G.; SUGUIO, K.; COIMBRA, A. M.; SOBREIRO NETO, A. F.; GIANCURSI, F.; CORREA, W. A. G.; CASTRO, C. G. J., 1980, Geologia da região sudoeste do Estado de São Paulo *in* Simpósio Regional de Geologia, 2<sup>a</sup> ed, Rio Claro, SP. Boletim de Resumos, p 307-319.

TANDEL, R. Y., 1998, Contribuição ao estudo da poluição provocada no aquífero freático e no solo pelo aterro controlado da cidade de Rio Claro, SP [Tese de Doutorado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, 173p.

**Anexo A**  
**Tabelas – Resultados Hidrogeoquímicos**

**Tabela 1: Nível d'Água e Carga Hidráulica**

Poço de Monitoramento	Profundidade do Poço	Cota (m)	Nível d'Água (m)													
			jan-03	ago-03	fev-04	abr-04	set-04	nov-04	mar-05	jul-05	nov-05	jul-06	fev-07	ago-07	abr-08	ago-23
PP-01	11,58	525,47	8,50	8,00	9,50	8,90	9,20	9,40	9,50	9,10	9,30	9,41	9,49	9,79	9,79	9,90
PP-02	11,66	524,91	8,00	6,00	8,00	7,40	7,70	7,50	8,00	7,90	8,20	8,52	8,53	8,82	8,85	9,54
PP-03*	10,73	528,82	10,70	9,00	11,50	7,80	10,80	11,00	10,50	10,60	10,80	---	---	---	---	Seco
PP-03A	21,31	527,99	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	10,75	10,82	10,97	10,94	11,32
PP-04	30,33	552,58	32,00	30,00	30,00	32,50	33,00	33,40	33,70	31,70	33,90	33,47	34,19	34,37	34,38	24,55
PP-05	7,4	523,88	6,00	7,00	7,00	---	---	---	---	6,00	7,10	7,35	---	---	---	Seco
PP-05A	19,68	523,90	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	7,20	7,40	7,55	7,70	8,28
PP-05B	24,98	523,44	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	8,00	7,78	7,92	7,83	8,06
PP-06	6,15	544,50	2,60	3,00	3,10	---	---	---	---	3,20	3,60	4,13	3,09	3,21	2,94	2,47
PP-07	10,71	524,88	5,60	6,00	8,00	---	---	---	---	8,30	8,20	8,55	8,51	8,86	8,91	9,47
PP-08	22,98	524,59	7,20	6,00	7,50	---	---	---	---	7,50	7,70	8,04	8,26	8,51	8,54	8,37
PP-09	12,35	524,60	6,90	6,00	7,00	---	---	---	---	7,60	7,50	7,99	8,18	8,44	8,45	8,20
PP-10	39,58*	554,10	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	33,89	34,69	34,74	34,81	33,70
PP-11	30,68	546,14	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	27,95	27,26	27,40	27,45	24,36
PP-12	22,68	536,98	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	18,69	19,10	19,15	19,17	19,19
PP-13	---	546,15	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	30,41	30,76	31,05	30,88	Destruído
PP-14	12,31	526,00	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	11,50
PP-15	22,69	544,50	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	20,01
PP-16	27,03	551,50	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	24,38
PP-17	---	545,99	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	Destruído
PP-18	18,71	539,00	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	14,76
PP-19	11,64	533,00	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	9,70
PP-19B	20,42	529,00	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	9,45
PP-20	7,05	523,99	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	Seco

Notas:

NE	Poço de monitoramento não existente na referida campanha
---	Não analisado na referida campanha
*	Ocorrência de raízes - a partir de 2006 passou-se a utilizar o PP-3A

**Tabela 1: Nível d'Água e Carga Hidráulica**

Poço de Monitoramento	Profundidade do Poço	Cota (m)	Carga Hidráulica (m)													
			jan-03	ago-03	fev-04	abr-04	set-04	nov-04	mar-05	jul-05	nov-05	jul-06	fev-07	ago-07	abr-08	ago-23
PP-01	11,58	525,47	516,97	517,47	515,97	516,57	516,27	516,07	515,97	516,37	516,17	516,06	515,98	515,68	515,68	515,57
PP-02	11,66	524,91	516,91	518,91	516,91	517,51	517,21	517,41	516,91	517,01	516,71	516,39	516,38	516,09	516,06	515,37
PP-03*	10,73	528,82	518,12	519,82	517,32	521,02	518,02	517,82	518,32	518,22	518,02	---	---	---	---	Seco
PP-03A	21,31	527,99	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	517,24	517,17	517,02	517,05	516,67
PP-04	30,33	552,58	520,58	522,58	522,58	520,08	519,58	519,18	518,88	520,88	518,68	519,11	518,39	518,21	518,20	528,03
PP-05	7,4	523,88	517,88	516,88	516,88	---	---	---	---	517,88	516,78	516,53	---	---	---	Seco
PP-05A	19,68	523,90	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	516,70	516,50	516,35	516,20	515,62
PP-05B	24,98	523,44	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	515,44	515,66	515,52	515,61	515,38
PP-06	6,15	544,50	541,90	541,50	541,40	---	---	---	---	541,30	540,90	540,37	541,41	541,29	541,56	542,03
PP-07	10,71	524,88	519,28	518,88	516,88	---	---	---	---	516,58	516,68	516,33	516,37	516,02	515,97	515,41
PP-08	22,98	524,59	517,39	518,59	517,09	---	---	---	---	517,09	516,89	516,55	516,33	516,08	516,05	516,22
PP-09	12,35	524,60	517,70	518,60	517,60	---	---	---	---	517,00	517,10	516,61	516,42	516,16	516,15	516,40
PP-10	39,58*	554,10	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	520,21	519,41	519,36	519,29	520,40
PP-11	30,68	546,14	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	518,19	518,88	518,74	518,69	521,78
PP-12	22,68	536,98	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	518,29	517,88	517,83	517,81	517,79
PP-13	---	546,15	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	515,74	515,39	515,10	515,27	Destruído
PP-14	12,31	526,00	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	514,50
PP-15	22,69	544,50	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	524,49
PP-16	27,03	551,50	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	527,12
PP-17	---	545,99	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	Destruído
PP-18	18,71	539,00	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	524,24
PP-19	11,64	533,00	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	523,30
PP-19B	20,42	529,00	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	519,55
PP-20	7,05	523,99	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	Seco

Notas:

NE	Poço de monitoramento não existente na referida campanha
---	Não analisado na referida campanha
*	Ocorrência de raízes - a partir de 2006 passou-se a utilizar o PP-3A

**Tabela 2: Fatores Físico-Químicos em Amostras de Água Subterrânea**

Poço de Monitoramento	Campanha	Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	OD (mg/L)	ORP (mV)
PP-01	set-23	1.583,00	6,23	24,77	0,02	-60,00
PP-02	set-23	1.403,00	6,17	24,50	0,00	-60,40
PP-03A	set-23	90,00	5,96	24,60	3,98	238,10
PP-04	set-23	248,00	5,80	25,98	0,28	51,90
PP-05A	set-23	109,00	6,10	23,93	3,70	196,20
PP-05B	set-23	186,00	6,73	23,44	4,19	130,90
PP-06	set-23	29,00	5,12	23,22	0,00	-173,70
PP-07	set-23	1.461,00	6,17	24,16	0,05	-26,20
PP-08	set-23	415,00	5,97	28,10	0,09	102,70
PP-09	set-23	125,00	5,72	26,68	3,05	235,60
PP-10	set-23	294,00	7,01	24,36	3,41	193,10
PP-11	set-23	442,00	6,09	27,21	1,04	-26,90
PP-12	set-23	514,00	6,47	23,91	3,13	207,50
PP-14	set-23	587,00	6,48	25,37	0,02	-47,00
PP-15	set-23	849,00	6,66	26,32	2,15	211,10
PP-16	set-23	682,00	6,61	29,09	0,20	-49,30
PP-18	set-23	1.808,00	5,74	27,20	0,00	113,40
PP-19	set-23	1.440,00	6,17	24,13	0,00	-75,30
PP-19B	set-23	104,00	6,02	24,37	4,53	264,70

**Tabela 3: Resultados da Medição de pH e Condutividade Elétrica em Amostras de Água Subterrânea - Histórico**

Parâmetro	Campanha	PP-1	PP-2	PP-3A	PP-4	PP-5A	PP-5B	PP-6	PP-7	PP-8	PP-9	PP-10	PP-11	PP-12	PP-14	PP-15	PP-16	PP-18	PP-19	PP-19B
pH	jan-03	4,64	5,41	6,22	5,88	NE	NE	4,84	5,36	5,78	5,89	NE	NE							
	ago-03	5,00	5,60	6,60	7,10	NE	NE	5,40	5,80	6,00	6,10	NE	NE							
	fev-04	4,80	5,40	6,40	6,70	NE	NE	5,00	5,94	6,11	6,23	NE	NE							
	abr-04	4,81	5,40	5,65	6,41	NE	NE	---	---	---	---	NE	NE							
	set-04	5,33	5,71	5,19	6,57	NE	NE	---	---	---	---	NE	NE							
	nov-04	5,00	5,42	5,98	6,14	NE	NE	---	---	---	---	NE	NE							
	mar-05	5,02	5,27	6,06	6,23	NE	NE	---	---	---	---	NE	NE							
	jul-05	5,10	5,10	6,40	6,50	NE	NE	4,80	5,80	5,70	5,70	NE	NE							
	nov-05	5,45	5,56	6,27	6,43	NE	NE	5,39	6,20	6,45	6,28	NE	NE							
	jul-06	5,51	5,73	5,81	6,19	6,63	6,67	5,45	5,35	5,85	5,67	6,45	7,45	6,92	NE	NE	NE	NE	NE	
	fev-07	5,43	5,75	5,88	6,33	6,27	6,17	5,11	5,42	5,69	5,76	6,88	7,03	7,29	NE	NE	NE	NE	NE	
	ago-07	5,72	5,77	5,85	6,26	6,14	6,40	4,95	5,44	5,74	5,84	6,76	6,45	7,01	NE	NE	NE	NE	NE	
	abr-08	5,01	5,65	5,97	6,45	6,16	6,30	5,14	5,44	5,83	5,89	7,09	6,23	7,12	NE	NE	NE	NE	NE	
	ago-23	6,23	6,17	5,96	5,80	6,10	6,73	5,12	6,17	5,97	5,72	7,01	6,09	6,47	6,48	6,66	6,61	5,74	6,17	
Condutividade (µS/cm)	jan-03	465,00	47,00	183,00	174,00	NE	NE	55,00	257,00	161,00	286,00	NE	NE							
	ago-03	652,00	60,20	208,00	396,00	NE	NE	43,60	362,00	214,00	412,00	NE	NE							
	fev-04	556,00	78,30	267,00	342,00	NE	NE	37,30	487,00	242,00	576,00	NE	NE							
	abr-04	342,00	208,00	151,00	317,00	NE	NE	---	---	---	---	NE	NE							
	set-04	191,00	197,00	191,00	404,00	NE	NE	---	---	---	---	NE	NE							
	nov-04	142,00	186,00	178,00	358,00	NE	NE	---	---	---	---	NE	NE							
	mar-05	96,00	175,00	284,00	385,00	NE	NE	---	---	---	---	NE	NE							
	jul-05	116,90	211,00	213,00	350,00	NE	NE	29,90	422,00	189,30	132,50	NE	NE							
	nov-05	127,00	276,00	255,00	513,00	NE	NE	32,80	524,00	231,00	149,30	NE	NE							
	jul-06	157,80	487,00	125,70	464,00	310,00	223,00	43,70	253,00	256,00	160,40	346,00	188,40	349,00	NE	NE	NE	NE	NE	
	fev-07	172,20	346,00	119,30	433,00	178,20	163,70	47,70	270,00	166,00	149,20	336,00	476,00	388,00	NE	NE	NE	NE	NE	
	ago-07	234,00	325,00	129,10	447,00	177,90	187,70	70,10	365,00	201,00	159,90	353,00	416,00	584,00	NE	NE	NE	NE	NE	
	abr-08	222,00	287,00	125,90	353,00	150,80	154,10	46,40	297,00	168,80	134,10	292,00	218,00	465,00	NE	NE	NE	NE	NE	
	ago-23	1.583,00	1.403,00	90,00	248,00	109,00	186,00	29,00	1.461,00	415,00	125,00	294,00	442,00	514,00	587,00	849,00	682,00	1.808,00	1.440,00	

**Notas:**

Todas as concentrações apresentadas nesta tabela estão em mg/L

---

Análito não analisado na referida campanha

NE

Poço de monitoramento não existente na referida campanha

**Tabela 4: Resultados Analíticos para Cátions em Amostras de Água Subterrânea**

Parâmetro	Padrão de Qualidade (mg/L)		PP-1 ago-23	PP-2 ago-23	PP-3A ago-23	PP-4 ago-23	PP-5A ago-23	PP-5B ago-23	PP-6 ago-23	PP-7 ago-23	PP-8 ago-23	PP-9 ago-23	PP-10 ago-23	PP-11 ago-23	PP-12 ago-23	PP-14 ago-23	PP-15 ago-23	PP-16 ago-23	PP-18 ago-23	PP-19 ago-23	PP-19B ago-23
	NR	NR	-	0,04	-	0,03	-	-	-	0,04	0,04	-	-	0,03	-	-	0,03	0,03	0,04	-	
Lítio	NR	NR	-	0,04	-	0,03	-	-	-	0,04	0,04	-	-	0,03	-	-	0,03	0,03	0,04	-	
Sódio	MS Portaria 888 (2021)	200,00	66,30	71,63	0,89	0,96	0,59	0,66	21,82	96,59	8,42	0,83	0,98	2,40	0,75	23,47	31,38	5,68	66,50	93,16	0,72
Amônio	MS Portaria 888 (2021)	1,20	-	-	-	0,16	-	-	0,31	-	-	-0,15	-	1,25	-	-	-	0,12	-	-	
Potássio	NR	NR	2,10	6,15	2,31	5,41	2,87	3,36	4,33	6,78	10,58	4,13	5,09	7,98	4,31	2,59	6,14	8,15	7,31	6,34	2,72
Magnésio	NR	NR	43,53	49,08	1,73	9,34	1,89	3,68	16,59	51,10	9,61	3,05	7,24	11,39	9,00	14,34	13,71	18,71	61,38	53,98	1,96
Cálcio	NR	NR	162,46	110,25	17,49	23,60	18,38	31,56	61,57	117,42	47,26	16,74	50,26	66,16	98,11	79,61	135,81	112,02	160,76	119,55	17,18

**Notas:**

Todas as concentrações apresentadas nesta tabela estão em mg/L

MS Portaria 888 (2021)	Valores de intervenção para água subterrânea estabelecidos pela Portaria Nº 888 do Ministério da Saúde (Maio, 2021)
NR	Parâmetro não regulamentado
X	Concentração da campanha atual acima do Padrão de Qualidade adotado
X	Concentração histórica acima do Padrão de Qualidade adotado
X	Concentração abaixo do Limite de Quantificação (LQ) do Laboratório
X	Concentração entre o Limite de Quantificação (LQ) e o Limite de Detecção (LD) do Laboratório
-	Analito não detectado

Parâmetro não regulamentado

Concentração da campanha atual acima do Padrão de Qualidade adotado

Concentração histórica acima do Padrão de Qualidade adotado

Concentração abaixo do Limite de Quantificação (LQ) do Laboratório

Concentração entre o Limite de Quantificação (LQ) e o Limite de Detecção (LD) do Laboratório

Analito não detectado

**Tabela 5: Resultados Analíticos para Ânions em Amostras de Água Subterrânea**

Parâmetro	Padrão de Qualidade (mg/L)	PP-1	PP-2	PP-3A	PP-4	PP-5A	PP-5B	PP-6	PP-7	PP-8	PP-9	PP-10	PP-11	PP-12	PP-14	PP-15	PP-16	PP-18	PP-19	PP-19B
		ago-23	ago-23	ago-23	ago-23	ago-23	ago-23	ago-23	ago-23	ago-23	ago-23	ago-23	ago-23	ago-23	ago-23	ago-23	ago-23	ago-23	ago-23	
Fluoreto	<b>MS Portaria 888 (2021)</b>	<b>1,50</b>	0,08	0,06	<b>0,02</b>	0,04	<b>0,03</b>	0,05	-	0,05	-	-	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	0,05	0,03	0,04	0,15	0,05
Cloreto	<b>MS Portaria 888 (2021)</b>	<b>250,00</b>	<b>258,18</b>	195,94	2,19	5,14	1,90	1,82	1,11	209,88	64,74	6,36	0,85	20,69	13,84	31,91	52,82	3,55	<b>604,68</b>	200,81
Nitrito	<b>MS Portaria 888 (2021)</b>	<b>1,00</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Brometo	NR	NR	0,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>0,13</b>	<b>0,11</b>	-	<b>0,19</b>	
Nitrato	<b>CETESB 125/2021</b>	<b>10,00</b>	-	-	3,88	-	9,34	8,54	-	-	6,89	<b>13,51</b>	4,37	<b>0,27</b>	8,40	<b>0,52</b>	<b>0,46</b>	-	6,99	-
Fosfato	NR	NR	2,81	3,36	-	<b>1,73</b>	-	-	-	2,87	0,58	-	<b>0,33</b>	1,08	0,88	1,36	2,19	1,25	2,39	2,83
Sulfato	<b>MS Portaria 888 (2021)</b>	<b>250,00</b>	0,84	93,23	<b>0,96</b>	0,81	-	-	<b>1,43</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	-	<b>1,48</b>	<b>0,91</b>	<b>1,05</b>	<b>1,61</b>	2,98	-	<b>1,08</b>	<b>0,91</b>

**Notas:**

Todas as concentrações apresentadas nesta tabela estão em mg/L

<b>CETESB 125/2021</b>	Valores de intervenção para água subterrânea estabelecidos pela DD 125 da CETESB (Dezembro, 2021)
<b>MS Portaria 888 (2021)</b>	Valores de intervenção para água subterrânea estabelecidos pela Portaria Nº 888 do Ministério da Saúde (Maio, 2021)
NR	Parâmetro não regulamentado
X	Concentração da campanha atual acima do Padrão de Qualidade adotado
×	Concentração abaixo do Limite de Quantificação (LQ) do Laboratório
█	Concentração entre o Limite de Quantificação (LQ) e o Limite de Detecção (LD) do Laboratório
-	Analito não detectado

Tabela 4: Resultados Analíticos para Cátions em Amostras de Água Subterrânea - Histórico

Parâmetro	Campanha	Padrão de Qualidade (mg/L)	PP-1	PP-2	PP-3A	PP-4	PP-5A	PP-5B	PP-6	PP-7	PP-8	PP-9	PP-10	PP-11	PP-12	PP-14	PP-15	PP-16	PP-18	PP-19	PP-19B
Lítio	jul-05	NR	---	---	---	---	NE	NE	---	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	jul-06		---	---	---	---	NE	NE	---	---	---	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	fev-07		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	ago-07		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	abr-08		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	ago-23		-	0,04	-	0,03	-	-	0,04	0,04	-	-	0,03	-	-	-	0,03	0,03	0,04	-	
Sódio	jul-05	MS Portaria 888 (2021)	4,20	1,50	0,90	0,60	NE	NE	0,90	1,70	1,60	1,20	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	jul-06		3,20	2,60	1,20	3,50	NE	NE	1,50	2,00	2,50	1,70	7,00	1,60	3,00	NE	NE	NE	NE	NE	
	fev-07		2,90	1,70	1,20	1,60	1,60	1,30	1,50	2,20	2,60	1,60	2,90	1,60	2,30	NE	NE	NE	NE	NE	
	ago-07		3,90	1,20	0,80	1,50	0,80	1,60	1,70	2,10	1,70	1,60	2,30	1,60	0,80	NE	NE	NE	NE	NE	
	abr-08		5,50	1,50	1,20	1,20	1,00	1,20	1,40	2,00	2,30	1,50	2,00	1,30	1,50	NE	NE	NE	NE	NE	
	ago-23		66,30	71,63	0,89	0,96	0,59	0,66	21,82	96,59	8,42	0,83	0,98	2,40	0,75	23,47	31,38	5,68	66,50	93,16	0,72
Amônio	jul-05	MS Portaria 888 (2021)	---	---	---	---	NE	NE	---	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	jul-06		---	---	---	---	NE	NE	---	---	---	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	fev-07		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	ago-07		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	abr-08		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	ago-23		-	-	-	0,16	-	-	0,31	-	-	-0,15	-	1,25	-	-	-	0,12	-	-	
Potássio	jul-05	NR	0,60	3,20	2,20	4,10	NE	NE	1,10	3,90	2,70	2,90	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	jul-06		0,70	4,20	1,70	5,00	NE	NE	2,70	3,80	3,70	2,90	9,70	2,70	6,50	NE	NE	NE	NE	NE	
	fev-07		0,50	3,30	1,70	4,00	2,70	2,90	2,10	4,90	6,00	3,80	6,90	3,60	5,90	NE	NE	NE	NE	NE	
	ago-07		0,50	2,90	1,70	4,20	1,90	2,90	1,80	4,50	3,50	3,60	5,00	3,20	4,60	NE	NE	NE	NE	NE	
	abr-08		0,90	3,10	1,90	3,80	1,80	2,70	2,00	4,30	6,00	3,70	4,70	3,20	4,00	NE	NE	NE	NE	NE	
	ago-23		2,10	6,15	2,31	5,41	2,87	3,36	4,33	6,78	10,58	4,13	5,09	7,98	4,31	2,59	6,14	8,15	7,31	6,34	2,72
Magnésio	jul-05	NR	---	---	---	---	NE	NE	---	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	jul-06		---	---	---	---	NE	NE	---	---	---	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	fev-07		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	ago-07		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	abr-08		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	ago-23		43,53	49,08	1,73	9,34	1,89	3,68	16,59	51,10	9,61	3,05	7,24	11,39	9,00	14,34	13,71	18,71	61,38	53,98	1,96
Cálcio	jul-05	NR	3,10	10,00	29,00	41,00	NE	NE	0,00	33,00	22,00	13,00	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	jul-06		17,80	51,00	21,70	63,60	NE	NE	5,50	39,60	40,00	31,80	52,40	53,00	59,20	NE	NE	NE	NE	NE	
	fev-07		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	ago-07		14,56	26,50	10,43	55,54	11,67	14,10	3,65	17,64	12,13	12,98	38,03	62,07	86,50	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	abr-08		14,92	21,90	12,84	50,42	16,80	73,80	2,66	25,85	17,76	16,56	43,60	30,03	82,12	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	ago-23		162,46	110,25	17,49	23,60	18,38	31,56	61,57	117,42	47,26	16,74	50,26	66,16	98,11	79,61	135,81	112,02	160,76	119,55	17,18

**Notas:**

Todas as concentrações apresentadas nesta tabela estão em mg/L

MS Portaria 888 (2021)	Valores de intervenção para água subterrânea estabelecidos pela Portaria Nº 888 do Ministério da Saúde (Maio, 2021)
NR	Parâmetro não regulamentado
X	Concentração da campanha atual acima do Padrão de Qualidade adotado
X	Concentração histórica acima do Padrão de Qualidade adotado
X	Concentração da campanha atual inferior ao Limite de Quantificação (LQ) do Laboratório
X	Concentração da campanha atual entre o Limite de Quantificação (LQ) e o Limite de Detecção (LD) do Laboratório
-	Analito não detectado
---	Analito não analisado na referida campanha
NE	Poço de monitoramento não existente na referida campanha

Tabela 7: Resultados Analíticos para Ânions em Amostras de Água Subterrânea - Histórico

Parâmetro	Campanha	Padrão de Qualidade (mg/L)	PP-1	PP-2	PP-3A	PP-4	PP-5A	PP-5B	PP-6	PP-7	PP-8	PP-9	PP-10	PP-11	PP-12	PP-14	PP-15	PP-16	PP-18	PP-19	PP-19B
Fluoreto	jan-03	MS PORTARIA 888 (2021)	1,5	---	---	---	NE	NE	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	ago-03			---	---	---	NE	NE	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	fev-04			---	---	---	NE	NE	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	abr-04			---	---	---	NE	NE	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	set-04			---	---	---	NE	NE	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	nov-04			---	---	---	NE	NE	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	mar-05			---	---	---	NE	NE	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	jul-05			---	---	---	NE	NE	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	nov-05			---	---	---	NE	NE	---	---	---	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	jul-06			---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	NE	
	fev-07			---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	NE	
	ago-07			---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	NE	
	abr-08			---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	NE	
	ago-23			0,08	0,06	0,02	0,04	0,03	0,05	-	0,05	-	-	0,03	0,02	0,03	0,05	0,03	0,04	0,15	0,05
Cloreto	jan-03	MS PORTARIA 888 (2021)	250	98,00	5,00	5,50	5,00	NE	NE	3,50	61,50	43,50	59,00	NE							
	ago-03			131,00	3,10	2,30	1,80	NE	NE	3,70	53,50	21,60	54,50	NE							
	fev-04			113,00	3,20	3,30	1,60	NE	NE	2,00	50,50	24,60	65,00	NE							
	abr-04			77,50	20,10	4,00	1,50	NE	NE	---	---	---	---	NE							
	set-04			47,60	15,30	3,90	1,80	NE	NE	---	---	---	---	NE							
	nov-04			38,50	20,90	4,40	1,50	NE	NE	---	---	---	---	NE							
	mar-05			17,50	17,10	4,30	1,60	NE	NE	---	---	---	---	NE							
	jul-05			24,80	38,50	9,70	1,30	NE	NE	2,20	23,10	20,30	10,30	NE							
	nov-05			45,00	21,30	7,10	1,60	NE	NE	2,40	15,70	12,60	3,90	NE							
	jul-06			12,50	30,50	3,30	1,50	4,20	4,20	2,80	19,30	15,20	2,20	1,70	1,10	1,70	NE	NE	NE	NE	
	fev-07			12,80	18,00	5,40	1,50	3,90	4,00	4,60	23,20	4,30	1,60	2,30	1,00	1,60	NE	NE	NE	NE	
	ago-07			12,70	14,70	3,00	1,90	2,90	4,00	3,60	10,00	4,20	1,90	2,20	0,90	1,80	NE	NE	NE	NE	
	abr-08			17,50	32,00	5,30	1,70	3,00	4,00	4,20	44,00	6,80	2,30	1,80	1,10	1,50	NE	NE	NE	NE	
	ago-23			258,18	195,94	2,19	5,14	1,90	1,82	1,11	209,88	64,74	6,36	0,85	20,69	13,80	31,91	52,82	3,55	604,68	200,81
Nitrito	jan-03	MS PORTARIA 888 (2021)	1	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	NE	NE	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	NE							
	ago-03			0,003	<0,001	<0,001	0,013	NE	NE	0,004	0,004	<0,001	0,003	NE							
	fev-04			0,001	<0,001	<0,001	0,002	NE	NE	<0,001	<0,001	0,004	0,002	NE							
	abr-04			0,002	0,004	0,000	0,046	NE	NE	---	---	---	---	NE							
	set-04			0,016	0,001	0,001	0,008	NE	NE	---	---	---	---	NE							
	nov-04			0,008	0,002	0,003	0,002	NE	NE	---	---	---	---	NE							
	mar-05			0,006	0,002	0,000	0,004	NE	NE	---	---	---	---	NE							
	jul-05			---	---	---	---	NE	NE	---	---	---	---	NE							
	nov-05			0,003	0,002	0,032	0,004	NE	NE	0,002	0,002	0,002	0,004	NE							
	jul-06			0,002	0,002	0,002	0,004	0,440	0,005	0,002	0,002	0,002	0,003	0,005	0,007	0,095	NE	NE	NE	NE	
	fev-07			0,003	0,002	0,002	0,006	0,003	0,002	0,012	0,012	0,004	0,005	0,005	0,003	0,022	NE	NE	NE	NE	
	ago-07			0,003	0,001	0,002	0,064	0,002	0,009	0,004	0,004	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	NE	NE	NE	NE	
	abr-08			0,003	0,002	0,003	0,007	0,002	0,004	0,007	0,007	0,004	0,008	0,003	0,002	0,002	NE	NE	NE	NE	
	ago-23			0,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13	0,11	-	0,19	
Brometo	jan-03	NR	NR	---	---	---	---	NE	NE	---	---	---	---	NE							
	ago-03			---	---	---	---	NE	NE	---	---	---	---	NE							
	fev-04			---	---	---	---	NE	NE	---	---	---									

**Tabela 7: Resultados Analíticos para Ânions em Amostras de Água Subterrânea - Histórico**

Parâmetro	Campanha	Padrão de Qualidade (mg/L)	PP-1	PP-2	PP-3A	PP-4	PP-5A	PP-5B	PP-6	PP-7	PP-8	PP-9	PP-10	PP-11	PP-12	PP-14	PP-15	PP-16	PP-18	PP-19	PP-19B
Nitrato	CETESB 125/2021	10	jan-03	1,08	0,27	0,54	0,66	NE	NE	0,49	0,24	0,53	0,77	NE							
			ago-03	0,50	0,22	0,45	1,45	NE	NE	1,12	0,30	0,36	0,98	NE							
			fev-04	0,25	<0,01	0,26	1,68	NE	NE	0,77	0,22	0,49	0,94	NE							
			abr-04	0,19	1,09	0,29	0,84	NE	NE	---	---	---	---	NE							
			set-04	0,02	0,01	0,01	0,06	NE	NE	---	---	---	---	NE							
			nov-04	0,17	0,11	0,21	0,15	NE	NE	---	---	---	---	NE							
			mar-05	0,34	0,00	0,10	0,00	NE	NE	---	---	---	---	NE							
			jul-05	---	---	---	---	NE	NE	---	---	---	---	NE							
			nov-05	0,32	0,29	0,26	0,14	NE	NE	0,40	0,29	0,63	1,60	NE							
			jul-06	0,25	0,19	1,20	0,97	0,88	5,27	0,32	0,17	0,43	0,86	2,27	1,01	1,21	NE	NE	NE	NE	NE
			fev-07	0,26	0,11	0,77	1,17	1,33	5,41	1,70	0,19	1,67	1,04	3,53	0,71	0,31	NE	NE	NE	NE	NE
			ago-07	0,10	0,05	1,14	1,18	1,02	5,72	1,87	0,24	0,25	1,49	3,53	0,58	1,09	NE	NE	NE	NE	NE
			abr-08	0,12	0,11	0,10	1,28	0,98	5,10	0,10	0,21	1,14	1,68	2,39	0,40	1,33	NE	NE	NE	NE	NE
			ago-23	-	-	3,88	-	9,34	8,54	-	-	6,89	13,51	4,37	0,27	8,40	0,52	0,46	-	6,99	-
Fosfato	NR	NR	jan-03	0,04	0,03	0,06	0,04	NE	NE	0,04	0,04	0,03	0,58	NE							
			ago-03	0,16	0,27	0,09	0,17	NE	NE	0,12	0,21	0,04	0,04	NE							
			fev-04	0,08	0,08	0,06	0,06	NE	NE	0,10	0,08	0,05	0,08	NE							
			abr-04	---	---	---	---	NE	NE	---	---	---	0,04	NE							
			set-04	---	---	---	---	NE	NE	---	---	---	---	NE							
			nov-04	---	---	---	---	NE	NE	---	---	---	---	NE							
			mar-05	---	---	---	---	NE	NE	---	---	---	---	NE							
			jul-05	---	---	---	---	NE	NE	---	---	---	---	NE							
			nov-05	0,12	0,13	0,14	0,26	NE	NE	0,89	0,10	0,06	---	NE							
			jul-06	0,09	0,12	0,10	0,18	0,16	0,06	3,21	0,09	0,05	0,11	0,12	0,14	0,09	NE	NE	NE	NE	NE
			fev-07	0,71	0,50	0,15	0,18	0,15	0,13	2,19	0,11	0,07	0,06	0,15	0,15	0,15	NE	NE	NE	NE	NE
			ago-07	0,14	0,20	0,06	0,22	<0,01	0,08	0,13	0,12	<0,01	0,06	0,04	0,07	0,08	NE	NE	NE	NE	NE
			abr-08	0,02	0,08	0,04	0,03	0,02	0,02	0,47	0,07	0,04	0,04	0,07	0,03	0,07	NE	NE	NE	NE	NE
			ago-23	2,81	3,36	-	1,73	-	-	-	2,87	0,58	0,07	0,33	1,08	0,88	1,36	2,19	1,25	2,39	2,83
Sulfato	MS PORTARIA 888 (2021)	250	jan-03	<1	1,00	<1	<1	NE	NE	9,00	<1	<1	<1	NE							
			ago-03	1,00	1,00	<1	<1	NE	NE	8,00	<1	<1	<1	NE							
			fev-04	1,00	1,00	1,00	1,00	NE	NE	<1	1,00	<1	<1	NE							
			abr-04	10,00	0,00	0,00	0,00	NE	NE	---	---	---	---	NE							
			set-04	11,00	0,00	7,00	0,00	NE	NE	---	---	---	---	NE							
			nov-04	10,00	0,00	1,00	0,00	NE	NE	---	---	---	---	NE							
			mar-05	7,00	0,00	0,00	0,00	NE	NE	---	---	---	---	NE							
			jul-05	---	---	---	---	NE	NE	---	---	---	---	NE							
			nov-05	3,00	3,00	<1	<1	NE	NE	1,00	<1	<1	<1	NE							
			jul-06	<1	<1	<1	<1	9,00	<1	4,00	<1	<1	<1	<1	1,00	14,00	NE	NE	NE	NE	NE
			fev-07	11,00	<1	<1	<1	<1	1,00	20,00	<1	<1	<1	1,00	<1	3,00	NE	NE	NE	NE	NE
			ago-07	2,00	1,00	<1	2,00	<1	<1	8,00	<1	<1	1,00	1,00	1,00	<1	NE	NE	NE	NE	NE
			abr-08	<1	<1	<1	<1	<1	<1	7,00	<1	<1	1,00	1,00	<1	1,00	NE	NE	NE	NE	NE
			ago-23	0,84	93,23	0,96	0,81	-	-	1,43	0,99	0,99	-	1,48	0,91	1,05	1,61	2,98	-	1,08	0,91

**Notas:**

</