

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA AMBIENTAL**

CAROLINE VAITKEVICIUS DE SIQUEIRA

**SISTEMATIZAÇÃO E MAPEAMENTO DE ÁREAS COM
CONTAMINAÇÃO DIFUSA NO EIXO TAMANDUATEÍ, SANTO ANDRÉ,
REGIÃO DO GRANDE ABC PAULISTA**

**SANTO ANDRÉ - SP
2018**

CAROLINE VAITKEVICIUS DE SIQUEIRA

**SISTEMATIZAÇÃO E MAPEAMENTO DE ÁREAS COM
CONTAMINAÇÃO DIFUSA NO EIXO TAMANDUATEÍ, SANTO ANDRÉ,
REGIÃO DO GRANDE ABC PAULISTA**

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia Ambiental da Universidade Federal do
ABC.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Giulliana Mondelli

Coorientador: Prof. Dr. Dácio Roberto Matheus.

SANTO ANDRÉ - SP
2018

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do ABC
Elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da UFABC
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Siqueira, Caroline Vaitkevicius de
Sistematização e mapeamento de áreas com contaminação difusa no Eixo
Tamanduateí, Santo André, região do grande ABC Paulista / Caroline
Vaitkevicius de Siqueira. — 2018.

170 fls. : il.

Orientadora: Giulliana Mondelli
Coorientador: Dácio Roberto Matheus

Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do ABC, Programa de
Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Santo André, 2018.

1. Caracterização Geoambiental. 2. Áreas Contaminadas. 3. Sistema de
Informação Geográfica. 4. Passivo Industrial. I. Mondelli, Giulliana. II.
Matheus, Dácio Roberto. III. Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia Ambiental, 2018. IV. Título.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, de acordo com as observações levantadas pela banca no dia da defesa, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

Santo André, __02__ de __agosto__ de 2018_.

Assinatura do autor: _____

Caroline V. J. J.

Assinatura do orientador: _____

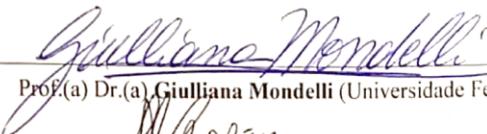
[Assinatura manuscrita]

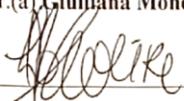


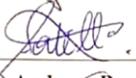
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Fundação Universidade Federal do ABC
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental
Avenida dos Estados, 5001 – Bairro Santa Terezinha – Santo André – SP
CEP 09210-580 · Fone: (11) 4996-0017
pgcta@ufabc.edu.br

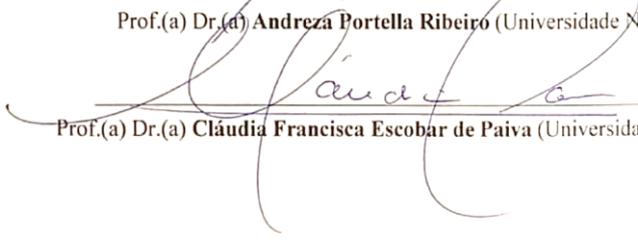
FOLHA DE ASSINATURAS

Assinaturas dos membros da Banca Examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Caroline Vaitkevicius de Siqueira, realizada em 10 de maio de 2018:


Prof.(a) Dr.(a) **Giulliana Mondelli** (Universidade Federal do ABC) – Presidente


Prof.(a) Dr.(a) **Luísa Helena dos Santos Oliveira** (Universidade Federal do ABC) – Membro Titular


Prof.(a) Dr.(a) **Andreza Portella Ribeiro** (Universidade Nove de Julho) – Membro Titular


Prof.(a) Dr.(a) **Cláudia Francisca Escobar de Paiva** (Universidade Federal do ABC) – Membro Titular

Prof.(a) Dr.(a) **Cláudia Boian** (Universidade Federal do ABC) – Membro Suplente

Prof.(a) Dr.(a) **Silvia Helena Facciolla Passarelli** (Universidade Federal do ABC) – Membro Suplente

DEDICATÓRIA

À Deus primeiramente que sempre nos acompanha, onde quer que estejamos.

Á minha querida mãe Julia Vaitkevicius, minha inspiração de vida.

Aos meus irmãos Daniel Paulo, Jhulien e minha pequena sobrinha Júlia, meus companheiros de felicidades.

Ao meu parceiro de vida Leandro de Alencar Sorrenti, meu grande amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, que nos dá força quando não temos e sempre está perto de nós, nos reconfortando.

À professora Giulliana Mondelli, pela bondade, amizade, orientação e compreensão durante todos esses anos.

Ao professor Dácio Roberto Matheus, pelo auxílio durante todo o mestrado.

Aos funcionários da Agência 01 da CETESB em São Bernardo do Campo, em especial ao Sr. Milton Alves da Costa, pelo auxílio e colaboração na realização das vistas aos processos referentes às Áreas Contaminadas.

Ao Sr. Aylton Silva Affonso da Gerência de Regularização Fundiária, a Sra. Rosângela Roberto Faria da Silva da Gerência de Planejamento Habitacional e Urbanização, ambos da Prefeitura Municipal de Santo André, e por fim o Sr. Leonardo Rafael Musumeci do Departamento de Gestão Ambiental do Serviço Municipal de Saneamento Ambiental, pela disponibilização de dados e arquivos georreferenciados de Santo André-SP.

Aos colegas de mestrado, que compartilhamos muitos momentos difíceis juntos, principalmente no início dessa jornada.

Ao aluno de iniciação científica Gustavo Oliveira da Silva Santos, pela ajuda na organização da base de dados e por todo o auxílio.

À amiga que o mestrado me trouxe, Roberlene Gonzales Oliveira, por todos os momentos vividos nesses últimos anos, todas as trocas de ideias, informações, e principalmente pela companhia durante essa etapa de nossas vidas.

À minha querida e especial amiga Bárbara Maciel, por todo apoio emocional, suporte e ajuda durante a graduação e pós-graduação.

Ao meu companheiro Leandro Sorrenti, pelo apoio e incentivo durante todo o percurso até chegar aqui, não me deixando desistir em nenhum momento, mesmo nos dias mais escuros e deprimidos, sempre me incentivando ser a melhor versão de mim mesma.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

RESUMO

Poluentes presentes em um solo contaminado podem ser transportados para áreas próximas, devido aos processos de dispersão de poluentes, principalmente pelo fluxo de águas superficiais e subterrâneas, formando áreas contaminadas não cadastradas, chamadas nesse trabalho de “áreas com contaminação difusa”. Com o objetivo de identificar e mapear áreas com contaminação difusa na área delimitada no Projeto Urbano “Eixo Tamanduatehy” (PET), o conceito de base de dados georreferenciados (*geodatabase*) foi utilizado, com uma formulação em três módulos, *source*, *pathway* e *receptor*. A *geodatabase* elaborada para este estudo foi alimentada com dados obtidos junto às agências ambientais regionais e locais, à prefeitura do município de Santo André e outras instituições nacionais, com informações sobre a localização dos lotes contaminados, os contaminantes, os aspectos hidrogeológicos, geológico-geotécnicos, além dos aquíferos, córregos e rios da área de estudo. A base de dados também foi alimentada com informações sobre poços de monitoramento as quais foram obtidas a partir de 17 processos, protocolados na Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), referentes às áreas contaminadas na área que abrange o PET. Os resultados indicaram um predomínio de poluição em escala regional por metais, como bário, chumbo, níquel, e também por organoclorados resultantes da degradação do tetracloroetileno (PCE). A partir dos mapas gerados para o fluxo subterrâneo, de isolinhas de concentração e de suscetibilidade à contaminação por metais e solventes halogenados, foi possível indicar sete áreas (regiões) com potencial de contaminação difusa na região do PET. Portanto, com a integração dos dados geoambientais em uma *geodatabase*, utilizando softwares SIG, o estudo foi capaz de mapear as regiões com grande potencial de contaminação difusa, na área de influência do PET, indicando a aplicabilidade de *geodatabase* em escala regional para otimizar o manejo dessas áreas contaminadas, como também o planejamento urbano em escala regional. Um mapeamento mais preciso e atualizado poderia ser realizado se uma base de dados georreferenciados nacional com escala de trabalho apropriada estivesse disponível, e se os dados em relatórios de licenciamento ambiental e de gerenciamento de áreas contaminadas fossem padronizados e disponibilizados de forma integrada.

Palavras-chave: Caracterização Geoambiental, Áreas Contaminadas, Sistema de Informação Geográfica (SIG), Passivo industrial, Grande ABC Paulista.

ABSTRACT

Pollutants in contaminated soils can be transported to surrounding areas due to pollutant dispersion processes, especially by the flow of surface and groundwater, forming unregistered contaminated areas, called "areas with diffuse contamination". To identify the areas with diffuse contamination within the limits of the "*Tamanduatehy Axis*" Urban Project (PET), a geo-referenced database (geodatabase) concept was used, with a three-module design: source, pathway and receptor. According to data collected from regional and local environmental agencies, Santo André's city hall, and other national institutions, information on the location of contaminated sites, contaminants, hydrogeological and geological-geotechnical aspects, contamination of the aquifers, streams and rivers of the study area were fed into the geodatabase. The database was also created with information from monitoring wells in which seventeen processes of the contaminated sites throughout the PET and registered by CETESB were consulted in order to complement the geo-environmental parameters interpretation. The results indicated a predominance of regional scale pollution by metals, such as barium, lead and nickel, and by organochlorines resulting from the degradation of tetrachlorethylene (PCE). It was possible to map seven areas with potential diffuse contamination in the PET region, based on the interpretation of the underground flow maps, concentration isolines, metals and halogenated solvents contamination susceptibility. Therefore, with the integration of geo-environmental data into a geodatabase using GIS software, the study was able to map the regions with great potential for diffuse contamination in the PET's area of influence, indicating the applicability of the geodatabase on a regional scale to optimize the management of contaminated areas, as well as urban planning on a regional scale. More accurate and up-to-date mapping could be done if a national georeferenced database with appropriate work scale was available and if the data in environmental permitting and contaminated area management reports were standardized and made available in an integrated manner.

Keywords: Geo-environmental Characterization, Contaminated Sites, Geographic Information System (GIS), Brownfields, Great ABC São Paulo Region.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1: Evolução da mancha urbana em Santo André - SP, de 1906 a 1930..... | 18 |
| Figura 2: Evolução da mancha urbana em Santo André – SP, de 1954 e 1972. | 19 |
| Figura 3: Localização da área delimitada pelo Projeto Urbano Eixo Tamanduatehy. | 21 |
| Figura 4: Tipologia de áreas degradadas. | 29 |
| Figura 5: Fluxograma das etapas da avaliação de passivo ambiental. | 39 |
| Figura 6: Mecanismos associados à migração de contaminantes pelo subsolo. | 45 |
| Figura 7: Processos de atenuação de contaminantes no subsolo..... | 50 |
| Figura 8: Resumo do processo de degradação do PCE..... | 51 |
| Figura 9: Metodologia GOD para determinação da vulnerabilidade de aquíferos. | 55 |
| Figura 10: Mapa Geoquímico mostrando áreas com altas concentrações de metais pesados nos solos urbanos de Kowloon, Hong Kong. | 58 |
| Figura 11: Diagrama de relações do Banco de Dados Ambientais. | 61 |
| Figura 12: Localização das ACs consultadas na CETESB. | 65 |
| Figura 13: Modelo de organização típica de uma <i>Geodatabase</i> | 70 |
| Figura 14: Modelo Conceitual da <i>Geodatabase</i> criada. | 71 |
| Figura 15: Resumo da planilha construída para coleta de dados das vistas dos processos na CETESB. | 72 |
| Figura 16: <i>Geodatabase</i> sistematizada no QGIS..... | 73 |
| Figura 17: Fluxograma para obtenção de coordenadas espaciais X, Y e carga hidráulica. | 75 |
| Figura 18: Sugestão de Divisão da Área do Projeto Eixo Tamanduatehy. | 78 |
| Figura 19: Esquema indicativo de sobreposição de <i>Layers</i> | 82 |
| Figura 20: Método elaborado para cálculo de suscetibilidade à contaminação. | 85 |
| Figura 21: Climograma do Município de Santo André – SP, dados de 1988 a 2008. | 88 |
| Figura 22: Climatologia sazonal da precipitação na área urbana de Santo André – SP, de 1956 – 2015. | 89 |
| Figura 23: Mapa Hidrográfico da região do PET..... | 90 |
| Figura 24: Mapa do rio Tamanduateí e seus afluentes. | 91 |
| Figura 25: Mapa dos Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos da região do PET. | 93 |
| Figura 26: Mapa da Litologia da Região do PET..... | 94 |
| Figura 27: Mapa Hipsométrico da região do PET..... | 96 |
| Figura 28: Mapa de Uso e Ocupação do Solo na região do PET. | 97 |
| Figura 29: Gráfico da classificação do GAC dos lotes na região do PET. | 99 |
| Figura 30: Classificação das Áreas Contaminadas na região do PET..... | 100 |
| Figura 31: Gráfico das atividades desenvolvidas nos lotes contaminados..... | 101 |
| Figura 32: Mapa das atividades causadoras de contaminação na região do PET. | 102 |
| Figura 33: Gráfico da ocorrência dos principais grupos de contaminantes presentes no PET. | 103 |
| Figura 34: Mapa dos principais contaminantes presentes na região do PET. | 105 |
| Figura 35: Gráfico das matrizes ambientais contaminadas na região do PET. | 106 |
| Figura 36: Mapa das matrizes ambientais contaminadas na região do PET. | 107 |
| Figura 37: Mapa da contaminação dentro e fora dos lotes na região do PET..... | 109 |
| Figura 38: Mapa Potenciométrico Eixo Tamanduateí - Estação Seca. | 114 |
| Figura 39: Mapa Potenciométrico Eixo Tamanduateí – Estação Chuvosa. | 115 |
| Figura 40: Mapas Potenciométricos - Alto PET - 1) Estação úmida e 2) Estação seca. | 116 |
| Figura 41: Mapas Potenciométricos - Médio PET - 1) Estação úmida e 2) Estação seca. ... | 117 |
| Figura 42: Mapas Potenciométricos - Baixo PET - 1) Estação úmida e 2) Estação seca. | 118 |
| Figura 43: Mapa de isolinhas de contaminação por Bário - Alto PET..... | 120 |
| Figura 44: Mapa de isolinhas de contaminação por Cloreto de Vinila - Alto PET..... | 120 |

| | |
|---|-----|
| Figura 45: Mapa de isolinhas de contaminação por Bário - Médio PET. | 121 |
| Figura 46: Mapa de isolinhas de contaminação por Bário - Baixo PET. | 122 |
| Figura 47: Mapa de isolinhas de contaminação por Chumbo - Baixo PET. | 122 |
| Figura 48: Mapa de isolinhas de contaminação por Níquel - Baixo PET. | 124 |
| Figura 49: Mapa de isolinhas de contaminação por Clorofórmio - Baixo PET. | 124 |
| Figura 50: Mapa Síntese dos Parâmetros Geoambientais do Eixo Tamanduateí. | 127 |
| Figura 51: Mapa de Suscetibilidade à contaminação por Metais. | 130 |
| Figura 52: Mapa de Suscetibilidade à contaminação por Solventes Halogenados. | 131 |
| Figura 53: Mapa das possíveis áreas com contaminação difusa na região de influência do PET. | 136 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1: Lista das substâncias presentes nos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2016..... | 33 |
| Tabela 2: Resumo da Classificação das Áreas Contaminadas | 38 |
| Tabela 3: Resumo dos efeitos à saúde humana de alguns Metais Pesados. | 42 |
| Tabela 4: Resumo dos efeitos à saúde humana de alguns Compostos Orgânicos Voláteis. .. | 42 |
| Tabela 5: Propriedades dos principais grupos de poluentes. | 47 |
| Tabela 6: Classes de vulnerabilidade absoluta. | 49 |
| Tabela 7: Tabela resumo do comportamento de alguns contaminantes em subsuperfície..... | 52 |
| Tabela 8: Métodos para determinação da vulnerabilidade de aquíferos. | 53 |
| Tabela 9: Grau de Vulnerabilidade de acordo com diferentes parâmetros. | 59 |
| Tabela 10: Síntese dos arquivos <i>shapefile</i> e <i>raster</i> levantados. | 63 |
| Tabela 11: Lista dos endereços das Áreas Contaminadas cujos processos foram consultados na CETESB..... | 64 |
| Tabela 12: Resumo da planilha construída para levantamento das coordenadas geográficas dos poços de monitoramento existentes nos processos consultados. | 74 |
| Tabela 13: Informações sobre os dados de concentração dos contaminantes de interesse utilizados..... | 76 |
| Tabela 14: Concentrações máximas de COV encontradas..... | 77 |
| Tabela 15: Concentrações máximas de Metais encontradas..... | 77 |
| Tabela 16: Adversidades no levantamento de dados dos relatórios dos processos da CETESB | 110 |
| Tabela 17: Possíveis áreas com contaminação difusa no Eixo Tamanduateí..... | 135 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 14 |
| 2. ÁREA DE ESTUDO | 17 |
| 2.1 Justificativa | 22 |
| 3. OBJETIVOS | 25 |
| 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 26 |
| 4.1 Definições e Conceitos..... | 28 |
| 4.2 Gerenciamento de Áreas Contaminadas | 31 |
| 4.3 Riscos à saúde humana..... | 39 |
| 4.4 Contaminação do Subsolo..... | 44 |
| 4.4.1 Transporte de Poluentes | 44 |
| 4.4.2 Propriedades dos Poluentes..... | 46 |
| 4.4.3 Vulnerabilidade de Aquíferos | 48 |
| 4.4.4 Caracterização Geoambiental | 56 |
| 4.5 Mapeamento de Áreas Contaminadas em escala regional | 57 |
| 5. MATERIAIS E MÉTODOS | 62 |
| 5.1 Levantamento de Dados..... | 62 |
| 5.1.1 Processos CETESB | 63 |
| 5.2 Sistematização das Informações | 69 |
| 5.2.1 Organização, Escolha e Mapeamento dos Dados dos Processos | 74 |
| 5.3 Elaboração de Mapas Regionais | 76 |
| 5.3.1 Fluxo Subterrâneo..... | 79 |
| 5.3.2 Isolinhas de Concentração..... | 80 |
| 5.3.3 Síntese Parâmetros Geoambientais do PET | 81 |
| 5.3.4 Suscetibilidade à Contaminação..... | 82 |
| 5.4 Análise e Interpretação dos Resultados | 85 |
| 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 87 |
| 6.1 Parâmetros Geoambientais da Área de Estudo | 87 |
| 6.1.1 Clima..... | 87 |
| 6.1.2 Hidrografia | 89 |
| 6.1.3 Hidrogeologia..... | 92 |
| 6.1.4 Litologia e Pedologia..... | 93 |
| 6.1.5 Geomorfologia | 95 |
| 6.1.6 Uso e Ocupação do Solo..... | 96 |

| | |
|--|------------|
| 6.2 Áreas Contaminadas no Eixo Tamanduateí | 98 |
| 6.2.1 Classificação das Áreas Contaminadas..... | 98 |
| 6.2.2 Uso do solo e Contaminação | 101 |
| 6.2.3 Processos CETESB | 110 |
| 6.3 Fluxo Subterrâneo | 112 |
| 6.4 Isolinhas de Concentração | 119 |
| 6.5 Síntese Parâmetros Geoambientais | 125 |
| 6.6 Suscetibilidade à Contaminação | 127 |
| 6.7 Contaminação Difusa | 132 |
| 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 139 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 142 |
| ANEXO A | 152 |
| APÊNDICE A..... | 156 |
| APÊNDICE B..... | 164 |

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a norma ABNT NBR 16210: 2013, área contaminada é um local onde há comprovadamente concentrações de substâncias químicas acima de um valor de referência vigente na região, no país ou, na ausência deste, aquele internacionalmente aceito, que indica a existência de um risco potencial à segurança, à saúde humana e ao meio ambiente.

A agenda ambiental brasileira passou a considerar o gerenciamento de áreas contaminadas (GAC) como um conjunto de medidas tomadas com o intuito de mitigar impactos ambientais, possibilitar a ocupação e reocupação de áreas contaminadas, visando minimizar e controlar os riscos inerentes ao processo (IPT, 2013). Não obstante, o GAC ainda é um desafio ambiental para a sociedade como um todo. No Brasil, a legislação relacionada com o GAC é recente, a exemplo da Resolução CONAMA nº 420, alterada pela nº 460/2013 (CONAMA, 2009), e o Decreto nº 59.263/ 2013 do Estado de São Paulo que regulamenta a Lei Estadual nº 13.577/2009.

Além da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e outras agências ambientais, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) vem desenvolvendo normas específicas para as fases do gerenciamento de áreas contaminadas, entre as quais podem ser destacadas as normas NBR 15515-1:2011, NBR 15515-2:2011, NBR 15515-3:2011, assim como normas relacionadas com amostragem e investigação geoambiental (IPT, 2013). Todos esses órgãos (CETESB, ABNT, CONAMA) têm o objetivo de estabelecer os padrões necessários para que o GAC seja desenvolvido de forma adequada, minimizando o risco à saúde humana e ao meio ambiente, associado à utilização de áreas contaminadas.

De acordo com o Decreto nº 59.263/ 2013 do Estado de São Paulo, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, as áreas contaminadas podem ser classificadas em Área com Potencial de Contaminação (AP), Área Suspeita de Contaminação (AS), Área Contaminada sob Investigação (ACI), Área Contaminada com Risco Confirmado (ACRi), Área Contaminada em Processo de Remediação (ACRe), Área em Processo de Monitoramento para

Encerramento (AME), Área Contaminada em Processo de Reutilização (ACRu), Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR), e Área Contaminada Crítica (AC crítica).

A contaminação difusa é um processo de transporte intermitente de poluentes, de fontes não pontuais, sendo de grande relevância, visto que pode dificultar a identificação das fontes de poluição em solos e complicar ou anular estratégias de remediação (FABIETTI et al., 2010). Como consequência da contaminação difusa, os solos podem perder funções fundamentais, tais como o sustento do crescimento de plantas, habitat de muitos organismos, o papel fundamental nos ciclos biogeoquímicos, entre outras funções, resultando em uma diminuição da qualidade ambiental (MICÓ et al. 2006). Contaminantes de fontes difusas são comumente poluentes orgânicos persistentes (POPs) e metais pesados (TREMOLADA et al., 2008). POPs são moléculas altamente tóxicas, recalcitrantes à degradação, podendo ser carcinogênicos e mutagênicos. Dentre os POPs, destacam-se hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), bifelinos policlorados (PCBs) e dibenzodioxinas policloradas (PCDD) (FABIETTI et al., 2010). A concentração natural de metais pesados no solo depende das características geológicas do mesmo e do processo de formação do solo. Nas últimas décadas, a concentração de metais pesados nos solos tem aumentado, devido às ações antropogênicas (SHI et al., 2007).

Depois de depositados no solo, os poluentes podem ser transportados por diversos mecanismos. De acordo com Boscov (2008), os principais mecanismos de transporte de poluentes no solo são a advecção, a dispersão mecânica, a difusão, as reações químicas e bioquímicas entre o poluente e as partículas presentes no solo e as reações químicas do próprio poluente. Os poluentes podem percolar pelas camadas mais superficiais não saturadas do solo e atingir as águas subterrâneas. Quando em contato com o fluxo subterrâneo, os poluentes podem ser dissolvidos na água ou formarem uma fase líquida imiscível, formando uma pluma de contaminação (BOSCOV, 2008).

Com o mapeamento das fontes pontuais de poluição (áreas contaminadas) conhecidas e cadastradas na CETESB, pode-se estimar áreas contaminadas não cadastradas, formadas a partir dos processos de transporte de poluentes, as quais serão consideradas neste projeto como “áreas de contaminação difusa”. Desde a década de 1990, os processos de mapeamento de potenciais áreas contaminadas (MARCOMINI et al., 2011; KHALIL et al, 2014), assim como dos riscos de deterioração da água subterrânea (DASSARGUES et al., 2012; BJERG et al., 2014), e riscos à saúde humana (FINKEL; MCKNIGHT 2013) têm utilizado o conceito de banco de dados georreferenciados, chamados de *geodatabase*. Com o auxílio do Sistema de Informação Geográfica (SIG), os bancos de dados são alimentados com informações e dados

geoambientais, como parâmetros geológico-geotécnicos, hidrogeológicos, de uso e ocupação do solo, característica dos poluentes, entre outros.

A partir de uma análise integrada dos parâmetros e características geoambientais com base nos cadastros da CETESB e do Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André (SEMASA), auxiliada pelas informações sistematizadas em um *geodatabase*, pretende-se mapear áreas com contaminação difusa no Eixo PET. Busca-se também a identificação dos parâmetros mais relevantes para a formação de áreas com contaminação difusa na região do Eixo Tamanduateí, em Santo André - SP.

2. ÁREA DE ESTUDO

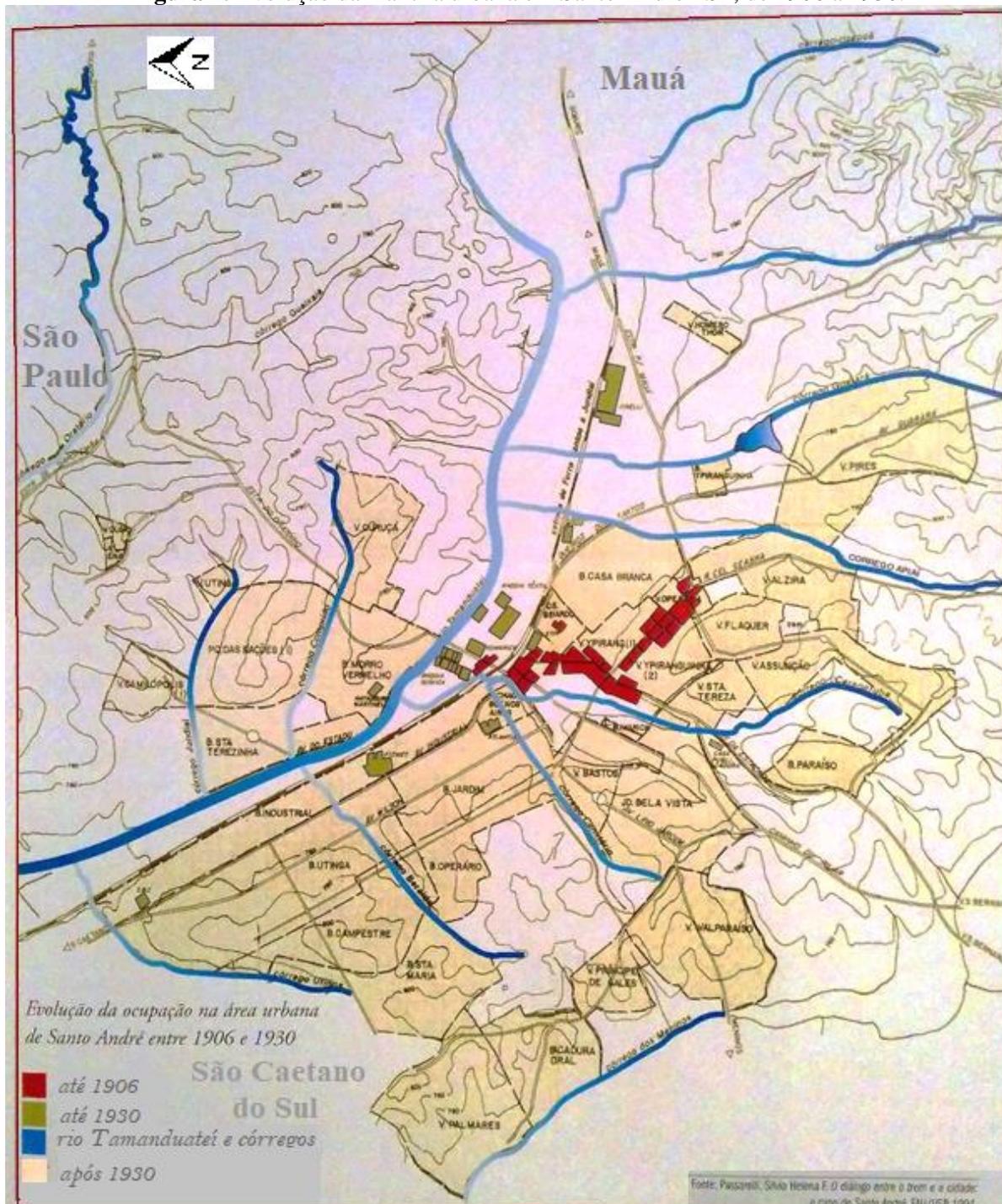
A área escolhida para o Estudo é a região delimitada pelo Projeto “Eixo Tamanduatehy” (Figura 3), no município de Santo André - SP. A instalação da ferrovia (São Paulo Railway) nas proximidades do Rio Tamanduateí, em meados do século XIX, foi muito importante para o desenvolvimento econômico da área de Estudo. O objetivo da ferrovia era escoar os produtos agrícolas do interior do estado para o Porto de Santos, com foco no café. A ferrovia atraiu para o Vale do Tamanduateí diversas indústrias que precisavam do transporte ferroviário e também da água do rio e seus afluentes. Outra vantagem da região era o baixo preço das terras, que viviam encharcadas. A ferrovia converteu essas áreas em espaço de atração industrial e de concentração de bairros operários (SANTOS, 2002). Neste primeiro momento, a primeira industrialização atraiu indústrias químicas, têxteis, e de móveis. Com a presença das indústrias, pequenos negócios surgiram aos poucos, como carpintarias, funilarias, sapatarias, pensões, restaurantes, para servir os trabalhadores industriais. Esses negócios começaram a formar uma feição um pouco mais urbana para a região.

Na década de 1930 a região abrigava indústrias importantes, como a Rhodia (1930), a Fábrica Ypiranguinha (1890), a Bergman, Kowarick & Cia (1900), a Fichet & Schwartz Hautmont (1923), e a Pirelli S.A. Companhia de Condutores Elétricos (1929). Esse período foi marcado por diversas enchentes na região, fazendo com que boa parte das indústrias aterrassse seus lotes (SANTOS, 2002). A **Figura 1** mostra a evolução da ocupação na área urbana de Santo André entre 1906 e 1930.

Já em 1950, com a segunda industrialização, a região abrigou indústrias do setor automobilístico, mecânico, metalúrgico e de material elétrico. Santo André passa a ser o segundo maior polo industrial do Estado, sendo superado apenas pela Capital São Paulo (SANTOS, 2002). O perfil da cidade começou a se modificar. A década de 1970 foi marcada pelo “milagre econômico”, momento de expansão e concentração da indústria na Grande São Paulo (**Figura 2**). Por outro lado, a década seguinte foi palco para uma desaceleração da produção industrial, começando um processo de descentralização das indústrias, e perdas de trabalhos industriais. Nesse período diversas indústrias abandonaram a região, para o interior

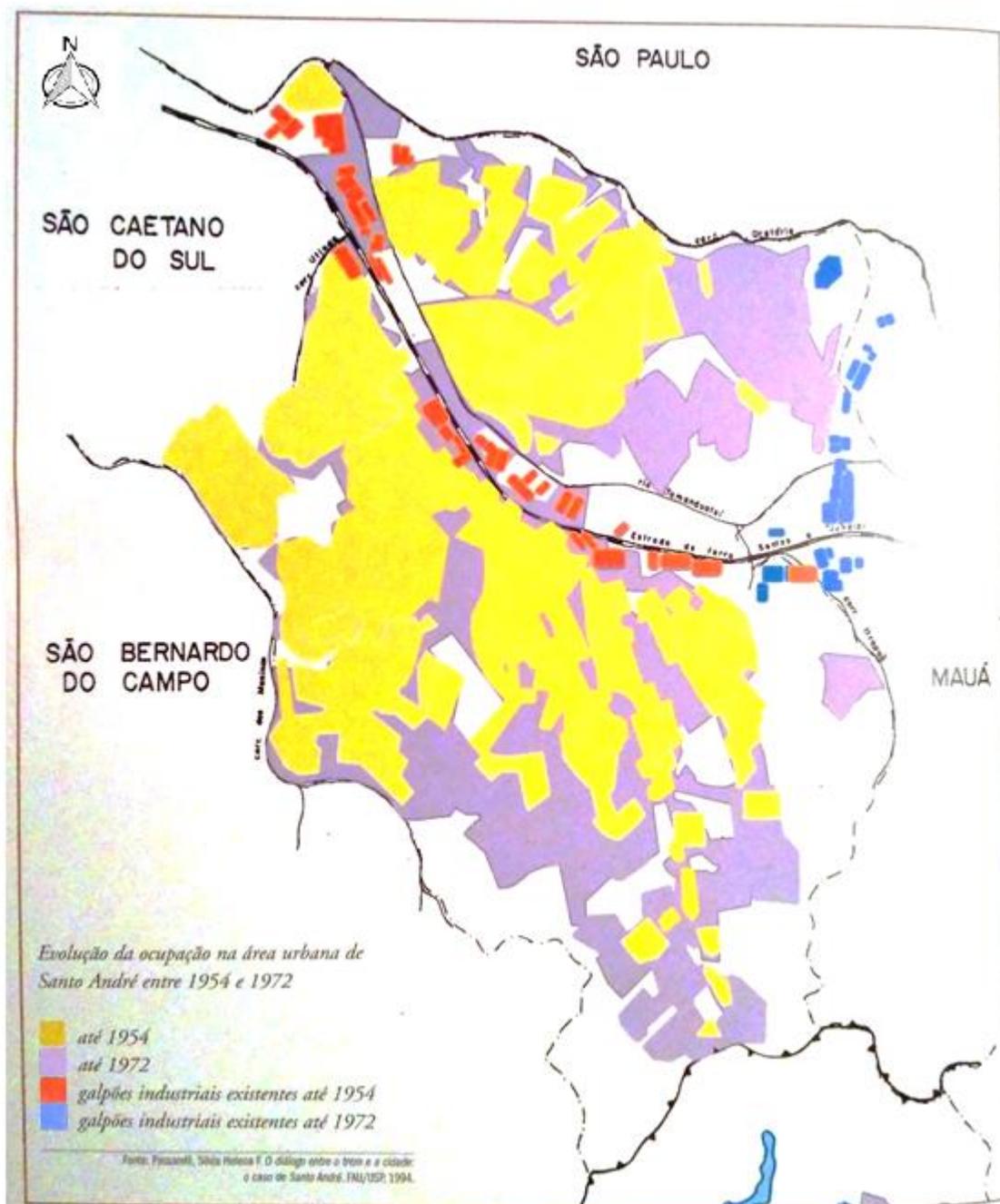
do estado e do país, locais com mais espaço disponível, legislação menos exigente, e que possuíam incentivos fiscais (DENALDI, 2012).

Figura 1: Evolução da mancha urbana em Santo André - SP, de 1906 a 1930.



Fonte: Adaptado de SANTOS, 2002.

Figura 2: Evolução da mancha urbana em Santo André – SP, de 1954 e 1972.



Fonte: SANTOS, 2002.

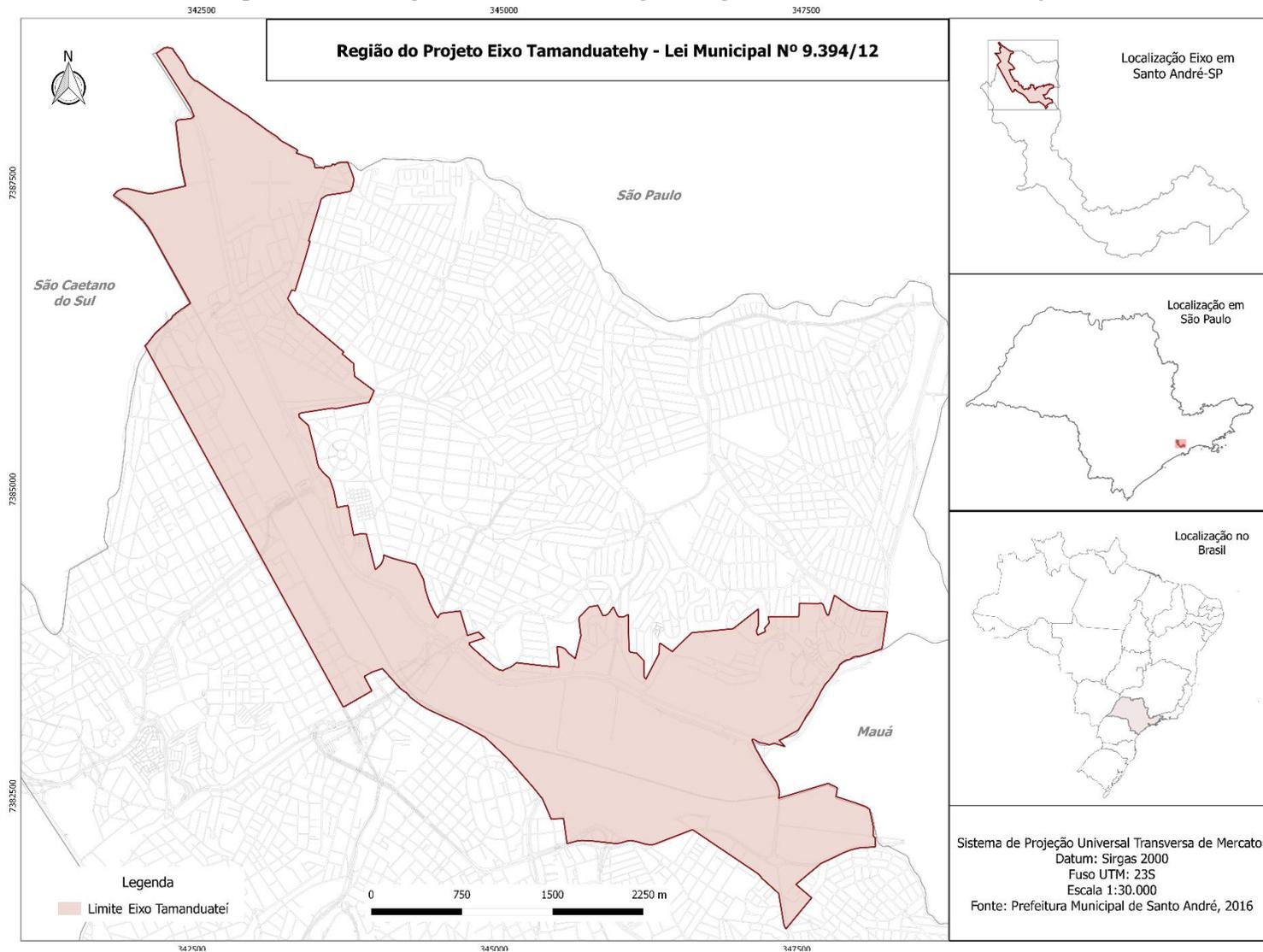
Entre o final da década de 1960 e início da década de 1970, o rio Tamanduateí passou a ser totalmente modificado e retificado. De acordo com Santos (2002), cerca de 500 mil toneladas de solo foram movimentadas para aplicação da calha do rio. Morros próximos ao vale foram desfeitos e a terra foi jogada nos antigos meandros do rio.

Em 1980 a cidade de Santo André possuía 985 indústrias, passando para 745 em 1985, perdendo 240 indústrias somente neste período (KLINK, 2001). Como consequência, a região

às margens do Rio Tamanduateí passou a ter construções em péssimas condições, terrenos subutilizados, grandes glebas vazias, sem função social da propriedade. Em muitos casos, essas glebas possuem passivos ambientais típicos de atividades industriais em diversas matrizes ambientais. Vale ressaltar que a região do Tamanduateí foi marcada por inúmeras enchentes (década de 1970, 1980, 1990), que possivelmente carregaram inúmeros poluentes e contaminantes resultantes de um período histórico caracterizado pela ausência de preocupação legal acerca da contaminação do solo, água subterrânea e muito menos água superficial.

O Projeto Urbano Eixo Tamanduatehy (PET) (**Figura 3**), concebido em 1998 em um contexto de políticas públicas de inclusão social, visa a requalificação urbana de um eixo linear, ao longo do Rio Tamanduateí, que engloba a antiga ferrovia Santos-Jundiaí e a Avenida dos Estados (OLIVEIRA, 2015). Através de suas diversas etapas de desenvolvimento e implantação, o PET teve como principal característica a retomada das atividades econômica da cidade e da região, promovendo meios para subsidiar a alteração do uso do solo, antes limitado somente ao uso industrial. Isto foi possível após a promulgação da Lei Estadual Nº 9.999/98, onde regiões predominantemente industriais, pudessem também apresentar o uso residencial e comercial. De acordo com Teixeira (2007), o projeto tinha foco no atendimento das demandas do mercado e passou por três fases principais no âmbito político: 1) Fase de concepção/implantação (1997/2000), na qual houve a imposição de uma proposta técnica que não estava adequadamente associada da realidade urbana do município de Santo André; 2) Fase de conflitos internos e reformulações (2001/2002), com alterações na ocupação dos cargos políticos envolvidos no projeto; e 3) Fase das interfaces com o momento político de reformulação do Plano Diretor (2003/2004).

Figura 3: Localização da área delimitada pelo Projeto Urbano Eixo Tamanduatehy.



Fonte: Adaptado da Lei nº 9.394/12 (Plano Diretor de Santo André - SP).

Neste contexto histórico, o SEMASA foi instituído com o intuito de melhorar as condições ambientais do município, estipulando critérios e conceitos para o licenciamento ambiental renovável de empreendimentos que solicitam se instalar em Santo André. É nesse período que se tem uma maior preocupação com a questão de contaminação do solo e das águas subterrâneas na região, e com o gerenciamento destas áreas.

De acordo com os processos de licenciamento ambiental disponibilizados pela CETESB (2016a), o município de Santo André apresentou 142 casos de áreas contaminadas (ACs) em 2015. Dentre essas 142 áreas, 44 ACs encontram-se no Eixo Tamanduateí. De acordo com Oliveira (2015), um solo contaminado, principalmente em uma área localizada às margens de um rio, como no caso do PET, pode propiciar o espraiamento dos contaminantes presentes neste solo, principalmente devido à presença de águas superficiais e águas subterrâneas que vão justamente em direção ao rio, podendo promover a mobilidade destes contaminantes para além dos limites do lote. Desta maneira, quanto mais tempo um lote permanecer contaminado, maior o risco de aumentar a área de abrangência da pluma.

Busca-se com essa pesquisa diagnosticar o passivo ambiental atual dessas 44 ACs cadastradas pela CETESB referentes a 2015, presentes no Eixo Tamanduateí, em escala regional, considerando estas como fontes pontuais de poluição. Será possível assim mapear possíveis áreas contaminadas não cadastradas, sem interesse econômico e/ou imobiliário, pertencentes ao poder público e vizinhas a essas áreas, as quais serão consideradas neste projeto como “áreas de contaminação difusa”.

2.1 Justificativa

O Plano de Gestão e Saneamento Ambiental (PLAGESAN) de Santo André foi aprovado em 2008. Esse plano determinou áreas de atuação, que foram divididas em temas regionais e municipais, que foram subdivididos em eixos temáticos. Um dos eixos temáticos apresentados nesse plano é o de “qualidade do solo”, inserido no grande tema “poluição ambiental”. Em relação à qualidade do solo em Santo André, foram constatados dois problemas (SPÍNOLA, 2011). O primeiro é a existência de um conjunto de áreas suspeitas de contaminação, no Eixo Tamanduateí, pelo histórico das atividades industriais, sem uma aferição dos tipos e graus de contaminação ou confirmação da CETESB. O segundo é a baixa governabilidade de controle por parte da Prefeitura em relação à poluição do solo. A ocupação das áreas com potencial de contaminação após sua revitalização é um dos objetivos do Plano. Para isso, algumas operações são sugeridas (SPÍNOLA, 2011, p. 151):

- estabelecer convênio técnico com a CETESB para que o SEMASA tenha maior acesso aos dados de poluição do solo;
- elaborar um cadastro técnico de todos os imóveis com suspeita de contaminação;
- publicar mapa de imóveis contaminados e com potencial de contaminação dos solos e águas subterrâneas;
- buscar mecanismos e parcerias para viabilizar a revitalização e ocupação de áreas contaminadas e com potencial de contaminação naqueles casos em que a iniciativa privada não tiver interesse devido ao seu custo;
- revisar e capacitar a equipe técnica da Prefeitura e SEMASA em relação ao gerenciamento das áreas com potencial de contaminação para uniformizar os conceitos;
- fazer gestão junto à CETESB para que forneça os dados de todos os novos empreendimentos potencialmente contaminantes;
- acompanhar junto à CETESB o monitoramento destes empreendimentos nas ocasiões de renovação da licença de operação.

Por se tratar de uma área geograficamente privilegiada, a região do Eixo Tamanduateí em Santo André - SP foi delimitada como uma Zona de Reestruturação Urbana no Plano Diretor de Santo André (Lei nº 9.394 de 2012), possuindo como um dos seus objetivos o mapeamento de áreas contaminadas e com potencial de contaminação (Art.39).

O lote principal do terreno da Universidade Federal do ABC (UFABC) é atualmente uma Área Reabilitada para Uso Declarado (AR) cadastrada na CETESB, após a remediação da área do antigo posto de abastecimento presente no lote. A contaminação dessa área era oriunda principalmente de eventuais processos de vazamento de tanques e linhas de transmissão de combustível, sendo essa a fonte primária de contaminação que permeou pela zona não saturada de solo e gerou a fonte secundária (REGEA, 2014). De acordo com o Relatório de Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas da UFABC (1º Campanha – janeiro de 2014; REGEA, 2014), durante as primeiras etapas de investigação dessa Área Contaminada (AC), foram detectadas concentrações de metais acima dos limites orientadores da CETESB, tanto no solo quanto na água subterrânea, tendo sido identificado:

- No solo: bário, zinco, cobre e níquel; e
- Na água subterrânea: alumínio, chumbo, cobalto, ferro, manganês, nitrato e selênio.

Para compostos orgânicos não foram detectadas concentrações acima dos limites orientadores tanto no solo quanto na água subterrânea. Embora tenha sido detectada ocorrência de fase livre de produto não aquoso mais leve que a água (LNAPL), com aproximadamente 6 cm de espessura. Deve-se ressaltar que durante o processo de investigação preliminar e confirmatória de contaminação no terreno principal da UFABC, foram detectados poluentes e contaminantes que possivelmente tinham origem externa ao lote (REGEA, 2010). Em uma das áreas levantadas com Potencial de Contaminação foi encontrado chumbo (Pb), alumínio (Al) e nitrato (NO^{-3}) na água subterrânea em concentrações superiores aos Valores de Intervenção da CETESB. A fonte externa não foi definida, porém foi apontado que essa contaminação possivelmente era oriunda de efluentes da rede de esgoto da região, devido à presença de nitrato. As concentrações de chumbo foram justificadas pelas alterações hidrogeoquímicas da água subterrânea. Entretanto, essas concentrações não apresentaram risco toxicológico em nenhum cenário, mas indicam a existência de processos que propiciam a contaminação difusa na região, cujas camadas de solo são caracterizadas pela presença de aterros com entulhos de construção civil e solos aluviais.

Desta forma, a identificação de áreas com contaminação difusa na área de estudo, além do diagnóstico atualizado das áreas contaminadas, visa dar suporte a uma provável tomada de decisão relacionada à recuperação das mesmas. Será possível mapear áreas potencialmente contaminadas não cadastradas, sem interesse econômico e/ou imobiliário. Assim, esta pesquisa pretende fornecer base científica referente às áreas contaminadas para a formulação de planos e projetos de requalificação urbana da área de estudo, além de avaliar a possibilidade de utilização de um *geodatabase* alimentado com parâmetros geoambientais disponibilizados pelas agências ambientais e prefeitura, e identificar os parâmetros que mais contribuem para a identificação de áreas com contaminação difusa na região.

3. OBJETIVOS

Esse trabalho tem como objetivo principal mapear possíveis áreas com contaminação difusa na região do “Eixo Tamanduateí” a partir de características geoambientais, como parâmetros geológico-geotécnicos, hidrogeológicos, geomorfológicos e concentração dos poluentes, com base nos cadastros da CETESB, de áreas sob investigação, sob intervenção, em processo de monitoramento para reabilitação, ou reabilitadas para uso declarado.

Os objetivos específicos deste projeto são:

- Mapear o fluxo subterrâneo da região do Eixo Tamanduateí, a partir de dados secundários extraídos dos processos cadastrados da CETESB;
- Mapear em escala regional a contaminação no Eixo Tamanduateí em Santo André – SP, considerando a provável contaminação difusa das áreas não cadastradas, juntamente com os 17 processos de ACs consultados na CETESB;
- Identificar os parâmetros geoambientais mais relevantes para a constatação de áreas com contaminação difusa na área de estudo;
- Mapear as zonas mais suscetíveis à contaminação difusa no Eixo Tamanduateí a partir dos parâmetros geoambientais da região e das informações sobre as Áreas Contaminadas da região;
- Avaliar a possibilidade de utilizar um banco de dados baseado em SIG para a avaliação de áreas com potenciais hidrogeológicos e geológico-geotécnicos para contaminação difusa de poluentes, sob a área de influência do PET.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O meio ambiente passou a sofrer maiores impactos após o início da urbanização e da industrialização, destacando-se o papel da Revolução Industrial ocorrida no século XVIII, com a transição da produção artesanal para processos conduzidos por máquinas, e consequente aumento da demanda por matérias-primas naturais não renováveis e aumento da fabricação de novos produtos químicos.

De acordo com Boulding (1993), a humanidade estaria passando por um longo período de transição em relação à imagem do meio ambiente. Até cerca de 1950, tinha-se a imagem do planeta como fonte de espaço e recursos ilimitados. Após a metade do século XX, a humanidade estaria se adaptando à concepção de que a Terra é um sistema termodinamicamente fechado, portanto não há trocas de matéria, apenas de energia. Assim, nesse sistema, as saídas de certos processos são as entradas de outros.

Os consensos da Economia Ecológica discutidos por Constanza et al. (1997 apud FUCKS, 2012) retomam que o Planeta Terra é um sistema fechado, sendo que o sistema econômico é um subsistema do ecossistema global. Assim, existe um limite no que se pode obter do meio ambiente, e no que se pode lançar no mesmo. A perspectiva da Economia Ecológica é de um futuro sustentável para o planeta, de maneira igualitária para todas as espécies. A postura de precaução deve ser adotada, visto que a incerteza dos processos nesse sistema complexo que é a Terra é irreduzível, e existem processos irreversíveis. Como não se tem o conhecimento de todas as incertezas, deve-se precaver antes de agir. As ações governamentais e institucionais públicas e privadas devem ser proativas ao invés de reativas. Assim, existem condições mínimas para se atingir a sustentabilidade. Fucks (2012) estabelece que a taxa de extração de um recurso renovável deve ser igual à sua taxa de regeneração; a taxa de emissão de resíduos não deve ser superior à capacidade de assimilação do meio ambiente onde são despejados; e a taxa de extração dos recursos não renováveis deve ser equivalente à sua substituição por recursos renováveis.

Com base nesses consensos e condições mínimas da Economia Ecológica, as indústrias deveriam apresentar uma postura de precaução, em relação ao descarte de resíduos

e ao armazenamento de compostos perigosos e tóxicos. Visto que não se tem o devido conhecimento sobre possíveis receptores e rotas de transporte de contaminantes, as ações por parte das empresas deveriam ser proativas e não reativas após a confirmação da contaminação. Visto que o desenvolvimento econômico brasileiro durante a segunda metade do século XX não foi baseado nos preceitos e consensos da economia ecológica, a visão da natureza como fornecedora de insumos e receptora de resíduos era predominante.

De acordo com a CETESB (2013), as áreas contaminadas são consequências da falta de conhecimento de procedimentos seguros e adequados para o manejo, transporte e armazenamento de substâncias perigosas em décadas passadas. A origem dessas áreas pode ainda estar associada a diferentes fontes de poluição, podendo ter origem nas atividades industriais, sistemas de tratamento e disposição de resíduos e efluentes, e no armazenamento e distribuição de substâncias químicas, como por exemplo, com a comercialização de combustíveis (CUNHA, 1997).

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), as fontes de poluição mais críticas são possivelmente oriundas dos processos industriais, e que com a desativação de inúmeras plantas industriais na região, deixaram passivos ambientais (CUNHA, 1997). Além da contaminação ambiental, a utilização dessas áreas abandonadas e/ou não utilizadas é comprometida, uma vez que Valentim (2005) concluiu que vários usos do solo da RMSP tornam-se incompatíveis com os níveis de contaminação presentes no solo, podendo proporcionar situações de risco a sociedade.

A temática de áreas contaminadas passou a ser reconhecida como um problema no final da década de 1970, quando tanto nos Estados Unidos como na Europa surgiram problemas de saúde relacionados à exposição a substâncias químicas presentes em áreas contaminadas. Dois casos foram mais pragmáticos: o do *Love Canal*, na cidade de Niagara Falls nos Estados Unidos, e o de *Lekkerkerk*, na Holanda. Em ambos os casos, resíduos químicos e industriais foram depositados de forma irregular e inapropriada em locais que posteriormente foram ocupados. A partir desses episódios, a consciência coletiva passou a ter a noção de que pessoas poderiam estar expostas a compostos tóxicos, carcinogênicos, mutagênicos e teratogênicos, representando uma ameaça tanto à saúde pública, como ao meio ambiente no entorno dessas áreas contaminadas.

Esse capítulo irá apresentar primeiramente alguns conceitos e definições dos termos passivo ambiental, áreas degradadas, contaminação, *brownfields*, riscos, vulnerabilidade e suscetibilidade, com uma discussão sobre os mesmos. Com o esclarecimento desses termos, tem-se uma síntese sobre o Gerenciamento de Áreas Contaminadas sob o ponto de vista legal.

Os principais riscos à saúde humana de alguns contaminantes também são apresentados de forma sucinta. A contaminação do subsolo é abordada, com os processos de transporte de poluentes, as principais propriedades físico-químicas de algumas substâncias frequentemente encontradas em áreas contaminadas e a vulnerabilidade de aquíferos. Por fim, são apresentados alguns estudos de mapeamento de áreas contaminadas em escala regional.

4.1 Definições e Conceitos

Passivo Ambiental é um termo que denota danos infligidos ao meio natural por determinada atividade ou por ações humanas, podendo ou não ser avaliados em termos econômicos (ABNT, 2007). A noção de passivo ambiental foi “importada” das ciências contábeis, representando um valor monetário necessário para a reparar o acúmulo de danos ambientais causados por um empreendimento ou ação humana, ao longo do tempo (SÁNCHEZ, 2001). Porém, o termo é usualmente empregado sem sentido monetário, para “conotar o acúmulo de danos infligidos ao meio natural por uma determinada atividade ou pelo conjunto das ações humanas, danos esses que muitas vezes não podem ser avaliados economicamente (SÁNCHEZ, 2001, p. 19)”. Se analisado no sentido figurado, passivo ambiental é uma “dívida” que as gerações futuras terão que pagar, tanto no quesito econômico, social e ambiental.

Uma *área degradada* é considerada uma área que reúne um ou mais aspectos do meio ambiente com alterações que ultrapassam a capacidade de resiliência do meio. Essas áreas podem apresentar extensões variadas e podem surgir a partir de atividades específicas ou conjunto de atividades, sejam agrícolas, urbanas, industriais e até mesmo processos naturais acelerados. Dentre os tipos de áreas degradadas, destacam-se erosão, assoreamento, declínio da biodiversidade, contaminação, entre outros (CALIJURI; CUNHA, 2013).

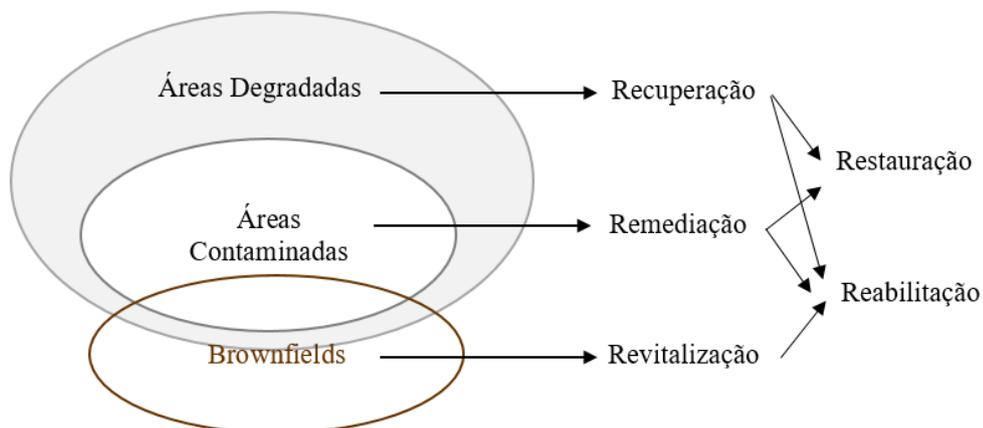
Contaminante é uma substância química ou um organismo patogênico que, quando introduzidos em um meio, podem afetar tanto a saúde humana como o meio ambiente (ABNT NBR 15515-1, 2007). Por sua vez, *contaminação* é a presença de um contaminante no subsolo, seja solo ou água subterrânea, em concentrações que afetam a biota e a saúde humana. Assim, *áreas contaminadas* são áreas, terrenos, locais, instalações, edificações ou benfeitorias que contenham “quantidades ou concentrações de quaisquer substâncias ou resíduos em condições que causem ou possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger, que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural” (BRASIL, 2017). Nessas áreas, os contaminantes podem estar concentrados na subsuperfície,

nas diversas matrizes ambientais, seja solo, sedimentos, rochas, água subterrânea, ou até mesmo nas paredes, pisos e estruturas de construções.

Já o termo *brownfield*, traduzido como “campo escuro/marrom”, pode ser definido de diversas formas. Para Alker et al. (2000), *brownfield* é uma área ou terreno que foi anteriormente utilizado ou desenvolvido e não está sendo totalmente utilizado, embora possa estar parcialmente ocupado ou utilizado, podendo estar vazio, abandonado ou contaminado. Assim, Alker et al (2000) concluem que um *brownfield* não está necessariamente disponível para uso imediato sem alguma intervenção. Sánchez (2001) alega que essas áreas estão associadas ao declínio industrial, que causaram problemas sociais e econômicos, e também um conjunto de edifícios e terrenos desocupados, por muitas vezes contaminados. Para Vasques (2006), *brownfields* “são todos os empreendimentos que um dia foram desativados, sofreram a ação do tempo, e com a consequente degradação natural, transformaram-se em zonas mortas”. Assim, o termo pode-se referir a minas abandonadas, lixões, infraestruturas de transporte abandonados, como também edifícios abandonados e antigas indústrias. A Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (USEPA) define *brownfield* como uma propriedade, que em eventuais expansões, revitalização ou reuso podem ser complicados pela presença ou potencial presença de substâncias perigosas, poluentes ou contaminantes (USEPA, 2017).

A **Figura 4** mostra o universo das áreas degradadas, onde as áreas contaminadas estão inseridas. Os *brownfields* fazem parte desse universo (área contaminada e área degradada), mas também possui outra parte no conjunto apenas de *brownfields*. Há uma sobreposição entre áreas contaminadas e *brownfields*. Assim, alguns *brownfields* são áreas contaminadas, enquanto que nem toda área contaminada é um *brownfield*. Pode-se ter um *brownfield* que não apresente contaminação, e que ainda não seja uma área degradada.

Figura 4: Tipologia de áreas degradadas.



Fonte: Adaptado de Sánchez, 2004.

Uma área contaminada pode apresentar um risco para o meio ambiente e para a população que reside próxima à essas áreas. O *risco* pode ser determinado como a probabilidade de que um evento esperado ou não se torne realidade. De acordo com Dagnino e Carpi Júnior (2007), a ideia de que algo possa ocorrer já configura um risco, que se manifesta em situações ou áreas nas quais existe uma probabilidade, suscetibilidade, vulnerabilidade ou azar de ocorrer algum tipo de perigo, desastre, impacto ou problema. Os *riscos* podem ser classificados entre natural, tecnológico, sociais e ambientais (DAGNINO; CARPI JÚNIOR, 2007). Dentre as classificações de risco, a última merece destaque. De acordo com a conceituação de Veyret e Meschinet de Richemond (2007, p. 63), os riscos ambientais “resultam da associação entre os riscos naturais e os riscos decorrentes de processos naturais agravados pela atividade humana e pela ocupação do território.”

A exposição aos riscos ambientais nas áreas urbanas faz com que parte da população se torne vulnerável a eventos dessa natureza. Sendo assim, a *vulnerabilidade* pode ser entendida como a probabilidade de o indivíduo (ou grupo) ser afetado negativamente por um evento natural/ambiental, ou contaminado via um elemento da natureza (DESCHAMPS, 2004 *apud* ESTEVES, 2011). O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) afirma que “a *vulnerabilidade* é diferente do risco. A base etimológica da palavra advém do verbo latino “ferir”. Enquanto que o risco implica a exposição a perigos externos em relação aos quais as pessoas têm um controle limitado, a *vulnerabilidade* mede a capacidade de combate a tais perigos sem que se sofra, em longo prazo, uma potencial perda de bem-estar” (PNUD, 2007, p.78). Já Acsehrad (2006) reconhece que a *vulnerabilidade* é uma noção relativa, está associada à exposição aos riscos e designa o grau de susceptibilidade de lugares, infraestruturas, ecossistemas e pessoas sofrerem algum tipo particular de agravo.

O termo *vulnerabilidade* é muito utilizado na hidrogeologia, de modo geral sendo compreendido como a suscetibilidade do aquífero à contaminação. Essa pode ser subdivida em vulnerabilidade natural e vulnerabilidade específica. A vulnerabilidade natural ou intrínseca dos aquíferos pode ser definida como a soma de uma série de atributos ou características que controlam a aptidão do aquífero frente a um impacto e sua capacidade de se recuperar: solo, parâmetros hidráulicos, zona não saturada e a recarga de um aquífero (VRBA; ZAPARAZEC, 1994). Já a vulnerabilidade específica é definida por Vrba e Zaparazec (1994) como sendo a capacidade do aquífero em resistir a um tipo de determinado contaminante/ impacto, dentro de um contexto específico.

A *suscetibilidade* no âmbito das geociências aplicadas pode ser sintetizada como a predisposição ou propensão dos terrenos ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo do

meio físico, ou ainda como a propensão ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo em uma dada área (IPT, 2014). Pelo exposto, um terreno/lote pode ter uma suscetibilidade à contaminação por algum composto, caracterizando a vulnerabilidade do aquífero presente na região, podendo gerar um risco ambiental para o entorno do mesmo.

O gerenciamento de áreas contaminadas se tornou factível a partir de dezembro de 2009, com a Resolução CONAMA nº 420. Foram adotadas medidas que assegurassem o conhecimento das características dessas áreas, assim como dos impactos causados pela contaminação, introduzindo uma série de instrumentos que são necessários à tomada de decisão para a reabilitação ou restauração das mesmas.

4.2 Gerenciamento de Áreas Contaminadas

Com a percepção de que as áreas contaminadas são um problema tanto para a saúde humana como para o meio ambiente, passou a ser necessário uma regularização e criação de procedimentos legais, tanto referentes à responsabilização dos causadores e responsáveis, como às atribuições e competências dos *stakeholders*. Desta forma, inúmeros países adotaram políticas específicas para o gerenciamento e controle de áreas contaminadas. De acordo com Marker (2003), tanto os países europeus como os Estados Unidos apresentaram um desenvolvimento conceitual e legal semelhante, em relação às políticas de gerenciamento de áreas contaminadas. Sendo assim, é possível identificar três gerações de políticas públicas, que foram sendo aprimoradas ao longo do tempo, no âmbito de flexibilização e preocupação com viabilidade econômica (SPÍNOLA, 2011):

- 1ª geração (década de 1970/1980): políticas reativas com enfoque na defesa do perigo e soluções para “bombas ecológicas” inibindo a reutilização;
- 2ª geração (década de 1980/1990): políticas corretivas com enfoque na abordagem sistemática do gerenciamento de áreas contaminadas, por meio da aprovação de legislação que estabeleça a responsabilidade legal e critérios para remediação conforme o uso do solo;
- 3ª geração (a partir da década de 1990): políticas fundadas no conceito de ciclo econômico e de prevenção com enfoque na viabilização econômica da remediação, na flexibilização dos padrões e na reutilização da área sob critérios econômicos e ambientais (SPÍNOLA, 2011, p. 35).

O gerenciamento de áreas contaminadas (GAC) passou a fazer parte da agenda ambiental a partir das décadas de 1980 e 1990, como observado anteriormente. Entretanto, o GAC ainda configura um dos maiores desafios ambientais para todos os *stakeholders*, como

órgãos reguladores, empreendedores, acadêmicos e sociedade. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2017a) define que:

O Gerenciamento de Áreas Contaminadas visa reduzir, para níveis aceitáveis, os riscos a que estão sujeitos a população e o meio ambiente em decorrência de exposição às substâncias provenientes de áreas contaminadas, por meio de um conjunto de medidas que assegurem o conhecimento das características dessas áreas e dos riscos e danos decorrentes da contaminação, proporcionando os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas (p.14).

No âmbito federal, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 426 (CONAMA, 2013) dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Já no âmbito estadual, Lei Estadual paulista nº 13.577, de 8 de julho de 2009 (SÃO PAULO, 2009), dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, sendo que o Decreto Estadual 59.263/13 regulamenta essa lei. A Resolução Conjunta da Secretaria de Estado da Saúde e Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo 1/02 define procedimentos para a ação conjunta dessas Secretarias em relação as áreas contaminadas por substâncias perigosas. A CETESB também possui papel fundamental na regulamentação do GAC, através da Decisão de Diretoria CETESB nº 103 de 2007, que dispõe sobre o procedimento para o gerenciamento de áreas contaminadas, e da Decisão de Diretoria CETESB nº 256/2016/E.

Essa Decisão de Diretoria da CETESB Nº 256/2016/E, de novembro de 2016 dispõe sobre a aprovação dos “Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2016” e dá outras providências. O seu único anexo fornece valores orientadores para solo e água subterrânea, para substâncias inorgânicas, hidrocarbonetos aromáticos voláteis, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, benzenos clorados, etanos clorados, etenos clorados, metanos clorados, fenóis clorados, fenóis não clorados, ésteres ftálicos, pesticidas organoclorados, e outros. A **Tabela 1** apresenta a lista de compostos pertencentes aos grupos supracitados na listagem da CETESB.

Tabela 1: Lista das substâncias presentes nos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2016.

| <i>Grupo</i> | <i>Substâncias</i> |
|--|---|
| <i>Inorgânicos</i> | Antimônio, Arsênio, Bário, Boro, Cádmio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Crômio total, Crômio hexavalente, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Nitrato, Prata, Selênio, Zinco |
| <i>Hidrocarbonetos Aromáticos Voláteis</i> | Benzeno, Estireno, Etilbenzeno, Tolueno, Xilenos |
| <i>Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos</i> | Antraceno, Benzo(a)antraceno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(k)fluoranteno, Benzo(g,h,i)perileno, Benzo(a)pireno, Criseno, Dibenzo(a,h)antraceno, Fenantreno, Indeno(1,2,3-c,d)pireno, Naftaleno |
| <i>Benzenos Clorados</i> | Clorobenzeno (Mono), 1,2-Diclorobenzeno, 1,3-Diclorobenzeno, 1,4-Diclorobenzeno, 1,2,3-Triclorobenzeno, 1,2,4-Triclorobenzeno, 1,3,5-Triclorobenzeno, 1,2,3,4-Tetraclorobenzeno, 1,2,3,5-Tetraclorobenzeno, 1,2,4,5-Tetraclorobenzeno, Hexaclorobenzeno |
| <i>Etanos Clorados</i> | 1,1-Dicloroetano, 1,2-Dicloroetano, 1,1,1-Tricloroetano |
| <i>Etenos Clorados</i> | Cloreto de vinila, 1,1-Dicloroetano, 1,2-Dicloroetano – cis, 1,2-Dicloroetano – trans, Tricloroetano – TCE, Tetracloroetano – PCE |
| <i>Metanos Clorados</i> | Cloreto de Metileno (diclorometano), Clorofórmio, Tetracloroetano de carbono |
| <i>Fenóis Clorados</i> | 2-Clorofenol (o), 2,4-Diclorofenol, 3,4-Diclorofenol, 2,4,5-Triclorofenol, 2,4,6-Triclorofenol, 2,3,4,5-Tetraclorofenol, 2,3,4,6-Tetraclorofenol, Pentaclorofenol (PCP) |
| <i>Fenóis Não Clorados</i> | Cresóis totais, Cresol-p, Fenol |
| <i>Ésteres Ftálicos</i> | Dietilexil ftalato (DEHP), Dietil ftalato, Dimetil ftalato, Di-n-butil ftalato |
| <i>Pesticidas Organoclorados</i> | Aldrin, Dieldrin, Endrin, Carbofuran, Endossulfan, DDD, DDE, DDT, HCH alfa, HCH beta, HCHC gama (Lindano) |
| <i>Outros</i> | PCBs Indicadores, TBT e seus compostos, Anilina, Dioxinas (PCDDs) e Furanos (PCDFs) |

Fonte: Adaptado de CETESB (2016).

Em fevereiro de 2017, a Decisão de Diretoria nº 038/2017/C foi aprovada pela Diretoria Plena da CETESB, que dispõe sobre a aprovação do “Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas”, da revisão do “Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas” e estabelece “Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental”. Devido à necessidade de

adequação da antiga Decisão de Diretoria nº 103 de 2007 em função dos procedimentos da Lei nº 13.577/2009 e do Decreto nº 59.263/2013, foram revogadas as Decisões de Diretoria nº 010/2006/C de janeiro de 2006, a nº 103/2007/C/E de junho de 2007 e a nº 236/2009/P de outubro de 2009.

O Procedimento para Gerenciamento de Áreas Contaminadas descreve como deverão ser conduzidas todas as etapas do processo de identificação e de reabilitação de áreas contaminadas, assim como a desativação de empreendimentos e a reutilização de áreas que abrigam ou abrigaram atividades com potencial de contaminação (CETESB, 2017a). A Metodologia de GAC é composta por dois processos, o de Identificação de Áreas Contaminadas e o de Reabilitação de Áreas Contaminadas.

O primeiro processo visa identificar as áreas com contaminação, determinando as características e correta localização da área, avaliando os riscos associados e possibilitando um suporte à tomada de decisão sobre medidas de intervenção. Esse processo é constituído de seis etapas:

- **Identificação de Áreas com Potencial de Contaminação (AP):** com base na Relação de Atividades Potencialmente Geradoras de Áreas Contaminadas e nas informações existentes no Sistema de Fontes de Poluição da CETESB (SIPOL). Uma vez identificadas, as APs passarão a fazer parte do Sistema de Áreas Contaminadas e Reabilitadas (SIACR);
- **Priorização de Áreas com Potencial de Contaminação:** por meio de critérios de priorização sobre a Relação de Áreas com Potencial de Contaminação, resultando em Áreas com Potencial de Contaminação Prioritárias (AP Prioritária);
- **Avaliação Preliminar:** tem como objetivo caracterizar as atividades desenvolvidas e em desenvolvimento na área estudada, identificar as fontes potenciais de contaminação e constatar evidência, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência da contaminação, orientando as demais etapas do processo de GAC. Nessa etapa, uma série de dados e informações deve ser levantada, tanto sobre a área, o empreendimento, parâmetros geoambientais, uso do solo, entre outros. O relatório dessa avaliação deve conter uma série de dados e informações, bem como o Plano de Investigação Confirmatória;
- **Investigação Confirmatória:** tem como objetivo confirmar ou não a existência de contaminação na área em avaliação, através da investigação de todas as fontes potenciais e primárias de contaminação identificadas na etapa anterior. Uma vez

confirmada a contaminação, a área passa a ser classificada como Área Contaminada sob Investigação (ACI). O relatório dessa etapa deve conter plantas da área, justificativa do posicionamento dos pontos de investigação, georreferenciamento das sondagens, perfis de cada sondagem, descrição das características geoambientais, mapa potenciométrico, laudos analíticos, entre outras informações;

- **Investigação Detalhada:** tem como objetivo caracterizar o meio físico onde se encontra a ACI, com a determinação das concentrações das substâncias químicas de interesse nas diversas matrizes ambientais, caracterizando também o transporte dessas substâncias nas diferentes unidades hidroestratigráficas, com avaliação espaço-temporal. Plumões de contaminação devem ser totalmente delimitados no plano horizontal e vertical;
- **Avaliação de Risco:** os objetivos dessa etapa são caracterizar a existência de risco aos receptores identificados, expostos ou potencialmente expostos às substâncias químicas de interesse presente da ACI e decidir sobre a necessidade de implementação de alguma intervenção. Nessa etapa, o Modelo Conceitual da Área deve estar o mais completo possível. A ACI passa a ser classificada como Área Contaminada com Risco Confirmado (ACRI) quando existir risco acima dos níveis aceitáveis. Conforme o artigo 36 do Decreto nº 59.263/2013, as situações que podem caracterizar esse risco são:

I – Na Avaliação de Risco foi constatado que os valores definidos para risco aceitável à saúde humana foram ultrapassados, considerando-se os níveis de risco definidos por meio de Resolução conjunta da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e da Secretaria Estadual de Saúde, após ouvido o CONSEMA (Conselho Estadual do Meio Ambiente);

II – Quando for observado risco inaceitável para organismos presentes nos ecossistemas, por meio da utilização de resultados de Avaliação de Risco Ecológico;

III – Nas situações em que os contaminantes gerados em uma área tenham atingido compartimentos do meio físico e determinado a ultrapassagem dos padrões legais aplicáveis ao enquadramento dos corpos d'água e de potabilidade;

IV – Nas situações em que os contaminantes gerados possam atingir corpos d'água superficiais ou subterrâneos, determinando a ultrapassagem dos padrões legais aplicáveis, comprovadas por modelagem do transporte dos contaminantes;

V – Nas situações em que haja risco à saúde ou à vida em decorrência de exposição aguda a contaminantes, ou à segurança do patrimônio público e privado (SÃO PAULO, 2013, artigo 36).

O segundo processo, de Reabilitação de Áreas Contaminadas, é constituído de três etapas: Elaboração do Plano de Intervenção, Execução do Plano de Intervenção e Monitoramento para Encerramento. O desenvolvimento dessas etapas visa atingir as condições necessárias para emitir o Termo de Reabilitação para Uso Declarado. Durante a Elaboração do Plano de Intervenção, algumas ações devem ser desenvolvidas, em relação à definição dos objetivos e das medidas de intervenção a serem adotadas, à seleção das técnicas a serem empregadas, e à descrição do Plano de Intervenção. Quando forem propostas medidas de remediação, o Plano de Intervenção deve conter o Projeto Executivo do Sistema de Remediação. Uma vez aprovado o Plano de Intervenção para Reutilização de Área Contaminada, a área passa a ser classificada como Área Contaminada em Processo de Reutilização (ACRu). Na execução do Plano de Intervenção, os Responsáveis Legais e Técnicos devem demonstrar a validade técnica das premissas presentes no Plano de Intervenção, por meio de uma série de relatórios técnicos. Uma vez que todas as metas de remediação e medidas de controle propostas tenham sido implementadas, a área contaminada passa a ser classificada como Área com Processo de Monitoramento para Encerramento (AME). Após a execução das campanhas de monitoramento para encerramento, se os resultados das análises químicas indiquem a continuidade da eficiência da remediação, a área passa a ser classificada pela CETESB como Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR), com a emissão do Termo de Reabilitação para o Uso Declarado.

A averbação das informações sobre a situação das áreas nas matrículas dos imóveis é prevista pelo Decreto nº 59.263/2013, quando a área for classificada como ACI, ACRi e AR. Em casos nos quais não tenha ocorrido a execução de quaisquer das etapas do GAC, a CETESB deve aplicar sanções administrativas legais, previstas na legislação vigente. O Sistema de Áreas Contaminadas e Reabilitadas contém o Cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas, que é o conjunto de informações, referentes às Áreas com Potencial de Contaminação (AP), Áreas Suspeitas de Contaminação (AS), Áreas Contaminadas (ACI, ACRi, ACRE, ACru e ACcrítica), Áreas em Processo de Monitoramento para Encerramento (AME) e Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR), obtidas durante a execução do Gerenciamento de Áreas Contaminadas (**Tabela 2**).

A CETESB divulga anualmente a Relação de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo, na sua página na internet <http://cetesb.sp.gov.br/areas->

contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/). As informações são apresentadas nessa relação estão de forma resumida. As informações completas sobre as áreas contaminadas e reabilitadas são armazenadas em processos administrativos, onde são arquivados os documentos que apresentam as ações adotadas pela CETESB, assim como todos os relatórios técnicos produzidos e protocolados pelo Responsável Legal e Responsável Técnico. Esses processos administrativos podem ser vistos, mediante solicitação junto ao órgão ambiental.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) também regulamenta a Avaliação Preliminar, Detalhada e Confirmatória (**Figura 5**), assim como a abertura de poços de monitoramento, amostragem de água subterrânea, e procedimento para elaboração do Modelo Conceitual no GAC. As normas são:

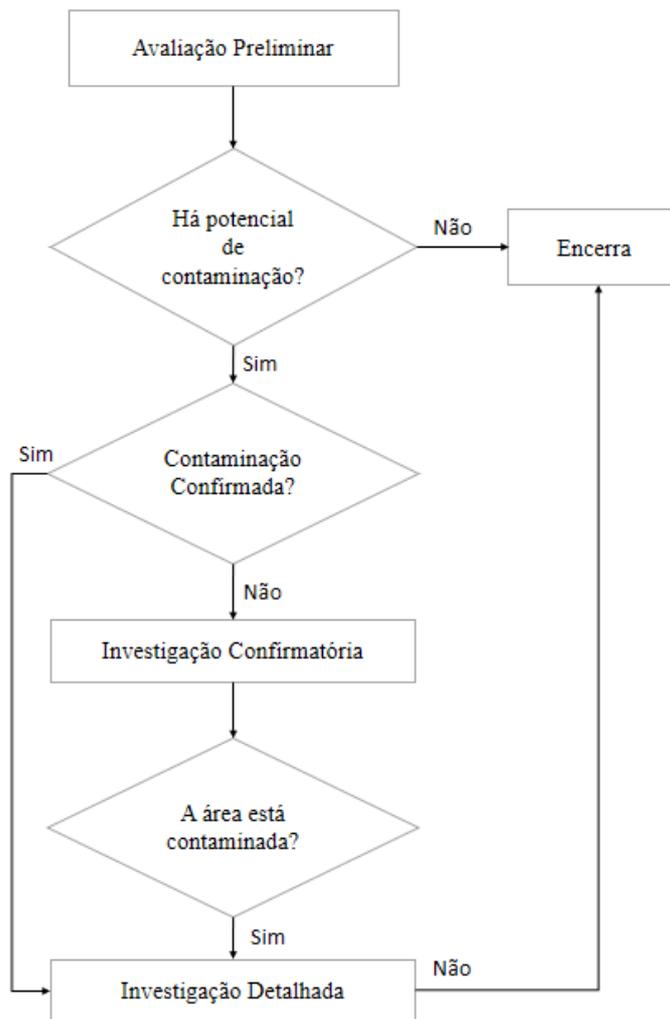
- ABNT NBR 15515-1:2007 – versão corrigida 2011: Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação preliminar;
- ABNT NBR 15515-2:2011: Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 2: Investigação confirmatória;
- ABNT NBR 15515-3:2013: Avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 3: Investigação detalhada;
- ABNT NBR 15495-1:2007 – versão corrigida 2009: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulados;
- ABNT NBR 15847:2010: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – métodos de purga;
- ABNT NBR 16209:2013: Avaliação de risco à saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas;
- ABNT NBR 16210:2013: Modelo conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas – procedimento;

Tabela 2: Resumo da Classificação das Áreas Contaminadas, conforme Decreto nº 59.263/2013.

| CLASSIFICAÇÃO | DEFINIÇÃO |
|--|--|
| ÁREA COM POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO (AP) | Área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria onde são ou foram desenvolvidas atividades que, por suas características, possam acumular quantidades ou concentrações de matéria em condições que a tornem contaminada. |
| ÁREA COM SUSPEITA DE CONTAMINAÇÃO (AS) | Área com indícios de ser uma área contaminada conforme resultado da avaliação preliminar. |
| ÁREA CONTAMINADA SOB INVESTIGAÇÃO (ACI) | Área onde foram constatadas, por meio de investigação confirmatória, concentrações de contaminantes que causam ou possam causar risco. |
| ÁREA CONTAMINADA COM RISCO CONFIRMADO (ACRI) | Área onde foi constatada, por meio de investigação detalhada e avaliação de risco, contaminação no solo ou em águas subterrâneas, a existência de risco ecológico, à saúde ou à vida humana ou onde foram ultrapassados os padrões legais aplicáveis. |
| ÁREA CONTAMINADA EM PROCESSO DE REMEDIAÇÃO (ACRE) | Área onde estão sendo aplicadas medidas de remediação visando a eliminação da massa de contaminantes ou, na impossibilidade técnica ou econômica, sua redução ou a execução de medidas de contenção e/ou isolamento. |
| ÁREA CONTAMINADA EM PROCESSO DE REUTILIZAÇÃO (ACRU) | Área contaminada onde se pretende estabelecer um uso do solo diferente daquele que originou a contaminação, com a eliminação ou a redução a níveis aceitáveis dos riscos aos bens a proteger, decorrentes da contaminação. |
| ÁREA CONTAMINADA CRÍTICA (AC _{CRÍTICA}) | Área que, em função dos danos, gera risco iminente à saúde ou vida humana, inquietação na população ou conflitos entre os atores envolvidos, exigindo imediata intervenção pelo responsável ou pelo poder público, com execução diferenciada. |
| ÁREAS EM PROCESSO DE MONITORAMENTO PARA ENCERRAMENTO (AME) | Área na qual não foi constatado risco ou onde as metas de remediação foram atingidas por meio das medidas implantadas, encontrando-se em processo de monitoramento para verificação da manutenção das concentrações em níveis aceitáveis. |
| ÁREA REABILITADA PARA O USO DECLARADO (AR) | Área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria anteriormente contaminada que, depois de submetida às medidas de intervenção, ainda que não tenha sido totalmente eliminada a massa de contaminação, tem restabelecido o nível de risco aceitável à saúde humana, ao meio ambiente e a outros bens a proteger. |

Fonte: Adaptado de São Paulo (Estado), 2013, artigo 3º.

Figura 5: Fluxograma das etapas da avaliação de passivo ambiental.



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15.515-1/2011.

Para melhor entender o processo de gerenciamento de áreas contaminadas é necessário compreender os riscos à saúde humana causados por poluentes presentes no subsolo.

4.3 Riscos à saúde humana

Locais onde há a concentração de matérias tóxicas coloca em risco a saúde da população. Entretanto, nem todas as áreas contaminantes representam um risco para a saúde humana ou para o meio ambiente. O risco só é presente quando as concentrações dos contaminantes excederem os limites considerados aceitáveis e se existirem receptores e a possibilidade de um evento adverso (MONDELLI, 2008).

A contaminação ambiental é geralmente derivada de uma fonte pontual. A exposição humana se dá quando há a mobilidade do contaminante a partir da fonte, atingindo locais que

permitam o contato entre a população receptora e o agente tóxico, seja pela ingestão, inalação ou contato dérmico.

A Toxicologia é a ciência que estuda o efeito adverso de substâncias químicas sobre os organismos vivos, com o objetivo de estabelecer o uso seguro destas substâncias químicas. A Toxicologia Ambiental é uma subárea da Toxicologia que estuda os efeitos nocivos produzidos pela interação dos contaminantes ambientais presentes nas matrizes ambientais, com os seres humanos (CETESB, 2017b).

A CETESB possui desde a década de 1970 uma área de Toxicologia Ambiental, que fornece informações sobre os efeitos dos contaminantes ambientais na saúde humana. A Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental da CETESB elabora fichas de informações toxicológicas para uma série de substâncias químicas. A FIT (Ficha de Informação Toxicológica) contém informações sobre os usos e ocorrências de substâncias no ambiente, o comportamento nos meios, a toxicidade e legislação relacionada. Vários fatores influenciam os possíveis danos à saúde e a gravidade dos efeitos, como a via, dose e duração da exposição, a presença de outras substâncias e as características do indivíduo.

Dentre os grupos de substâncias tóxicas, dois grupos merecem atenção para essa pesquisa, os metais pesados e os compostos orgânicos voláteis (COV). Todos os metais e seus compostos possuem toxicidade. O que vai definir o efeito à saúde é o grau de exposição de um organismo ao composto. A exposição está relacionada tanto com o tempo de exposição quanto com a concentração da substância envolvida. Sabe-se que até doses mínimas de certos metais tóxicos já podem ter efeitos deletérios. O sistema enzimático, o sistema nervoso (central e periférico), o sistema gastrintestinal, o cardiovascular, o sistema renal e o sistema hematopoiético são os mais suscetíveis aos metais pesados (PASCALICCHIO, 2002). A **Tabela 3** resume os principais efeitos à saúde humana dos metais pesados Bário, Chumbo e Níquel, compostos comumente encontrados nos solos e águas subterrâneas da área de estudo desse trabalho. Em geral, podem levar a óbito em casos de extrema exposição e são considerados pela Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) como sendo possíveis agentes cancerígenos ao ser humano (CETESB, 2017b).

De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2018), os COV são aqueles compostos de carbono (excluindo monóxido de carbono, dióxido de carbono, ácido carbônico, carbonetos metálicos e de amônia) que participam de reações fotoquímicas na atmosfera; são também aqueles cuja composição torna possível a evaporação sob condições normais de temperatura e pressão.

Os COV do grupo BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) são compostos lipossolúveis e tóxicos, agindo como depressores do sistema nervoso central, sendo tóxicos mesmo em baixas concentrações (AMARAL et al., 2017). Dentre os BTEX, o benzeno destaca-se como sendo o composto mais tóxico, devido aos efeitos que provoca à saúde humana, como síndromes mielodisplásticas (SMD) e, principalmente, a seu efeito carcinogênico, como leucemia mieloide aguda (LMA) (AMARAL et al., 2017).

Os compostos orgânicos voláteis clorados (COV-Cl) são COV que apresentam o elemento cloro em sua constituição. São compostos que apresentam alta volatilidade e forte recalcitrância à degradação. Os COV-Cl são em geral líquidos incolores com um cheiro adocicado à temperatura ambiente, porém alguns se encontram na forma gasosa. Esses compostos podem ser encontrados em todas as matrizes ambientais. A exposição humana aos COV-Cl pode ocorrer através da ingestão, inalação e contato dérmico. Estudos apontam que a exposição aos COV-Cl está associada à incidência de câncer (HUANG et al., 2014).

A **Tabela 4** apresenta de forma resumida os efeitos à saúde humana causados por alguns compostos orgânicos voláteis de interesse para o presente trabalho. Destacam-se os compostos do grupo BTEX e alguns exemplares do grupo COV-Cl (Clorofórmio, Cloreto de Vinila, Tetracloroetileno e Dicloroetileno). Em geral são classificados pela IARC como cancerígenos ou possivelmente/provavelmente cancerígenos (CETESB, 2017b). Como são compostos com alta volatilidade, a principal rota de contaminação é por inalação de gases e vapores, especialmente em ambientes fechados e com pouca ventilação. O cloreto de vinila merece destaque, por ser um dos mais tóxicos do grupo dos COV-Cl.

Tabela 3: Resumo dos efeitos à saúde humana de alguns Metais Pesados.

| SUBSTÂNCIA | EFEITOS À SAÚDE HUMANA | REFERÊNCIAS |
|-------------------|--|-----------------------------|
| Bário (Ba) | Ingestão de pequenas quantidades em curtos períodos: vômito, cólica estomacal, diarreia, dificuldade respiratória, alteração da pressão sanguínea, adormecimento da face e debilidade muscular. Ingestão de altas quantidades: pode causar alterações no ritmo cardíaco e paralisia, e levar a óbito se não houver tratamento. | ATSDR, 2011; CETESB, 2017b. |
| Chumbo (Pb) | Pode afetar quase todos os órgãos, sendo o sistema nervoso central mais sensível. Efeitos adversos: fraqueza, irritabilidade, astenia, náusea, dor abdominal com constipação e anemia. O chumbo é classificado como possível cancerígeno. | ATSDR, 2011; CETESB, 2017b. |
| Níquel (Ni) | Efeitos leves: dermatite de contato, dor de estômago e alterações sanguíneas (aumento de glóbulos vermelhos) e renais (perda de proteínas na urina). Efeitos graves: bronquite crônica, diminuição da função pulmonar e câncer nos pulmões e seios nasais. O níquel metálico e ligas são possíveis cancerígenos para o ser humano, e os compostos de níquel são classificados como cancerígenos. | ATSDR, 2011; CETESB, 2017b. |

Fonte: ATSDR, 2011; CETESB, 2017b.

Tabela 4: Resumo dos efeitos à saúde humana de alguns Compostos Orgânicos Voláteis.

| SUBSTÂNCIA | EFEITOS À SAÚDE HUMANA | REFERÊNCIAS |
|-------------------|---|---|
| Benzeno | Inalação de altas concentrações: sonolência, enjoo, aceleração do ritmo cardíaco, cefaleia, tremor, confusão mental e inconsciência. Ingestão de alimentos e bebidas contaminados: vômito, irritação no estômago, enjoo, sonolência, convulsão, aceleração do batimento cardíaco e morte. A exposição por longo prazo pode resultar em depressão da medula óssea. É classificado como cancerígeno humano. | ATSDR, 2011; CETESB, 2017b. |
| Tolueno | Exposição a baixas concentrações: fadiga, sonolência, debilidade e náusea. Inalação por longo prazo pode irritar as vias aéreas superiores e olhos e causar dor de garganta, tontura e cefaleia. Nos casos mais graves pode ocorrer diminuição auditiva e até surdez. | ATSDR, 2011; CETESB, 2017b. |
| Etilbenzeno | Exposição de curto prazo: irritar os olhos, nariz e via aérea superior, e causar vermelhidão e bolhas na pele, fadiga, tontura e falta de coordenação. Exposição prolongada: fadiga, cefaleia, irritação dos olhos e da via aérea superior. Contato dérmico repetido: ressecamento e dermatite. É classificado como possível cancerígeno humano | ATSDR, 2011; CETESB, 2017b. |
| Xileno | É irritante dos olhos, pele e mucosas. Inalação por curto prazo: dispneia, irritação dos olhos e garganta, vômito, desconforto gástrico, entre outros sintomas. | ATSDR, 2011; CETESB, 2017b. |
| Clorofórmio | Inalação por curto prazo: depressão do sistema nervoso central. Exposição crônica oral: efeitos no fígado, rins e sangue. Está associado com o carcinoma hepatocelular. Classificado como possível cancerígeno humano. | ATSDR, 2011; HUANG et al., 2014; CETESB, 2017b. |

| SUBSTÂNCIA | EFEITOS À SAÚDE HUMANA | REFERÊNCIAS |
|-------------------------|--|--|
| Cloreto de Vinila | Inalação de altas concentrações por longos períodos: efeitos narcóticos, fenômeno de Raynaud (branqueamento e dormência dos dedos e desconforto por exposição a temperaturas frias), alterações hepatocelulares, desenvolvimento de angiosarcoma hepático, alterações cutâneas esclerodermiformes e acroosteólise. Classificado como cancerígeno humano. | ATSDR, 2011; CETESB, 2017b. |
| Tetracloroetileno (PCE) | Inalação de altas concentrações: depressão do sistema nervoso, com tontura, cefaleia, sonolência, náusea, dificuldade de fala, inconsciência, déficits nas funções neurocomportamentais e morte. Exposição a concentrações baixas: afeta o fígado e os rins. É facilmente absorvido no trato gastrointestinal e pulmões. Classificado como possível cancerígeno humano. | ATSDR, 2011; HUANG et al., 2014; CETESB, 2017b. |
| Dicloroetileno | Inalação de altas concentrações: depressão do sistema nervoso central (SNC). Efeitos neurológicos da exposição a baixas doses: náusea, sonolência e cansaço. Inalação de doses muito altas de vapores pode levar à morte. O isômero trans é um depressor do SNC mais potente do que o isômero cis. | ATSDR, 2011; CETESB, 2017b. |

Fonte: ATSDR, 2011; HUANG et al., 2014; CETESB, 2017b.

A CETESB determinou em sua Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007, a elaboração de planilhas para avaliação de risco em áreas contaminadas sob investigação, objetivando padronizar os estudos de avaliação de risco realizados no Estado de São Paulo. Conforme a revisão do procedimento do GAC publicada na Decisão de Diretoria nº 038/2017/C, essas planilhas devem ser utilizadas na quantificação do risco à saúde humana em áreas contaminadas sob investigação e no estabelecimento de concentrações máximas aceitáveis (CMAs), auxiliando na elaboração de Planos de Intervenção.

Os cálculos das planilhas são baseados no procedimento descrito no RAGS – *Risk Assessment Guidance for Superfund – Volume I – Human Health Evaluation Manual (Part A)* da USEPA, de 1989, no modelo matemático de Jury e Johnson, de 1991, nas equações de Domênico (1987) e no modelo de Johnson e Etinger, de 1992, para a quantificação da exposição e do risco, para o transporte de contaminantes em meio não saturado, para o transporte em meio saturado, e para a intrusão de vapores, respectivamente (CETESB, 2018a). Utilizando as planilhas é possível quantificar os riscos para substâncias não carcinogênicas e carcinogênicas, individual e cumulativo, considerando diversos cenários de exposição e várias substâncias químicas (banco de dados com propriedades físico-químicas e toxicológicas de 755 substâncias), assim como calcular as CMAs para as substâncias de interesse.

Para entender como se dá a contaminação do subsolo, deve-se conhecer os processos de transporte de contaminantes, as propriedades físico-químicas destes e a vulnerabilidade da água subterrânea.

4.4 Contaminação do Subsolo

Para avaliar o potencial impacto que os contaminantes causam na saúde humana e no meio ambiente é necessário conhecer o transporte e destino destes no subsolo. Quando uma substância química é derramada ou entra em contato com a superfície do solo, esta pode permanecer no mesmo lugar, ou pode ser transferida para o ar, para a subsuperfície e mesmo escoar superficialmente. As fontes de contaminação do subsolo podem ser divididas em pontuais e não localizadas (difusas). As fontes pontuais são definidas pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos como sendo quaisquer fontes únicas identificáveis a partir da qual os poluentes são descarregados (USEPA, 2017). Essas fontes são mais fáceis de serem identificadas do que as fontes difusas. A poluição difusa é caracterizada pela entrada de poluentes em um sistema sem que se saiba ou se possa identificar o ponto de entrada do mesmo. Geralmente são associadas às precipitações, abrangendo grandes áreas (CALIJURI & CUNHA, 2013). Uma vez em contato com a superfície, o transporte dos poluentes pelo subsolo é definido pelas propriedades físico-químicas dos contaminantes e pelas características físicas, químicas e biológicas do subsolo.

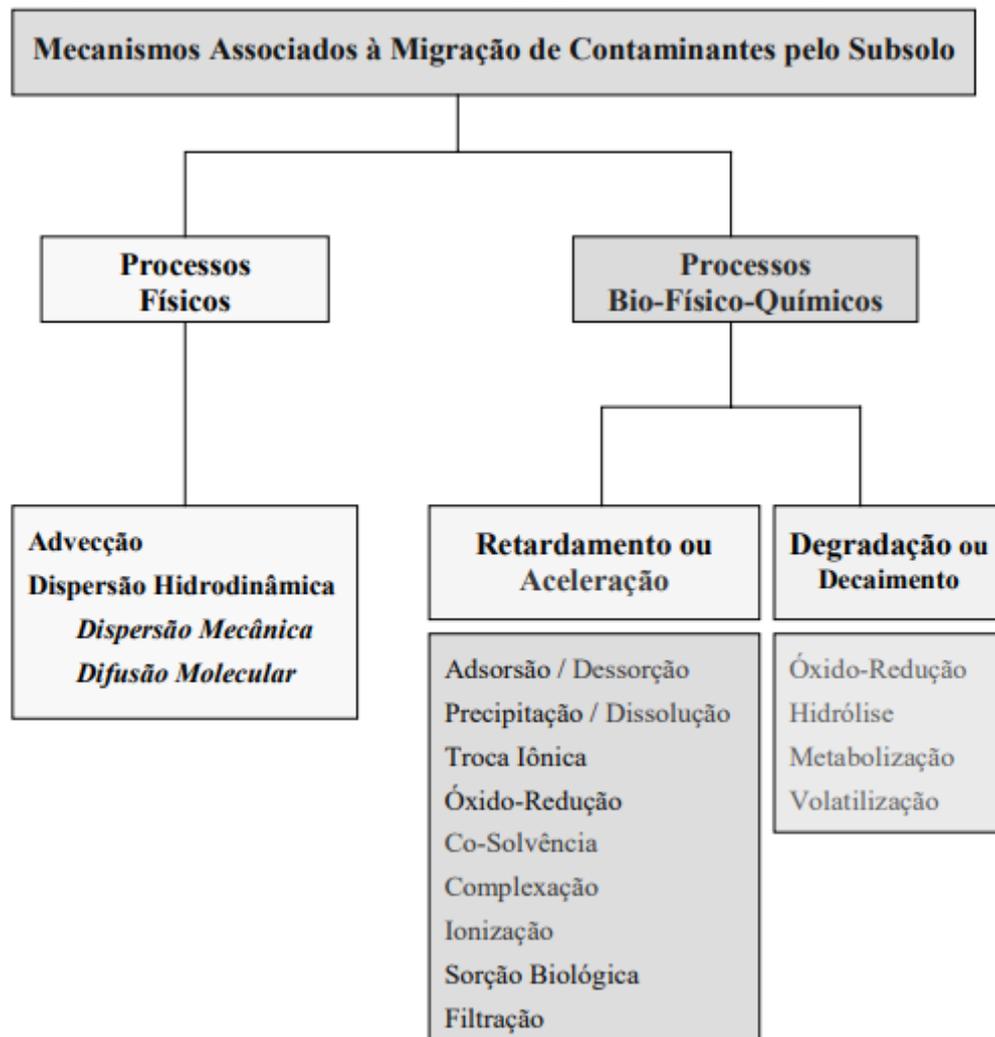
4.4.1 Transporte de Poluentes

Um poluente despejado na superfície do solo pode permear pela região não-saturada do solo (zona aerada ou vadosa). Com o passar do tempo, o poluente pode avançar, podendo chegar a se acumular na região saturada do solo ou atingir os rios. Geralmente o transporte de poluentes é estudado por meio de equações diferenciais. O ponto de partida para o desenvolvimento dessas equações que descrevem o transporte de solutos em um material poroso é considerado o fluxo de entrada e saída de um soluto em um volume de controle (FREEZE; CHERRY, 1979). A equação de conservação de massa para um volume de controle pode ser descrita de forma resumida como (Eq 01):

$$\left[\begin{array}{c} \text{Taxa de acúmulo} \\ \text{de massa de} \\ \text{solutos} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Fluxo de} \\ \text{saída de} \\ \text{solutos} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{Fluxo de} \\ \text{entrada de} \\ \text{solutos} \end{array} \right] \pm \left[\begin{array}{c} \text{Perda ou ganho} \\ \text{de massa de} \\ \text{solutos por} \\ \text{reações} \end{array} \right] \text{ Eq. (01)}$$

Os processos físicos que controlam o fluxo de entrada e de saída no volume de controle são advecção e dispersão hidrodinâmica. A perda ou ganho de massa de soluto pode ocorrer como resultado de reações de transformação químicas e bioquímicas, transferência de massa interfase ou por decaimento radioativo. O destino de um poluente específico é uma função das influências combinadas desses quatro processos gerais. Assim, processos físicos, biológicos e químicos afetam o transporte dessas substâncias no meio poroso (**Figura 6**). Dentre os processos bio-físico-químicos, têm-se os relacionados ao retardamento ou aceleração e os de degradação ou decaimento. Adsorção/dessorção, precipitação/dissolução, troca iônica, óxido-redução, co-solvência, complexação, ionização, sorção biológica e filtração são mecanismos de retardamento ou aceleração. Já óxido-redução, hidrólise, metabolização e volatilização são mecanismos de degradação ou decaimento. A pluma de contaminação nada mais é do que representação da distribuição de substâncias nos meios de interesse.

Figura 6: Mecanismos associados à migração de contaminantes pelo subsolo.



Poluentes com vapor de pressão mais elevado podem evaporar ou volatilizar para a fase gasosa, tornando-se então sujeitos ao transporte atmosférico. A transferência de poluentes pelo escoamento superficial durante eventos de precipitação ou irrigação é de grande preocupação, pois está associada com a poluição de fonte não pontual (poluição difusa) (PEPPER et al., 2006). Uma vez escoado superficialmente, o poluente pode ser transportado até corpos hídricos superficiais, como córregos, rios e lagos. Caso ocorra a infiltração desse poluente para o subsolo, este pode permanecer nos poros do mesmo, e até atingir o nível da zona saturada, contaminando assim, a água subterrânea. Uma grande gama de fatores interfere na contaminação ou não da água subterrânea, assim como no tempo de contaminação e expansão da pluma. Esses são a magnitude e a taxa de infiltração ou de recarga, o tipo de solo, a profundidade do aquífero, a quantidade de contaminantes e suas propriedades físico-químicas (i.e., solubilidade, grau de sorção e potencial de transformação).

4.4.2 Propriedades dos Poluentes

Como dito anteriormente, as propriedades físico-químicas dos poluentes possuem influência direta no transporte dos mesmos. Deve-se primeiramente, considerar a fase na qual o poluente se encontra sob as condições normais de temperatura e pressão. A mobilidade de um poluente depende da fase na qual se encontra, sendo os gases os mais móveis, enquanto os sólidos os menos móveis.

Muitos dos principais poluentes orgânicos encontrados nas zonas urbanas se encontram na fase líquida, sob condições normais de temperatura e pressão. Esses compostos orgânicos imiscíveis são conhecidos como NAPLs (*nonaqueous phase liquids* ou líquidos na fase não aquosa). Esses são os principais combustíveis (gasolina, diesel, querosene), solventes clorados, e bifenils policlorados. Uma vez no subsolo, os NAPLs ficam presos nos poros, dificultando sua remoção física. Esses são, portanto, uma fonte de contaminação em longo prazo. A maioria dos poluentes inorgânicos se encontra na fase sólida, com exceção do mercúrio, que é líquido para as condições normais.

A **Tabela 5** apresenta algumas das propriedades dos poluentes mais encontrados na fase líquida e sólida. A solubilidade é a capacidade de um poluente se dissolver em um meio aquoso. A pressão de vapor por sua vez é a tendência de um composto em evaporar, enquanto a volatilidade depende da solubilidade do composto na fase aquosa e de fatores ambientais. Portanto, a volatilidade é sempre relativa a um referencial. O potencial de sorção refere-se ao potencial de retenção de uma molécula junto à superfície do solo. Por fim, a taxa de

biodegradação é a capacidade de um composto orgânico em sofrer quebra através da atividade microbiana.

Tabela 5: Propriedades dos principais grupos de poluentes.

| | <i>Contaminante</i> | <i>Solubilidade</i> | <i>Pressão de Vapor</i> | <i>Volatilidade</i> | <i>Potencial de Sorção</i> | <i>Taxa de Biodegradação</i> | |
|-----------------|---------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------------|----------------|
| <i>Sólidos</i> | Orgânicos | Naftaleno | Baixa | Média | Média | Médio | Média |
| | | Pentaclorofenol | Baixa | Média | Baixa | Alto | Média |
| | | DDT | Baixa | Baixa | Baixa | Alto | Baixa |
| | Inorgânicos | Chumbo | Baixa | Baixa | Baixa | Médio | Não-degradável |
| | | Cromo | Alta | Baixa | Baixa | Baixo | Não-degradável |
| | | Arsênico | Média | Baixa | Baixa | Baixo | Não-degradável |
| | | Cádmio | Baixa | Baixa | Baixa | Médio | Não-degradável |
| <i>Líquidos</i> | Orgânicos | Tricloroeteno | Média | Alta | Média | Baixo | Baixa |
| | | Benzeno | Média | Alta | Média | Baixo | Média |
| | Inorgânicos | Mercúrio | Baixa | Média | Baixa | Médio | Não-degradável |

Fonte: Adaptado de Pepper et al., 2006.

Sólidos inorgânicos em geral possuem baixa solubilidade, baixa pressão de vapor, baixa volatilidade, baixo a médio potencial de sorção e não são biodegradáveis. Essas características quando analisadas em conjunto indicam que são poluentes que se acumulam nas matrizes ambientais, uma vez que não possuem grandes probabilidades de serem transformados, adsorvidos ou volatilizados. Desta forma, são substâncias que são pouco reativas.

Já os líquidos orgânicos, como o tricloroeteno e benzeno, possuem maior pressão de vapor e maiores chances de serem biodegradados. Portanto, são substâncias que tendem a sofrer reações de transformação e de transferência de massa entre as matrizes ambientais.

Os COV apresentam como característica principal um valor de pressão de vapor superior a 0,01 kPa. De acordo com Parreira e Cardeal (2005), outra propriedade física utilizada para classificar os COV é o ponto de ebulição. Nesse caso, os COV apresentam valores de ponto de ebulição abaixo de 150°C. As classes de COV mais comuns são os alcanos, alcenos, aromáticos, álcoois, cetonas, aldeídos, ácidos e os clorados. Os COV-Cl possuem alta volatilidade e forte recalcitrância à degradação, permitindo que estes sejam transportados por longas distâncias em diferentes matrizes ambientais. Sabe-se que os COV foram amplamente utilizados como solventes para diversos processos industriais, podendo estar presentes no solo, ar, água subterrânea, rios e lagos (HUANG, 2014). Por outro lado,

atualmente muitos desses compostos foram banidos ou limitados pelo Protocolo de Montreal em 1987 (HUANG, 2014).

A análise de vulnerabilidade de um aquífero deve levar em consideração os processos de transporte de poluentes, assim como as propriedades dos próprios poluentes, uma vez que cada composto reage de forma diferenciada ao meio físico e biológico.

4.4.3 Vulnerabilidade de Aquíferos

A vulnerabilidade de um aquífero é uma função das propriedades dos materiais subjacentes ao aquífero (zona não saturada). Essas são, de acordo com Hirata e Fernandes (2008), a acessibilidade hidráulica à penetração de poluentes até atingir a zona saturada pelo transporte de poluentes, e a capacidade de atenuação do solo, que está relacionada com a retenção ou transformações físico-químicas dos poluentes (dispersão, retardação e degradação). Dessa forma, existirá contaminação da água subterrânea se os materiais subjacentes ao aquífero permitirem a passagem do poluente, que chegaria à zona saturada e se o poluente for persistente e tiver em altas concentrações, superando a capacidade de atenuação natural da camada não saturada. Foster et al. (2002, apud HIRATA; FERNANDES, 2008) classificaram a vulnerabilidade absoluta de aquíferos à contaminação por pesticidas catiônicos, metais pesados, hidrocarbonetos, compostos inorgânicos e microrganismos (**Tabela 6**). Locais com muitos cenários de contaminação, com poluentes rapidamente degradáveis são classificados como de extrema vulnerabilidade.

O solo funciona como uma defesa contra a contaminação dos aquíferos, principalmente por suas características bio-físico-químicas, que induzem à degradação de substâncias e de microrganismos patogênicos. A capacidade de atenuação da zona não-saturada está relacionada aos mecanismos de sorção (adsorção e absorção), troca catiônica e precipitação por carbonatos, sulfatos e hidróxidos, e biodegradação de compostos orgânicos. A **Figura 7** apresenta os processos que promovem a atenuação de contaminantes em sistemas de água subterrânea. A espessura das barras na figura é proporcional à intensidade do processo. Pode-se observar que a camada de solo mais próxima à superfície apresenta as maiores taxas de retardação por sorção e eliminação por hidrólise, transformação bioquímica e volatilização. Quanto mais profundo na zona não saturada, os processos de atenuação passam a ser menos frequentes. Entretanto, no limite da zona saturada, tem-se um aumento da troca catiônica e da complexação, devido principalmente à variação do nível d'água. A dispersão hidrodinâmica começa a atuar quando o meio poroso está saturado. A volatilização somente ocorre na zona não saturada, caracterizada pela presença de ar nos poros e

interstícios do solo. De forma resumida, os processos de atenuação natural dos contaminantes no subsolo ocorrem de maneira mais eficiente na primeira camada de solo. Após percolarem pelo solo (fluxo vertical multicamada), os contaminantes podem chegar até a zona saturada, que estarão sujeitos à dispersão hidrodinâmica e conseqüentemente ao transporte horizontal. Sabe-se que a flutuação do lençol freático afeta na pressão dos gases da zona não saturada e induz o movimento vertical de COV (YOU; ZHAN, 2013).

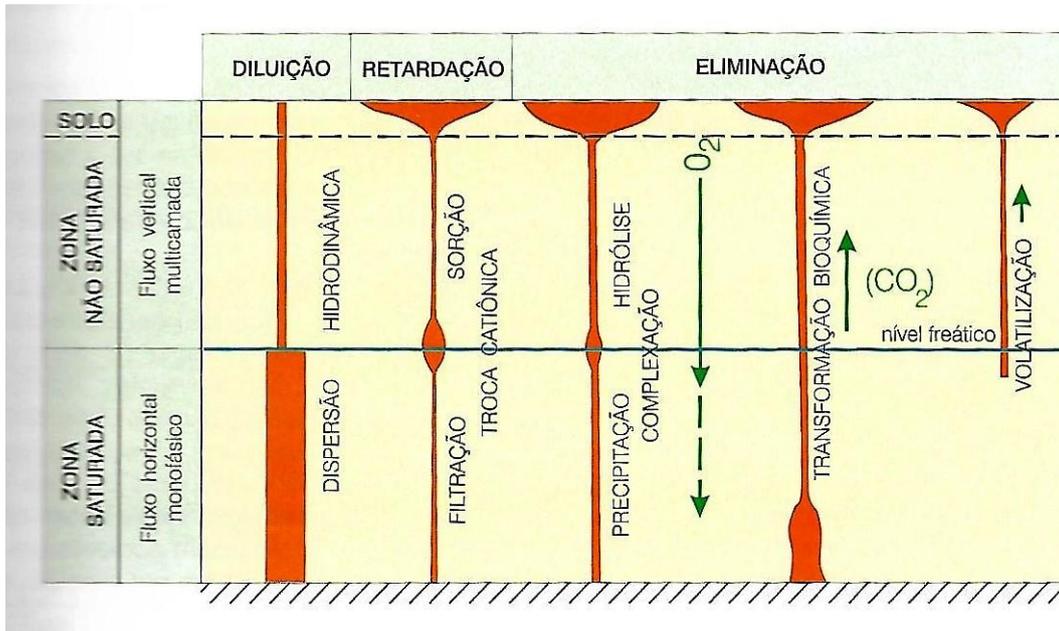
Tabela 6: Classes de vulnerabilidade absoluta.

| Classes de Vulnerabilidade | Definição Prática | Exemplos de Compostos Contaminantes |
|----------------------------|---|--|
| Extrema | Vulnerabilidade a muitos poluentes, incluindo os rapidamente degradáveis em muitos cenários de contaminação |  |
| Alta | Vulnerável a muitos poluentes, exceto aqueles muito pouco móveis e pouco persistentes |  |
| Moderada | Vulnerável a alguns poluentes, e somente quando continuamente lançados |  |
| Baixa | Somente vulnerável a contaminantes conservativos em longo prazo, quando continuamente e amplamente lançados |  |
| Negligenciável | Não vulnerável, exceto em locais restritos que permitam o fluxo vertical (Ex: zonas de fraturas) |  |

-  Pesticidas catiônicos, metais pesados não associados à elevada carga orgânica ou em condições de pH e Eh extremados.
-  Bactérias e vírus e compostos aromáticos
-  Hidrocarbonetos clorados e não-clorados
-  Sais e nitrato
-  Sais e nitrato quando hidraulicamente possível

Fonte: (Foster, 1998 apud Hirata; Fernandes, 2008).

Figura 7: Processos de atenuação de contaminantes no subsolo.



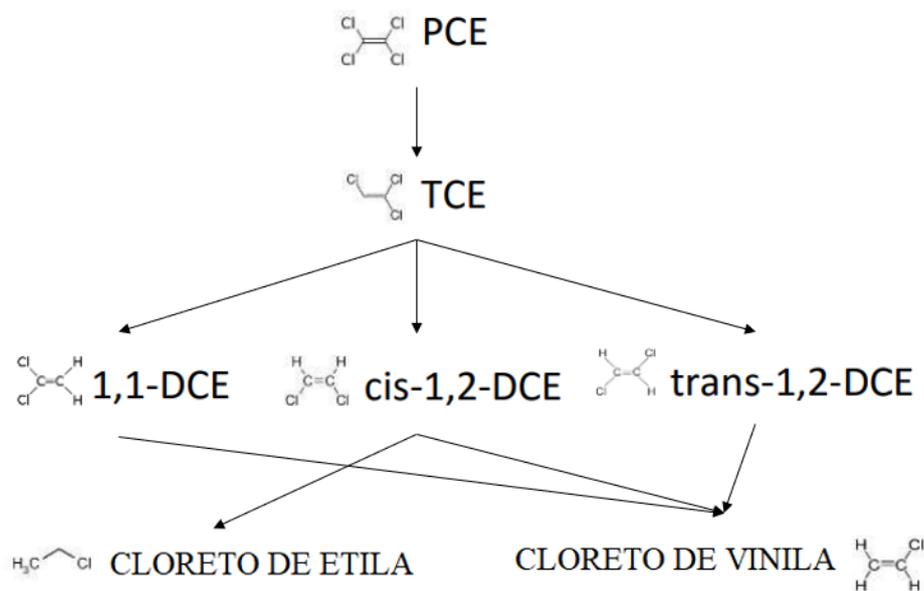
Fonte: Hirata; Fernandes, 2008.

As características físico-químicas do meio também afetam o destino de muitos compostos. Ambientes aeróbicos, anaeróbicos e regiões com pH ácido ou básico podem interferir na forma como um contaminante é transformado. A **Tabela 7** é um sumário do comportamento em subsuperfície de alguns contaminantes. Para metais pesados, há uma maior probabilidade de retardação físico-química (tanto ácida como alcalina) e da ocorrência de reações químicas (alcalinas), enquanto para compostos orgânicos halogenados há uma maior probabilidade de transformações bioquímicas anaeróbicas e de processos físico-químicos que retardem a mobilidade desses compostos. Os compostos orgânicos como benzeno e tolueno possuem maiores chances de sofrer transformações bioquímicas aeróbicas do que anaeróbicas e sofrerem retardação físico-química em ambientes tanto ácidos como alcalinos, ao passo que dificilmente sofrerão reações químicas. Os microrganismos também podem sofrer retardação físico-química em ambientes alcalinos e ácidos, porém dificilmente sofrem transformações bioquímicas no subsolo.

Dentre os compostos listados na **Tabela 7**, devem-se ressaltar os COV. Considerando os compostos orgânicos/halogenados, o Tetracloroetileno (PCE), Tricloroetileno (TCE), 1,1-Dicloroetileno (1,1-DCE), Cis-1,2-Dicloroetileno (cis-1,2-DCE), Trans-1,2-Dicloroetileno (trans-1,2-DCE), Cloroetano, Cloroeteno (Cloroeto de Vinila), 1,1-Dicloroetano (1,1-DCA), 1,1,1-Tricloroetano (1,1,1-TCA), entre outros organoclorados, estão presentes em amostras de água subterrânea e de solo de maneira combinada. O TCE, DCE, e Cloroeto de Vinila são

subprodutos da biodegradação do PCE (BRAGA et al., 2009) (**Figura 8**). Tanto o PCE quanto o 1,1,1-TCA podem sofrer dois caminhos de biodegradação, como exposto por Brady et al. (1997). O primeiro caminho é a completa degradação anaeróbica para compostos não-clorados. O segundo caminho é a quebra desses compostos para compostos organoclorados menores, como o cloreto de vinila e cloretoetano, em condições primeiramente anaeróbicas e posteriormente aeróbicas (**Figura 8**). Com a degradação, esses compostos diminuem de densidade, aumentando sua mobilidade (VERECHIA, 2014).

Figura 8: Resumo do processo de degradação do PCE.



Fonte: Adaptado de Brady et al., 1997.

Tabela 7: Tabela resumo do comportamento de alguns contaminantes em subsuperfície.

| Contaminante | Transformações Bioquímicas | | Reações Químicas | | Retardação Físico-Química | |
|---------------------------------|----------------------------|------------|------------------|----------|---------------------------|----------|
| | Aeróbica | Anaeróbica | Ácida | Alcalina | Ácida | Alcalina |
| Metais Pesados | | | | | | |
| Cádmio (Cd) | ● | ● | ● | ●● | ● | ● |
| Cromo (Cr) | ● | ● | ● | ● | ●● | ● |
| Cobre (Cu) | ● | ● | ● | ●● | ●● | ● |
| Chumbo (Pb) | ● | ● | ● | ●● | ● | ●● |
| Mercúrio (Hg) | ● | ● | ● | ●● | ● | ●● |
| Prata (Ag) | ● | ● | ● | ●● | ● | ●● |
| Zinco (Zn) | ● | ● | ● | ●● | ● | ●● |
| Compostos Inorgânicos | | | | | | |
| Amônio (NH ₄) | ●● | ● | ● | ● | ● | ●● |
| Nitrato (NO ₃) | ● | ●● | ● | ● | ● | ● |
| Sódio (Na) | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Sulfato (SO ₄) | ● | ●● | ● | ● | ● | ● |
| Fluoreto (F) | ● | ● | ● | ● | ●● | ● |
| Cloreto (Cl) | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Arsênio (As) | ● | ● | ● | ● | ● | ●● |
| Selênio (Se) | ● | ● | ●● | ● | ●● | ● |
| Cianeto (CN) | ● | ● | ● | ● | ●● | ● |
| Compostos Orgânicos | | | | | | |
| Hidrocarbonetos alifáticos | ●● | ● | ● | ● | ●● | ●● |
| Fenóis | ●● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Benzeno | ●● | ● | ● | ● | ●● | ●● |
| Tolueno | ●● | ● | ● | ● | ●● | ●● |
| Aromáticos poliaromáticos | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Compostos Orgânicos Halogenados | | | | | | |
| Tricloroeteno | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Tetracloroeteno | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 111 Tricloroetano | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Tetracloroeto de Carbono | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Clorofórmio | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Cloreto de metila | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Clorobenzeno | ●● | ● | ● | ● | ●● | ●● |
| Clorofenóis | ●● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Microorganismos | | | | | | |
| Coliformes fecais | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Bactérias patogênicas | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Vírus patogênicos | ● | ● | ●● | ● | ● | ●● |

● = provavelmente não ocorre ● = pode ocorrer ●● = provavelmente ocorre

Fonte: Hirata; Fernandes, 2008.

Para mapear a vulnerabilidade de aquíferos, diversos métodos cartográficos foram desenvolvidos e aprimorados ao longo dos anos. Esses métodos devem traduzir o comportamento dos contaminantes em subsuperfície. A grande dificuldade é compatibilizar a complexidade dos processos existentes entre os poluentes e o ambiente hidrogeológico com as simplificações necessárias para tornar o método aplicável (HIRATA & FERNANDES, 2008).

Existem métodos mais complexos, com maior quantidade de variáveis, como proposto por Philips et al., 1977; Kulfis et al., 1980; e métodos mais generalistas e menos refinados, como Aller et al., 1987; e Foster e Hirata, 1988. Uma vantagem desses métodos menos refinados é a utilização de dados qualitativos, permitindo a utilização de intervalos de valores amplos.

A **Tabela 8** mostra alguns dos métodos de cartografia de vulnerabilidade de aquíferos, descrevendo os objetivos principais de cada método, assim como os parâmetros a determinar.

Tabela 8: Métodos para determinação da vulnerabilidade de aquíferos.

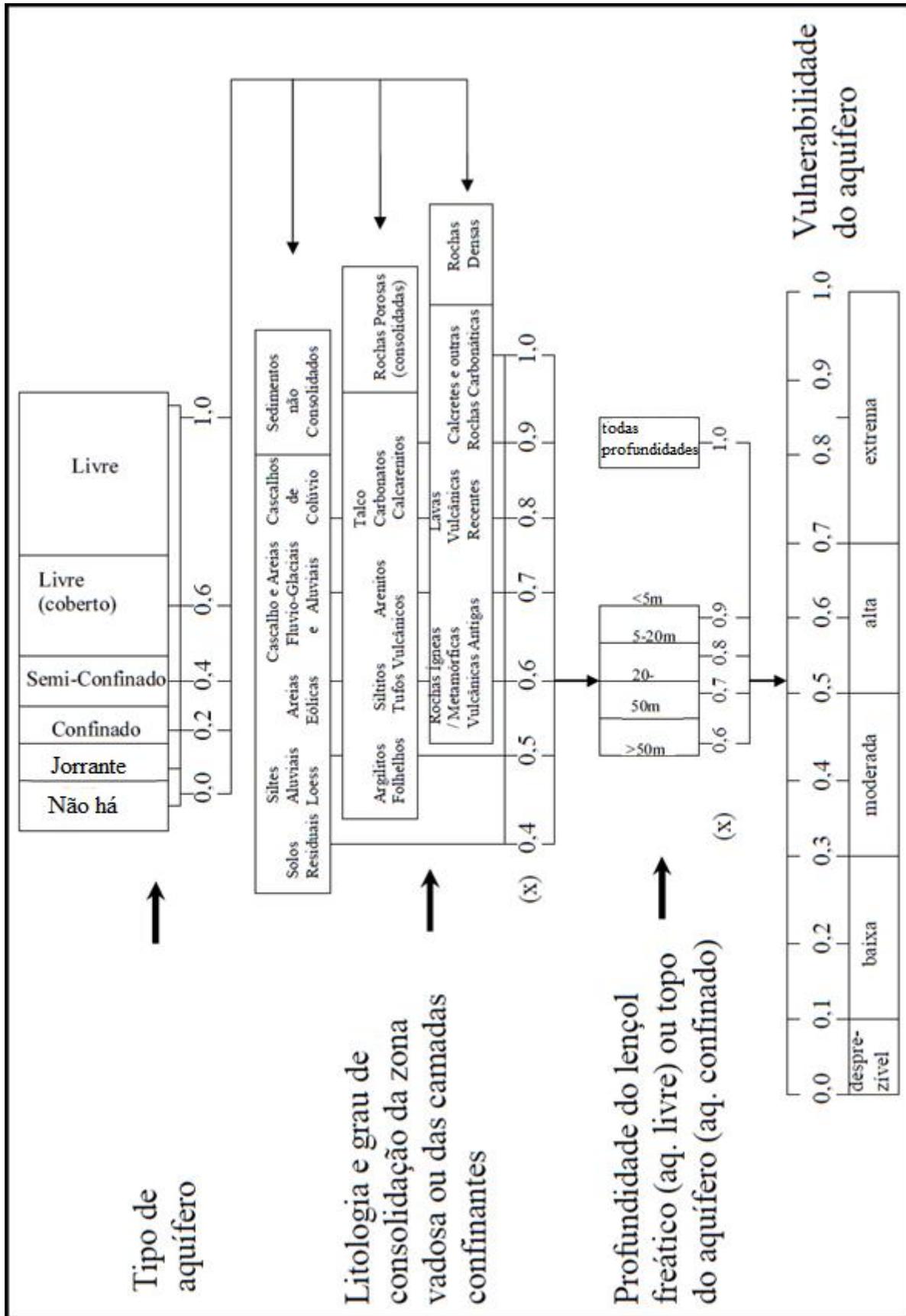
| MÉTODO | AValiação | FATORES ANALISADOS | REFERÊNCIA |
|--|--|---|------------------------|
| <i>Waste-Soil Interaction Matrix</i> “Matriz de Interação Solo-Resíduos” | Disposição de resíduos sólidos e líquidos e novas indústrias; vulnerabilidade específica | Efeitos na saúde; Característica do produto químico. Comportamento do produto. Capacidade de atenuação do solo; Hidrogeologia; Características do Local | Philips et al. (1977) |
| Mapa de vulnerabilidade | Vulnerabilidade geral | Características litológicas e Área de recarga e descarga | Duarte (1980) |
| <i>Site Ranking Methodology</i> “Metodologia de ranking de áreas” | Disposição de resíduos sólidos e líquidos e novas indústrias; vulnerabilidade específica | Receptor-população; Uso da água; Uso local; Degradação Ambiental; Caminhos, nível e tipo de contaminação; Profundidade do nível d’água; Pluviometria; Permeabilidade do solo; Característica do resíduo: toxicidade, persistência, prática de manejo (aspectos operacionais e construtivos) | Kulfis et al. (1980) |
| <i>TPE</i> | Áreas de perigo de contaminação | Velocidade da água subterrânea; T- Porcentagem de argila; P - Atividade potencialmente contaminante; E - Exploração dos aquíferos | Silva et al. (1980) |
| <i>DRASTIC</i> | Vulnerabilidade geral | D-Profundidade da água subterrânea; R-Recarga; A-Aquífero; S-Solo; T-Topografia; I-Impacto no aquífero; C-Conductividade hidráulica | Aller et al. (1987) |
| <i>GOD</i> | Vulnerabilidade geral | G-Tipo de aquífero; O-Litologia zona não-saturada; D-Profundidade da água | Foster e Hirata (1988) |
| <i>SINTACS</i> | Vulnerabilidade geral | Igual ao Drastic, com pesos diferentes. S-Profundidade N.A.; I-Infração; N-Zona não-saturada; T-Solo; A-Aquífero; C-Conductividade Hidráulica; S- Declividade | Civita et al. (1990) |

Fonte: Adaptado de Hirata; Fernandes, 2008.

Das metodologias para o cálculo do índice de vulnerabilidade mais generalistas descritos anteriormente, destaca-se a GOD. Essa metodologia (G – *groundwater hydraulic confinement*; O – *overlying strata*; D – *depth to groundwater table*) foi elaborada por Foster e Hirata (1988), que segue a ordem, i) Identificação do grau de confinamento hidráulico do aquífero, ii) Características do substrato que recobre a zona saturada em termos de (a) grau de consolidação e (b) litologia e, por fim, iii) Distância ou profundidade ao nível da água. Nesta metodologia um índice é atribuído a cada uma das informações, em uma escala de 0 a 1, o valor 1 sendo o caso de maior vulnerabilidade. Estes índices são multiplicados entre si para produzir a classificação final, que é então transformada em vulnerabilidade de aquíferos, variando entre extrema (por exemplo aquíferos livres, rasos e de litologia de alta granulometria) a baixa (aquíferos confinados ou aquíferos livres profundos com solos impermeáveis). A **Figura 9** mostra os componentes da metodologia GOD.

Como dito anteriormente, diversos fatores ambientais estão relacionados com a capacidade de um contaminante ser transportado. Esses fatores ambientais serão chamados de geoambientais nesse trabalho, visto que há uma relação intrínseca entre esses fatores e o subsolo.

Figura 9: Metodologia GOD para determinação da vulnerabilidade de aquíferos.



Fonte: GUIGUER; KAHNKE, 2002.

4.4.4 Caracterização Geoambiental

O termo *geoambiental*, adotado pela *International Union of Geological Sciences* (IUGS) na década de 1990, foi criado para denotar a atuação conjunta das geociências e da área ambiental. Essa atuação contempla aplicações dos conhecimentos técnicos do meio físico aos diversos instrumentos e mecanismos de gestão ambiental, utilizando a cartografia, com o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e de bancos de dados (SILVA; DANTAS, 2007). Davies e Campanella (1995, *apud* MONDELLI, 2008, p.25) definem o termo *geoambiental* como “o campo de estudo que faz a ligação entre geologia, geotecnia, engenharia ambiental e ciências correlatas, para dar origem a uma área de interesse que inclui todas as preocupações ambientais dentro do meio geológico natural ou modificado”.

A caracterização geoambiental é também aplicada na avaliação de impactos sobre o meio físico, no monitoramento ambiental, na recuperação de áreas degradadas, na investigação de passivo ambiental e em auditorias ambientais. Através da integração de dados sobre relevo, substrato rochoso, água, solos e uso e ocupação, clima, hidrogeologia, a caracterização/investigação geoambiental fornece informações sobre os ambientes geológicos em que se formaram os terrenos e quais as suas potencialidades naturais e limitações face ao uso e ocupação dos solos.

A investigação geoambiental tem como objetivo principal promover informações suficientes sobre “a fonte, os caminhos e os alvos para permitir uma avaliação de risco tal que seja possível delinear ações de remediação, ou dispensá-las (MONDELLI, 2008, p.25)”. A investigação geoambiental deve auxiliar na determinação da natureza, forma, extensão e distribuição de qualquer contaminação na área investigada; na caracterização do meio físico, determinando o contexto geológico, hidrológico, geotécnico; no entendimento da natureza dos potenciais alvos da contaminação e no relacionamento entre a fonte e seus efeitos; e por fim, dar suporte às decisões gerenciais e de remediação (PETTS et al., 1997).

A seguir são apresentados alguns exemplos de aplicação da cartografia geoambiental para diversos fins, como urbanização, zoneamento geoambiental, zonas de interesse ambiental, entre outros.

Souza et al. (2005) utilizou mapas básicos, na escala 1:50.000 (geológico, topográfico, cobertura vegetal, geomorfológico, político administrativo, bacias hidrográficas, uso do solo, declividade, hipsometria, modelo digital do terreno) para o município de Mariana -MG, em conjunto com dados socioeconômicos. Nesse estudo foi confeccionado o Mapa de

Zoneamento Ambiental, estabelecendo quatro Zonas de Interesse Ambiental: Controle, Proteção, Reabilitação e Adequação.

Silva (2005) apresentou uma proposta metodológica para a caracterização das aptidões e restrições do meio físico para a bacia hidrográfica do rio Peixe. Para a elaboração de mapas temáticos foram utilizadas informações sobre o substrato rochoso, materiais inconsolidados, uso e ocupação, declividade, potencial ao escoamento superficial, susceptibilidade a erosão e potencial agrícola.

O Levantamento Geoambiental das Regiões do Médio e Alto Sapucaí e Alto Rio Pardo, coordenado por Andrade (2006 *apud* SILVA; DANTAS, 2017), foi realizado na escala 1:250.000, englobando 60 municípios de Minas Gerais. Foram elaborados mapas temáticos, através de análises dos aspectos do meio físico, de geologia, relevo, hidrografia, clima e vegetação. Dados socioeconômicos foram incorporados na análise.

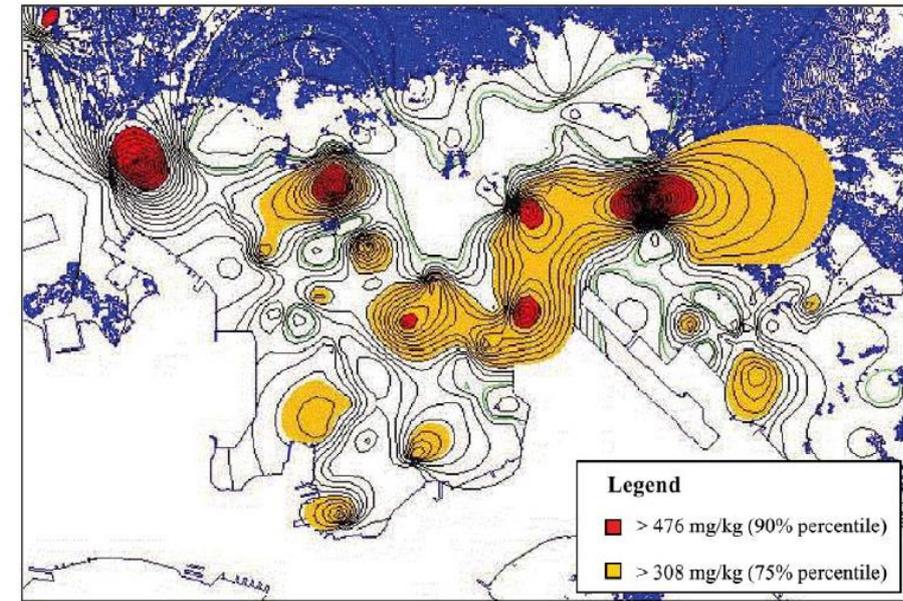
4.5 Mapeamento de Áreas Contaminadas em escala regional

A seguir são apresentados quatro casos de caracterização geoambiental em escala regional, com intuito de avaliar a contaminação do subsolo com auxílio de softwares de geoprocessamento.

- *Península de Kowloon, Hong Kong (Li et al., 2003)*

Foi avaliada a contaminação por metais pesados de uma extensa área urbana em Kowloon, Hong Kong (46,9 km²). As concentrações dos metais no solo foram utilizadas como *input* para a criação de um mapa de contorno, para estudar a distribuição dos metais no solo urbano. O software utilizado para esse fim foi o *Surfer*® 6.0. Para a interpolação dos dados geográficos, foi aplicado o método geoestatístico conhecido como *Kriging*. Mapas geoquímicos foram obtidos a partir da sobreposição de informações geográficas, como ruas e prédios. Outras análises espaciais foram realizadas também a partir da sobreposição de mapas, utilizando o *software ArcGIS*®. A **Figura 10** é um mapa geoquímico das concentrações de metais pesados totais (Cu, Ni, Zn e Pb) nos solos urbanos da área de estudo. As áreas com maiores concentrações são antigas zonas industriais e residenciais, próximas de grandes rodovias, estradas e avenidas, sugerindo que a deposição de metais da atmosfera para o solo é uma das fontes de metais pesados no solo.

Figura 10: Mapa Geoquímico mostrando áreas com altas concentrações de metais pesados nos solos urbanos de Kowloon, Hong Kong.



Fonte: Li et al., 2003.

- **Rabat, Western Mamora, Marrocos (Kabbour et al., 2006)**

A vulnerabilidade à poluição da água subterrânea na bacia Hidrográfica de Mamora, em Rabat, Marrocos foi avaliada através da metodologia DASTI. A região possui uma área de 390 km² e apresenta um sistema aquífero costeiro. O modelo foi baseado na caracterização de cinco parâmetros intrínsecos: profundidade da zona não-saturada, profundidade da zona saturada, litologia, textura do solo e gradiente hidráulico. As características hidrogeológicas foram classificadas sistematicamente para poder avaliar a vulnerabilidade relativa à contaminação. Um mapa de suscetibilidade também foi elaborado, baseado no uso do solo e no mapa de índice de vulnerabilidade.

A metodologia do estudo é baseada no método DRASTIC, porém sem fazer uma análise da recarga do aquífero e de condutividade hidráulica. De acordo com Kabbour et al. (2006), o sistema DASTI/GIS é composto de duas partes: elaboração de unidades mapeáveis, chamados de cenário hidrogeológico; e aplicação de um esquema numérico que ranqueia os fatores hidrogeológicos. O sistema de avaliação do método é baseado em três componentes (peso, alcance e classificação). Os parâmetros utilizados no cálculo do índice DASTI foram topografia do solo, litologia, zona saturada, gradiente hidráulico, distância da zona não-saturada (**Tabela 9**).

Tabela 9: Grau de Vulnerabilidade de acordo com diferentes parâmetros.

| Grau de Vulnerabilidade | Inclinação (%) | Litologia | Zona Saturada (m) | Gradiente Hidráulico (%) | Zona Vadosa (m) |
|--------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------------|------------------------|
| Muito baixo | >10 | Argilas e margas | >50 | <0,1 | >20 |
| Baixo | 5 – 10 | Areias argilosas | 30 – 50 | 0,3 – 0,1 | 10 – 20 |
| Moderado | 1 – 5 | Arenito | 10 – 30 | 0,5 – 0,3 | 5 – 10 |
| Alto | <1 | Calcário e arenito | <10 | >0,5 | <5 |

Fonte: Traduzido de Kabbour et al., 2006.

Um mapa de suscetibilidade à poluição da água subterrânea foi elaborado para a região, com base no grau de vulnerabilidade estipulado para a região e nas informações sobre o uso e ocupação do solo. As áreas mais vulneráveis à contaminação estão na Capital e em cidades industriais ao longo da rodovia que conecta Rabat a Kenitra, às margens do Rio Sebou. O método desenvolvido por Kabbour et al. (2006) mostrou-se consistente com os dados de qualidade da água nos poços de monitoramento. Dessa forma, é uma metodologia que pode ser utilizada para avaliar a suscetibilidade e vulnerabilidade de aquíferos em escala regional.

- ***Piedmont, Itália (Fabiatti et al., 2009)***

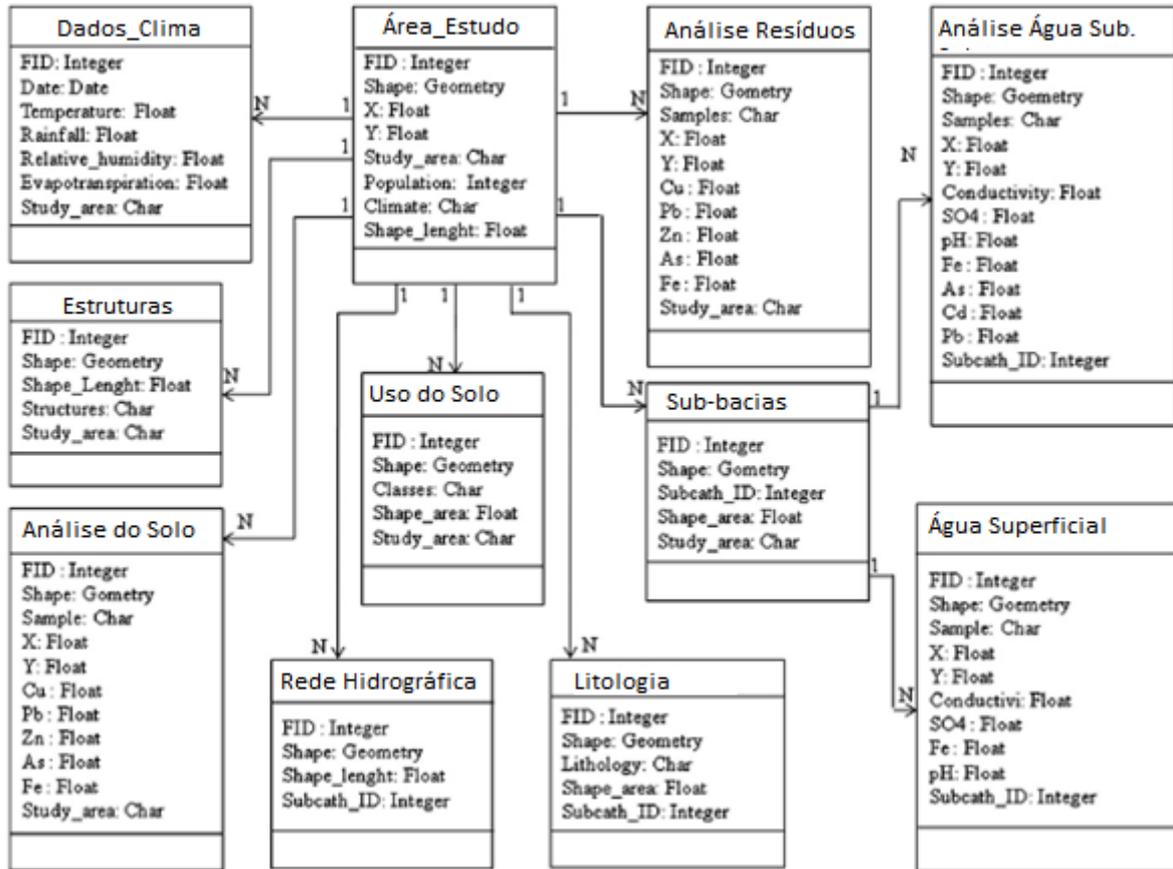
Nesse estudo a contaminação difusa em escala regional foi analisada, para uma gama de contaminantes, em um *grid* espacial de 18 x 18 km. Foram analisados compostos inorgânicos (Cd, Cr, Ni, Pb, Cu, Zn) e orgânicos [dibenzodioxinas policloradas (PCDD), bifenilas policloradas (PCBs) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs)], em uma região densamente industrializada e com intensa agricultura. Amostras de solo foram coletadas em diferentes profundidades, em diferentes pontos dentro da área de 25.400 km². Os resultados obtidos foram espacializados com auxílio de softwares de geoprocessamento. A metodologia de análise espacial não é apresentada no trabalho. Os compostos orgânicos foram encontrados em áreas naturais, apontando para uma contaminação difusa de longo alcance, ao passo que contaminantes inorgânicos estavam mais presentes em regiões de plantações, tendo assim, um menor alcance de contaminação. Compostos como PCBs, PAHs, PCDDs e o Chumbo apresentaram grande variabilidade vertical, confirmando a origem antropogênica e

sua grande afinidade com a matéria orgânica presente no solo. Os outros compostos estudados foram identificados como de presença natural no solo.

- *Mina de Kettara, Marrocos (Khalil et al., 2014)*

A mina de Kettara está localizada próxima de Marrakech, em Marrocos. A contaminação do solo, da água subterrânea na região, degradação da vegetação, destruição de habitat são causadas pela acidificação resultante dos efluentes da mina. O impacto da antiga atividade da mina foi avaliado pela criação e elaboração de um banco de dados ambiental, incluindo dados multidisciplinares relacionados com geoquímica, hidroquímica, hidrologia, cobertura do solo, geologia e climatologia. O modelo do banco de dados é apresentado na **Figura 11**. Foram utilizados dados da área de estudo, do clima, das análises dos efluentes, análises do solo, análises de água superficial e subterrânea, cobertura do solo, bacias hidrográficas, litologia e hidrografia. Os dados levantados foram importados para o ArcCatalog (ArcGIS®). A partir dos dados já importados, técnicas geoestatísticas foram utilizadas para a elaboração de mapas de variação espacial dos poluentes considerados no estudo. A metodologia do presente estudo mostrou-se eficiente para estimar a extensão da poluição ambiental em minas abandonadas. Os resultados também mostram a relevância da integração de dados multidisciplinares para avaliar contaminações pontuais e extensas.

Figura 11: Diagrama de relações do Banco de Dados Ambientais.



Fonte: Adaptado de Khalil et al., 2014.

Não foram encontrados artigos e trabalhos nacionais com esse escopo nas bases de artigos da *Science Direct*, *Scopus* ou *Scielo*. A busca dos termos “contaminated sites” AND “GIS” AND “regional scale” na base de dados do *Scopus* encontrou apenas 15 artigos a partir de 2002. Dentre os países de publicação, destacam-se Itália, Estados Unidos e Alemanha.

Os estudos apresentados mostram a capacidade de aplicação de técnicas de geoprocessamento para a avaliação e interpretação de plumas de contaminação, vulnerabilidade de aquíferos, suscetibilidade do solo à contaminação por determinados compostos, entre outros estudos geoambientais. Para o presente estudo, pretende-se elaborar uma metodologia baseada nos casos anteriormente apresentados, para a avaliação da contaminação difusa da região do Projeto Eixo Tamanduatehy, em Santo André-SP.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir são apresentadas as metodologias para as etapas do trabalho, desde o levantamento de dados, a sistematização dos mesmos, a elaboração de mapas regionais e por fim a análise e integração dos resultados.

5.1 Levantamento de Dados

Dados geográficos do município de Santo André e parâmetros geoambientais foram levantados junto à Prefeitura Municipal de Santo André (PMSA), ao SEMASA, à Agência Nacional de Águas (ANA), ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM), ao Sistema Ambiental Paulista (DATAGEO), ao Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil do INPE (TOPODATA) e ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) entre 2016 e 2017. A **Tabela 10** apresenta uma lista dos arquivos do tipo *shapefile* e *raster* levantados juntos aos órgãos e agências ambientais. Todos os arquivos do tipo *shapefile* foram ajustados para o mesmo referencial geodésico, o SIRGAS 2000, do sistema de coordenadas UTM. Para arquivos da região do Estado de São Paulo, o fuso utilizado foi o 23 S. Dados da ANA, DATAGEO, CPRM, INPE e IBGE apresentam escalas menores (1:250.000, 1:1.000.000 e 1:5.000.000), enquanto os dados da PMSA e SEMASA possuem escalas maiores, com maior detalhamento da região (1:20.000 e 1:50.000).

A planilha do levantamento de áreas contaminadas cadastradas pela CETESB (referentes à 2017 disponível no site da CETESB) foi consultada, e as localizações dessas áreas foram digitalizadas com auxílio do software livre QGIS versão 2.14 *Essen*. Das áreas localizadas no município de Santo André, foram selecionadas as ACs da região do PET. Com base nessa lista de ACs localizadas dentro da área do PET (na época apenas o levantamento referente à 2015 estava disponível), um ofício foi elaborado, solicitando as vistas dos processos de licenciamento ambiental dessas ACs, junto à CETESB (disponível no **Anexo A**). O ofício foi protocolado junto à CETESB em junho de 2016. A resposta afirmativa à solicitação foi obtida após cerca de oito semanas do envio do ofício. Uma data foi agendada para o início da consulta dos processos e obtenção de cópias fotográficas dos documentos. As consultas aos processos foram realizadas em dupla e acontecerem entre os meses de agosto e

dezembro de 2016 na Agência Ambiental I do ABC, em São Bernardo do Campo. Foram tiradas fotos dos processos e as versões digitais foram copiadas, quando disponíveis, uma vez que a CETESB não autoriza a saída dos documentos sem a presença de um responsável, não realiza cópias em papel e não permite a saída de cópias impressas.

Tabela 10: Síntese dos arquivos *shapefile* e *raster* levantados.

| <i>Arquivo Georreferenciado</i> | <i>Fonte de Informação</i> |
|---------------------------------|----------------------------|
| Uso e Ocupação do Solo | PMSA |
| Viário Urbano | PMSA |
| Altimetria | PMSA |
| Lotes com Contaminação | PMSA, SEMASA |
| Delimitação dos Lotes | PMSA |
| Limite do Município | PMSA |
| Zoneamento do Plano Diretor | PMSA |
| Limite do PET | PMSA |
| Hidrografia | ANA, DATAGEO, PMSA, SEMASA |
| Sistema Ferroviário | PMSA |
| Solos | IBGE |
| Modelo Digital de Elevação | INPE |
| Bacias Hidrográficas | ANA |
| Municípios Vizinhos | IBGE |
| Domínios Hidrogeológicos | CPRM |
| Litologia | CPRM |

Fonte: Elaborada pela autora.

5.1.1 Processos CETESB

Das 56 áreas solicitadas (por questão de incompatibilidade de endereços entre a CETESB e SEMASA, um número superior de áreas foi solicitado, sendo apenas 44 na área do PET – referentes a 2015 e 48 referentes a 2017), apenas 16 foram consultadas (**Figura 12** e **Tabela 11**), no prazo liberado pela CETESB, entre agosto e dezembro de 2016. Muitos processos não estavam disponíveis para consulta, por ainda estarem em andamento, ou por incompatibilidade de endereço. Os 16 processos não refletem a magnitude do problema em escala regional, porém já é um indicativo do que ocorre na região como um todo. Esses 16 processos apresentavam um imenso número de volumes dos processos, incluindo relatórios técnicos, laudos laboratoriais, análises químicas, mapas, pareceres técnicos da CETESB,

licenças de operação, entre outros. O processo do lote principal da UFABC também foi adicionado ao estudo, pois foi disponibilizado pelo grupo de pesquisa da UFABC (chamado de ID 17).

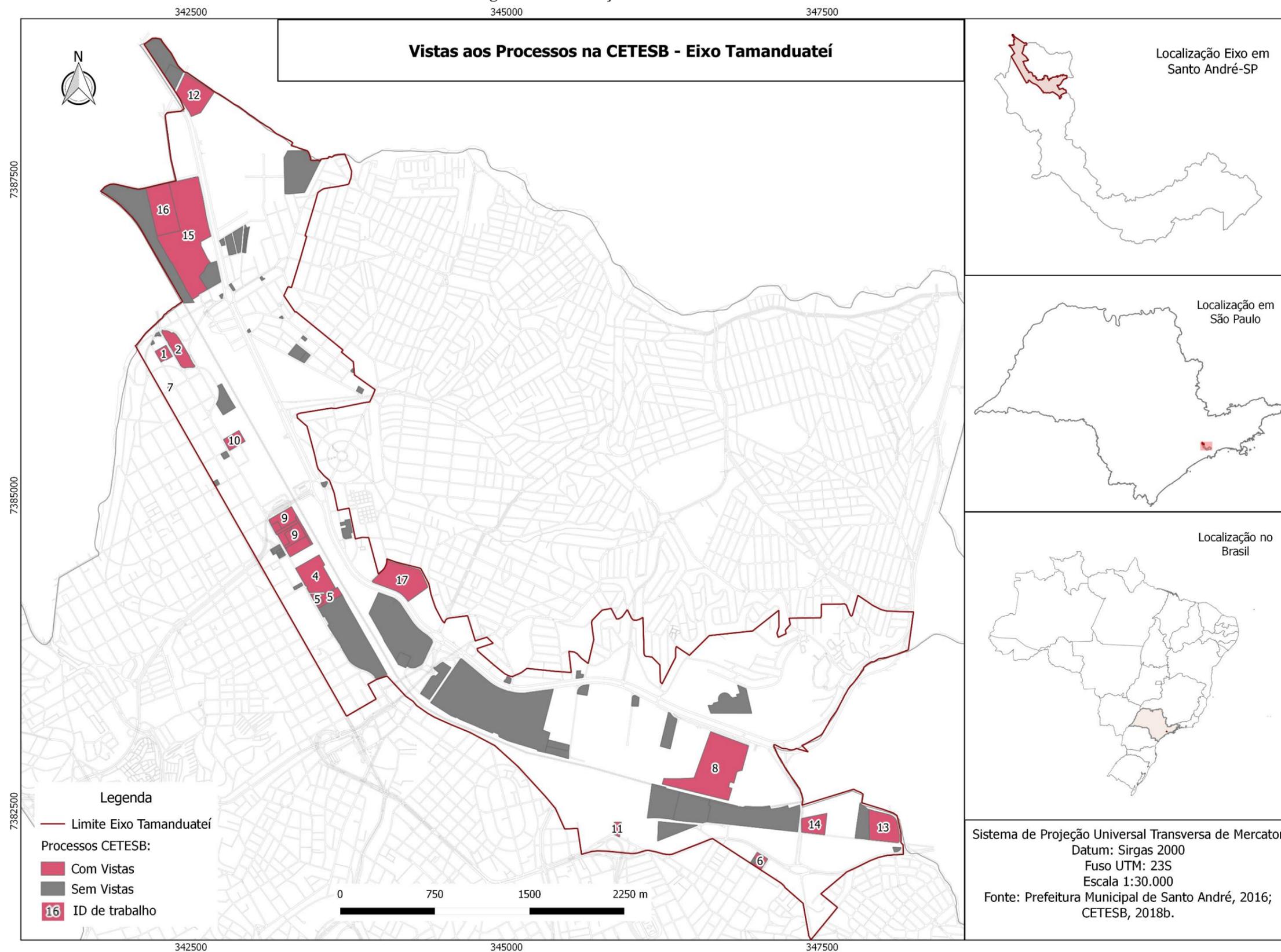
Tabela 11: Lista dos endereços das Áreas Contaminadas cujos processos foram consultados na CETESB.

| ID | Endereço da Área | Empreendimento do Processo |
|-----------|--|--|
| 1 | Av. Industrial, 3331 – Bairro Campestre | Kienast & Kratschmer Ltda (Kraki) |
| 2 | Av. Industrial, 3330 – Bairro Campestre | Ananguera Educacional Ltda (UniABC) |
| 3 | Av. Industrial, 1580 – Bairro Campestre | Lepus Even Empreendimentos Imobiliários |
| 4 | Av. Industrial, 900 – Bairro Jardim | Immobili Participações e Empreendimentos |
| 5 | Av. Industrial, 780 – Bairro Jardim | Horizon 11 Participações |
| 6 | Av. Capuava, 557 – Vila Homero Thon | MRV Engenharia e Participações |
| 7 | Rua dos Coqueiros, 1379 – Bairro Campestre | Auto Posto Pampo - Ipiranga |
| 8 | Av. dos Estados, 8500 – Parque João Ramalho | Walmart |
| 9 | Av. Industrial, 1740 – Bairro Jardim | Odebrecht - Cidade Viva |
| 10 | Av. Industrial, 2360 – Bairro Jardim | Actos Comércio Importação e Exportação |
| 11 | Av. Pedro Américo, 23 – Vila Homero Thon | Carrefour Comércio e Indústria |
| 12 | Av. dos Estados, 4826 – Parque Central | Akzo Nobel |
| 13 | Av. Alexandre de Gusmão, 1395 – Vila Homero Thon | Magneti Marelli COFAP Cia Fabricadora de Peças |
| 14 | Av. Alexandre de Gusmão, 865 – Vila Homero Thon | Paranapanema - Fábrica Capuava |
| 15 | Rua Felipe Camarão, 500 – Bairro Utinga | Paranapanema – Fábrica Utinga |
| 16 | Rua Felipe Camarão, 414 – Bairro Utinga | Novelis do Brasil |
| 17 | Rua Santa Adélia, 166 – Vila São Pedro | Universidade Federal do ABC – Campus I |

Fonte: Elaborada pela autora.

Os atuais usos do solo dos lotes dos 17 processos foram analisados por fotografias tiradas durante visitas de campo, realizadas no dia 31 de março de 2018. Essas visitas foram apenas para a verificação do atual uso do solo, olhando a partir dos limites externos dos lotes. Todos os lotes foram visitados, com exceção dos IDs 07, 08 e 11 (postos de combustíveis) que não foram avaliados a fundo, sendo observada a vizinhança e a presença ou não de poços de monitoramento externos aos terrenos.

Figura 12: Localização das ACs consultadas na CETESB.



Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados da PMSA (2016).

Os 17 processos da CETESB apresentavam um grande volume de informações, sobre todas as fases do GAC. Entretanto, o foco das consultas foi extrair informações relevantes à formação de áreas com contaminação difusa. As variáveis que foram analisadas e filtradas dos relatórios para serem alimentadas à base de dados se referem basicamente a: profundidade do lençol freático; hidrogeologia; contaminantes; uso e ocupação do solo; litologia e solos; confinamento do aquífero; e o levantamento climatológico. Abaixo, detalha-se a justificativa da escolha destes parâmetros.

- **Hidrogeologia, lençol freático e aquífero**

Conhecer a profundidade do lençol freático é de extrema importância quando se estuda contaminação de solos, pois indica o nível d'água e a localização das águas subterrâneas. Quanto mais distante da superfície for o lençol freático, menor a vulnerabilidade do aquífero, ao passo que quanto mais próximo da superfície, maior a chance de mobilidade dos contaminantes. Para a escolha dos dados de profundidade do lençol freático, preferiu-se dados do mesmo período de meses para todos os processos, separando em dois períodos climáticos, o seco e o úmido. Conhecendo previamente o clima de região, optou-se por dados referentes aos meses com características climatológicas e hidrológicas próximas, para diminuir ao máximo os “ruídos” causados pelo uso de dados secundários. Assim, deu-se preferência pelos meses de maio a outubro (Seco/Frio) e novembro a abril (Úmido/Quente) dos anos de 2010 a 2015.

Os aquíferos são os responsáveis pelo armazenamento e transporte de águas subterrâneas. Segundo a CPRM (2018), existem três tipos de aquíferos, classificados de acordo com pressão das águas nas superfícies dos aquíferos e que, portanto, define seu confinamento. São eles:

- *Livre ou não confinado*: aquele cujo limite superior é a superfície de saturação ou freático, onde se encontra em contato com a pressão atmosférica.
- *Confinado*: aquele em que a pressão da água em seu topo é maior do que a pressão atmosférica. Em função das camadas limítrofes pode ser definido como: confinado não drenante e confinado drenante. O não drenante ocorre quando as camadas limítrofes são impermeáveis, ao passo que o aquífero drenante pelo menos uma das camadas limítrofes é semipermeável.
- *Suspensão*: é formado por uma camada impermeável ou semipermeável que nem armazena ou transmite água, sendo um caso especial do aquífero livre.

Conhecer o tipo de aquífero ao qual o terreno está inserido é imprescindível para determinação da contaminação difusa em uma região, pois ele indica como ocorre o movimento da água. Aquíferos confinados possuem baixa vulnerabilidade à contaminação, enquanto que os livres podem possuir alta vulnerabilidade.

No que também tange a hidrogeologia, um dos principais pontos levantados foram os domínios hidrogeológicos, que são resultado do agrupamento de unidades geológicas com afinidades hidrogeológicas, tendo, principalmente, as mesmas características litológicas (BONFIM, 2010). Para tanto, nem sempre foi possível encontrar estes dados dos relatórios arquivados na CETESB, fazendo com que o uso de mapas e cartas geológicas do CPRM (escala de 1:2.500.000) fossem utilizadas para a caracterização dos mesmos.

- **Solos e litologia**

O solo tem a capacidade de atuar como um filtro para os contaminantes e impurezas nele depositado. Esta capacidade é limitada e pode se alterar dependendo da qualidade do solo e do efeito cumulativo da deposição de poluentes atmosféricos, resíduos sólidos industriais e urbanos, dentre outros contaminantes (CETESB, 2001).

Em função das características do solo, a água que se infiltra atravessa os diferentes substratos horizontais. As águas subterrâneas se encontram nas zonas saturadas do solo e, portanto, o que ocorre no solo afeta as águas subterrâneas e conseqüentemente ameaçam a qualidade dos recursos hídricos (MCCARTHY; ZACHARA, 1989).

Como é de extrema importância que se conheça o solo da região de estudo para determinar áreas com contaminação difusa, na base de dados, os tipos de solo encontrados são especificados de acordo com o poço de monitoramento existente, uma vez que o solo no terreno varia irregularmente.

Solos com maior capacidade de atenuação natural são menos propensos à contaminação difusa. Dentre a atenuação natural, destacam-se os processos de diluição, volatilização, biodegradação, adsorção e reações químicas dos contaminantes com o solo e a matéria orgânica do mesmo. Sendo assim, solos com maior capacidade de atenuação natural como argilas tem uma menor vulnerabilidade à contaminação, e conseqüentemente, menor contribuição para contaminação difusa.

Os perfis estratigráficos de cada processo foram analisados, buscando pontos em comum entre os mesmos, como camadas com mesmas características. Alguns relatórios apresentavam a caracterização do solo a partir da superfície de maneira integrada para todas as sondagens. A análise e interpretação dessas informações foram divididas para três trechos,

Alto, Médio e Baixo PET (divisões em relação ao sentido do rio Tamanduateí), na busca de agrupar lotes com características similares.

A condutividade hidráulica do solo também é um parâmetro de extrema importância para os estudos de movimentação de água no solo. É um parâmetro que determina a capacidade de drenagem do solo, sendo um indicador utilizado no estudo de transporte de poluentes pelo solo. É uma medida que depende das propriedades tanto do meio poroso como da água. Nesse trabalho, optou-se por não avaliar esse parâmetro, que poderia ser extraído dos relatórios dos processos da CETESB, uma vez que pode ser mensurado tanto in situ como no laboratório, e que foram apresentados valores muito específicos para pequenas porções do território. Sendo assim, por ser um parâmetro muito detalhado para pequenos trechos da área de estudo, optou-se por não ser levado em consideração nesse estudo, por não ser possível avaliar informações nessa escala de detalhes tão aprofundada. Como o trabalho foca na escala regional, optou-se por não interpretar parâmetros de condutividade hidráulica e permeabilidade para trechos específicos.

A litologia, por sua vez, está associada à rocha “mãe” que origina o solo. Quando se estuda contaminação de solos, Fritzsons et al (2001) ressaltam a importância de saber do aspecto litológico da região, uma vez que este pode apresentar diferentes suscetibilidades relacionadas à poluição. Em outras palavras, o tipo de rocha influencia diretamente na migração de diversos poluentes. Dados sobre a litologia da região foram obtidos tanto dos relatórios técnicos como das cartas geológicas da CPRM, com escala 1:5.000.000.

- **Contaminantes**

Os contaminantes analisados nesta pesquisa podem ser separados em dois grupos: os metais e os COV. Esta separação se deu, pois, as características de transporte de ambos são diferentes. Estudar a concentração destes contaminantes é importante no estudo de contaminação difusa, onde é preciso determinar a velocidade com que os mesmos se movem nas zonas saturadas e não-saturadas do solo e, portanto, estimar a contaminação de uma região (MCCARTHY; ZACHARA, 1989).

Buscaram-se as concentrações dos contaminantes (metais e COV) na água subterrânea e no solo que ultrapassavam os valores orientadores da CETESB. Esses dados foram divididos em dois períodos, estação seca e chuvosa. Os dados planilhados foram os mais atuais que estavam disponíveis nos processos, que continham as coordenadas geográficas dos pontos de coleta da amostra.

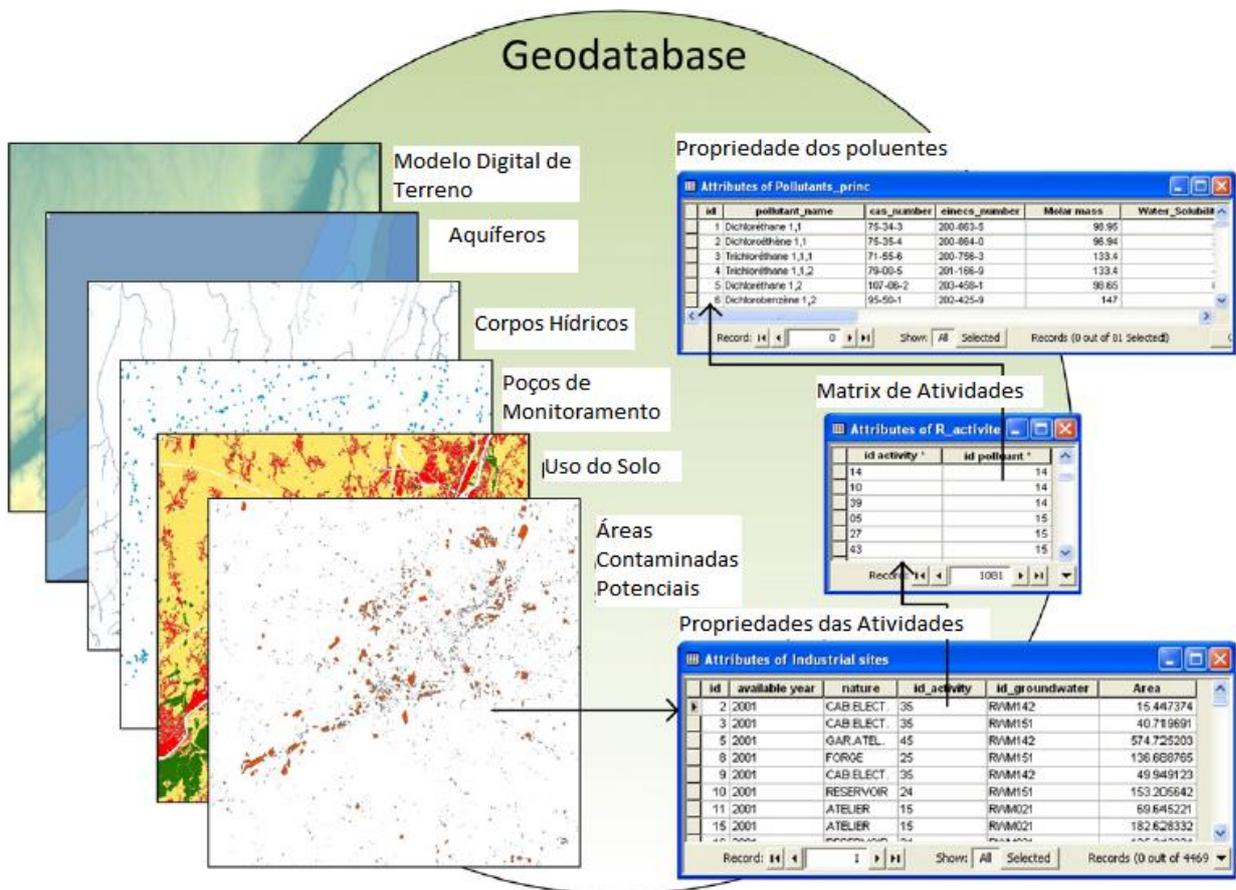
- **Uso e ocupação do solo**

Uma das principais fontes que acarretam a contaminação difusa está relacionada com o uso e/ou desuso do solo, que acontecem por fatores socioeconômicos e antrópicos. Portanto, quando se estuda contaminação difusa, é imprescindível que se saiba qual o tipo de uso o solo é destinado, bem como o tipo de uso ao qual ele serviu. Por isso, um dos parâmetros analisados na base de dados é o tipo de uso do solo. Os relatórios apresentavam todo o histórico de uso dos lotes. Para essa pesquisa, só foram utilizadas o uso atual do solo e o uso que causou a contaminação da área.

5.2 Sistematização das Informações

Uma base de dados regional foi criada, utilizando o conceito de *geodatabase* com o esquema *source-pathway-receptor* (SPR) (DASSARGUES et al., 2012; MARCOMINI et al., 2014). Esse esquema é utilizado para armazenar e gerenciar informações e dados georreferenciados necessários para a abordagem regional. O primeiro módulo reuniu informações das áreas contaminadas pontuais cadastradas na CETESB, ou seja, dados secundários extraídos de sites, planilhas, relatórios ambientais, prefeitura municipal e agências ambientais. De acordo com Dassargues et al. (2012), é utilizado para caracterizar a natureza dos poluentes, tamanho e localização das áreas com contaminação. O módulo *pathway* organizou os dados sobre o ambiente físico, como hidrogeologia, solos, hipsometria, parâmetros geológico-geotécnicos dos perfis estratigráficos dos poços de monitoramento, sentido do fluxo subterrâneo, entre outras informações. Por fim, o módulo *receptor* reuniu as informações de receptores potenciais, no caso sendo água subterrânea, superficial e sedimentos da região de estudo, além do uso e ocupação da área. A **Figura 13** apresenta um modelo de organização típica de uma *geodatabase*, com informações sobre os três módulos descritos a cima. Com essa *geodatabase*, montada de forma simplificada, foi avaliada a capacidade de prever e identificar a possível existência de áreas com contaminação difusa, a partir dos dados levantados nas etapas anteriores. Esse levantamento foi importantíssimo para a caracterização hidrogeológica e da contaminação local, a fim de se poder visualizar regionalmente a gravidade do problema, e estabelecer relações entre as diferentes áreas contaminadas.

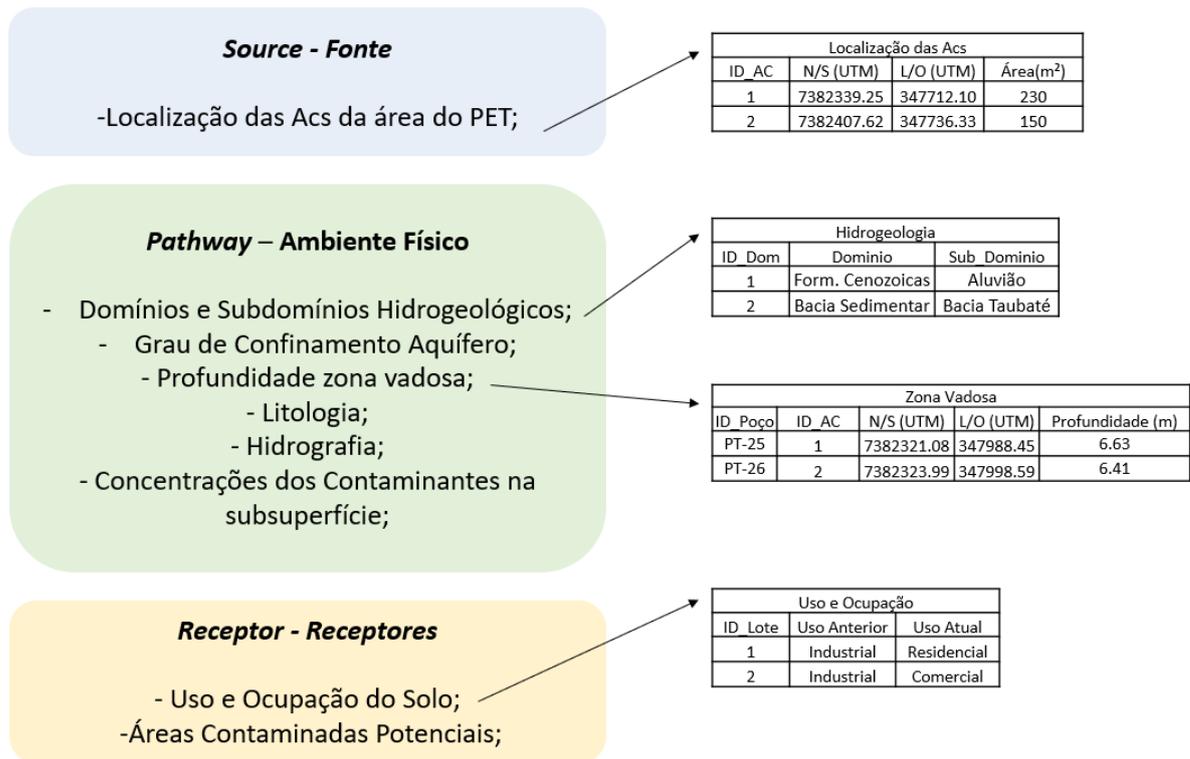
Figura 13: Modelo de organização típica de uma *Geodatabase*.



Fonte: Adaptado de Dassargues et al., 2012.

A **Figura 14** é o modelo conceitual da *Geodatabase* criado, com os três módulos descritos anteriormente, assim como os tipos de informação para cada módulo, e ainda um modelo de planilha georreferenciada para cada informação. Uma planilha com os dados obtidos nas consultas dos processos foi elaborada, como primeira fase da construção da base de dados (**Apêndice A**). Essa planilha foi construída para facilitar e agilizar a coleta dos dados dos processos, sendo assim, uma precursora da base de dados final. A **Figura 15** é um resumo das informações colocadas nessa planilha.

Figura 14: Modelo Conceitual da *Geodatabase* criada.



Fonte: Elaborada pela autora.

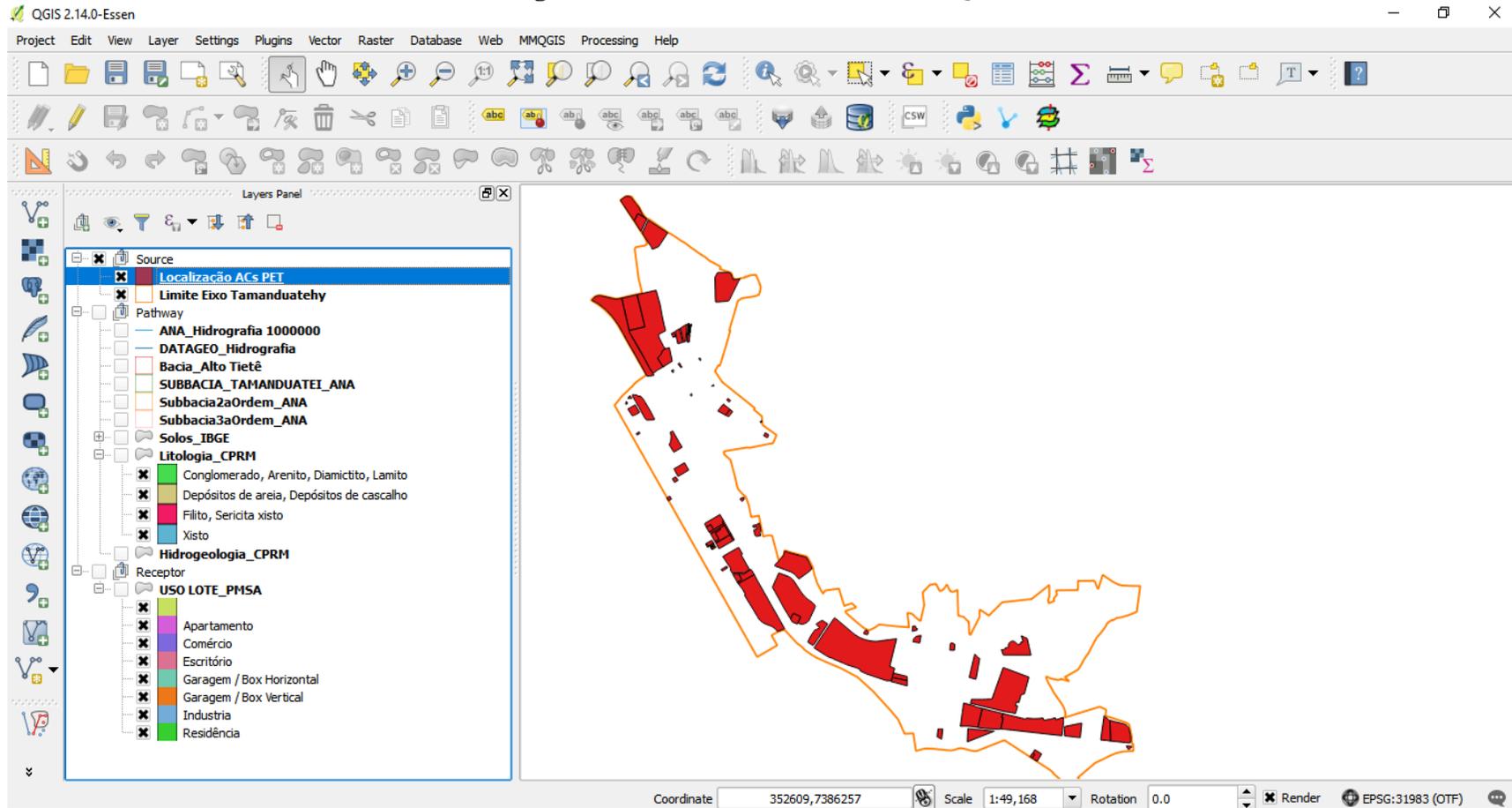
Os dados da planilha descrita na **Figura 15** foram reestruturados de forma a serem compatíveis com a *geodatabase* e os três módulos do mesmo, podendo assim, serem georreferenciados juntamente com as informações geográficas anteriormente descritas na **Tabela 10**. A *geodatabase* foi criada no software de geoprocessamento QGIS, versão 2.14 *Essen*, de 2016. A **Figura 16** ilustra a *geodatabase* criada com as informações levantadas e sistematizadas nas etapas anteriores divididos nos três módulos, *source*, *pathway* e *receptor*.

Figura 15: Resumo da planilha construída para coleta de dados das vistas dos processos na CETESB.

| HIDROGEOLOGIA | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| ID_Processo | No Processo | Endereço AC | | Fase GAC | ID Poço | Domínio Hidrogeológico | | Subdomínio | Unidade Hidrogeológica | | |
| ZONA VADOSA | | | | | | | | | | | |
| ID_Processo | No Processo | Endereço AC | Relatório utilizado (período) | Fase GAC CETESB DEZ 2016 | ID Poço | Coordenada N/S (UTM m) | Coordenada L/O (UTM m) | Profundidade d'água(m) Inverno | Data amostragem Inverno | Profundidade d'água (verão) | Data amostragem verão |
| LITOLOGIA | | | | | | | | | | | |
| ID_Processo | No Processo | Endereço AC | | Fase GAC | | ID Poço | Tipo Litológico Predominante | | | | |
| SOLO | | | | | | | | | | | |
| ID_Processo | No Processo | Fase GAC | | ID Poço | Primeira Camada de Solo | Profundidade (m) | Segunda Camada de Solo | | Profundidade (m) | | |
| CONFINAMENTO | | | | | | | | | | | |
| ID_Processo | No Processo | Endereço AC | | Fase GAC | ID Poço | Grau Confinamento Aquífero | | Tipo de Aquífero | Velocidade Média (m/ano) | Vazão | |
| CONTAMINANTES A - METAIS E OUTROS | | | | | | | | | | | |
| ID_Processo | No Processo | Fase GAC | | ID Poço | Contaminante | Concentração estação fria (µg/L) | Concentração estação quente (µg/L) | Contaminante | Concentração estação fria (µg/L) | Concentração o estação quente (µg/L) | |
| CONTAMINANTES B - COV | | | | | | | | | | | |
| ID_Processo | No Processo | Fase GAC | | ID Poço | Contaminante | Concentração estação fria (µg/L) | Concentração estação quente (µg/L) | Contaminante | Concentração estação fria (µg/L) | Concentração o estação quente (µg/L) | |
| USO E OCUPAÇÃO DO SOLO | | | | | | | | | | | |
| ID_Processo | Nº Processo | Endereço AC | | Fase GAC | ID Poço | Empresa | Ramo Industrial | Antigo Uso | Uso Atual | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 16: Geodatabase sistematizada no QGIS.



Fonte: Elaborada pela autora.

5.2.1 Organização, Escolha e Mapeamento dos Dados dos Processos

Nesse trabalho, somente dados secundários foram utilizados. Nenhuma amostragem de água subterrânea, superficial, sedimentos ou de solo foi realizada. Sendo assim, durante a pesquisa, grande parte dos dados disponibilizados nos relatórios da CETESB tiveram que ser espacializados (digitalizados a partir das coordenadas espaciais), como a localização dos poços de monitoramento, a carga hidráulica e as concentrações dos contaminantes.

As coordenadas dos poços de monitoramento presentes das ACs do PET foram obtidas a partir das consultas aos processos junto à CETESB. Por questões de autorização de entrada nos lotes contaminados, não foi possível adquirir as coordenadas geográficas *in situ* para todos os poços de monitoramento dos 17 processos consultados. Sendo assim, foram necessárias a extração e padronização dessas coordenadas geográficas em caráter regional. Em muitos casos, as coordenadas desses poços não estavam presentes nos relatórios na forma de tabela, impossibilitando o uso de muitos dados dos relatórios. Por os mapas apresentados nesses relatórios apresentarem diferentes sistemas geodésicos, a extração das coordenadas a partir dos mapas não é precisa. Sendo assim, somente foram utilizados os dados dos poços de monitoramento que continham as coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) em forma de tabela, ou seja, apenas 8 dos 17 processos analisados.

Após a criação da base de dados universal, as informações referentes aos poços de monitoramento foram separadas das demais informações, para a criação de um arquivo georreferenciado a partir das coordenadas dos pontos. Foram selecionadas as informações das coordenadas UTM Leste/Oeste (X) e Norte/Sul (Y), ID do poço, número de identificação do processo (de 1 a 17) e dados coletados dos relatórios referentes à profundidade do lençol freático (N.A.) na estação seca e chuvosa. A **Tabela 12** ilustra como esses dados foram organizados. Um arquivo em formato *.csv* (*comma-separated values*) foi salvo, compatível com o software QGIS.

Tabela 12: Resumo da planilha construída para levantamento das coordenadas geográficas dos poços de monitoramento existentes nos processos consultados.

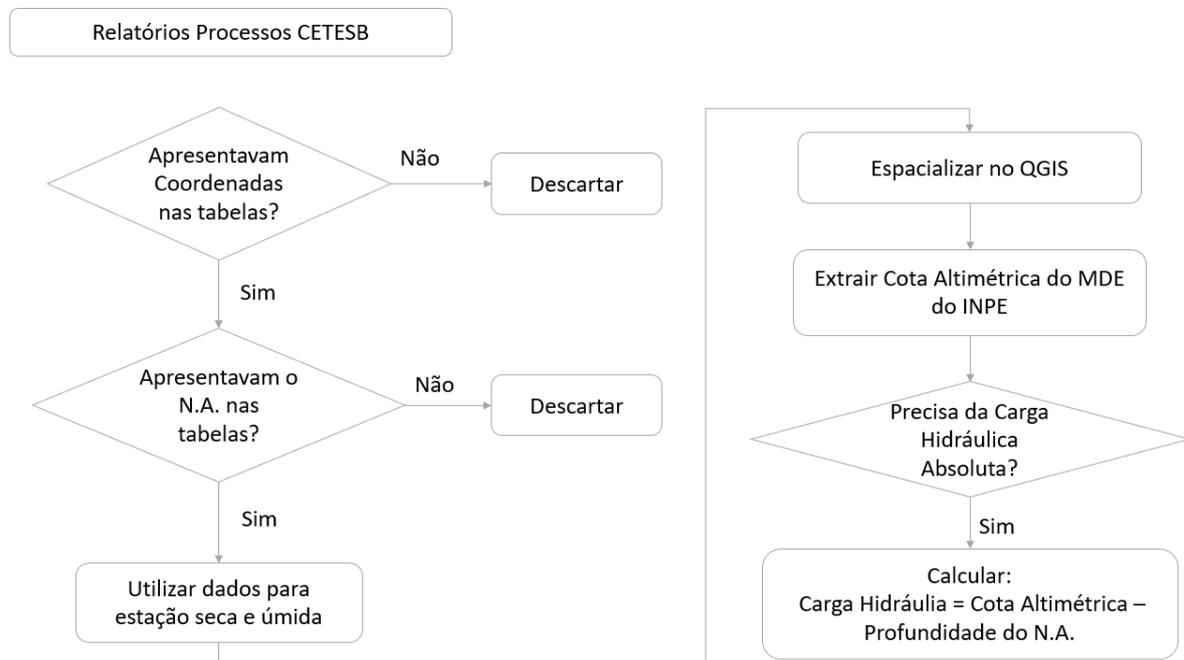
| Coordenada X (m) | Coordenada Y (m) | ID Poço | ID Processo | Nível d'água(m) |
|------------------|------------------|---------|-------------|-----------------|
| 342.228 | 7.386.014 | PM-01 | 1 | 4,46 |
| 342.299 | 7.386.049 | PM-02 | 1 | 1,81 |
| 342.210 | 7.386.128 | PM-03 | 1 | 1,57 |

Fonte: Elaborada pela autora.

Esses dados de coordenadas geográficas foram espacializados no QGIS, gerando um arquivo *shapefile* (vetor) de pontos. Foi possível obter a altitude (coordenada espacial Z) padronizada para a região dos mesmos a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com o mesmo referencial para toda a região. As quadrículas 23S48 e 23S465 de escala 1:250.000 foram utilizadas para a região do PET. Uma vez unidas, as quadrículas serviram de base para a extração da altitude dos poços de monitoramento. Essa extração foi realizada pelo *plugin* “*Point Sampling Tool*” do QGIS. Os dados de altitude foram então incorporados à base de dados. Vale ressaltar que o MDE do INPE foi feito a partir do *Shuttle Radar Topography Mission*, com uma resolução espacial de 1 arco-segundo (30 m), portanto não apresenta uma resolução muito alta para a área de estudo.

Para a elaboração do mapa potenciométrico, foi necessário subtrair o valor da profundidade do nível d’água da cota altimétrica, obtendo assim, a carga hidráulica absoluta padronizada para todos os poços de monitoramento ao longo do Eixo Tamanduateí. Todos os procedimentos descritos acima estão resumidos no fluxograma da **Figura 17**.

Figura 17: Fluxograma para obtenção de coordenadas espaciais X, Y e carga hidráulica.



Fonte: Elaborada pela autora.

Para a obtenção das concentrações dos contaminantes de interesse na água subterrânea, os mesmos poços de monitoramento com informações das coordenadas espaciais X e Y foram

utilizados. Para cada processo, foram extraídas as concentrações dos contaminantes de interesse (definidos no item 5.3) dos relatórios de monitoramento de qualidade geoambiental mais recentes disponibilizados pela CETESB. Priorizaram-se os dados referentes às coletas realizadas na estação chuvosa, porém em alguns processos o mesmo não foi possível, por falta de dados, como aqueles de ID 14 e 15. A **Tabela 13** apresenta as datas das coletas das amostras de água subterrânea para o estudo das concentrações dos contaminantes para cada um dos processos. Ressalta-se que todos os dados de concentração foram extraídos de relatórios de monitoramento, sendo que a maioria das áreas estava em processo de monitoramento para encerramento (AME), apenas algumas estavam em processo de remediação (ACRe).

Tabela 13: Informações sobre os dados de concentração dos contaminantes de interesse utilizados.

| ID Processo | Data Coleta de Amostras | Etapa do GAC |
|--------------------|--------------------------------|---------------------|
| 1 | Novembro de 2014 | ACRe |
| 5 | Março de 2013 | AME |
| 6 | Abril de 2011 | AME |
| 9 | Fevereiro de 2013 | AME |
| 10 | Abril de 2015 | AME |
| 14 | Agosto de 2014 | ACRe |
| 15 | Agosto de 2011 | ACRe |
| 17 | Setembro de 2015 | AME |

Fonte: Elaborada pela autora.

5.3 Elaboração de Mapas Regionais

Mapas de fluxo subterrâneo, de isolinhas de concentração, de síntese de parâmetros geoambientais e de suscetibilidade à contaminação foram elaborados para o PET. Com base nos dados obtidos, sugeriu-se uma divisão na área do PET em três trechos, o Alto PET, Médio PET e Baixo PET (**Figura 18**), visto que a distribuição espacial das ACs consultadas não é homogênea ao longo do Eixo, dificultando assim, uma análise geoestatística dos mesmos. Sendo assim, todas as informações referentes aos poços de monitoramento dos processos da CETESB foram separadas em Alto, Médio e Baixo PET, a partir da localização dos mesmos.

As substâncias químicas analisadas foram definidas após análise dos dados levantados junto aos 17 processos de cada AC cadastrada, que apresentaram concentrações acima dos valores orientadores estipulados pela CETESB (2016b), ou que causam riscos à saúde humana, com base nos estudos de avaliação risco apresentados para cada área, ou ainda,

aqueles cuja pluma de contaminação tendem a ultrapassar os limites do terreno investigado. A **Tabela 14** e **Tabela 15** apresentam os compostos com maiores concentrações encontrados nos processos, segundo Santos (2017). Destacam-se o Bário, Níquel, Chumbo, BTEX, Cloreto de Vinila e Clorofórmio.

Tabela 14: Concentrações máximas de COV encontradas.

| Contaminante | Concentração máxima (µg/L) | | Valor de referência CETESB, 2016b (µg/L) |
|-------------------|----------------------------|----------------------|--|
| | Estação fria/seca | Estação quente/úmida | |
| Benzeno | 2.472,5 | 1.948,0 | 5,0 |
| Tolueno | 35.618,0 | 37.760,4 | 700,0 |
| Etilbenzeno | 2.891,0 | 6.126,5 | 300,0 |
| Xilenos | 10.384,9 | 5.422,7 | 500,0 |
| Cloreto de Vinila | 8.853,0 | 200,0 | 300,0 |
| Clorofórmio | 2.240,9 | 200,0 | 300,0 |

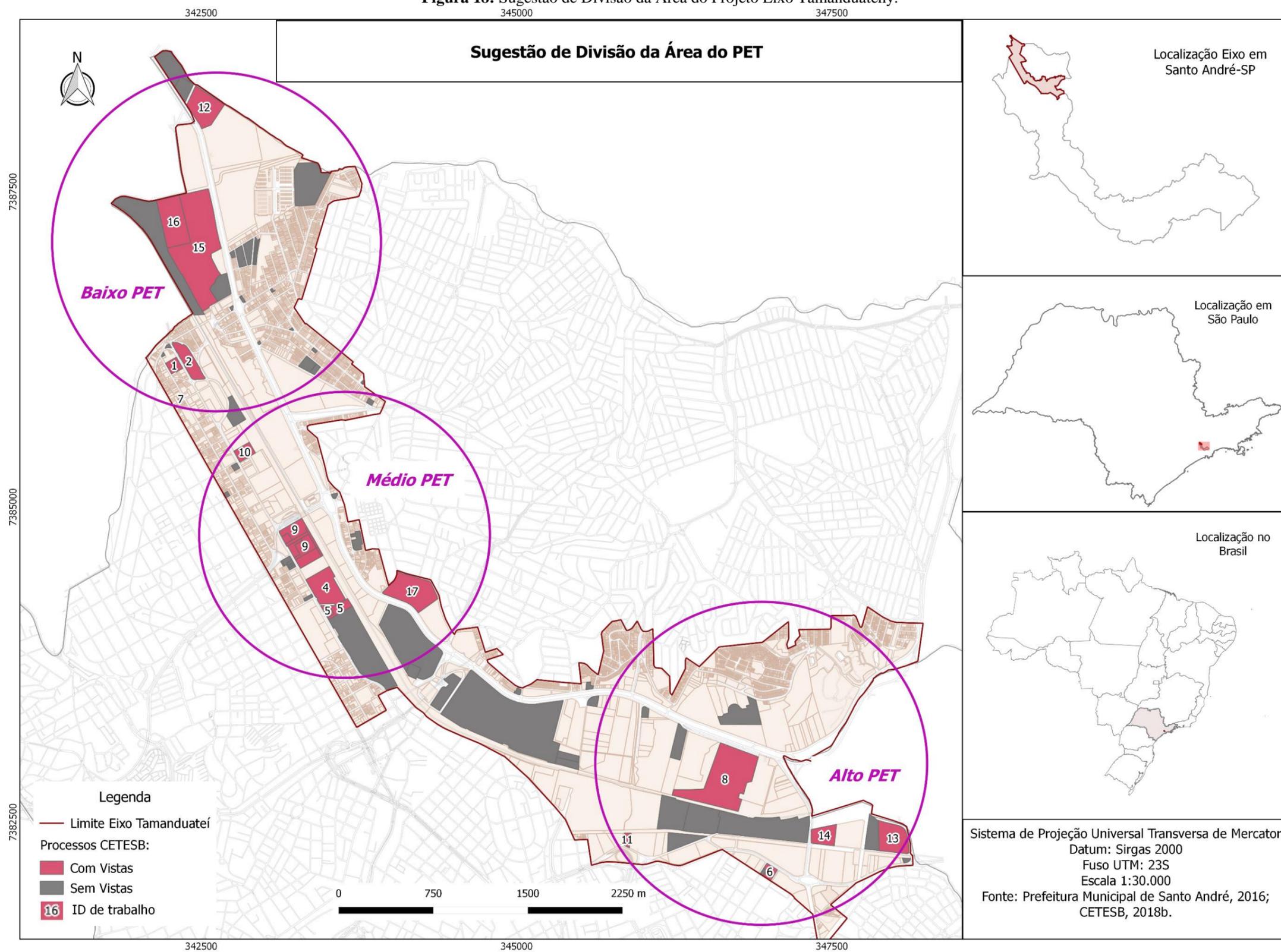
Fonte: SANTOS, 2017.

Tabela 15: Concentrações máximas de Metais encontradas.

| Contaminante | Concentração máxima (µg/L) | | Valor de referência CETESB, 2016b (µg/L) |
|--------------|----------------------------|----------------------|--|
| | Estação fria/seca | Estação quente/úmida | |
| Bário | 1.542,0 | 1.509,2 | 700,0 |
| Chumbo | 630,0 | 141,0 | 10,0 |
| Cobre | 6.108,0 | 15.695,0 | 2.000,0 |
| Níquel | 3.773,0 | 2.186,0 | 70,0 |
| Zinco | 4.404,0 | 6.307,0 | 1.800,0 |

Fonte: SANTOS, 2017.

Figura 18: Sugestão de Divisão da Área do Projeto Eixo Tamanduatehy.



Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados da PMSA (2016).

5.3.1 Fluxo Subterrâneo

Mapas de fluxo subterrâneo ou também chamados de mapas potenciométricos são representações espaciais da carga hidráulica de uma região, obtida a partir dos níveis estáticos de poços de monitoramento. Além das cargas hidráulicas, os mapas potenciométricos ainda apresentam o sentido do fluxo subterrâneo e sua relação com os recursos hídricos superficiais, que são pontos onde o nível d'água atinge a superfície.

Como dito anteriormente, os dados das profundidades do nível d'água da região, extraídos dos 17 processos consultados na CETESB, foram separados em duas estações: a Seca (inverno/outono) e a Úmida-Chuvosa (verão/primavera). Os poços que estavam com informações faltantes não foram considerados para a geração do mapa de fluxo subterrâneo. Após a seleção dos dados já separados entre as duas estações, estes foram divididos entre as três áreas sugeridas, Alto, Médio e Baixo PET. Para cada uma das áreas, dois mapas de fluxo subterrâneo foram gerados (Estação Seca e Úmida). Os dados tabelados foram importados para o software **Surfer**®, versão 15 de 2018. Uma vez salvos no programa, um GRID espacial foi montado, a partir do método geoestatístico padrão sugerido pelo *Surfer*, o método de *Kriging*. Com o GRID espacial já montado, mapas de contorno foram gerados a partir das coordenadas geográficas X, Y e Z (nesse caso o Z se refere à carga hidráulica absoluta).

Para a análise em escala regional do PET, alguns pontos foram adicionados aos observados nos relatórios, pela falta de dados disponíveis ao longo do Eixo como um todo. Esses pontos adicionados são referentes à cota do rio Tamandateí e seus afluentes que foram obtidas a partir do MDE do INPE para a região. Desta forma, o modelo geoestatístico analisou também os pontos onde o nível d'água subterrânea aflora na forma de córregos e rios.

Algumas condições de contorno foram estabelecidas a fim de simplificar a elaboração dos mapas potenciométricos:

- As profundidades do lençol freático encontradas nos processos foram consideradas como sendo de uma mesma campanha de monitoramento, mesmo sendo dados de meses e anos diferentes;
- Assumiu-se que as profundidades do nível d'água obtidos dos relatórios tenham o mesmo referencial, a superfície do terreno;
- As coordenadas geográficas apresentadas nos relatórios foram consideradas com o *datum* WSG84, padrão do *Google Earth*, sendo posteriormente transformadas para o *datum* Sirgas 2000;
- Admitiu-se o fluxo da água subterrânea como unidimensional e horizontal;

- Assumiu-se que a cota altimétrica obtida através do MDE seja a mesma que a carga hidráulica nas duas estações (seca e úmida) para os córregos e rios do Eixo.

Essas condições de contorno e diferentes escalas de trabalho podem gerar “ruídos” nos mapas. Esses “ruídos” podem ser considerados como pequenos erros, como a má espacialização dos dados. As possíveis fontes de “ruídos” nos mapas potenciométricos estão relacionadas às condições de contorno descritas acima, aos limites do *software Surfer*, as próprias condições de contorno do método geoestatístico padrão do *Surfer*, a qualidade dos dados de coordenadas espaciais dos poços de monitoramento, à escala de detalhamento do arquivo de hidrografia utilizado para obtenção da cota altimétrica dos córregos e rios da região e principalmente ao detalhamento do MDE do INPE, que pode não representar a altimetria da região de forma precisa.

5.3.2 Isolinhas de Concentração

Da mesma forma que os mapas de fluxo subterrâneo, os mapas de isolinhas de concentração apresentam os mesmos valores de concentração para um determinado contaminante. São mapas que indicam plumas de contaminação, mostrando as regiões com maiores concentrações, e as regiões com menores concentrações.

Como dito anteriormente no item 5.2.1, as concentrações de alguns compostos de interesse foram extraídas dos relatórios de monitoramento da qualidade geoambiental dos 17 processos da CETESB. Dentre os compostos de interesse, priorizou-se o Bário, Chumbo, Níquel, Cloreto de Vinila e Clorofórmio, visto que os outros compostos da **Tabela 14** e **Tabela 15** não apresentaram valores acima dos limites de quantificação laboratorial nos relatórios mais recentes disponibilizados.

Da mesma forma que os mapas de fluxo subterrâneo, os dados das coordenadas espaciais X e Y, e os valores de concentração dos compostos (coordenada Z) foram plotados com o auxílio do *software Surfer*, através do modelo geoestatístico *Kriging*. Os dados foram separados conforme a divisão sugerida (Alto, Médio e Baixo PET). O arquivo com as isolinhas de concentração gerados no *Surfer* foram então exportados para o QGIS, para serem sobrepostos com outros *layers*. Os mapas das Isolinhas de Concentração foram elaborados no QGIS, com a sobreposição das isolinhas de concentração, os poços de monitoramento utilizados na geração das isolinhas e os limites dos lotes do entorno da área.

Para a elaboração dos mapas de isolinhas de concentração, algumas condições de contorno foram estabelecidas, para simplificar a montagem dos mesmos:

- As coordenadas geográficas apresentadas nos relatórios foram consideradas com o *datum* WSG84, padrão do *Google Earth*, sendo posteriormente transformadas para o *datum* Sirgas 2000;
- As concentrações dos contaminantes encontradas nos processos foram consideradas como sendo de uma mesma campanha de monitoramento, mesmo sendo dados de meses e anos diferentes;
- As concentrações dos poços de monitoramento que estavam abaixo dos limites de quantificação laboratorial (<LQ) foram considerados como sendo o menor valor do limite, por exemplo, 0,1µg/L;

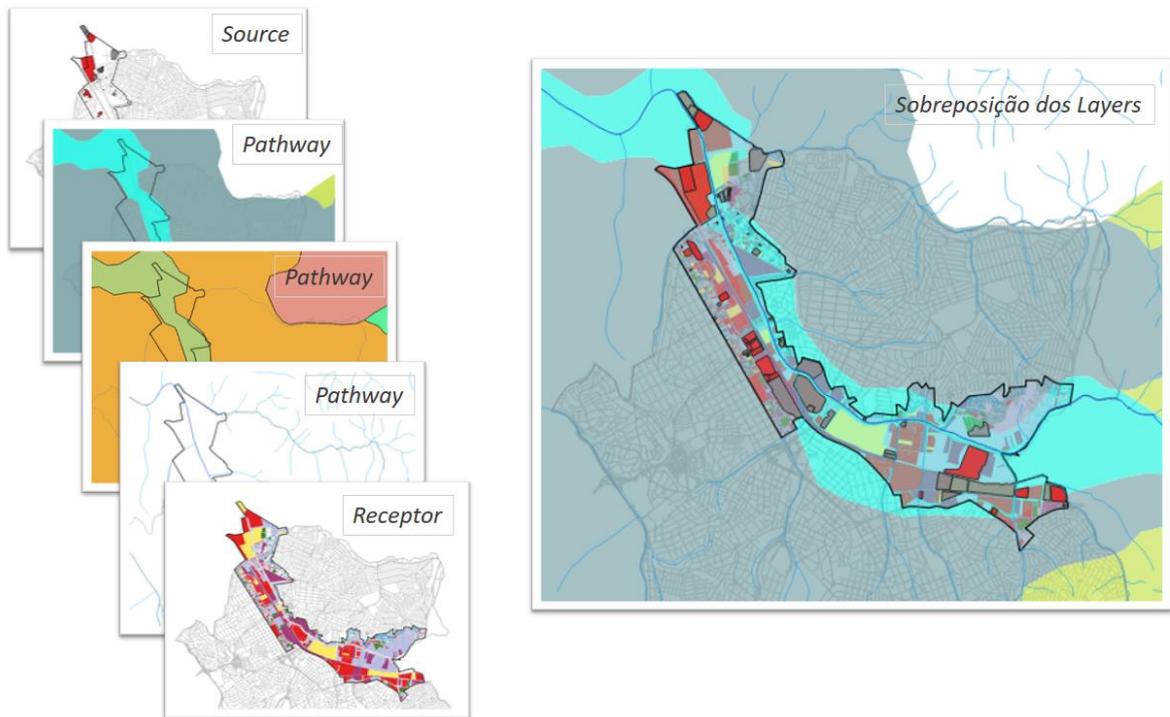
As fontes de “ruídos” nos mapas de isolinhas de concentração estão principalmente relacionadas às condições de contorno e à precisão das coordenadas geográficas disponibilizadas nos processos. Da mesma forma que os ruídos descritos para os mapas potenciométricos, há também os limites do próprio método geoestatístico de interpolação e *gridding*.

5.3.3 Síntese Parâmetros Geoambientais do PET

O mapa síntese dos parâmetros geoambientais foi elaborado pela sobreposição de *layers* dos principais parâmetros geoambientais (**Figura 19**), sem considerar as áreas contaminadas da região. Os *layers* sobrepostos foram:

- Domínio e Subdomínio Hidrogeológico – Escala 1:2.500.000;
- Litologia – Escala 1:2.500.000;
- Curvas de nível – Escala 1:250.000;
- Hidrografia – Escala 1:50.000;
- Lotes – Escala 1:50.000.

Figura 19: Esquema indicativo de sobreposição de *Layers*.



Fonte: Elaborada pela autora.

Os possíveis “ruidos” desse mapa estão relacionados às diferentes escalas de detalhamento dos parâmetros geoambientais. Os limites espaciais dos domínios e subdomínios hidrogeológicos, da litologia e das curvas de nível podem não ser significativos quando observados em grandes escalas.

5.3.4 Suscetibilidade à Contaminação

Os mapas de suscetibilidade à contaminação foram elaborados para dois grupos de contaminantes principais: metais e solventes halogenados. De forma geral, analisou-se: a proximidade com a fonte de contaminação; as informações disponibilizadas na listagem de ACs Cadastradas da CETESB (disponível anualmente no site da CETESB), como as matrizes ambientais contaminadas e a existência de contaminação para fora do lote cadastrado; a declividade média do terreno; a direção e sentido do fluxo da água subterrânea; a profundidade média do lençol freático; e o substrato litológico. Uma escala de avaliação foi elaborada para os dados disponíveis para a região, com base nos métodos de avaliação de vulnerabilidade natural da água subterrânea GOD (Foster e Hirata, 1988) e DRASTIC (Aller et al., 1987). Para essa análise, não foram utilizadas informações extraídas dos 17 processos

consultados na CETESB, apenas parâmetros geoambientais e informações gerais sobre as áreas contaminadas da região de influência do PET.

Um índice de suscetibilidade à contaminação foi calculado, com base nos valores estipulados na **Figura 20**. Um lote próximo à uma fonte de contaminação que tenha contaminação para fora do seu lote e que tenha diversas matrizes ambientais contaminadas, em um terreno de baixa declividade, no sentido preferencial do fluxo subterrâneo, com baixa profundidade do nível d'água subterrânea, em um solo aluvial, apresenta uma alta suscetibilidade; enquanto que um lote não vizinho à uma fonte de contaminação apresenta baixa suscetibilidade à contaminação. O valor máximo desse índice é 115 (soma dos valores máximos para cada parâmetro, A, B, C, D, E, F), enquanto que o mínimo é 36. Esse índice é apenas um indicativo, baseado principalmente na localização dos lotes onde há contaminação confirmada e nos parâmetros geoambientais da região estudada.

As condições de contorno para a criação desses mapas foram:

- ACs já reabilitadas para o uso (AR) também são consideradas possíveis fontes de contaminação, independente das concentrações atuais dos contaminantes presentes;
- Lotes próximos à ACs onde há uma contaminação externa ao lote possuem um risco maior de estarem contaminadas;
- Lotes próximos à ACs onde diversas matrizes ambientais foram contaminadas também apresentam um risco maior de contaminação, especialmente se a água subterrânea estiver contaminada;
- Regiões com baixa declividade apresentam maior vulnerabilidade à contaminação. A região do Eixo Tamandateí está localizada na várzea do rio Tamandateí, que é uma região relativamente plana. Assim, a declividade não é um fator determinante para o cálculo do índice de suscetibilidade;
- O sentido do fluxo subterrâneo utilizado foi elaborado também com condições de contorno (descritas no item 5.3.1);
- A profundidade do nível d'água subterrâneo foi baseada na diferença entre as curvas de nível e as curvas equipotenciais dos mapas potenciométricos criados;
- O solo da região é muito variado, com a presença frequente de aterros nos primeiros metros de profundidade. Desta forma, assumiu-se que a região com subdomínio hidrogeológico de aluvião apresenta uma suscetibilidade um pouco

maior do que a região da Bacia Taubaté, principalmente pelo solo aluvial apresentar depósitos de areia e cascalho.

Os “ruídos” dos mapas de suscetibilidade gerados podem estar relacionados primeiramente com as escalas de detalhamento dos parâmetros geoambientais e com os próprios “ruídos” dos mapas potenciométricos (mencionados anteriormente). A falta de um mapeamento detalhado de solos superficiais na região do Eixo acaba induzindo a utilização de mapas de pequenas escalas, que podem não representar totalmente a realidade. A avaliação do grau de suscetibilidade à contaminação difusa a partir dos solos na região é extremamente prejudicada pela falta de valores de coeficientes de transporte nos relatórios técnicos.

Figura 20: Método elaborado para cálculo de suscetibilidade à contaminação.

| A - Fonte de Contaminação – AC cadastrada | |
|---|-------|
| Contaminação Lote | Valor |
| Dentro e Fora | 20 |
| Dentro | 10 |

| B - Fonte de Contaminação – AC cadastrada | |
|---|-------|
| Matrizes Contaminadas | Valor |
| Solo, água subterrânea e água superficial | 20 |
| Solo e água subterrânea | 15 |
| Água subterrânea | 10 |
| Solo superficial/Subsolo | 5 |

| C - Declividade Média | |
|-----------------------|-------|
| Intervalo | Valor |
| 0 – 4% | 20 |
| 4 – 8% | 15 |
| 8 – 15% | 10 |
| >15% | 5 |

| D - Fluxo água subterrânea | |
|--|-------|
| Direção e Sentido | Valor |
| Lote no sentido preferencial do fluxo | 20 |
| Lote perpendicular ao sentido do fluxo | 10 |
| Lote no sentido oposto do fluxo | 1 |

| E - Profundidade Média do NA | |
|------------------------------|-------|
| Intervalo | Valor |
| 0 – 2 m | 20 |
| 2 – 5 m | 15 |
| 5 – 10 m | 10 |
| >10 m | 5 |

| F - Substrato Litológico | |
|--------------------------|-------|
| Solo | Valor |
| Aluvial | 15 |
| Não-aluvial | 10 |

| ÍNDICE SUSCETIBILIDADE | |
|------------------------|---------------------------|
| Máximo | = 20+20+20+20+20+15 = 115 |
| Mínimo | = 10+5+5+1+5+10 = 36 |

| GRAU SUSCETIBILIDADE | |
|----------------------|---------|
| Alto | > 80 |
| Moderado | 40 - 80 |
| Baixo | < 40 |

Fonte: Elaborada pela autora.

5.4 Análise e Interpretação dos Resultados

Após a organização dos dados e criação de mapas regionais, buscou-se interpretar os mapas gerados em escala regional, visando delimitar áreas com possível contaminação difusa, a partir dos mapas de fluxo subterrâneo, de isolinhas de contaminação, de suscetibilidade à contaminação e uso e ocupação atual da área. Esse trabalho faz parte do Grupo de Pesquisa de Resíduos e Áreas Contaminadas (RESAC) da UFABC, cadastrado pelo CNPq. A mestrandia Roberlene Gonzales de Oliveira também desenvolveu uma dissertação no tema, intitulado

“Áreas Contaminadas na Região do Projeto Urbano “Eixo Tamanduatehy” e sua abordagem no Planejamento Urbano do Município de Santo André – SP”, orientada pelo Prof. Dr. Dácio Roberto Matheus e coorientada pela Prof^a. Dr^a. Giulliana Mondelli. Seu trabalho teve como objetivo principal compreender a dimensão e a implicação da existência das áreas contaminadas e de *brownfields* na área de estudo quanto ao uso do solo e planejamento ambiental e urbano, tendo em vista que a área escolhida tem como característica principal a mudança de uso de solo devido às transformações do ambiente construído, ligadas às questões sociais e econômicas da região. Trabalhos futuros podem interligar os resultados obtidos em ambas as dissertações, para uma interpretação geoambiental completa, com destaque para os usos futuros da área de influência do PET.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A região do Eixo Tamandateí apresenta diversas áreas contaminadas pelo uso industrial e comercial. A possibilidade de dispersão dos contaminantes para solo, água subterrânea, água superficial e até volatilização desses compostos é um risco tanto para o Meio Ambiente como para a população residente no entorno do Eixo.

Para melhor entender os riscos de contaminação do solo da região, os parâmetros geoambientais da área de estudo são apresentados, assim como informações sintetizadas do levantamento da CETESB e dos 17 processos analisados. São apresentados mapas de fluxo subterrâneo, de isolinhas de concentração, de síntese de parâmetros geoambientais, de suscetibilidade à contaminação e de contaminação difusa.

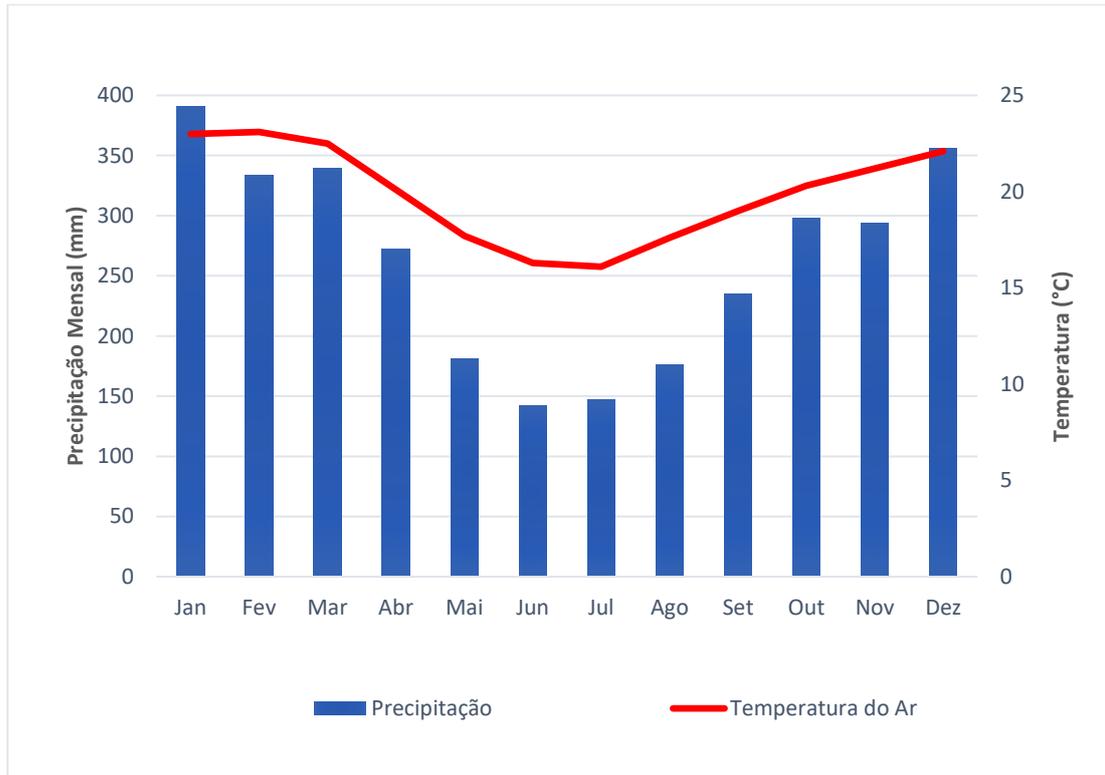
6.1 Parâmetros Geoambientais da Área de Estudo

O clima, hidrografia, hidrogeologia, litologia e pedologia, relevo e uso e ocupação do solo da área de estudo são apresentados a seguir.

6.1.1 Clima

O clima do município de Santo André é definido como subtropical úmido mesotérmico e de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger é do tipo Cfb (verões quentes e invernos amenos). A média de temperatura anual está em torno dos 19 °C, sendo julho o mês mais frio (média de 16 °C) e fevereiro o mês mais quente (média de 23 °C) (**Figura 21**).

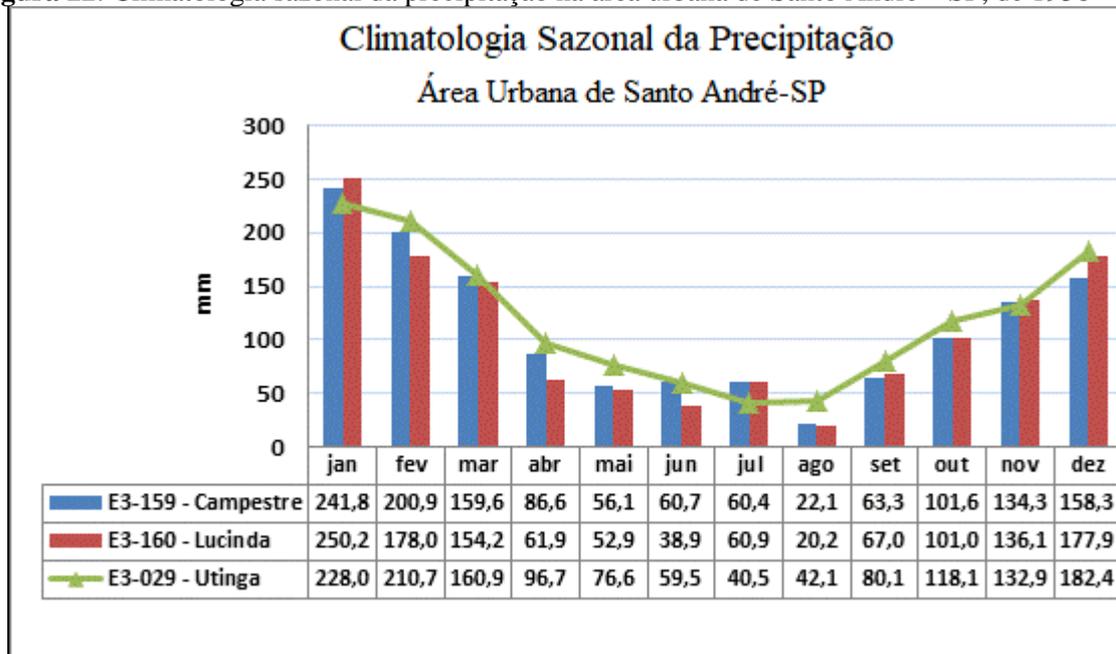
Figura 21: Climograma do Município de Santo André – SP, dados de 1988 a 2008.



Fonte: Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) UNICAMP, 2017.

A sazonalidade do município de Santo André é caracterizada por um período chuvoso e um seco. O período chuvoso (verão e primavera) apresenta totais mensais de precipitação acima de 100 mm, podendo chegar a 250 mm em janeiro. O período seco (inverno e outono) apresenta totais mensais de precipitação abaixo de 90 mm, chegando a 20 mm em agosto. O climograma da **Figura 22**, elaborado por Neves (2016), apresenta dados de três estações pluviométricas do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) no município de Santo André: *Campestre* – E3-159 – período de 2011 a 2015; *Lucinda* – E3-160 – período de 2011 a 2015; e *Utinga* – E3-029 – período de 1956 a 1993.

Figura 22: Climatologia sazonal da precipitação na área urbana de Santo André – SP, de 1956 – 2015.

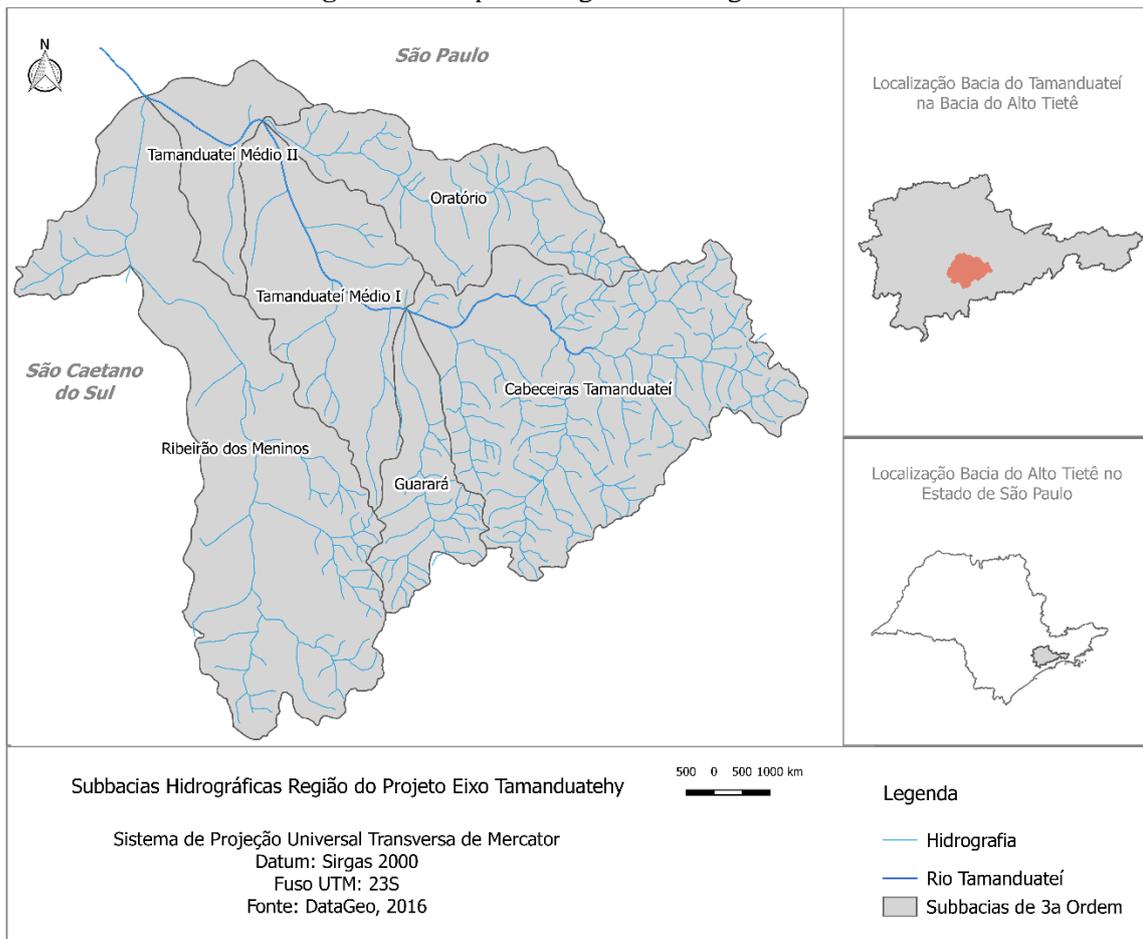


Fonte: NEVES, 2016.

6.1.2 Hidrografia

A região do PET está localizada no vale do Rio Tamanduateí, na Sub-bacia Tamanduateí Médio I (**Figura 23**). As nascentes do Rio Tamanduateí estão no Parque Ecológico Gruta Santa Luzia, no município de Mauá - SP, região da Serra do Mar. O rio passa pelos municípios de Mauá, Santo André, São Caetano do Sul e São Paulo, desaguando no Rio Tietê, com cerca de 35 km de extensão. Na região do PET, o Rio Tamanduateí tem uma declividade média de 0,25% (dado obtido com o uso do *Google Earth*). A bacia hidrográfica do Tamanduateí está localizada na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 6, e em grande parte, os cursos d'água dessa bacia são enquadrados na Classe 4 (águas que podem ser destinadas somente à navegação e harmonia paisagística), conforme Decreto Estadual 10.755 de 22 de novembro de 1977 (SÃO PAULO, 1977).

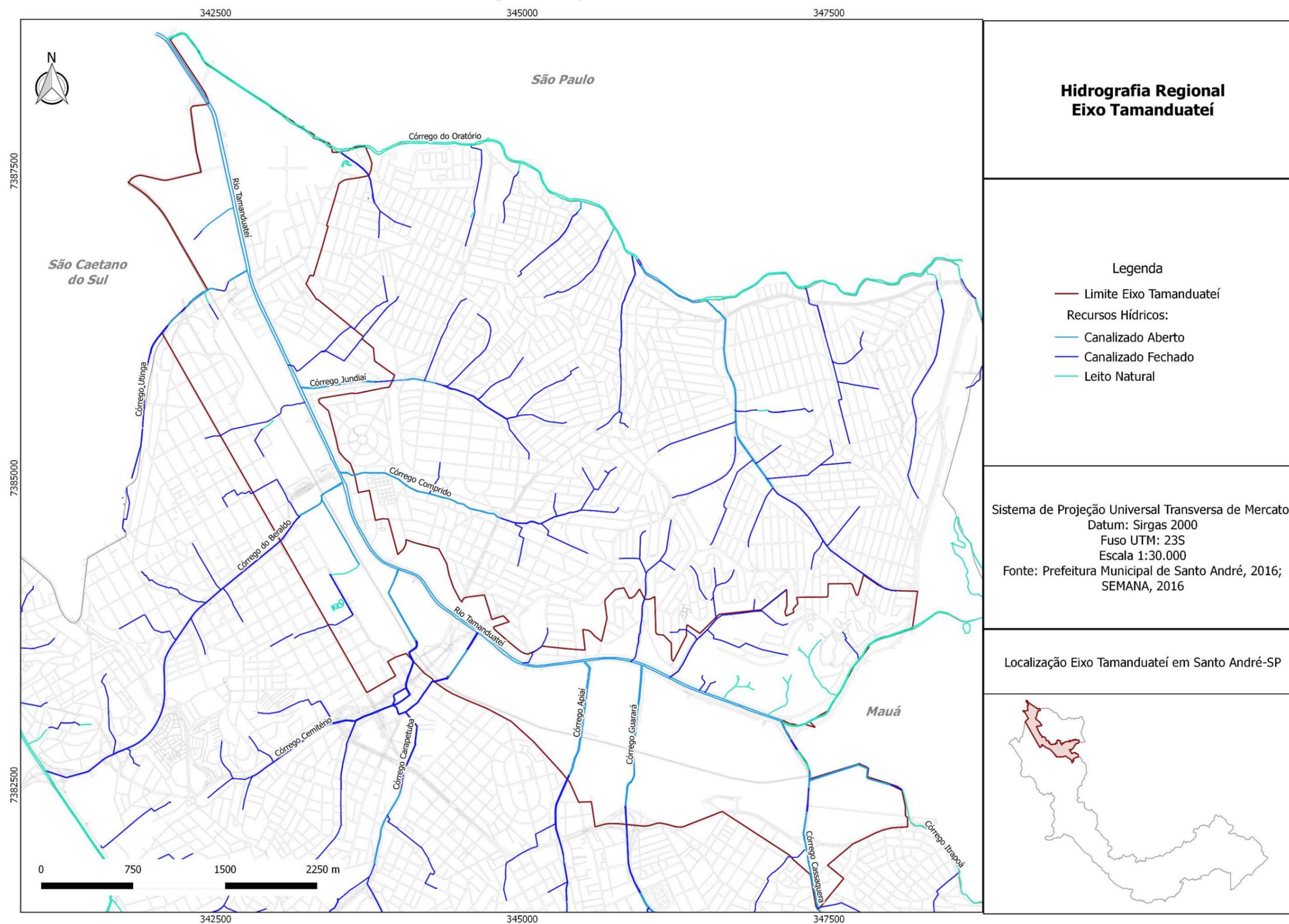
Figura 23: Mapa Hidrográfico da região do PET.



Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados do DATAGEO (2016).

Os principais afluentes da margem direita do rio Tamanduateí (**Figura 24**) são o Córrego Comprido e o Córrego Jundiáí, que cruzam a Vila Curuçá, Parque das Nações e bairro Santa Terezinha, e o Córrego do Oratório, que faz a divisa com o município de São Paulo. Os afluentes da margem esquerda do rio Tamanduateí são os córregos Itrapoá, Cassaquera, Guarará, Apiaí, Carapetuba, do Cemitério, do Beraldo e Utinga. Da mesma forma que os córregos da margem direita, esses córregos estão canalizados em sua totalidade, sendo aberto apenas nas proximidades do rio Tamanduateí (**Figura 24**). A canalização desses córregos tende a “impermeabilizar” suas margens, dificultando o transporte de contaminantes da matriz solo para a matriz água superficial. Entretanto, a superfície de contato entre o solo e as paredes/tubos das canalizações pode servir como uma via de transporte para os poluentes, podendo atingir regiões mais afastadas. Assim como o Rio Tamanduateí, esses córregos estão enquadrados como Classe 4 (CETESB, 2016b).

Figura 24: Mapa do rio Tamanduateí e seus afluentes.



Fonte: Elaborada pela autora com base nos dados do SEMASA (2016).

6.1.3 Hidrogeologia

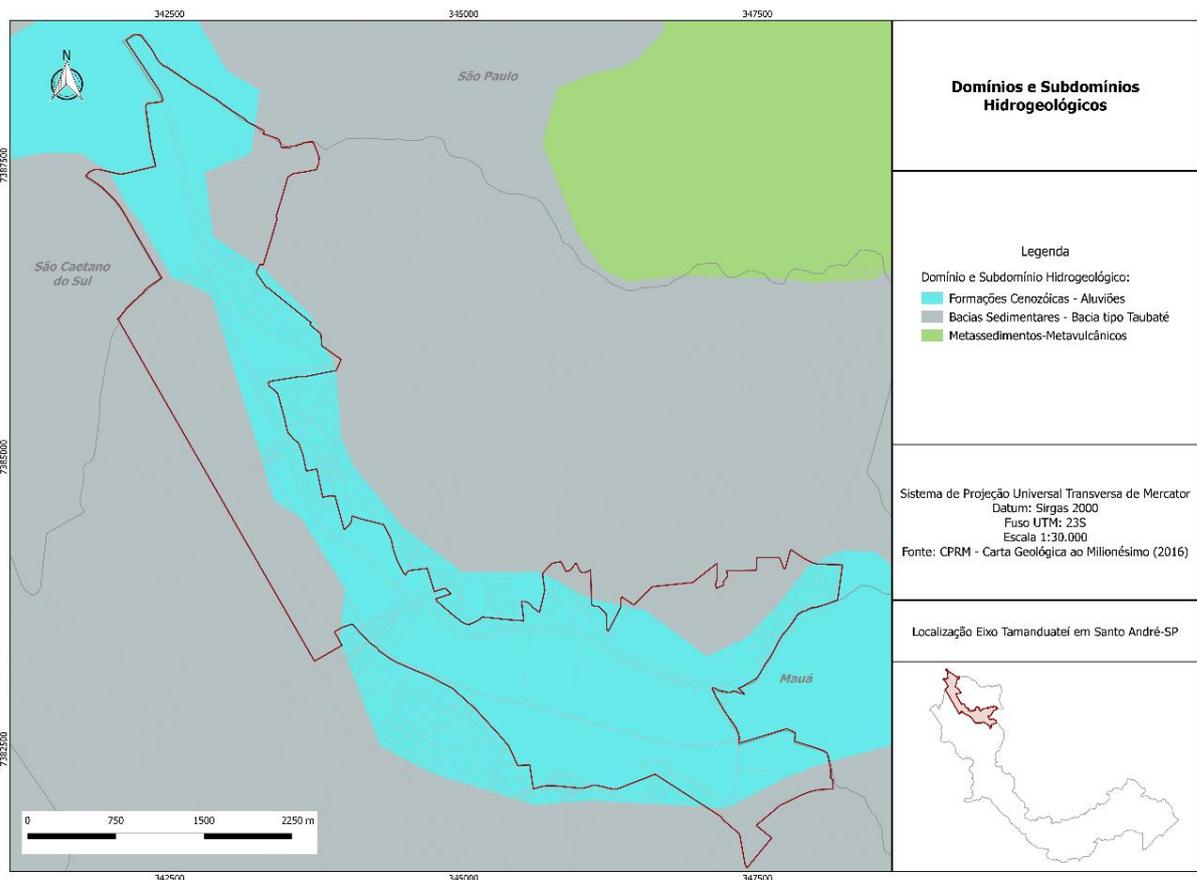
Em relação à hidrogeologia, a região do PET está inserida em grande parte no Domínio Formações Cenozoicas, subdomínio Aluviões e parcialmente no Domínio Bacias Sedimentares, subdomínio Bacia Tipo Taubaté (**Figura 25**). De acordo com a CPRM (2007), as Formações Cenozoicas têm um comportamento de aquífero poroso. Aluviões possuem favorabilidade hidrogeológica variável, no geral com pequena espessura. Litologicamente são representados por areias, cascalhos e argilas com matéria orgânica. Já as Bacias Sedimentares possuem alta favorabilidade para armazenamento de água subterrânea, constituindo importantes reservatórios, em decorrência da grande espessura de sedimentos e da alta porosidade/permeabilidade de suas litologias. A Bacia Tipo Taubaté é constituída litologicamente por arenitos, silitos, argilitos, conglomerados e calcários.

Segundo os relatórios de investigação detalhada dos processos das ACs na CETESB, a cidade de Santo André encontra-se predominantemente localizada sobre os Sistemas Aquífero Cristalino, Aquífero São Paulo e Aquífero Cenozóico. O Sistema Aquífero Cristalino é encontrado nas rochas do embasamento cristalino. O Aquífero São Paulo existente na área, ocorre sobre o Aquífero Cristalino, tem extensão regional limitada, é descontínuo, do tipo multicamada, semiconfinado ou livre, com transmissividade variável, de baixa a elevada. As rochas principais identificadas neste aquífero são sequências de arenitos e argilitos intercalados. Sobreposto a esse sistema, há o Aquífero Cenozóico, associado aos sedimentos da planície aluvial do rio Tamanduateí. Esse sistema apresenta litotipos variados, é um aquífero livre e poroso, em geral com nível d'água raso. Sobre este sistema aquífero, podem ocorrer ainda coberturas tecnogênicas (aterros), constituídas por diversos tipos de solo, além de resíduos de construção civil, que também permitem o armazenamento e escoamento das águas subterrâneas.

Analisando a vulnerabilidade natural dos subdomínios hidrogeológicos presentes na área do PET, é difícil mensurar a vulnerabilidade hidrogeológica baseada somente no confinamento e grau de porosidade. Ambos os domínios são porosos e de caráter livre, com alta vulnerabilidade à contaminação. Porém, analisando em conjunto com a litologia, a região da Bacia tipo Taubaté apresenta uma maior vulnerabilidade natural, pois possui alta porosidade/permeabilidade, é constituída litologicamente por arenitos e calcários, que apresentam maior vulnerabilidade (Foster e Hirata, 1988; Kabbour et. al, 2006), ao passo que a região de subdomínio Aluvião apresenta argilas com matéria orgânica, sugerindo uma maior capacidade de troca catiônica.

O gradiente hidráulico (razão entre diferentes cargas hidráulicas e a distância entre elas) para a margem direita do rio Tamandateí é cerca de 2%, enquanto que para a margem esquerda varia de 0,5 a 1%, ou seja, há um fluxo de água maior na margem direita do rio do que na margem esquerda. Essa diferença de gradiente hidráulico para o Eixo é compatível com o relevo, uma vez que a margem esquerda é levemente mais plana do que a margem direita.

Figura 25: Mapa dos Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos da região do PET.



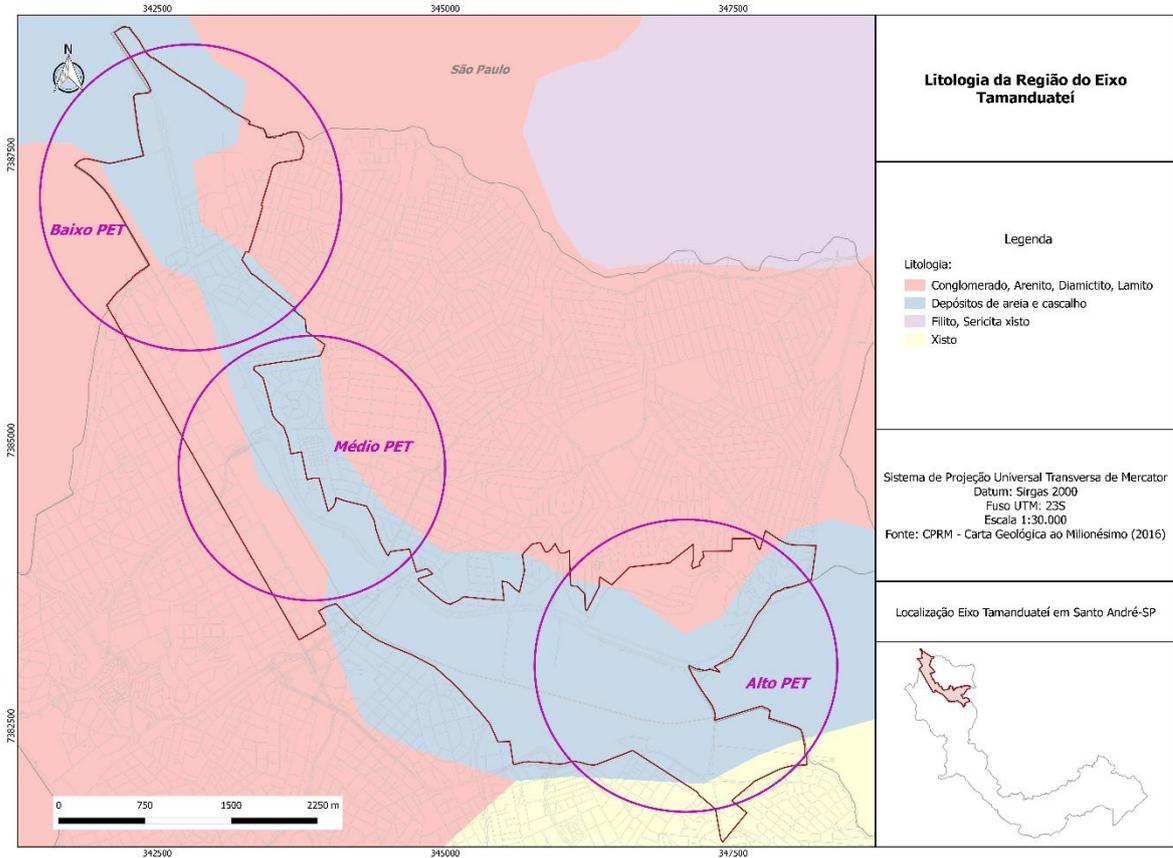
Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados da CPRM (2016).

6.1.4 Litologia e Pedologia

A disposição litológica da região segue o mesmo padrão dos subdomínios hidrogeológicos e das formações geológicas (**Figura 26**). Na área de aluvião, os solos são compostos por areias, argilas e cascalhos, sendo sedimentos quaternários inconsolidados, enquanto que na área da Bacia do tipo Taubaté os solos são derivados de argilitos e silitos, sendo sedimentos terciários da Formação Resende. Deve-se ressaltar que em diversas áreas dos processos levantados na CETESB apresentam aterros de solo, seja para aumentar o nível do terreno para evitar inundações, ou para terraplenagem. Na porção sul do município, são

encontradas rochas metamórficas do embasamento cristalino, caracterizadas como micaxistos, metarenitos, migmatitos, filitos e gnaisses graníticos do Complexo Embu, não abrangendo em grande parte a área do PET.

Figura 26: Mapa da Litologia da Região do PET.



Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados da CPRM (2016).

Com a análise aprofundada dos 17 processos das ACs cadastradas na CETESB, pode-se perceber que a estratigrafia predominante na região é composta de cinco a sete camadas principais. A primeira camada (Camada A) em quase a totalidade dos 17 casos é um aterro, composto por solo argilo-siltoso, caracterizado pela presença de entulhos. Sotopostos a camada de aterro, encontram-se camadas de argila (Camada B) intercaladas com camadas de siltes e areias (Camada C). A sequência litoestratigráfica caracterizada para a região é típica de ambientes deposicionais fluviais, com intercalações de níveis arenosos com níveis argilosos, com uma quantidade expressiva de matéria orgânica associada aos sedimentos argilosos (VITORINO et al., 2016). Essa sequência deposicional está diretamente relacionada à dinâmica do canal do Rio Tamanduateí, haja vista que a região do PET se encontra na várzea do Rio Tamanduateí. De maneira resumida e sintetizada, as camadas estratigráficas da região são:

- **Camada A - Aterro:** Aterro de solo argilo-siltoso marrom avermelhado a variegado, contendo quantidades variáveis de areia fina, com a presença de entulhos e resíduos de construção civil – Profundidade média de 0 a 3 metros;
- **Camada B – Sedimentos aluviareos – Fácies argilosa:** Argilas mais ou menos arenosas, frequentemente plásticas, por vezes orgânicas, de coloração marrom acinzentadas, em tons de cinza e preto, com presença frequente de matéria orgânica – Profundidade média de 1 a 5 metros;
- **Camada C – Sedimentos aluviareos – Fácies arenosa:** Areias mais ou menos argilosas, de coloração cinza clara a escura, com a frequente presença de seixos, cascalho e minerais como quartzo – Profundidade média de 2 a 5 metros;
- **Camada D – Sedimentos Bacia São Paulo:** Argilas arenosas, localmente siltosas, com camadas frequentemente plásticas, alternando com camadas de areias argilosas e camadas de areia de granulometria variável, com coloração muito variada, e espessuras variáveis – Profundidade média de 0,5 a 10 metros;
- **Camada E – Solo de alteração embasamento cristalino:** Siltes argilosos, micáceos, pouco plásticos, com cores variadas, com a presença de rocha alterada (xisto) – Profundidade média de 2 até o topo da rocha *mater*.

Das 17 ACs analisadas, as que se encontravam no subdomínio Bacia tipo Taubaté raramente apresentam camadas de argila. Em sua maioria, possuíam camadas siltosas e arenosas, por estarem mais distantes da várzea do Rio Tamanduateí e possuírem uma cota mais elevada.

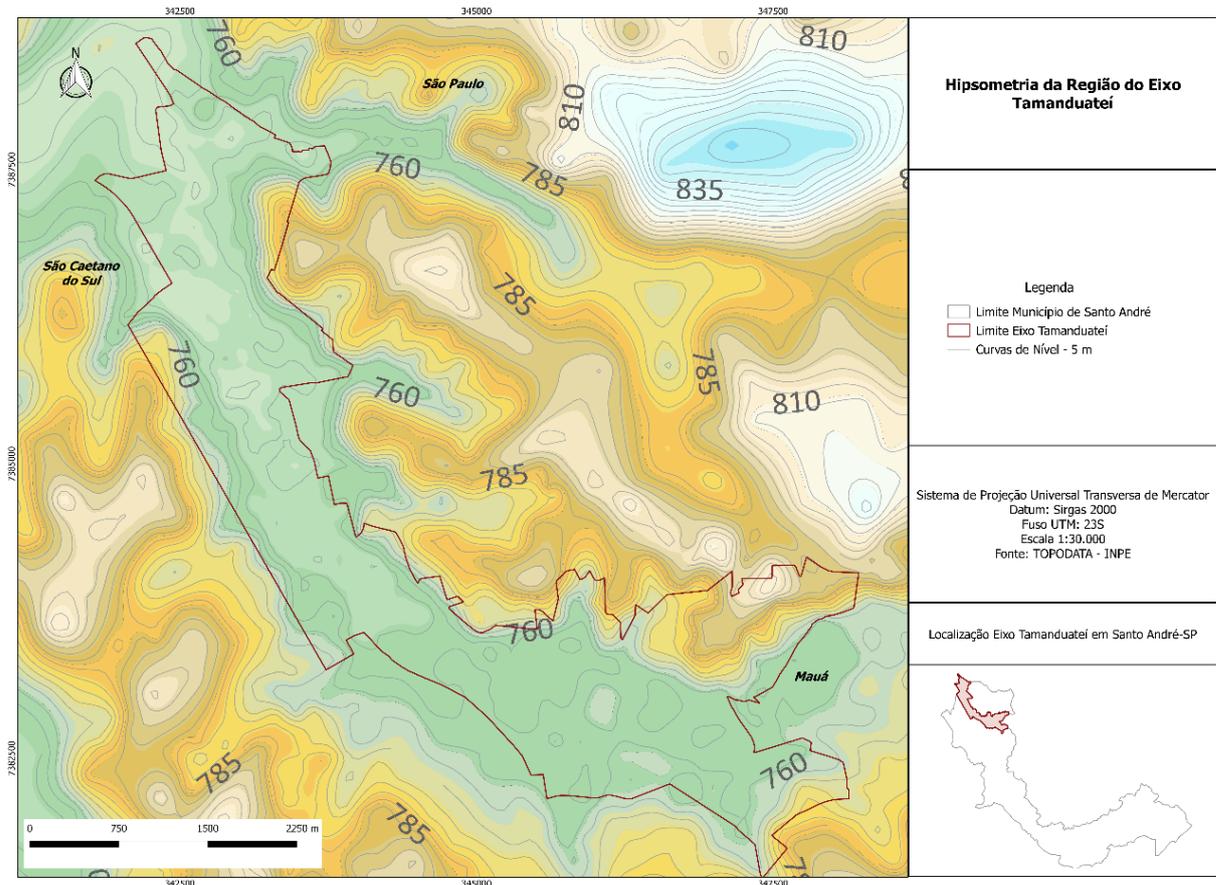
6.1.5 Geomorfologia

Segundo o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (ROSS; MOROZ, 2011), a área de interesse encontra-se em um contexto de planícies aluviais e colinas pequenas com espigões locais. Em geral, a área de estudo insere-se na planície aluvial do Rio Tamanduateí (**Figura 27**), com terrenos baixos e mais ou menos planos, sujeitos periodicamente a inundações.

O ponto mais alto da região do PET está localizado na margem direita, próximo da divisa com Mauá, a uma altitude de 810 m em relação ao nível do mar. O Rio Tamanduateí possui cota de cerca de 760 m à montante e de 740 m à jusante na região de estudo.

Do ponto de vista de contaminação, a margem direita do rio Tamanduateí apresenta menor vulnerabilidade do que a margem esquerda, por apresentar declividades relativamente maiores.

Figura 27: Mapa Hipsométrico da região do PET.



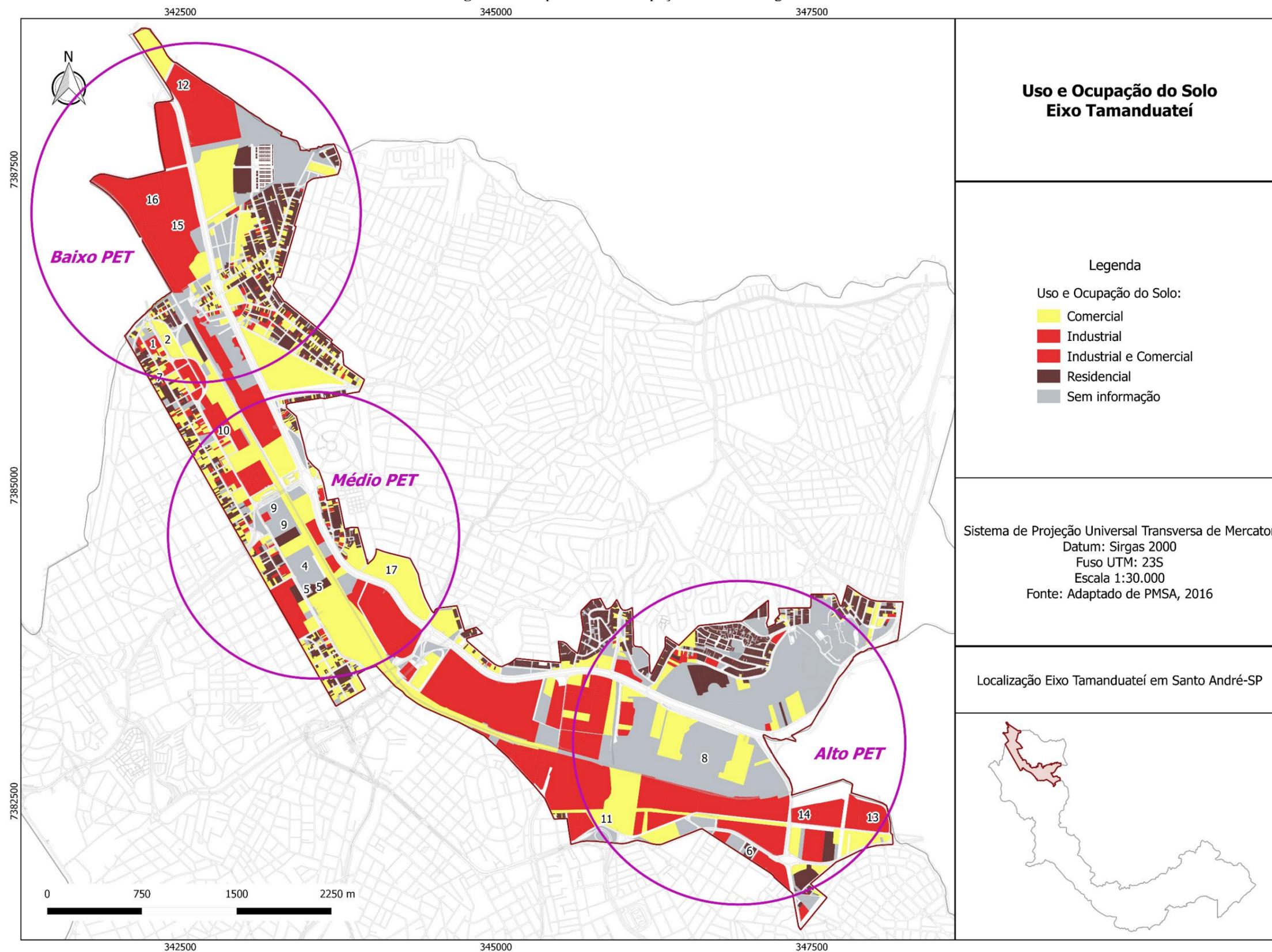
Fonte: Elaborada pela autora com base nos dados do INPE (2016).

6.1.6 Uso e Ocupação do Solo

Em relação ao uso e ocupação da área (**Figura 28**), tem-se o uso misto do solo, com indústrias, residências, comércios, universidades e parques. Como dito anteriormente, há muitos lotes vazios e subutilizados e essa região está delimitada como uma Zona de Reestruturação Urbana no Plano Diretor do Município de Santo André. Os usos da **Figura 28** foram simplificados a partir da classificação da prefeitura de Santo André – SP, conforme o arquivo *shapefile* recebido.

Em geral, as indústrias estão localizadas próximas as margens do rio Tamanduateí, na Avenida Industrial, ou próximas à linha 10 - Turquesa da CPTM. As residências por sua vez, estão mais afastadas do rio, nas zonas mais elevadas. Na região, há a predominância de indústrias químicas e de ligas metálicas, como foi observado no levantamento dos usos atuais dos lotes levantados junto à CETESB (**Apêndice B**). Ocorreram mudanças no uso de solo da região, com algumas áreas passando de uso industrial, para uso residencial ou comercial.

Figura 28: Mapa de Uso e Ocupação do Solo na região do PET.



Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados da PMSA (2016).

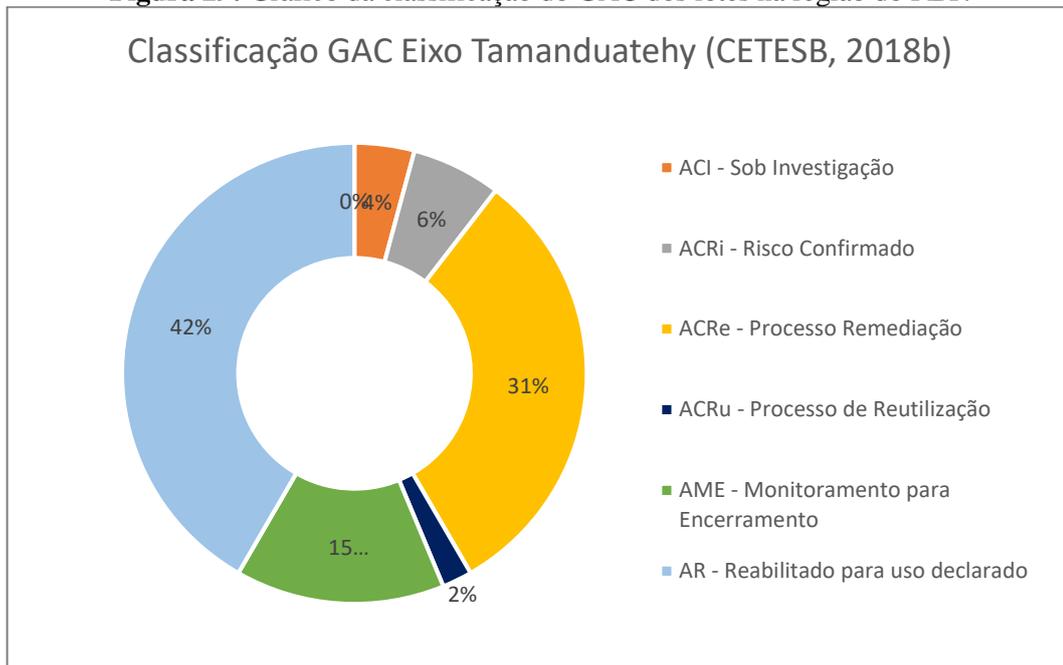
6.2 Áreas Contaminadas no Eixo Tamanduateí

De acordo com o levantamento dos processos de licenciamento ambiental disponibilizados pela CETESB (2016a), o município de Santo André apresentou 142 casos de áreas contaminadas em 2015. Já pelo cadastro do Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André (SEMASA, 2016), o município apresentou 159 casos de áreas contaminadas no mesmo ano. Pelo levantamento da CETESB referente à 2017, Santo André apresenta 157 casos de áreas contaminadas (CETESB, 2018b). Houve um aumento de 15 casos de ACs em Santo André de 2015 para 2017. Dentre essas 157 áreas cadastradas pela CETESB em 2017, 48 ACs encontram-se no Eixo Tamanduateí. Os mapas apresentados nos itens 6.2.1 e 6.2.2 foram gerados a partir dos dados do levantamento anual disponibilizado pela CETESB em seu site. Ressalta-se ainda, que os números de identificação presentes nesses mapas são os IDs das 17 áreas contaminadas que foram estudadas a fundo nesse trabalho.

6.2.1 Classificação das Áreas Contaminadas

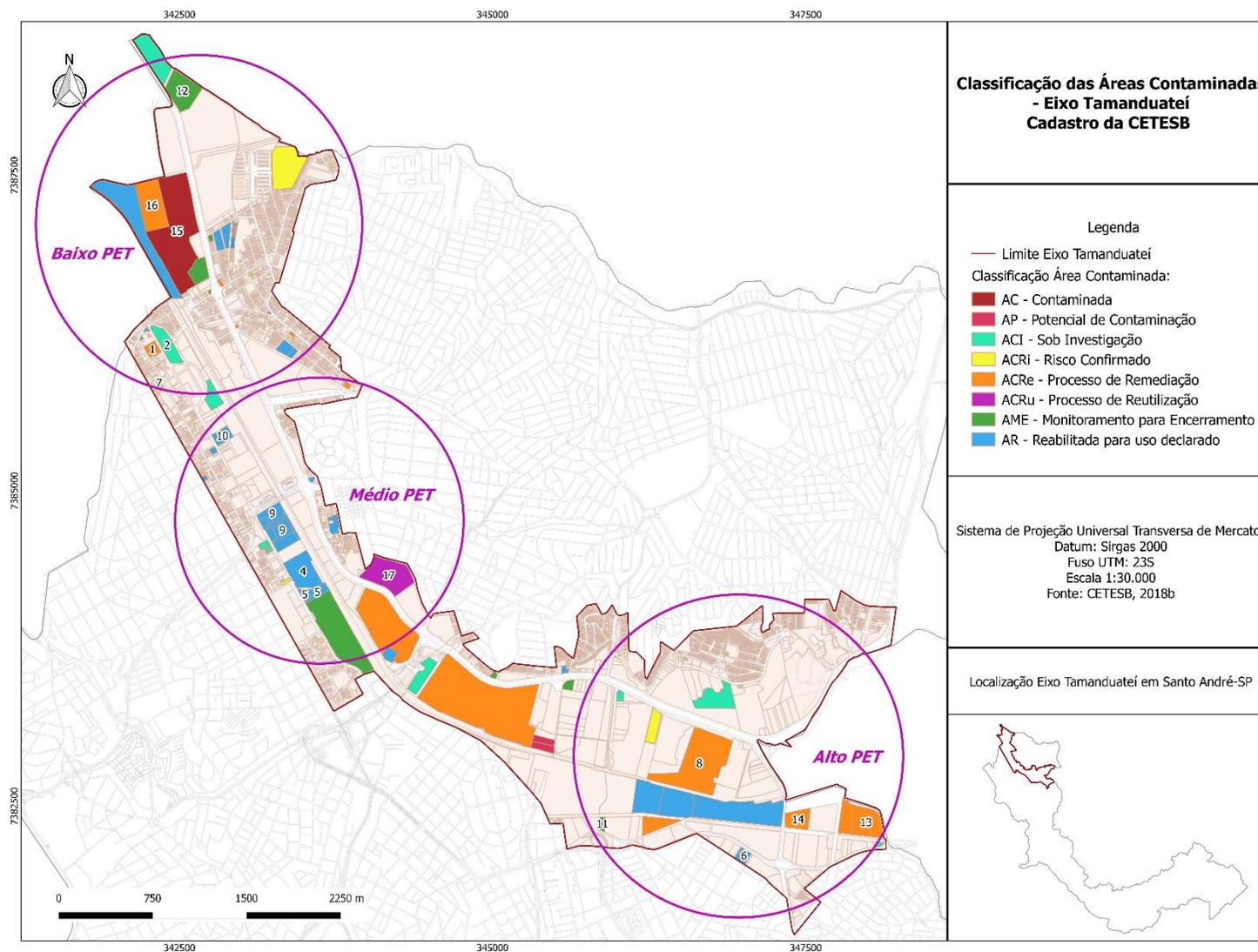
Na região do Eixo Tamanduateí, em 2017, 42% das ACs já foram reabilitadas para o uso declarado (AR), 31% estão em processo de remediação (ACRe) e 15% estão em processo de monitoramento para encerramento (AME) (**Figura 29**). Pode-se observar, quando se compara com os relatórios de anos interiores, um aumento significativo de áreas já reabilitadas para o uso declarado, assim como de áreas em processo de monitoramento para encerramento. Assim, pode-se dizer que houve uma “evolução” na recuperação das ACs da região, uma vez que muitas áreas estão nas etapas finais do gerenciamento. A **Figura 30** apresenta as classificações das ACs da região de forma espacializada.

Figura 29: Gráfico da classificação do GAC dos lotes na região do PET.



Fonte: Elaborada pela autora com base no levantamento da CETESB (2018b).

Figura 30: Classificação das Áreas Contaminadas na região do PET.

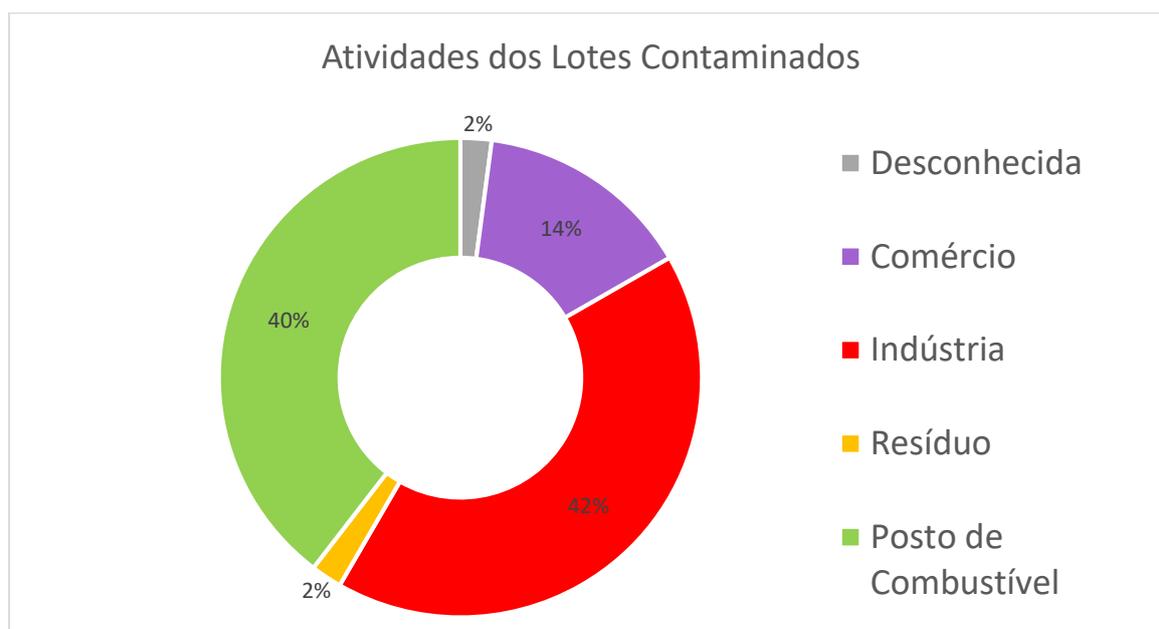


Fonte: Elaborada pela autora com base no levantamento da CETESB (2018b).

6.2.2 Uso do solo e Contaminação

Em relação ao tipo de atividade causadora da poluição nos lotes, 40% são postos de combustível, 42% são Indústrias e 14% comércio (**Figura 31**). A **Figura 32** apresenta as atividades por lote de forma espacializada. Desta forma, 82% das ACs da região são resultantes de processos industriais ou das atividades de postos de combustível. Como as indústrias do PET em geral são químicas ou de ligas metálicas, espera-se que a maioria dos contaminantes presentes na região sejam solventes aromáticos e halogenados utilizados em processos industriais, metais e combustíveis automotivos. Analisando os contaminantes descritos no levantamento da CETESB (2018b), cerca de 75% das ocorrências estão relacionadas aos metais, solventes halogenados e/ou aromáticos halogenados, solventes aromáticos e combustíveis automotivos (**Figura 33**).

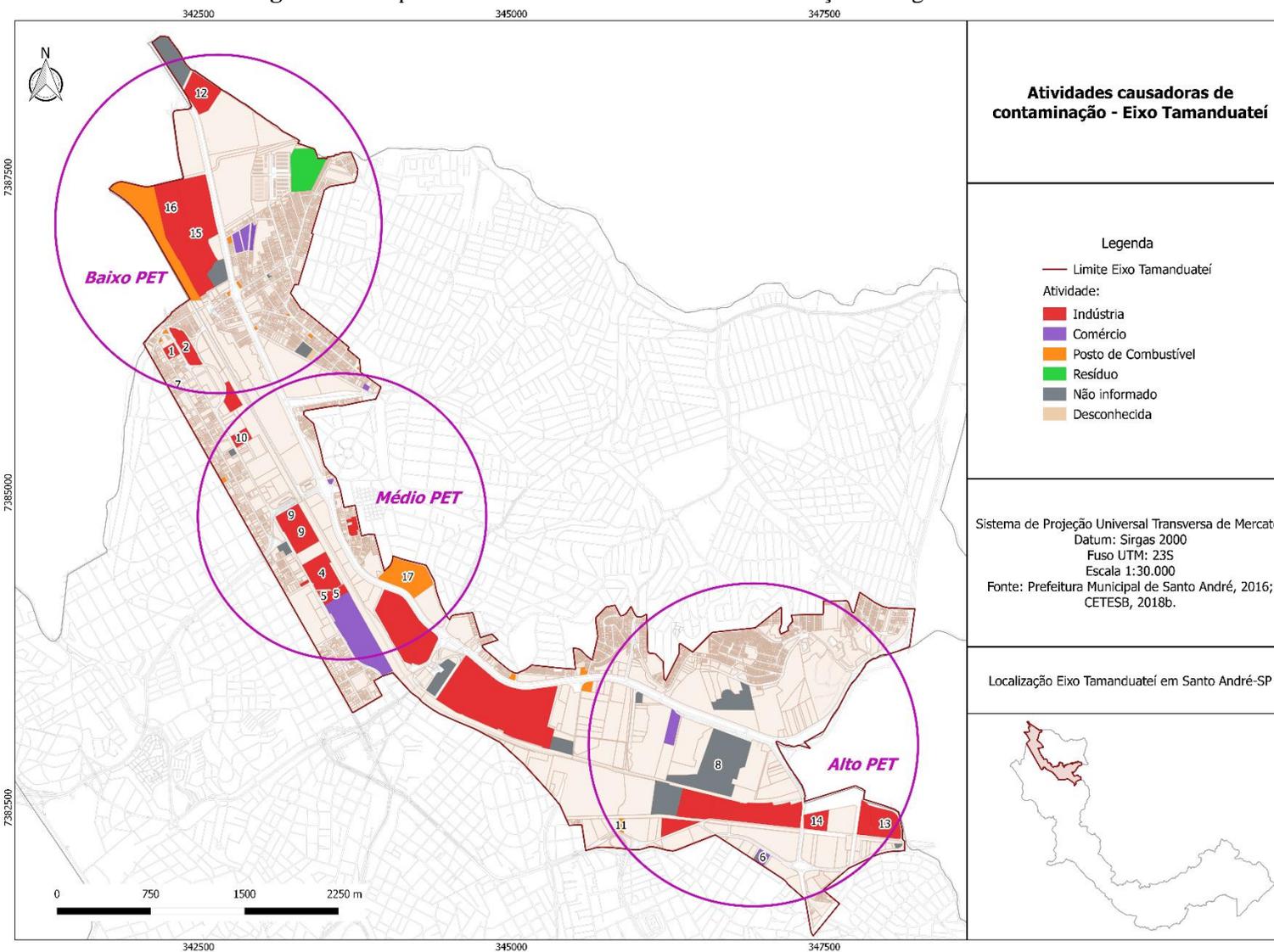
Figura 31: Gráfico das atividades desenvolvidas nos lotes contaminados.



Fonte: Elaborada pela autora com base no levantamento da CETESB (2018b).

Dessas 48 ACs presentes no Eixo, 17 foram levantadas junto à CETESB, a partir da visualização de seus processos. Os tipos de contaminantes mais encontrados nessas áreas levantadas foram solventes halogenados, solventes aromáticos, solventes aromáticos halogenados e metais.

Figura 32: Mapa das atividades causadoras de contaminação na região do PET.

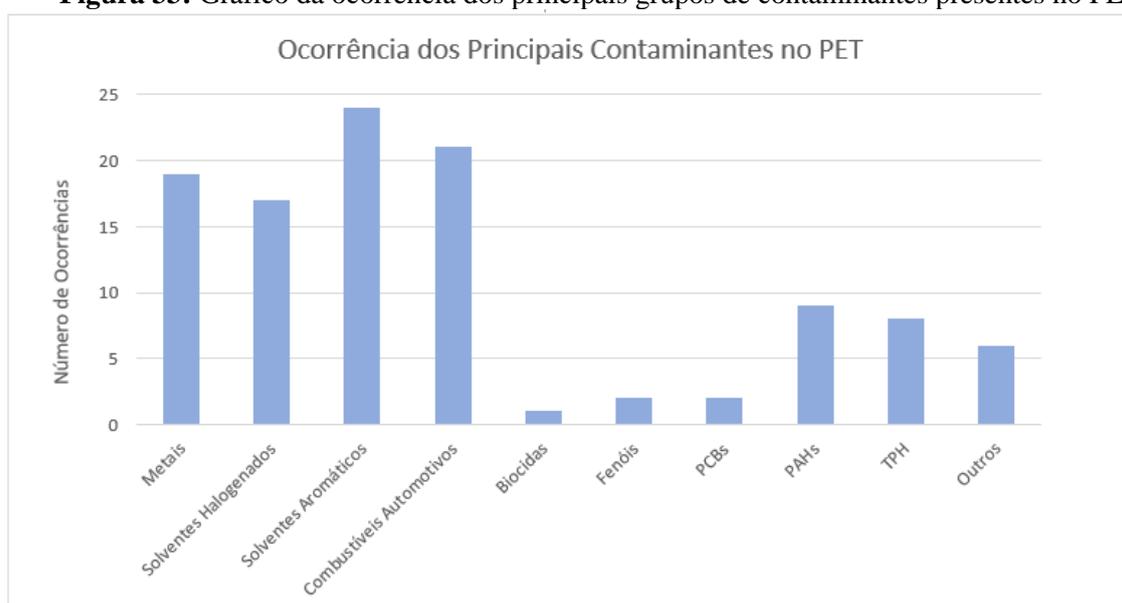


Fonte: Elaborada pela autora com base no levantamento da CETESB (2018b).

Solventes halogenados são aqueles que apresentam átomos de Cloro (Cl), Flúor (F), Bromo (Br) ou Iodo (I) em sua estrutura molecular. Os solventes halogenados mais utilizados em geral são: clorofórmio, diclorometano, tetracloreto de carbono, tricloroetano e bromofórmio. Solventes aromáticos apresentam um anel aromático ou mais em sua estrutura, destacando-se o benzeno e o tolueno. Os solventes aromáticos halogenados são aqueles que possuem tanto os anéis de benzeno como átomos de Cl, F, Br ou I na sua composição. Dentre esses contaminantes, muitos são COV, como benzeno, xileno, tolueno, cloreto de vinila, tetracloroetileno (PCE) e hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH), resultantes das atividades industriais e comerciais da região do PET.

De maneira geral, os contaminantes apresentam-se de forma combinada (**Figura 34 – Grupos de contaminantes – De 01 a 21**). Combustíveis automotivos costumam ser encontrados junto com solventes aromáticos e TPH, geralmente nos postos de combustível. Metais dificilmente são encontrados sozinhos, geralmente estão combinados com outros contaminantes como os solventes. Em alguns casos, especialmente nos lotes industriais, os solventes são encontrados combinados, aromáticos, halogenados com aromáticos halogenados. Há a presença de quase todos os grupos de contaminantes (solventes aromáticos, halogenados, metais, fenóis, ftalatos, PAHs, PCBs e TPH) em apenas dois lotes de uso industrial, as fábricas do grupo Solvay, na Avenida dos Estados. A ocorrência de biocidas, fenóis, PCBs, PAHs, TPHs e outros contaminantes é pequena, quando comparada com o grupo composto por metais, solventes em geral e combustíveis automotivos (**Figura 33 e Figura 34**).

Figura 33: Gráfico da ocorrência dos principais grupos de contaminantes presentes no PET.



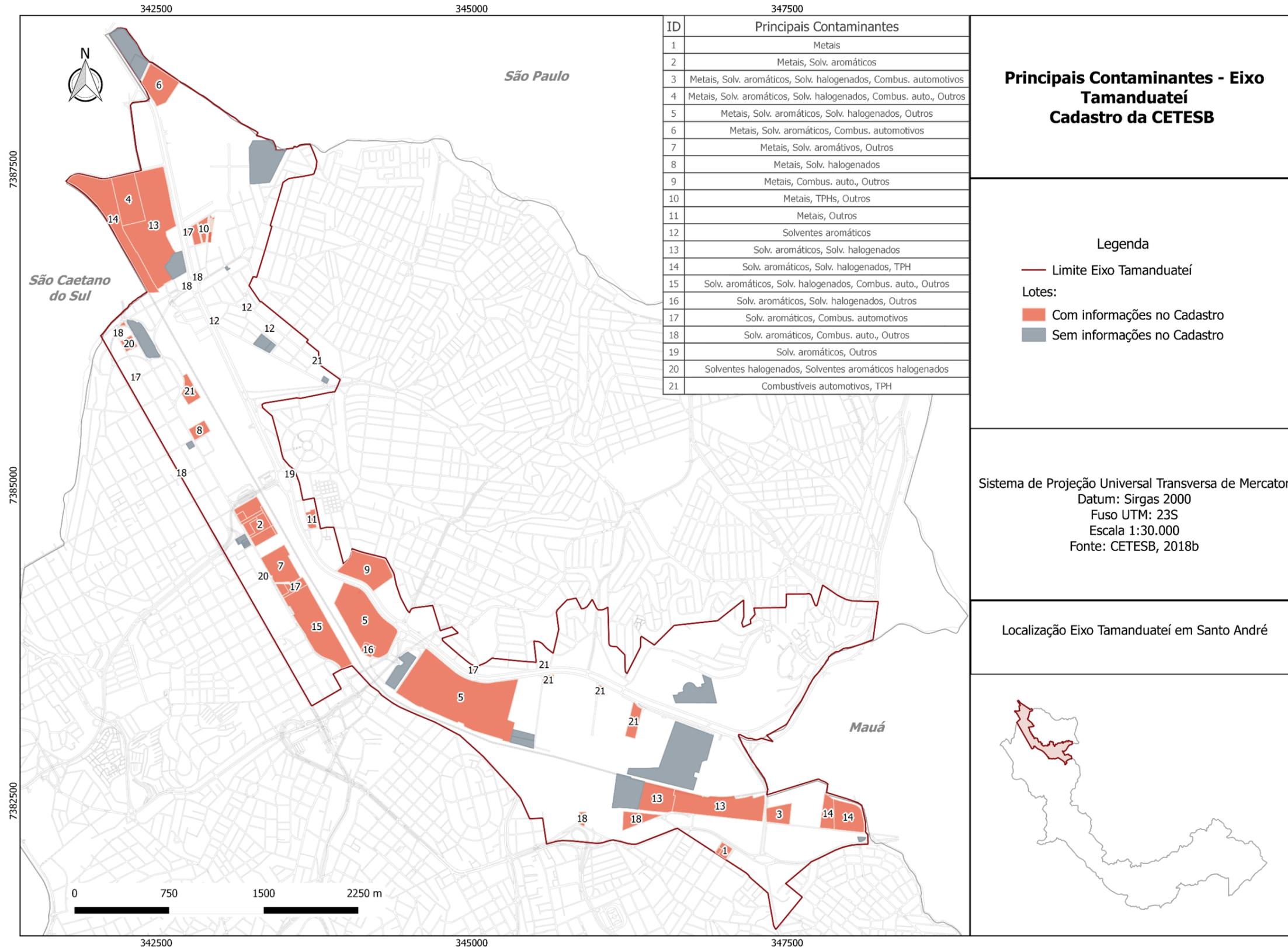
Fonte: Elaborada pela autora com base no levantamento da CETESB (2018b).

Por consequência das atividades realizadas na região, segundo os 17 processos investigados, os contaminantes mais encontrados se classificam em dois grupos principais: os COV e os metais. As principais fontes desses contaminantes são as indústrias e os postos de combustíveis encontrados na região.

Para os primeiros, merecem destaque os BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), cloreto de vinila e clorofórmio, provenientes dos processos industriais antigos e atuais na região do PET. A máxima concentração observada para esses contaminantes, na maioria dos casos, ultrapassou os valores de referência da CETESB (2016b) para águas subterrâneas monitoradas no período de 2010 a 2015 como pode ser observado na **Tabela 14**, anteriormente apresentado no item 5.3.

Dentre os metais presentes destacam-se bário, chumbo, cobre, níquel e zinco. O mesmo padrão observado para os COV se aplica aos metais, quando para alguns contaminantes a concentração máxima estava acima dos valores de referência da CETESB (2016c), conforme **Tabela 15**, para as águas subterrâneas monitoradas no período de 2010 a 2015.

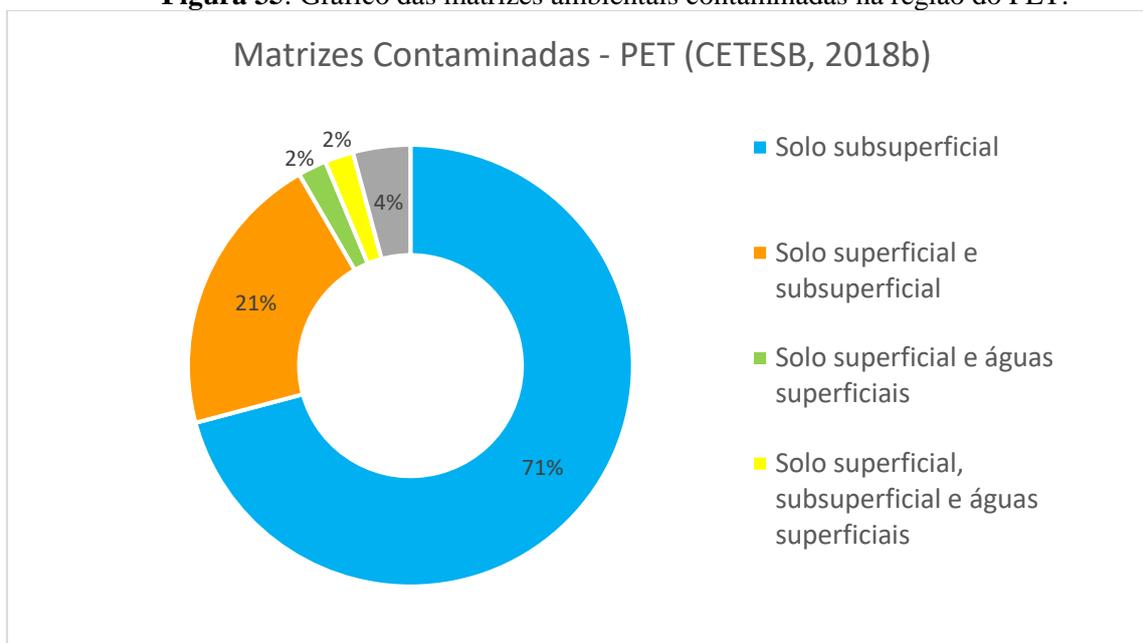
Figura 34: Mapa dos principais contaminantes presentes na região do PET.



Fonte: Elaborada pela autora com base no levantamento da CETESB (2018b).

Em relação às matrizes ambientais contaminadas (**Figura 35**), 71% dos lotes apresentam contaminação tanto no solo subsuperficial, incluindo as águas subterrâneas. Nenhum lote apresentou apenas contaminação no solo superficial, sempre englobando mais uma matriz ambiental. A contaminação somente das águas subterrâneas ocorre em 25% dos lotes, enquanto a contaminação do solo superficial, subsuperficial, águas subterrâneas e superficiais ocorreu em apenas dois lotes, o mesmo mencionado anteriormente por apresentar a maioria dos grupos de contaminantes (Lote da Rhodia) e o lote da Actos (ID 10).

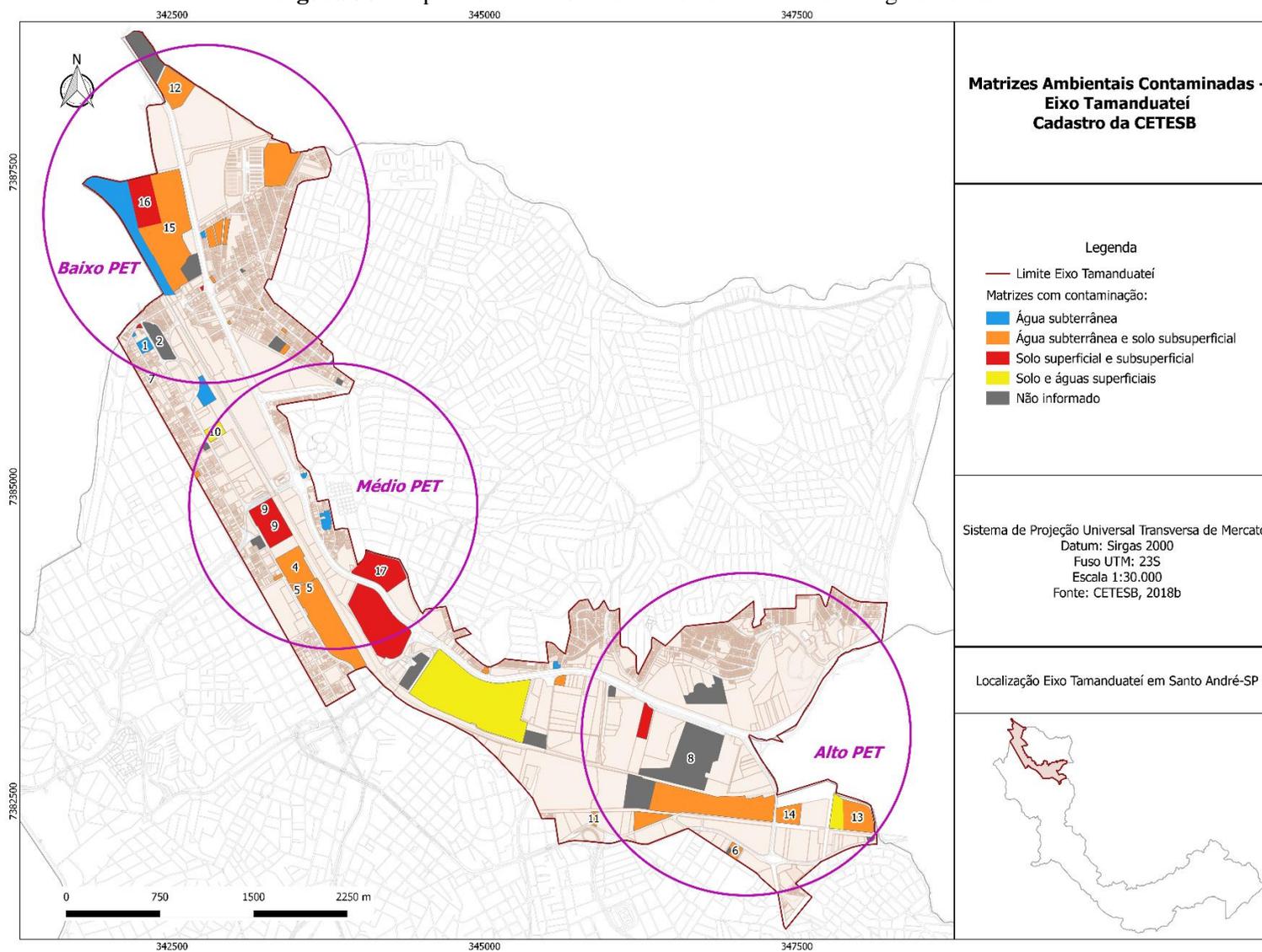
Figura 35: Gráfico das matrizes ambientais contaminadas na região do PET.



Fonte: Elaborada pela autora com base no levantamento da CETESB (2018b).

A **Figura 36** apresenta a localização dos lotes contaminados no Eixo, classificados a partir das matrizes ambientais contaminadas. A região do Alto PET possui 6 lotes com contaminação no solo subsuperficial e águas subterrâneas, enquanto o Médio PET possui 5 e o Baixo PET possui 11. Deve-se destacar que as áreas que possuem o maior número de contaminantes também possuem o maior número de matrizes ambientais afetadas. De maneira geral, a contaminação nos postos de combustível atinge os solos superficiais e subsuperficiais, podendo atingir as águas subterrâneas. Os lotes com contaminação apenas das águas subterrâneas são menores em área se comparados com os que apresentam diversas matrizes ambientais contaminadas. Os grandes lotes, geralmente industriais, apresentam em geral o solo superficial, o subsuperficial e as águas subterrâneas contaminadas.

Figura 36: Mapa das matrizes ambientais contaminadas na região do PET.

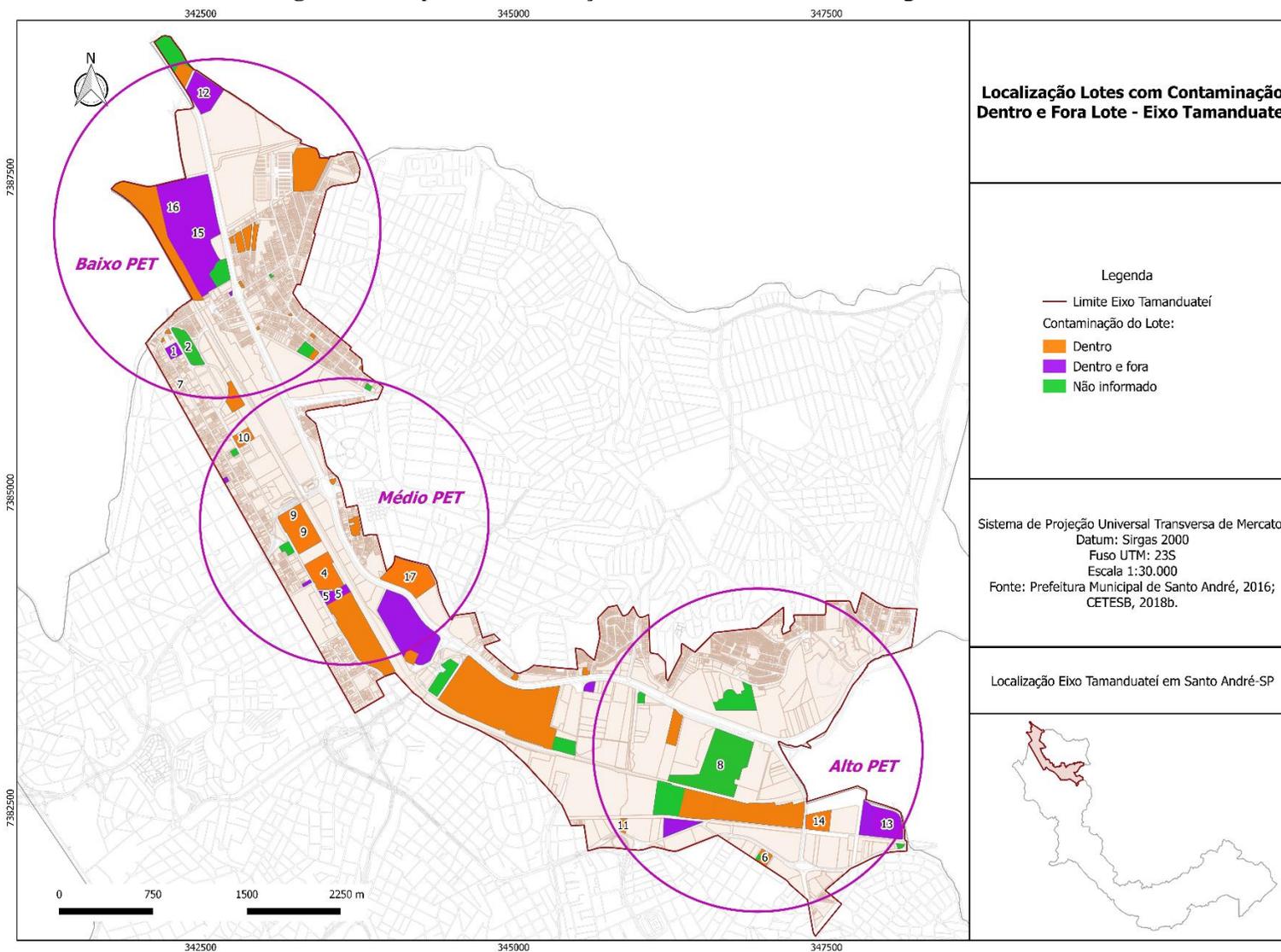


Fonte: Elaborada pela autora com base no levantamento da CETESB (2018b).

Em relação à existência de contaminação dentro e fora do lote, em menos de 25% das ACs do Eixo a contaminação extrapola os limites do lote, indicando a movimentação dos contaminantes pelo fluxo da água subterrânea. Os lotes onde há contaminação externa ao lote apresentam contaminação também na água subterrânea, corroborando o espriamento da contaminação para áreas além daquelas delimitadas como ACs, podendo levar as substâncias presentes no subsolo para outras matrizes ambientais e para outros lotes vizinhos.

Analisando a localização dessas áreas com contaminação fora do lote (**Figura 37**), apenas duas delas são postos de combustível, enquanto o restante são áreas de uso industrial. No Alto PET, destacam-se o lote da COFAP - Magneti Marelli, Paranapanema - Fábrica Capuava e Pirelli; no Médio PET, a antiga fábrica da Rhodia, e o lote da Horizon 11 (antigamente fábrica da General Tintas e Vernizes); e no Baixo PET, a Novelis, Kraki e Paranapanema – Fábrica Utinga. Assim, os lotes com atividades industriais apresentam taxa de espriamento da contaminação para as áreas vizinhas provavelmente devido às altas concentrações de solventes industriais, localização dos vazamentos/depósitos dessas substâncias e propriedades físico-químicas dos contaminantes. Nos casos descritos acima, os contaminantes em grande parte são solventes (aromáticos e halogenados), TPH e combustíveis automotivos, todos se encontram na fase líquida nas condições normais de temperatura e pressão.

Figura 37: Mapa da contaminação dentro e fora dos lotes na região do PET.



Fonte: Elaborada pela autora com base no levantamento da CETESB (2018b).

Com base nos resultados apresentados, presume-se que a contaminação em muitos casos tenha extrapolado os limites dos lotes cadastrados na CETESB, podendo até ter entrado em contato com os cursos d'água superficiais (como foi confirmado em apenas um lote do Eixo), uma vez que o nível do lençol freático na região é relativamente raso (baixa profundidade), da ordem de 0 a 5 m, como foi observado nas consultas aos processos.

Durante a etapa de levantamento de dados dos relatórios presentes nos processos da CETESB surgiram várias adversidades. No item a seguir são apresentadas algumas adversidades e observações sobre os relatórios técnicos analisados.

6.2.3 Processos CETESB

A **Tabela 16** apresenta uma descrição das adversidades separada por tópico. De maneira geral, há uma falta de padronização na estrutura dos relatórios, da forma como os dados são gerados e apresentados, dificultando a integração de dados de mais de um processo.

Tabela 16: Adversidades no levantamento de dados dos relatórios dos processos da CETESB.

| Tópico | Descrição |
|---|---|
| Hidrogeologia Geologia | A caracterização hidrogeológica e geológica em muitos processos se dava apenas a partir de mapas e cartas da década de 1980, como por exemplo o Mapa Geológico do Estado de São Paulo, na escala 1:500.000 do IPT, 1981 e o Mapa Geológico da Região Metropolitana de São Paulo, na escala 1:100.000 do EMPLASA, 1980. |
| Coordenadas Geográficas | Grande parte dos relatórios não apresentava as coordenadas geográficas dos pontos de amostragem de solo, dos poços de monitoramento da água subterrânea ou das sondagens. A forma de apresentação da localização desses pontos era somente em mapas. |
| Nível do lençol freático Carga hidráulica | Em muitos casos, não há uma padronização dos dados da carga hidráulica dos poços de monitoramento. Alguns relatórios utilizam cotas relativas (~90m), enquanto outros usam a cota absoluta (~740m). Além disso, alguns relatórios apresentam apenas os dados da carga hidráulica, sem apresentar o nível d'água nos poços, dificultando uma interpretação em escala regional, quando se utiliza um levantamento topográfico de escala regional e não local. |
| Solos Perfis Estratigráficos | Em alguns casos, somente são apresentados os perfis estratigráficos para cada sondagem, sem uma interpretação resumida para o terreno como um todo. Além disso, em alguns relatórios foram apontadas camadas de aterro, sem a devida caracterização geotécnica do mesmo. |

| | |
|---------------------------------|---|
| Concentrações dos Contaminantes | Em certos lotes com contaminação presente no solo e na água subterrânea foram apresentados os resultados das análises laboratoriais apenas para a água subterrânea. Após a remoção do solo contaminado (em grande parte dos casos), não há um acompanhamento tão detalhado e prolongado como há para as águas subterrâneas. |
| Postos de Combustível | Processos de postos de combustível são em geral muito mais simplificados do que de lotes industriais. A diferença na qualidade e quantidade de informações apresentadas muitas vezes impossibilita a utilização desses dados para uma análise e interpretação da contaminação em escala regional. |

Fonte: Elaborada pela autora.

A análise da poluição em escala regional acaba sendo prejudicada pela forma como os dados são apresentados nos relatórios dos processos. Na Região Metropolitana de São Paulo, o Poder Público desenvolve o gerenciamento das áreas contaminadas conhecidas de uma forma individual, juntamente aos responsáveis legais pela contaminação. Bertolo (p.102, 2017) afirma que “as investigações normalmente se concentram nas porções rasas do aquífero de porosidade intergranular, próximo das áreas com fontes reconhecidas”. Bertolo (2017) ainda comenta que a documentação técnica produzida por empresas de consultorias ambientais em nome dos responsáveis legais é enviada de forma física até hoje, o que foi comprovado na análise dos 17 processos. Como não há uma preocupação de uma futura análise regional, os dados são apresentados em textos e mapas, dificultando uma integração regional dos dados.

Não há um sistema de informações que seja alimentado rotineiramente e que possibilite uma visualização integral e consistente do problema ambiental, impedindo um planejamento mais lógico e coordenado das atividades de investigação e remediação na escala apropriada (BERTOLO, p.102, 2017).

Com a falta de um sistema de informações regional, que padronizasse, integrasse e sistematizasse as informações sobre pontos de amostragem, poços de monitoramento, nível da água subterrânea, parâmetros físico-químico como pH e potencial redox, concentrações de contaminantes separadas por campanhas de monitoramento, a análise em escala regional fica condicionada à interpretação de milhares de páginas para cada processo junto à CETESB, e à colaboração dos responsáveis legais, uma vez que muitos dados apresentados nos processos são confidenciais.

Há ainda, a ausência de modelos de transporte de contaminantes nos relatórios técnicos. Somente são apresentados os dados obtidos através da amostragem de solo e da água subterrânea. Nos 17 processos analisados, apenas um apresentou a modelagem do transporte

de contaminantes da área, comparando com os dados obtidos pelas análises laboratoriais. Os modelos matemáticos de transporte de contaminantes em muitos casos auxiliariam na análise de escala regional. As informações obtidas nas sondagens e nos poços de monitoramento poderiam ser utilizadas nos modelos, de forma a melhorar a visualização das plumas de contaminação para fora do lote, quando ocorresse. Para uma melhor modelagem ainda, alguns parâmetros de transporte poderiam também ser analisados nos relatórios, como os coeficientes de permeabilidade, de porosidade, de dispersão hidrodinâmica, de difusão, de distribuição, para cada um dos cenários de contaminação. Entretanto, esses dados ainda não são solicitados pelas agências ambientais.

Como apresentado nos itens 5.3 e 5.4, mapas na escala regional foram elaborados, utilizando a metodologia proposta para a divisão da área do PET em 3 zonas (Alto PET, Médio PET, e Baixo PET – **Figura 18**).

6.3 Fluxo Subterrâneo

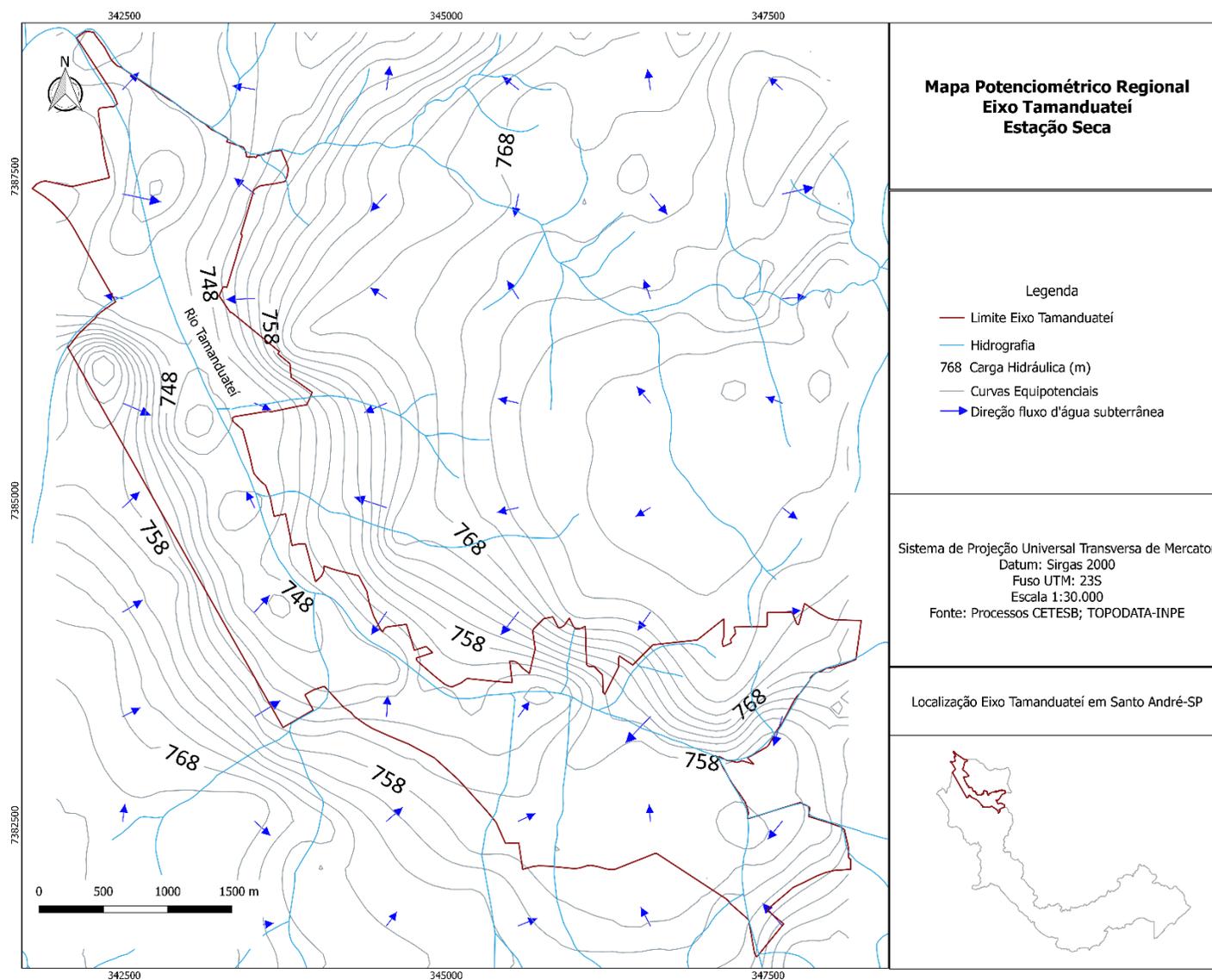
Os mapas apresentados neste item foram elaborados a partir das informações sobre nível d'água extraído dos relatórios presentes nos 17 processos da CETESB analisados (descritos na metodologia, item 5.2.1).

Na estação fria, o nível d'água médio foi cerca de 3,2 m de profundidade, enquanto que a maior profundidade observada foi de 12,4 m e a menor 0,2 m. Na estação quente, o nível d'água médio observado foi de 2,9 m, a maior profundidade de 13,3 m e a menor de 0,1 m. Assim, a vulnerabilidade devido à elevada flutuação das águas subterrâneas é maior em períodos chuvosos (estação quente) do que em períodos mais secos (estação fria).

Analisando os mapas potenciométricos (**Figura 38** e **Figura 39**), não há grandes alterações entre as estações. A estação quente/úmida apresenta cerca de 2 m a mais na carga hidráulica do que a estação fria/seca. O fluxo segue preferencialmente em direção ao rio Tamandateí e seus afluentes. A profundidade do nível d'água subterrânea na estação seca é cerca de 2 m nas proximidades do Rio Tamandateí e cerca de 6 m nas áreas mais afastadas em relação ao rio. Na estação úmida, a profundidade diminui, passando para cerca de 1 m no entorno do Rio Tamandateí e de 4 a 5 m nas áreas mais afastadas. As plumas de contaminação na estação úmida tendem a serem mais diluídas, porém mais espalhadas pelo território.

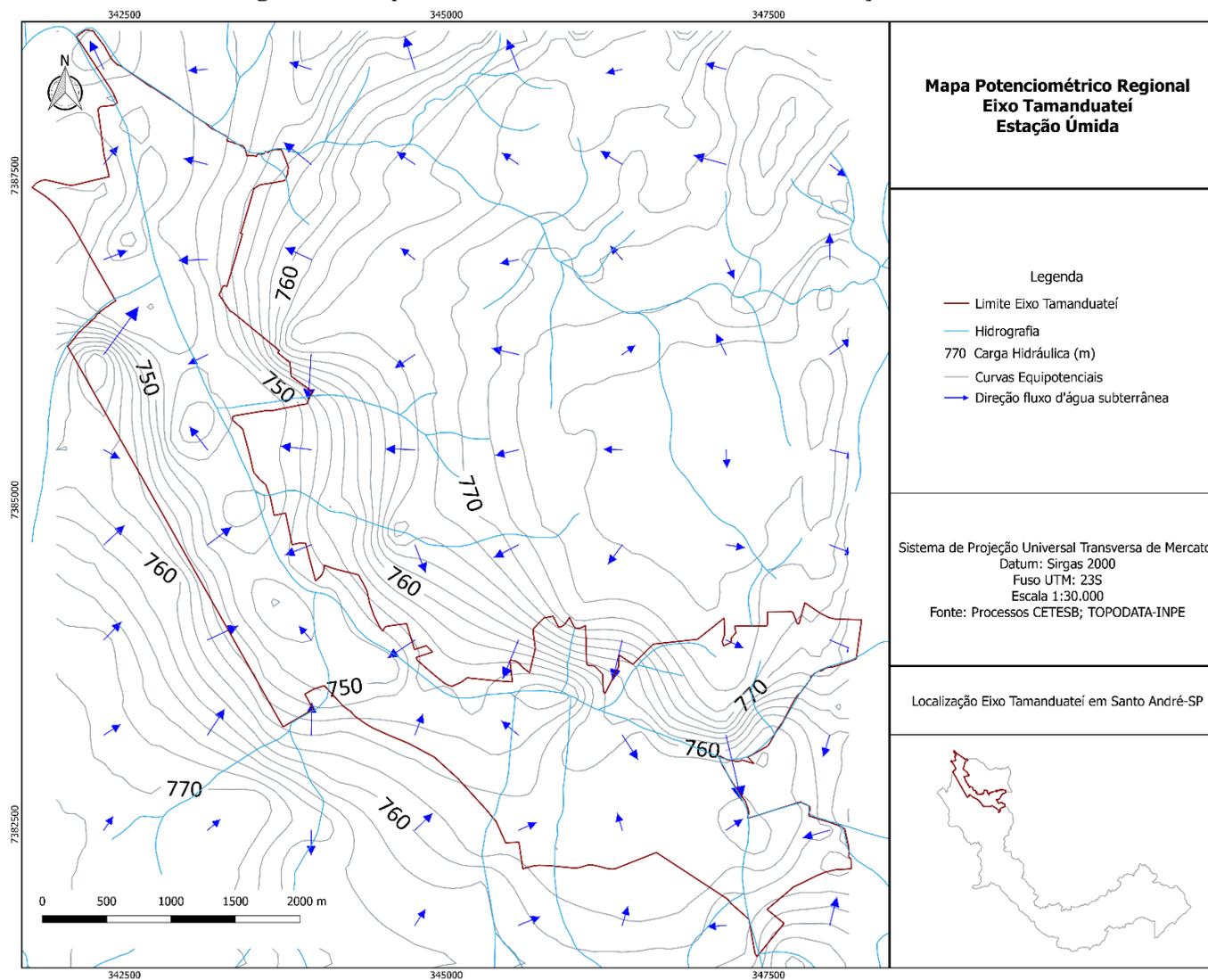
Deve-se ainda lembrar que os mapas de fluxo subterrâneo apresentam “ruídos” e limitações, uma vez que diversas condições de contorno foram aplicadas para a elaboração dos mesmos, como descrito no item 5.3.1 *Fluxo Subterrâneo*. Contudo, os resultados obtidos mostram-se coerentes com o esperado, com os fluxos subterrâneos tendendo na direção do Rio Tamanduateí e acompanhando o relevo (mapa hipsométrico) local.

Figura 38: Mapa Potenciométrico Eixo Tamandateí - Estação Seca.



Fonte: Elaborada pela autora com base nos dados extraídos dos 17 processos.

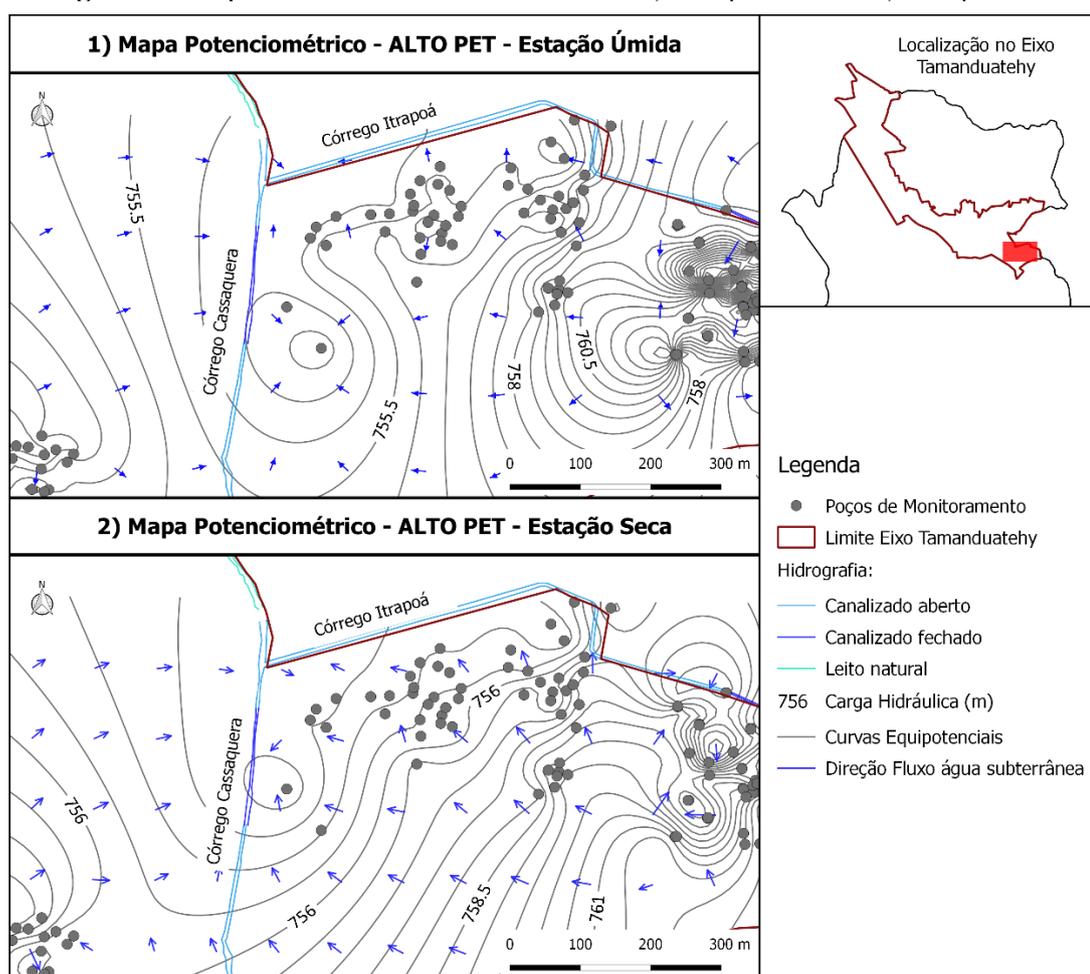
Figura 39: Mapa Potenciométrico Eixo Tamanduateí – Estação Chuvosa.



Fonte: Elaborada pela autora com base nos dados extraídos dos 17 processos.

Mapas potenciométricos também foram elaborados para os três trechos do PET (Alto, Médio e Baixo PET). Para o Alto PET (**Figura 40**), o fluxo subterrâneo está preferencialmente no sentido dos corpos hídricos, o Córrego Itrapoá e Cassaquera. Não há grandes diferenças entre as estações, apenas uma diferença de cerca de 0,5 m na carga hidráulica. Assim, o mesmo ponto na estação úmida apresenta carga hidráulica de 756,5 m enquanto na estação seca apresenta 756 m.

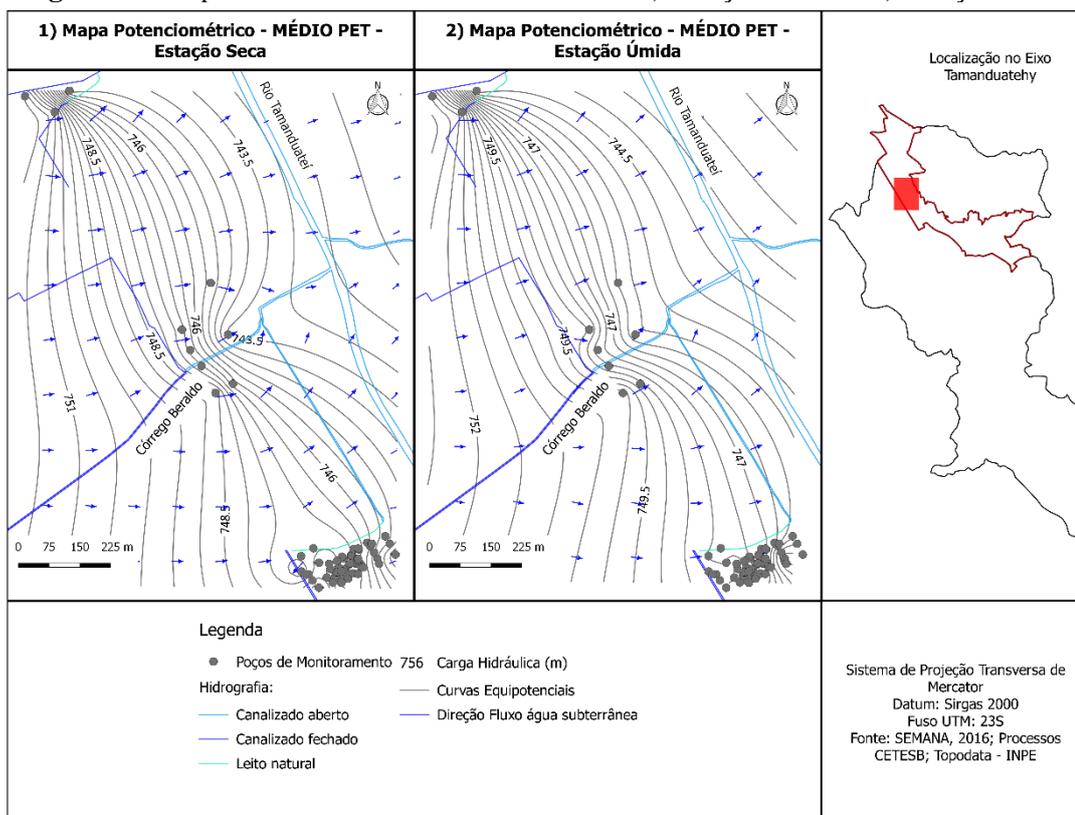
Figura 40: Mapas Potenciométricos - Alto PET - 1) Estação úmida e 2) Estação seca.



Fonte: Elaborada pela autora com base dos dados extraídos dos 17 processos.

Para o Médio PET (**Figura 41**), o fluxo subterrâneo está preferencialmente no sentido do Rio Tamanduateí. Não há presença de um fluxo no sentido do córrego do Beraldo, que pode ser justificado pelos “ruídos” descritos anteriormente. Assim como no Alto PET, não há grandes diferenças entre as estações, apenas uma diferença de cerca de 1 m na carga hidráulica. Assim, o mesmo ponto na estação úmida apresenta carga hidráulica de 756 m enquanto na estação seca apresenta 757 m.

Figura 41: Mapas Potenciométricos - Médio PET - 1) Estação úmida e 2) Estação seca.

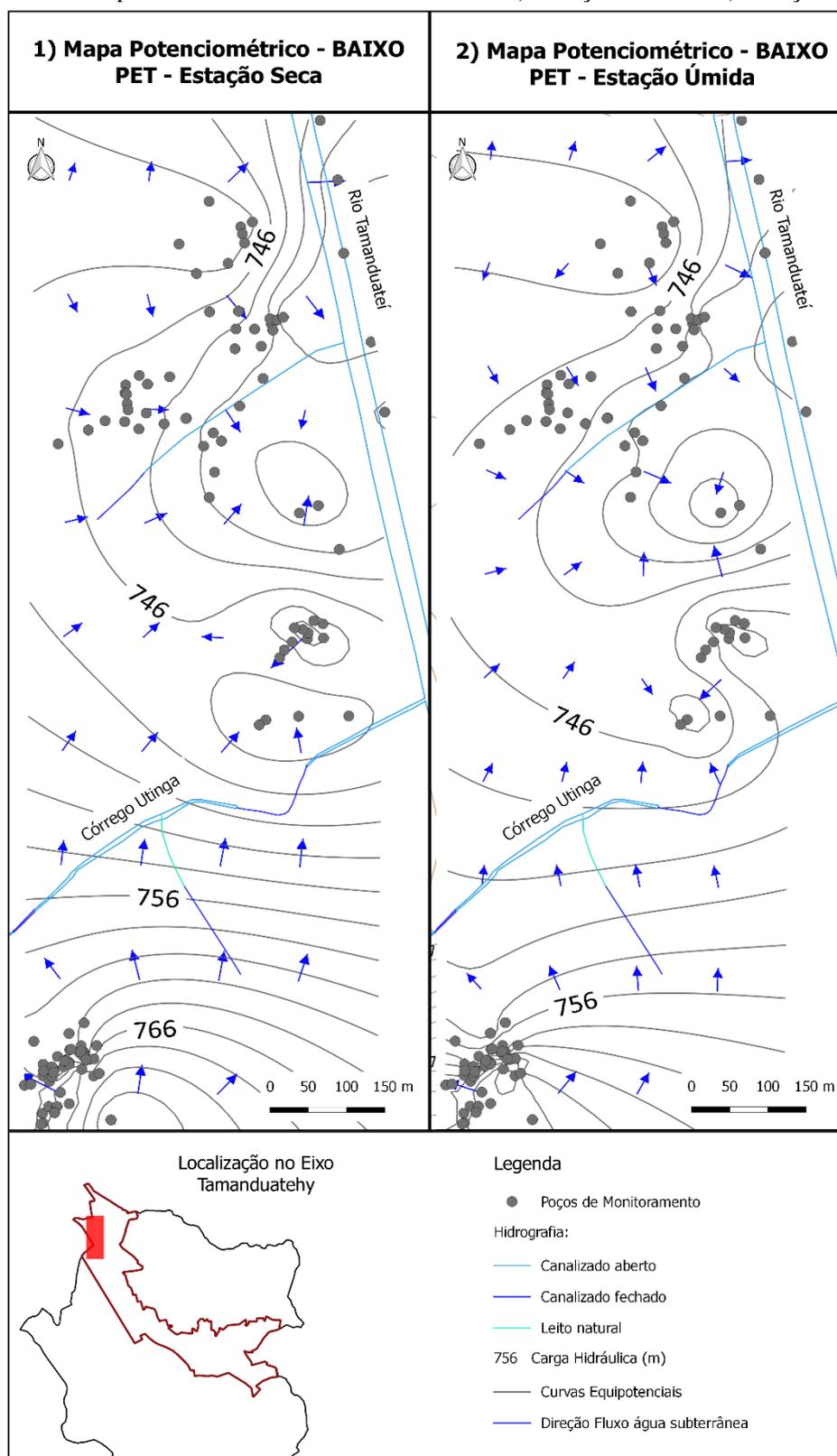


Fonte: Elaborada pela autora com base dos dados extraídos dos 17 processos.

A região do Baixo PET (**Figura 42**) também apresenta um fluxo subterrâneo preferencialmente no sentido do Rio Tamanduateí. Diferentemente do Alto e Médio PET, há uma diferença razoável entre as estações na porção sul do Baixo PET, de cerca de 8 m na carga hidráulica. Assim, um mesmo ponto na estação úmida na porção sul apresenta carga hidráulica de 756 m enquanto na estação seca apresenta 764 m, o oposto do que se esperava. Já na porção mais ao norte, a diferença é mínima. As profundidades do nível d'água para ambas as estações são muito próximas. Na porção central há uma diferença de cerca de 2 m na estação seca em relação a estação chuvosa.

Os mapas potenciométricos elaborados para as três divisões do PET (Alto, Médio e Baixo) apresentam menores variações no nível d'água entre as estações. Observando os mapas da **Figura 38** e da **Figura 39**, uma variação maior é encontrada, possivelmente relacionada à interpolação dos dados para uma área maior, especialmente com a adição de novos pontos com as cotas altimétricas/cargas hidráulicas do rio Tamanduateí e seus afluentes, obtidas a partir do MDE do INPE. Desta forma, esses mapas potenciométricos de escala regional apresentam mais limitações em comparação com os mapas do Alto, Médio e Baixo PET.

Figura 42: Mapas Potenciométricos - Baixo PET - 1) Estação úmida e 2) Estação seca.



Fonte: Elaborada pela autora com base dos dados extraídos dos 17 processos.

6.4 Isolinhas de Concentração

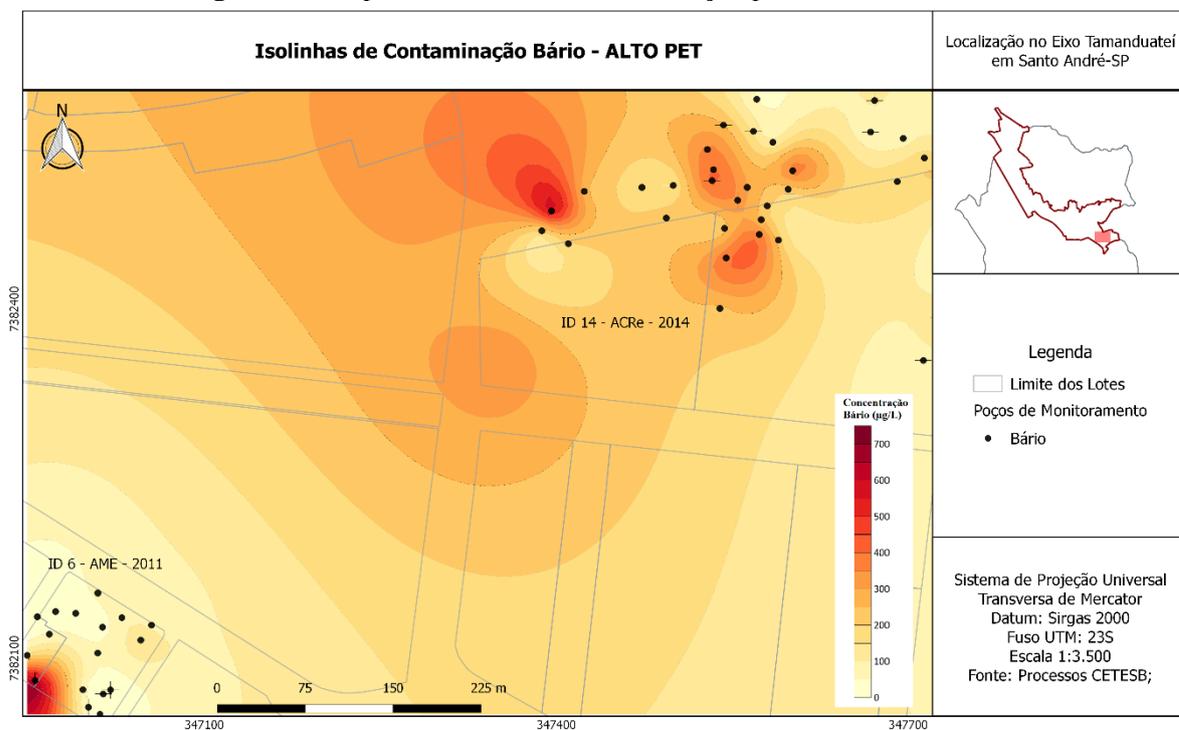
Os mapas de isolinhas de concentração foram elaborados para os três trechos da área do PET - Alto, Médio e Baixo, a partir dos dados de concentração extraídos dos 17 processos da CETESB.

A região do Alto PET apresentou valores de concentração acima dos limites de quantificação laboratoriais para apenas o Bário e o Cloreto de Vinila. Para o Bário (**Figura 43**), há pontos de contaminação no lote da MRV (ID 6) e da fábrica da Paranapanema – Capuava (ID 14). A contaminação por Bário no lote da MRV é mais antiga (2011), mas o mapa indica que pode haver um possível fluxo para os lotes vizinhos. A contaminação no lote da Paranapanema apresenta concentrações um pouco mais baixas do que no lote da MRV, porém há uma suspeita de contaminação dos lotes vizinhos, que foi confirmada no lote mais ao norte, continuação do lote da Paranapanema no município de Mauá. A maior de concentração de Bário para o Alto PET foi de 876 µg/L, acima do limite de intervenção (700 µg/L) estabelecido pela CETESB. Essa concentração foi extraída do relatório de monitoramento da eficiência da remediação de 2014. Comparando o mapa de fluxo subterrâneo do Alto PET com o mapa da **Figura 43**, tem-se uma possível contaminação difusa por Bário para os vizinhos ao norte, noroeste e nordeste do lote da Fábrica Paranapanema. Destaca-se que o lote à direita da Paranapanema é a fábrica da TRW, também uma AC. O lote ao sul do lote da MRV está situado à montante, dificultando o transporte de Bário. Porém, não se pode descartar a possibilidade de contaminação difusa, visto às flutuações do nível d'água entre as estações seca e chuvosa.

A contaminação por cloreto de vinila, um subproduto da biodegradação do PCE (Tetracloroetileno) e do TCE (Tricloroetileno) que em geral apresenta alta toxicidade e é um marcador para contaminação por PCE e TCE, ocorre principalmente na região do Alto PET. As outras regiões não apresentaram concentrações de cloreto de vinila acima dos limites de quantificação laboratoriais. Assim, corrobora-se a contaminação de organoclorados por fontes industriais, especialmente nas indústrias de laminação e fabricação de ligas metálicas. A concentração máxima de Cloreto de Vinila no Alto PET (**Figura 44**) é proveniente do lote da Paranapanema, no valor de 8.853 µg/L (29 vezes superior ao limite estabelecido pela CETESB, 2016). Ressalta-se que esses valores foram obtidos dos relatórios de monitoramento da eficiência da remediação (2014). Sabe-se também que o lote à direita da fábrica da Paranapanema (Fábrica da TRW) também apresenta contaminação por organoclorados.

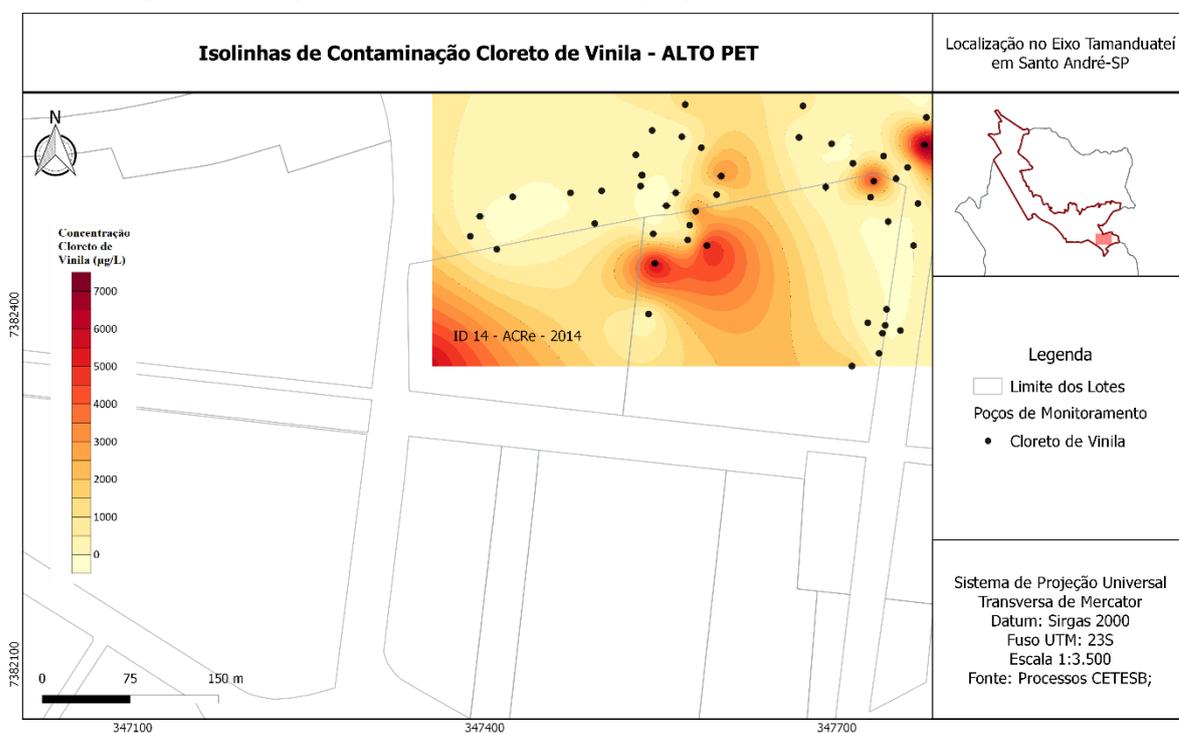
Assim, há uma grande possibilidade da sobreposição de plumas de contaminação de organoclorados entre os dois lotes.

Figura 43: Mapa de isolinhas de contaminação por Bário - Alto PET.



Fonte: Elaborada pela autora com base dos dados extraídos dos 17 processos.

Figura 44: Mapa de isolinhas de contaminação por Cloreto de Vinila - Alto PET.

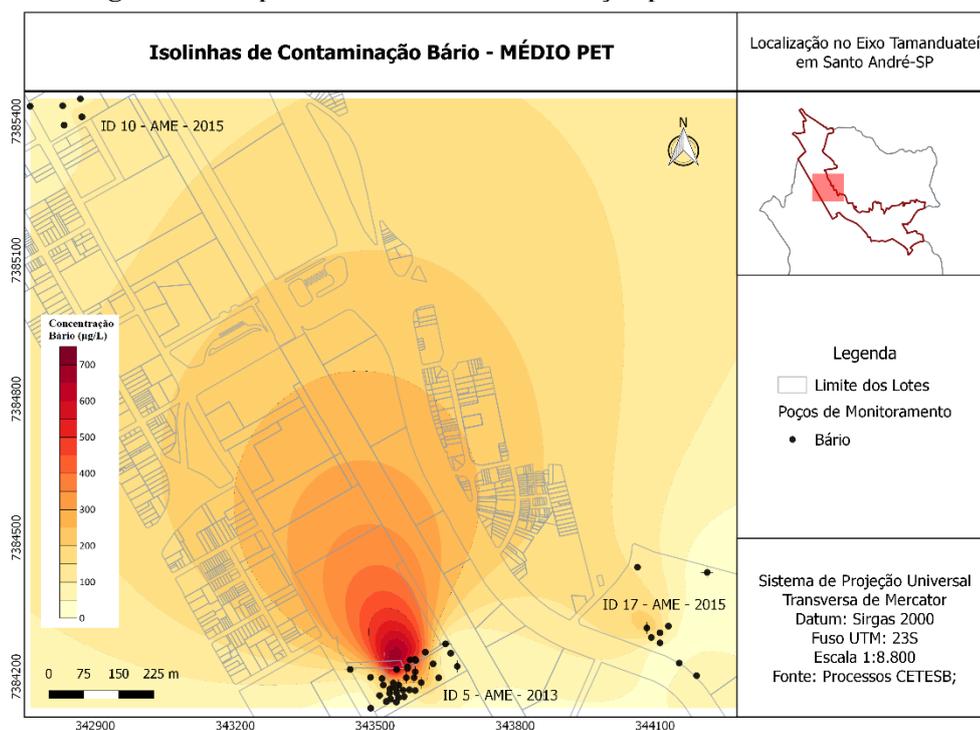


Fonte: Elaborada pela autora com base dos dados extraídos dos 17 processos.

No Médio PET, somente o Bário apresentou concentrações significativas. A concentração máxima observada foi de 1.216 $\mu\text{g/L}$ no lote da Horizon (antigo lote de uma indústria de tintas e vernizes – valor extraído do relatório de monitoramento para encerramento). O mapa da **Figura 45** indica uma pluma de contaminação para os lotes à esquerda do lote da Horizon (ID 05), que também são ACs cadastradas, o lote vazio da Immobili e o lote do empreendimento Cidade Viva. Esses três lotes estão atualmente reabilitados para o uso declarado (AR), assim, espera-se que essa pluma não exista mais no local.

Os outros lotes com dados de concentração, o do campus Santo André da UFABC e o lote da Kraki, não apresentaram concentrações acima do valor de intervenção da CETESB (2016).

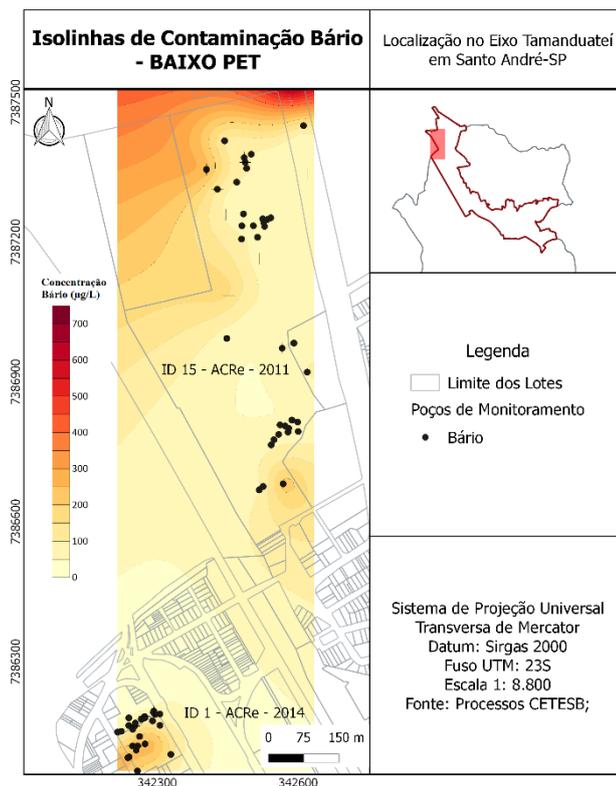
Figura 45: Mapa de isolinhas de contaminação por Bário - Médio PET.



Fonte: Elaborada pela autora com base dos dados extraídos dos 17 processos.

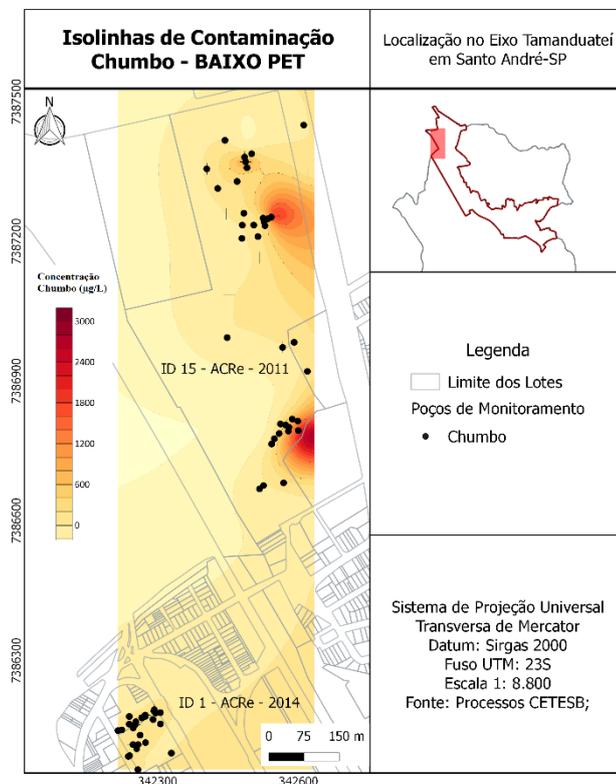
Por fim, a região do Baixo PET apresentou concentrações acima dos valores de intervenção para o Bário, Chumbo, Níquel e Clorofórmio. A contaminação por Bário (**Figura 46**) tem como *hotspot* o terreno da Paranapanema-Fábrica Utिंगa (ID 15), na porção norte do Baixo PET. A máxima concentração de Bário encontrada para esse lote foi de 1.719 $\mu\text{g/L}$ (dado de 2011, quando o lote se encontrava ainda em remediação). O mapa ainda indica que a contaminação por Bário no lote da Kraki (ID 01) encontra-se dentro do lote, confirmando a informação disponibilizada no levantamento da CETESB (**Figura 37**).

Figura 46: Mapa de isolinhas de contaminação por Bário - Baixo PET.



Fonte: Elaborada pela autora com base dos dados extraídos dos 17 processos.

Figura 47: Mapa de isolinhas de contaminação por Chumbo - Baixo PET.



Fonte: Elaborada pela autora com base dos dados extraídos dos 17 processos.

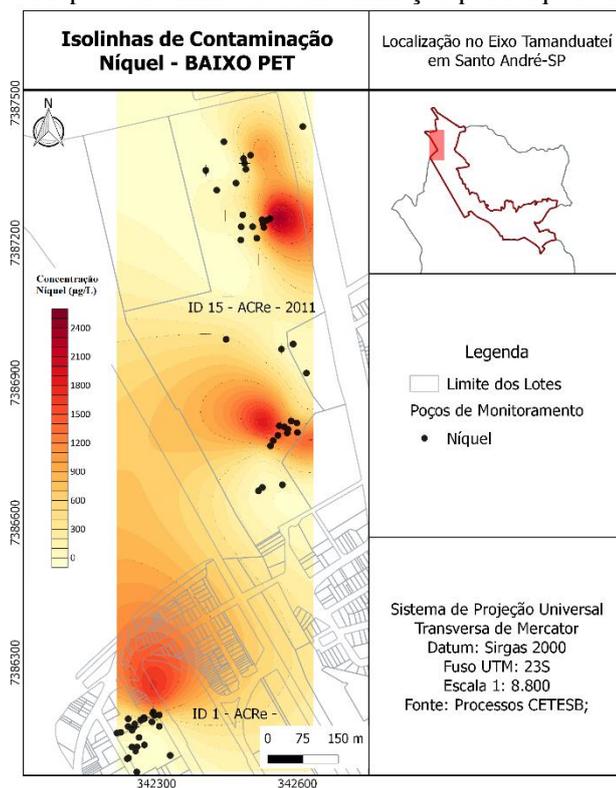
A pluma de contaminação por Chumbo (**Figura 47**) tem como *hotspots* dois pontos dentro do lote da Paranapanema. O valor máximo de concentração de Chumbo para essa área foi de 4.739 µg/L (dado de 2011, durante processo de remediação do lote), muito superior ao limite de intervenção da CETESB (10,0 µg/L). Da mesma forma que o Bário, essa pluma de contaminação está levando em consideração dados retirados de relatórios de remediação. Sendo assim, espera-se que as concentrações de Chumbo tenham diminuído na área.

Os *hospots* de Níquel (**Figura 48**) são dois pontos dentro do lote da Paranapanema (os mesmos para o Chumbo e para parte do Bário) e um ponto no lote da Kraki. A concentração máxima para Níquel nessa região é de 3.773 µg/L (valor extraído do relatório de eficiência da remediação, de 2014), superior ao limite de intervenção da CETESB, que é 70 µg/L. A pluma de contaminação sugere que há uma rota de contaminação em direção ao lote da Anhanguera (ID 02), para nordeste que também é uma AC sob investigação (ACI). Essa pluma de contaminação confirma a informação do levantamento da CETESB (**Figura 37**), de que o lote da Kraki apresenta contaminação dentro e fora do lote, possivelmente indo em direção ao lote da Anhanguera.

Por último, a contaminação por clorofórmio (**Figura 49**), um COV, tem origem no lote da Kraki. A concentração máxima observada para o clorofórmio é de 2.240 µg/L, porém é um valor obtido durante o processo de remediação da área. Sendo assim, espera-se que as concentrações de Níquel na região do Baixo PET tenham diminuído nos últimos anos.

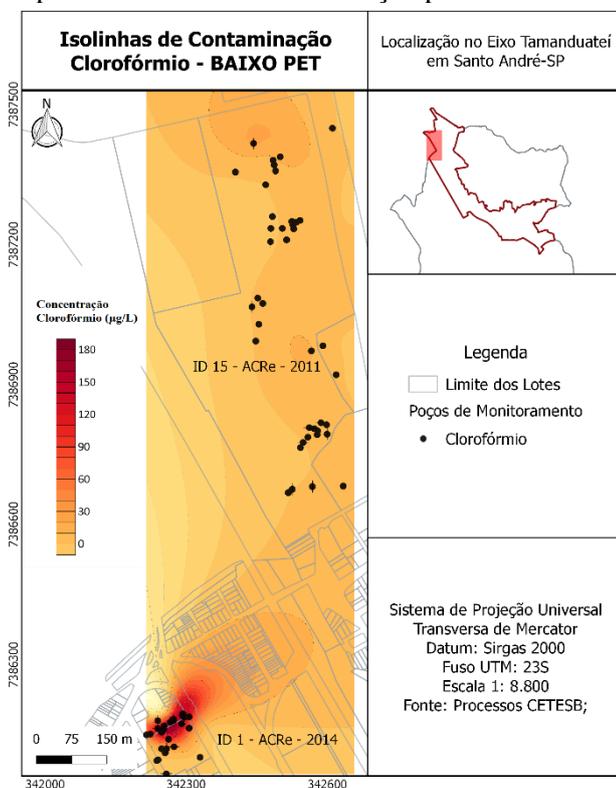
Os dados de concentração para o Baixo PET foram obtidos durante a remediação das áreas. Espera-se que esses valores tenham sido reduzidos, porém já indicam uma possível contaminação dos lotes ao norte da Kraki (Anhanguera inclusive) e à oeste da fábrica da Paranapanema (no caso é o lote da Novelis, que também é uma AC em processo de remediação (ACRe)).

Figura 48: Mapa de isolinhas de contaminação por Níquel - Baixo PET.



Fonte: Elaborada pela autora com base dos dados extraídos dos 17 processos.

Figura 49: Mapa de isolinhas de contaminação por Clorofórmio - Baixo PET.



Fonte: Elaborada pela autora com base dos dados extraídos dos 17 processos.

6.5 Síntese Parâmetros Geoambientais

O Mapa Síntese dos Parâmetros Geoambientais da região do PET (**Figura 50**) reuniu informações do Domínio e Subdomínio Hidrogeológico, da Litologia, do Relevo (Curvas de nível), da Hidrografia, e dos limites dos lotes da área. A região de Aluvião, composta litologicamente por areias, cascalhos e argilas com matéria orgânica, tem origem cenozoica, com favorabilidade para armazenamento de água subterrânea variável. Já a região da Bacia Tipo Taubaté tem origem sedimentar, caracterizada litologicamente por arenitos, silititos, argilitos e calcários, com alta porosidade e menor capacidade de troca catiônica. Analisando em termos da Equação 01 apresentada no item 4.4.1 da Revisão Bibliográfica, solos da região da Bacia Taubaté apresentam uma menor perda de passa de soluto (poluentes) por reações, sejam elas físicas ou químicas.

Se analisarmos apenas a litologia, a Bacia tipo Taubaté apresenta uma vulnerabilidade natural maior à contaminação do que a zona aluvial. Entretanto, a várzea do rio Tamandateí (Aluvião) é marcada por inundações, flutuações no nível d'água superficial e subterrâneo em períodos chuvosos, há sobreposição de camadas de solos argilosos e camadas arenosas, é uma região de baixa declividade do terreno, com a presença de diversos córregos e rios canalizados não fechados, com uma grande concentração passada e atual de indústrias. A maioria dos lotes com contaminação para fora de seus limites se encontram na Zona do Aluvião, assim como a maioria dos lotes com contaminação em mais de duas matrizes ambientais.

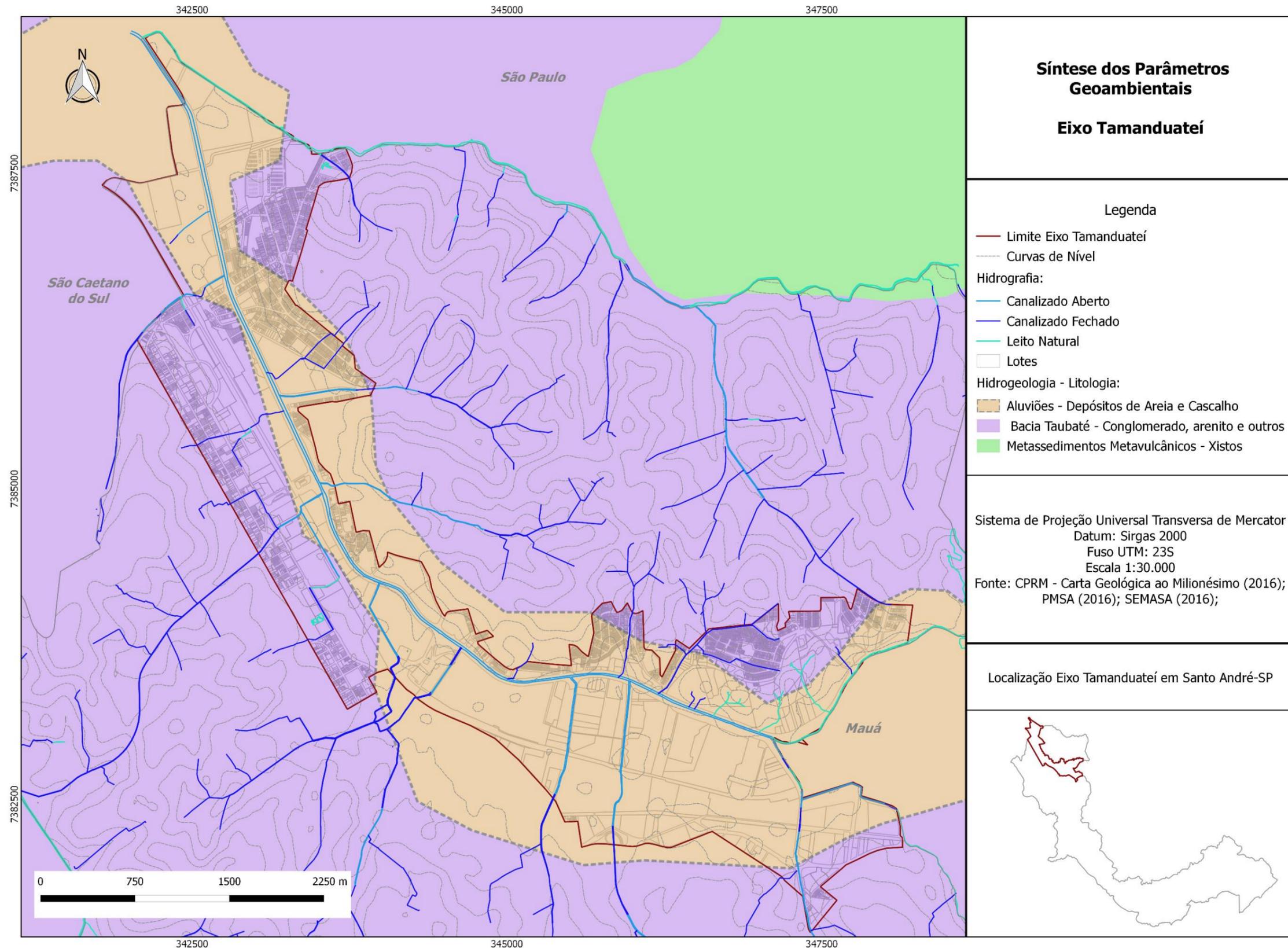
Desta forma, a região mais próxima do Rio Tamandateí apresenta um conjunto de parâmetros geoambientais que a tornam mais vulneráveis e suscetíveis à contaminação de forma geral, por apresentarem diversos mecanismos associados à migração desses contaminantes pelo subsolo, como a dispersão hidrodinâmica. Entretanto, a vulnerabilidade nas áreas mais afastadas do rio Tamandateí não deve ser considerada baixa. A região do PET é suscetível como um todo, ainda mais quando analisado o uso do solo no passado, as antigas enchentes e inundações e a deposição inadequada de muitos resíduos industriais.

A constatação de áreas com contaminação difusa na área de estudo está atrelada ao conjunto de parâmetros geoambientais e seus respectivos papéis no transporte dos poluentes, porém, existem alguns indicadores principais. Dentre estes, destacam-se:

- 1) Sentido e direção do fluxo de água subterrânea;
- 2) Proximidade às fontes de contaminação;
- 3) Declividade do terreno;

- 4) Sobreposição de plumas de contaminação (mais de uma fonte de contaminação);

Figura 50: Mapa Síntese dos Parâmetros Geoambientais do Eixo Tamandateí.



Fonte: Elaborada pela autora com base dos dados da CPRM, PMSA, SEMANA, INPE (2016).

6.6 Suscetibilidade à Contaminação

Os metais em geral possuem baixa solubilidade, baixa pressão de vapor, baixa volatilidade, baixo a médio potencial de sorção e não são biodegradáveis. Essas características quando analisadas em conjunto indicam que são contaminantes que se acumulam nas matrizes ambientais, uma vez que não possuem grandes possibilidades de serem transformados, adsorvidos ou volatilizados. Assim, são substâncias que são pouco reativas, porém podem formar precipitados em devidas condições de pH e potencial eletroquímico.

Complexação, precipitação e adsorção influenciam a velocidade de transporte de metais nos solos. Esses processos dependem de parâmetros variáveis espacialmente e da especiação do metal. A especiação de metais, por sua vez, depende de muitos parâmetros, como, pH, potencial redox, teor de matéria orgânica, entre outros (HELLWEG et al., 2006). Portanto, a interpretação de todos os processos que interferem no transporte de metais no solo é de extrema dificuldade e complexidade quando se trabalha em uma escala regional. A falta de parâmetros físico-químico do solo espacializados é uma das limitações para tal interpretação. Assim, para esse trabalho, não são levados em consideração os mecanismos de retardação/aceleração e degradação/decaimento.

A **Figura 51** é o Mapa de Suscetibilidade à contaminação por Metais. Na área do Alto PET destaca-se o entorno da fábrica da Paranapanema – Capuava, da Magneti Marelli, da Pirelli e do lote da MRV. Este último apresenta suscetibilidade moderada, visto que as concentrações extraídas do processo eram de 2011, durante etapas de remediação.

Na região do Médio PET há a presença de um número maior de lotes contaminados por metais, conseqüentemente, há uma variedade de áreas suscetíveis no entorno. Destacam-se os lotes no entorno das duas fábricas da Rhodia e os lotes próximos à linha de trem da CPTM.

Já no Baixo PET, a grande maioria dos lotes já são ACs cadastradas, em diferentes etapas no processo de gerenciamento. Entretanto, destaca-se o lote à sudeste e o lote ao norte da fábrica da Paranapanema.

Muitos dos solventes halogenados, líquidos orgânicos, como o tricloroetano e benzeno, possuem maior pressão de vapor e maiores chances de serem biodegradados. Portanto, são substâncias que tendem a sofrer reações de transformação e de transferência de massa entre as matrizes ambientais, sofrendo com um fluxo de saída desses poluentes do subsolo. Sabe-se que o cloreto de vinila é resultante do processo de degradação de PCE e TCE em condições anaeróbicas (BRADY et al., 1997). Como na região do PET são encontrados tanto TCE como cloreto de vinila, assume-se que há uma degradação de organoclorados de

maior densidade para de menor densidade, como o cloreto de vinila. Como o cloreto de vinila apresenta maior mobilidade (VERECHIA, 2014) em relação aos outros compostos, ele serve de base para a migração dos principais solventes halogenados na região. Sendo assim, o cloreto de vinila indica tanto a presença de processos bio-físico-químicos na área, como também processos físicos.

O Mapa de Suscetibilidade à contaminação por Solventes Halogenados é apresentado na **Figura 52**. O Alto PET apresenta uma maior quantidade de lotes suscetíveis à contaminação por solventes halogenados por apresentar um maior número de lotes industriais que utilizam ou utilizaram solventes halogenados nos seus processos industriais. Então os lotes no entorno das fábricas da Paranapanema, Magneti Marelli, Pirelli e inclusive o atual Shopping Atrium possuem maior suscetibilidade do que os outros lotes da região.

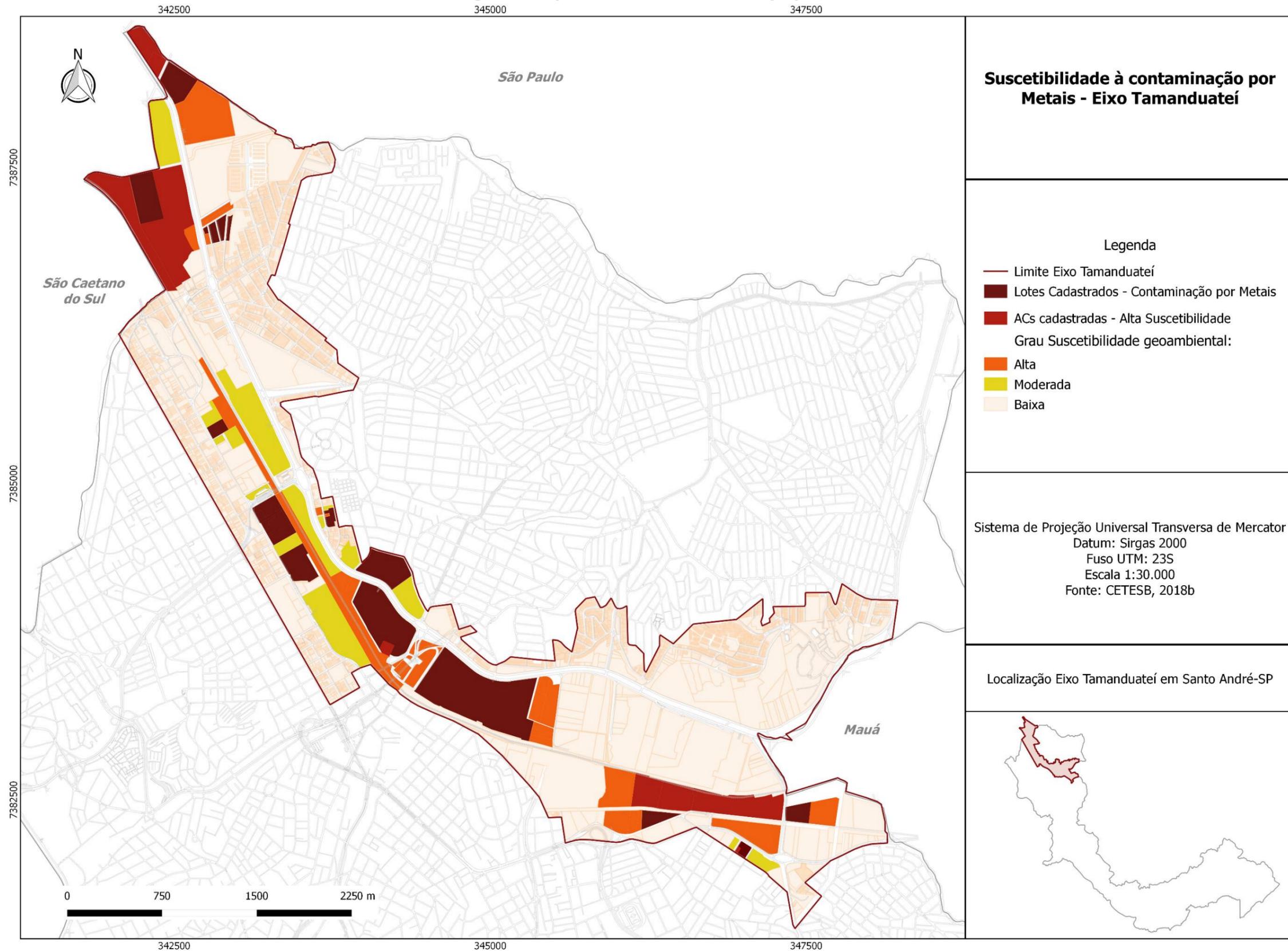
No Médio PET, têm-se os lotes da Rhodia e o lote do Shopping Grand Plaza como antigas e/ou atuais fontes de contaminação por halogenados. Assim, da mesma forma que a suscetibilidade por metais, os lotes da região da linha de trem da CPTM merecem destaque, além do lote da Usiminas, a nordeste do lote da Actos (ID 10).

Por fim, na região do Baixo PET deve-se destacar a suscetibilidade do lote da Anhanguera, a nordeste do lote da Kraki, os lotes propriamente ao lado da Kraki e o lote ao norte da Fábrica Paranapanema – Utinga, que é atualmente utilizado por Freitas Leiloeiro.

Em grande parte dos casos descritos acima, o mesmo lote apresenta suscetibilidade à contaminação por metais e por solventes halogenados. Esses lotes estão localizados nos arredores de grandes indústrias poluidoras, que ainda estão operando.

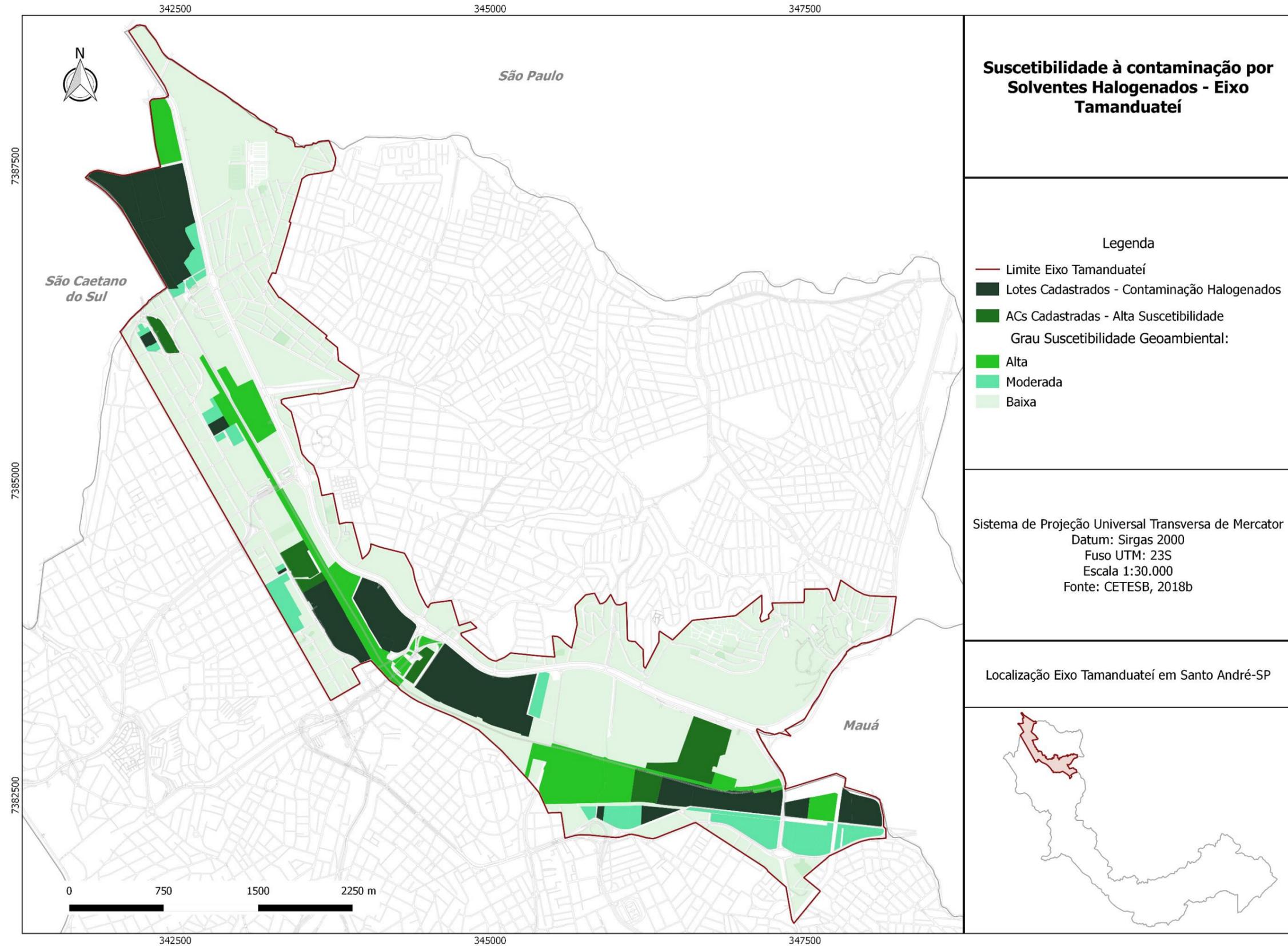
O Rio Tamandateí também merece destaque. O fluxo subterrâneo e a proximidade das fontes de contaminação pontuais indicam uma alta suscetibilidade, não só para o Rio Tamandateí, mas também para seus afluentes.

Figura 51: Mapa de Suscetibilidade à contaminação por Metais.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 52: Mapa de Suscetibilidade à contaminação por Solventes Halogenados.



Fonte: Elaborada pela autora.

6.7 Contaminação Difusa

Comparando os resultados das isolinhas de concentração e os mapas de suscetibilidade, podem-se indicar sete regiões do PET que apresentam grandes chances de estarem contaminadas, seja por metais, por solventes halogenados, ou até mesmo outros contaminantes presentes nas atuais fontes de contaminação. A **Tabela 17** apresenta uma breve descrição de cada uma das sete áreas com possível contaminação difusa. A **Figura 53** mostra a localização das sete áreas. Muitas das áreas apontadas aqui podem ser consideradas *clusters* de contaminação. Bertolo (2017, p.100) afirma que a “superposição de áreas na forma de grupos de áreas contaminadas (*clusters*) exibe maior probabilidade de serem classificadas como fontes multipontuais”. Nesse caso, são regiões que apresentam maiores chances de contaminação difusa. Consentino (2017, apud Bertolo, 2017) reconhece que áreas com fontes multipontuais podem ser consideradas áreas críticas de contaminação potencial da água subterrânea. A região industrial próxima à Mauá (Áreas 1, 2 e 3) já foram classificadas como *clusters* de contaminação (Consentino, 2017 apud Bertolo, 2017).

A Área 1 está situada no subdomínio hidrogeológico Aluvião, próximo ao córrego Cassaquera, com declividade do terreno inferior a 1%. Ao redor do atual empreendimento da MRV (Condomínio predial), tem-se a Cozinha Central da Craisa, diversas residências, um galpão da Pirelli (Av. Capuava, 603) e a Creche Lar de Maria – Unidade 4. O lote da MRV está reabilitado para o uso declarado, já sendo ocupado por diversos moradores. O lote da Creche Lar de Maria não está cadastrado como AC na CETESB, porém faz parte do levantamento do SEMASA e da PMSA. Uma investigação junto ao SEMASA e PMSA se torna necessária, para compreensão da contaminação no lote do Lar de Maria. Essa é uma região onde tem-se a acumular a massa de metais, visto que é uma região relativamente plana, com pouco fluxo de saída de solutos. Não é possível avaliar a capacidade de perda ou ganho de massa desses metais por reações, visto à heterogeneidade do subsolo da região do PET como um todo.

A Área 2 abrange o entorno da fábrica da Paranapanema - Capuava. Está situada no subdomínio hidrogeológico Aluvião, próximo ao córrego Cassaquera e Itrapoã, com declividade inferior a 1%, fazendo divisa com o município de Mauá. Do lado direito da fábrica da Paranapanema, tem-se o lote da TRW Automotive Brasil, uma ACRE, em processo de remediação por bombeamento e tratamento, extração de vapores do solo, descloração reductiva e redução química, conforme o levantamento da CETESB (2018b). O lote à esquerda já foi reabilitado para uso declarado e faz parte do conjunto da Pirelli. Ao norte da fábrica há

um terreno aparentemente sem uso, às margens da linha 10 da CPTM e do Córrego Itrapoã. Uma análise mais profunda dessa região se faz necessária, com comparativos de datas de campanhas de monitoramento, técnicas de remediação e até mesmo uma nova campanha de monitoramento simultânea para a região, uma vez que é uma região com um *cluster* de indústrias que utilizam solventes halogenados, aromáticos e metais em seus processos, que estão nas margens de córregos que desaguam no rio Tamanduateí. Por ser uma região com a presença de diversos contaminantes, que costumavam a entrar no sistema a partir das atividades industriais da região, pode-se dizer que a taxa de entrada do soluto no sistema costumava a ser muito maior do que a de saída, e de perdas de massa por reações, justificando as altas concentrações encontradas na região, e um espriamento para os lotes vizinhos, seja por dispersão mecânica, difusão molecular ou advecção.

Os arredores da Área 3 é marcado por um *cluster* de lotes da Magneti Marelli, tanto em Santo André como em Mauá. É uma região localizada no Aluvião, com baixa declividade e proximidade com o córrego Itrapoã (que faz a divisa entre Mauá e Santo André). Os lotes da Magneti Marelli em Mauá estão em processo de remediação (ACRe) e o da Indústria de Fundação Tupy também. Entretanto, há um lote da Avenida Manoel da Nóbrega, na frente da Indústria de Fundação Tupy que não há identificação, não está cadastrado na CETESB e possui grande chance de estar contaminado.

À nordeste do lote da Horizon (Área 4), na Avenida Industrial, há a linha 10 da CPTM, o Motel Red Sky e o Bloco Anexo da Universidade Federal do ABC. À sudoeste está o Parque Celso Daniel (Área 5). À esquerda está o terreno vazio da Immobili (AR), e à direita o Shopping Grand Plaza (AR). Para a correta interpretação da contaminação nessa região, seria necessário avaliar as últimas campanhas de monitoramento do Shopping, da Immobili e da Horizon, comparando as plumas de contaminação. Essa região está localizada no subdomínio Bacia Tipo Taubaté, com baixa declividade do terreno (até a porção sudeste do Parque Celso Daniel), cortada por canais de drenagem fechados e um pequeno córrego ao lado da Horizon. Por se tratar de uma contaminação mais antiga, em uma região com menor vulnerabilidade à contaminação do que a região de Aluvião, a probabilidade de que a contaminação tenha migrado para outras regiões mais próximas do rio Tamanduateí é relativamente alta. O entorno dessa região mostrou-se possuir baixa capacidade de degradação ou decaimento dos poluentes, devido às propriedades do solo, entretanto, o tipo de aquífero presente é mais poroso, permitindo um maior transporte de poluentes para áreas adjacentes, mais próximas dos córregos e rios.

A Área 6 é a área de influência da Kraki. O lote à nordeste pertence à Anhanguera, que é uma área contaminada sob investigação. Os arredores da área apresentam comércios, indústrias e um lote sem uso (à esquerda da Kraki). Nas proximidades da Anhanguera também há alguns lotes aparentemente sem uso e alguns galpões possivelmente abandonados, como observado na visita de campo. Assim como a área descrita anteriormente, é uma região que propicia o espraiamento da contaminação para as zonas mais baixas e planas, próximas ao rio Tamanduateí. A análise dos mapas apresentados anteriormente, somados à localização das áreas contaminadas desse entorno, indicam que a contaminação da Kraki tenha atingido o lote da Anhanguera. Até o momento das consultas aos processos da CETESB, a contaminação no lote da Anhanguera estava sendo investigado, com possível origem de fora do lote para determinados contaminantes.

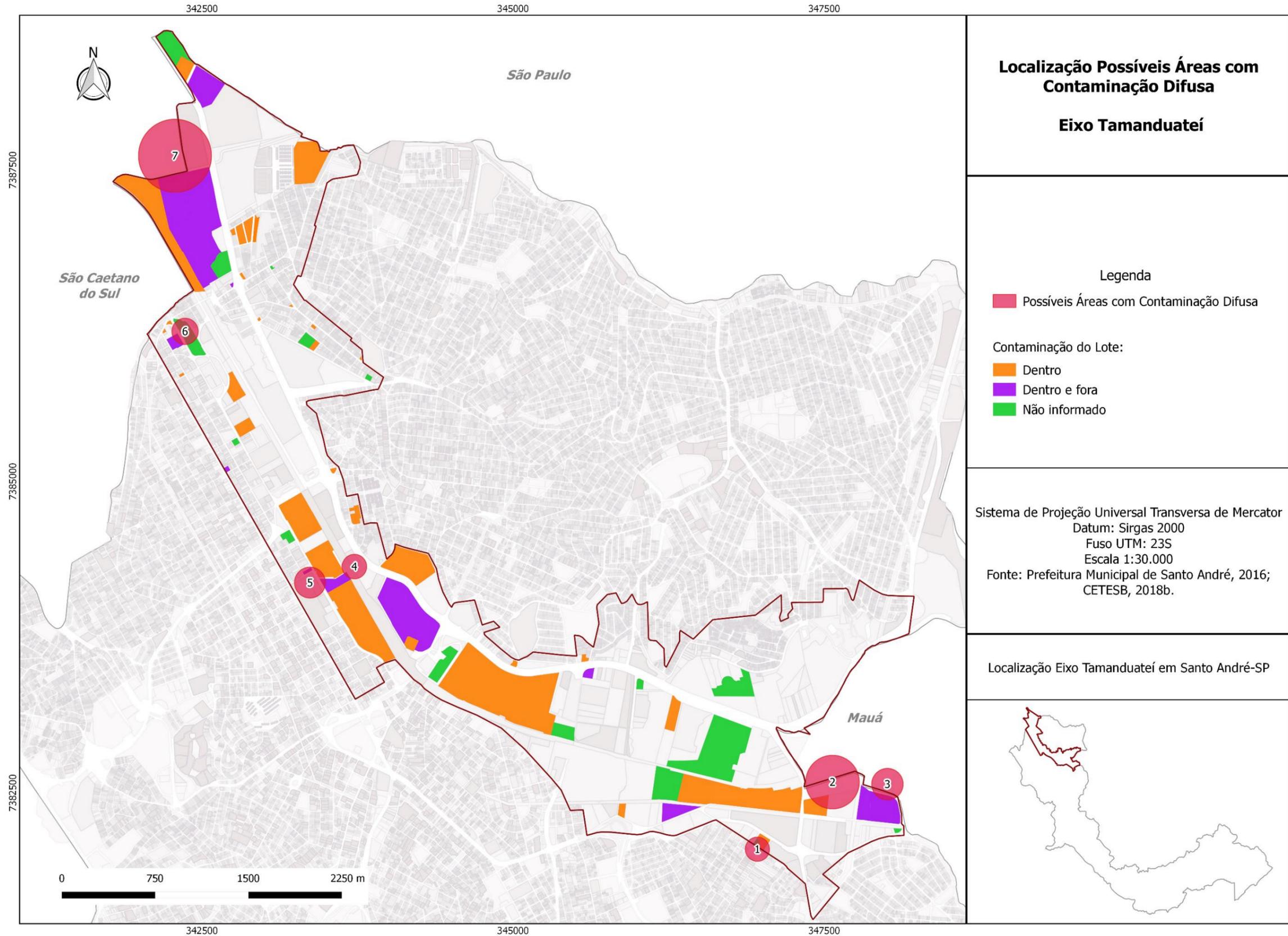
Por fim, a região da Área 7 possui três ACs em Santo André: A Paranapanema-Utinga (ACRe), Novelis (ACRe) e Utingás (AR); e uma em São Caetano do Sul, o Transpetro da Petrobrás (ACRe). É uma região de aluvião, com baixa declividade, próxima ao Rio Tamanduateí, na divisa entre Santo André e São Caetano do Sul. Os únicos lotes do entorno que não são ACs é o do Freitas Leiloeiro, na Avenida do Estado (Santo André) e o da Oxyfuel na Rua Felipe Camarão (São Caetano do Sul). Pela proximidade de quatro ACs na região, esses lotes possuem alta suscetibilidade à contaminação, tanto por metais como por solventes aromáticos e halogenados. Essa região também pode ser considerada um *cluster* de contaminação, por indicar um baixo fluxo de saída de poluentes do sistema, somados à uma grande entrada de poluentes no sistema no passado.

Tabela 17: Possíveis áreas com contaminação difusa no Eixo Tamanduateí.

| Número | Contaminantes | Descrição |
|---------------|--|---|
| 1 | Metais | Entorno do lote da MRV (ID 06) – A alta suscetibilidade dos lotes somados a possível pluma de contaminação de Bário indica que essa área possui chances de estar contaminada por metais provenientes do antigo uso do lote da MRV. |
| 2 | Metais, solventes aromáticos e halogenados | Entorno do lote da Fábrica da Paranapanema – Capuava (ID 14) - Apesar de não estar marcada como um lote com contaminação externa, o próprio processo da CETESB indica uma sobreposição de plumas vindas do lote vizinho à direita, da TRW Automotive Brasil. Além disso, as plumas de cloreto de vinila também indicam uma contaminação no sentido de Mauá. |
| 3 | Solventes aromáticos e halogenados | Entorno do lote da Magneti Marelli (ID 13) – No levantamento da CETESB referente à 2017 é possível ver que o lote da Magneti Marelli em Santo André apresenta contaminação para fora dos limites do lote, especialmente para o lote vizinho, a outra fábrica da Magneti Marelli localizada em Mauá. Os mapas de isolinhas de concentração de cloreto de vinila corroboram a presença dessa contaminação difusa, para além dos limites do lote em Santo André. |
| 4 e 5 | Metais e Solventes aromáticos | Entorno do lote da Horizon (ID 05) – Esse lote também foi classificado como tendo contaminação para fora dos limites da propriedade (CETESB, 2018b). Além disso, as plumas de contaminação de Bário também indicam a extrapolação dos limites do lote. |
| 6 | Metais, solventes aromáticos e halogenados | Entorno da Kraki (ID 01) – Lote delimitado por apresentar contaminação para fora do limite (CETESB, 2018b). As plumas de contaminação de Níquel, Chumbo e Clorofórmio também indicam um fluxo no sentido do rio Tamanduateí, principalmente para o lote da Anhanguera (ID 02). |
| 7 | Metais, solventes aromáticos e halogenados | Entorno da Paranapanema- Utinga (ID 15) – Os lotes da Paranapanema e da Novelis apresentam contaminação sobreposta. Possivelmente a contaminação chegou até São Caetano do Sul, do outro lado da Rua Felipe Camarão. |

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 53: Mapa das possíveis áreas com contaminação difusa na região de influência do PET.



Fonte: Elaborada pela autora.

A criação da *geodatabase* foi essencial para a identificação das possíveis áreas com contaminação difusa na região de influência do PET. O sistema de informações georreferenciado foi importante para o reconhecimento da seguinte situação: (1) as áreas contaminadas da região do PET encontram-se em diferentes estágios de investigação, com predomínio de AR e ACRE; (2) as informações (coordenadas dos poços de monitoramento, nível d'água sazonal, concentração de poluentes, e parâmetros geoambientais detalhados) consultadas nos processos da CETESB (17 processos) foram suficientes para apontar sete regiões potenciais com contaminação difusa. Assume-se que se uma quantidade maior de processos fosse consultada, esse número de áreas potenciais seria muito maior, visto que a região do PET apresenta diversos *clusters* de contaminação; (3) análises de solo não são monitoradas ao longo das campanhas de monitoramento, salvo raras exceções. A falta de coordenadas geográficas para tais amostragens impossibilita o uso dessas análises quando se estuda a contaminação em escala regional; (4) as campanhas de monitoramento são muitas vezes restritas aos lotes cadastrados, pouco contribuindo para o entendimento da contaminação em escala regional. Assim como Barbosa et al. (2017, p.336), pode-se concluir que visto a heterogeneidade das informações analisadas dos processos “é impossível alcançar alguma solução razoável para o problema ambiental sem um trabalho de gestão integrada coordenado pelo Estado, com a cooperação dos responsáveis legais pelas áreas contaminadas”.

A falta de uma organização e padronização na obtenção e apresentação dos dados nos relatórios dos estudos de contaminação acaba prejudicando análises em escalas regionais. A existência de muitos poços de monitoramento muito próximos uns dos outros, limitados ao lote de interesse não otimiza essa análise em escalas maiores. Além da dificuldade de sistematização de dados que são públicos, porém de difícil acesso, obtidos nos relatórios das áreas contaminadas, a falta de uma base de dados espaciais nacional integrada, com parâmetros geoambientais com escalas apropriadas, bem detalhadas e uniformizadas também impossibilita uma maior utilização de dados georreferenciados para estudos de contaminação regional.

Com uma maior organização e padronização de dados geoambientais básicos para os estudos de contaminação, aliados a uma base de dados geoespaciais em escala nacional, seria possível sistematizar todos os parâmetros geoambientais de uma região, facilitando a interpretação de possíveis áreas com contaminação difusa, e inclusive orientando e otimizando a investigação ambiental que já é bastante onerosa. Com uma organização e normatização prévia, os dados obtidos em relatórios individuais de contaminação podem ser

utilizados de forma integrada uns com os outros, facilitando estudos regionais, otimizando custos de perfurações e de retirada de amostras de solo e água subterrânea.

A sistematização e mapeamento de áreas com contaminação difusa não substitue a investigação ambiental, com as amostragens e campanhas de monitoramento. Entretanto, essa análise regional fornece o embasamento necessário para otimizar os pontos de amostragem de solo e água subterrânea, apontando regiões com maiores probabilidades de estarem contaminadas, meio a um universo de áreas contaminadas conhecidas e já estudadas.

Assim como no trabalho de Dassargues et al. (2012) que utilizou o conceito de *geodatabase* aplicado a áreas contaminadas, os resultados aqui obtidos podem ser utilizados como orientadores pelas agências ambientais e como uma referência de priorização para análises de *clusters* de contaminação da região. Henriksson et al (2013) também utilizou uma interpretação baseado em SIG para analisar a contaminação regional em um local da Suécia e também constatou que essa interpretação geoespacial facilita a análise regional, e pode ser uma ferramenta útil na discussão sobre futuras investigações geoambientais na área de estudo e em avaliações de risco com os *stakeholders*.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região do Projeto Urbano “Eixo Tamanduatehy” é marcada pela presença de diversas indústrias, sejam atuais ou presentes, que geraram passivos ambientais que ainda estão em processo de remediação ou ainda sob investigação. Além disso, a região também apresenta diversos parâmetros geoambientais favoráveis à contaminação difusa, ou seja, ao espalhamento da contaminação de fontes pontuais.

Foi possível sistematizar, mapear e identificar sete áreas com potencial de contaminação difusa, com base nas análises do fluxo subterrâneo, das isolinhas de concentrações e dos mapas de suscetibilidade à contaminação, que foram elaborados a partir da sistematização e interpretação tanto de dados geoambientais regionais, como dos dados extraídos dos 17 processos de licenciamento ambiental da CETESB. Grande parte das possíveis áreas com contaminação difusa apresentou mais de uma análise verdadeira, corroborando a capacidade de utilização de uma base de dados georreferenciada (*geodatabase*) para essa análise de áreas com contaminação difusa. Sendo assim, essa dissertação atingiu seus objetivos.

Ressaltam-se ainda, que os resultados aqui apresentados possuem limitações, “ruídos” que podem afetar a utilização dos mesmos para escalas de grande detalhamento. Diversas condições de contorno tiveram que ser aplicadas para que os dados analisados nos processos da CETESB fossem utilizáveis, especialmente relacionados às coordenadas geográficas dos poços de monitoramento e aos níveis d’água subterrânea, que foram sistematizados a partir de 17 processos, de diferentes períodos de monitoramento, em diferentes anos. Mesmo assim, foi possível obter resultados coerentes com o que se esperava sobre as características geoambientais locais.

O maior desafio encontrado foi sistematizar as informações dos relatórios técnicos vistos na CETESB, uma vez que cada área apresenta um relatório produzido por uma empresa de consultoria diferente, dificultando a padronização destas informações. Informações que inclusive, nem sempre se encontravam descritas nos relatórios. Além disso, a disponibilidade dos processos para consulta também dificultou uma melhor interpretação dos dados da região,

uma vez que muitos não foram encontrados, estavam indisponíveis para consulta no momento, ou apenas traziam um conjunto de processos administrativos de licenças de operação.

A qualidade e a confiabilidade dos dados não são semelhantes para todos os processos. Pode-se observar que processos de grandes empreendimentos industriais possuem um maior volume de informações, enquanto que postos de combustíveis apresentam pequenos processos. A falta de integração dessas informações por muitas vezes é a causa de contaminações sem explicações em diversos lotes, por contaminantes que não são resultantes dos processos industriais do lote. Em alguns processos, contaminantes “exóticos” aos lotes são encontrados, que não possuem origem interna ao lote. Quando as concentrações desses contaminantes “exóticos” são inferiores aos valores orientadores da CETESB, o questionamento da origem dos mesmos extingue, uma vez que não é mais uma obrigação do responsável legal.

A construção da base de dados regional a partir da sistematização de dados geoambientais é de extrema importância e deve ser levada mais em consideração na cultura do GAC nacional, pois facilita o entendimento de como se dá a contaminação na região, além de ser um instrumento imprescindível para estudos futuros na determinação de quais lotes têm maior influência na contaminação, especialmente em zonas de *clusters* industriais, onde há uma sobreposição de plumas de contaminação.

Pode-se concluir que para que a sistematização e o mapeamento de áreas contaminadas em escala regional sejam efetivos, com poucos “ruídos” e erros, é necessária uma padronização nos procedimentos de amostragem ambiental, na qualidade e precisão dos instrumentos de análise, na apresentação desses dados nos relatórios de forma tabelada, clara e unificada, e ainda a disponibilização desses dados em uma base já georreferenciada, disponível online, já com um sistema de projeção único para todo o Brasil. Dessa forma, com essa padronização, esses estudos regionais seriam menos demorados, mais eficientes, mais precisos e ainda serviriam para otimizar recursos financeiros, tanto para o gerenciamento de áreas contaminadas, como também para o desenvolvimento e planejamento urbano da região.

Sugere-se que trabalhos futuros avaliem os possíveis usos para essas áreas contaminadas estudadas, com possível contaminação difusa e até mesmo abandonadas na região do Eixo Tamandateí. Pode-se ainda, confirmar a contaminação dessas áreas aqui apontadas com contaminação difusa, através de amostragem e ensaios laboratoriais. A mesma análise pode ser complementada com outros processos, com novas campanhas de monitoramento da qualidade dos solos e das águas subterrâneas da região, especialmente em

conjunto com o Polo Petroquímico de Capuava, um outro *cluster* de áreas contaminadas bem próximo do Eixo Tamanduateí.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007). NBR 15515-1: *Passivo ambiental em solo e água subterrânea - Parte 1: Avaliação preliminar*. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- _____. (2009). NBR 15495-1: *Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulados - Parte 1: Projeto e construção*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- _____. (2010). NBR 15847: *Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga*. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- _____. (2011). NBR 15515-2: *Passivo ambiental em solo e água subterrânea - Parte 2: Investigação confirmatória*. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- _____. (2011). NBR 15515-3: *Passivo ambiental em solo e água subterrânea - Parte 3: Investigação detalhada*. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- _____. (2013). NBR 16209: *Avaliação de risco a saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas*. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- _____. (2013). NBR 16210: *Modelo conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas – Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ACSELRAD, H. Vulnerabilidade ambiental, processos e relações. *II Encontro Nacional de Produtores e Usuários de Informações Sociais, Econômicas e Territoriais*, [s.l.], 5p., 2006.
- ALKER, S. et al. N. The definition of brownfield. *Journal of Environmental Planning and Management*, Jan 2000, Vol.43(1), 49p.
- ALLER, L., et al. 1987. “DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings,” US EPA Report 600/287/035, U.S. Environmental Protection Agency.
- AMARAL, I. C. C. et al. Avaliação ambiental de BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno, xilenos) e biomarcadores de genotoxicidade em trabalhadores de postos de combustíveis. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, São Paulo, v. 42, supl. 1, 2017 .

- ATSDR – AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES & DISEASE REGISTRY. Toxic Substances Portal. 2011. Disponível em: < <https://www.atsdr.cdc.gov/substances/indexAZ.asp>>. Acesso em: Março de 2018.
- BARBOSA, M.; BERTOLO, R. A.; HIRATA, R. A Method for Environmental Data Management Applied to Megasites in the State of Sao Paulo, Brazil. *Journal of Water Resource And Protection*, [s.l.], v. 09, n. 03, p.322-338, 2017.
- BERTOLO, R.A. *Bases técnicas para gestão de áreas contaminadas por solventes orgânicos em aquíferos fraturados*. 2017. 190f. Tese (Livre-docência em Hidrogeologia e Gestão de Áreas Contaminadas) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- BJERG, P.L. et al. Risk-based prioritization of ground water threatening point sources at catchment and regional scales. *Science of The Total Environment*, [s.l.], v. 485-486, p.769-775, jul. 2014.
- BONFIM, L. F. C. Mapa dos domínios e subdomínios hidrogeológicos do Brasil em ambiente SIG: concepção e metodologia. In: *XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços*, 2010, São Luís.
- BOSCOV, M. E. G. *Geotecnia Ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- BOULDING, K. E. *The meaning of the Twentieth Century*. New York: Harper and Row, 1964.
- BRADY, P.V. et al. *Natural Attenuation: CERCLA, RCAs, and the Future of Environmental Remediation*. CRC Press. 1997. 256 p.
- BRAGA, M. et al. *Investigação Detalhada de uma Área Contaminada por Etenos Clorados*. Anais do I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. 2009.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Cidades Sustentáveis, Resíduos Perigosos, Áreas Contaminadas*. 2017. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/areas-contaminadas> >. Acesso em: Maio de 2017.
- CALIJURI, C.; CUNHA, D. G. F. *Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

- CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. (2001). Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado De São Paulo. São Paulo: CETESB, 2001.
- _____. (2007). *Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007*. Dispõe sobre Procedimentos para Gerenciamento de Áreas Contaminadas. São Paulo: 2007.
- _____. (2013). *Manual de gerenciamento de áreas contaminadas*. São Paulo: CETESB, 2013.
- _____. (2014). *Decisão de Diretoria nº 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014*. Dispõe sobre Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo 2014.
- _____. (2016a). *Áreas contaminadas e reabilitadas do Estado de São Paulo*. São Paulo, 2016.
- _____. (2016b). *Decisão de Diretoria nº 256/2016/E, de 22 de novembro de 2016*. Dispõe sobre a aprovação dos “Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2016” e dá outras providências. São Paulo, 2016.
- _____. (2017a). *Decisão de Diretoria nº 038/2017/C, de 07 de fevereiro de 2017*. Dispõe sobre a aprovação do “Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas”, da revisão do “Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas” e estabelece “Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental”, em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013, e dá outras providências. São Paulo, 2017.
- _____. (2017b). *Informações Toxicológicas*. Laboratório. 2017. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/servicos/informacoes-toxicologicas/>>. Acesso em: Março 2018.
- _____. (2018a) *Planilhas para Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação*. Planilhas para Avaliação. Áreas Contaminadas, 2018. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/planilhas-para-avaliacao/>>. Acesso em: Março de 2018.
- _____. (2018b). *Áreas contaminadas e reabilitadas do Estado de São Paulo (referentes a 2017)*. São Paulo, 2018.

- CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura. Unicamp. Clima dos Municípios Paulistas. Santo André. Disponível em: <https://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_537.html>. Acesso em Outubro 2017.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. (2009). *Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009*. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Diário Oficial da União, Brasília, nº 249, 30 dez. 2009. p. 81-84.
- _____. (2013). Resolução nº 460, de 30 de dezembro de 2013. Altera a Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, nº 253, 30 dez. 2013. p. 153.
- CONSTANZA, R. et al. Goals, agenda, and policy recommendations for ecological economics. In: COSTANZA, R. (Ed.) *Ecological economics: the science and management of sustainability*. New York: Columbia University Press, 1991. p.1-20.
- CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Serviço Geológico do Brasil. *Aquíferos*. Canal Escola. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Aquiferos-1377.html>>. Acesso em: Março de 2018.
- _____. *Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo*. Brasil: CPRM, 2007.
- CUNHA, C.A. *Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas por Fontes Industriais Desativadas – Estudo de Caso*. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- DAGNINO, R.S.; CARPI JUNIOR, S. Risco Ambiental: Conceitos e Aplicações. *Climatologia e Estudos da Paisagem*. Rio Claro - Vol.2 - n.2 – 2007.
- DASSARGUES, A., et al. A regional flux-based risk assessment approach for multiple contaminated sites on groundwater bodies. *Journal of Contaminant Hydrology*, [s.l.], v. 127, n. 1-4, p.65-75, jan. 2012.
- DENALDI, R. Org. *O desafio de planejar a cidade: política pública e habitacional de Santo André SP (1997-2008)*. São Paulo: Annablume, 2012.

- ESTEVEES, C.J.O. Risco e Vulnerabilidade Socioambiental: Aspectos Conceituais. *Caderno IPARDES*, Curitiba, v.1, n.2, p.62-79, jul./dez. 2011.
- FABIETTI, G. et al. Soil contamination by organic and inorganic pollutants at the regional scale: the case of Piedmont, Italy. *J Soils Sediments*, [s.l.], v. 10, n. 2, p.290-300, 11 jul. 2009.
- FINKEL, M.; MCKNIGHT, U. S. A system dynamics model for the screening-level long-term assessment of human health risks at contaminated sites. *Environmental Modelling & Software*, [s.l.], v. 40, p.35-50, fev. 2013.
- FOSTER, S; HIRATA, R. *Groundwater pollution risk assessment: a methodology based on available data*. Lima, Peru: WHO-PAHO; HPE-CEPIS, 1988. 81p.
- FREEZE, R.A.; CHERRY, J.A., 1979. *Groundwater*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1979, 604p.
- FRITZSONS, E.; et al. Estudo do impacto da contaminação por nitrogênio numa bacia hidrográfica cárstica. *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, p. 39-52, 2001.
- FUCKS, M. Reflexões sobre o paradigma da economia ecológica para a gestão ambiental. *Estudos Avançados*, 26 (74), 2012.
- GUIGUER, N.; KOHNKE, M.W. Métodos para determinação da vulnerabilidade de Aquíferos. *Anais do XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, 2002, 13p.
- HELLWEG, Stefanie et al. Site-dependent fate assessment in LCA: transport of heavy metals in soil. *Journal of Cleaner Production*, [s.l.], v. 13, n. 4, p.341-361, mar. 2005.
- HENRIKSSON, S. et al. Assessment of PCDD/Fs levels in soil at a contaminated sawmill site in Sweden – A GIS and PCA approach to interpret the contamination pattern and distribution. *Environmental Pollution*, [s.l.], v. 180, p.19-26, set. 2013.
- HIRATA, R. et al. Groundwater pollution risk vulnerability map of the São Paulo State – Brazil. *Water Science and Technology*, Oxford, v. 24, p.236-246, 1991.
- HIRATA, R.; FERNANDES, A. Capítulo 5.4 – Vulnerabilidade à Poluição de Aquíferos. In: FEITOSA, F.A.C. et al. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 3. Ed .rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM:LABHID, 2008. 812 p.
- HUANG, B. et al. Chlorinated volatile organic compounds (Cl-VOCs) in environment — sources, potential human health impacts, and current remediation technologies. *Environment International*, [s.l.], v. 71, p.118-138, out. 2014.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000* (livro eletrônico): nota técnica explicativa / coordenação Omar Yazbek Bitar. - São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo ; Brasília, DF : CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014.

_____. *Guia de elaboração de planos de intervenção: para o gerenciamento de áreas contaminadas*. 1. ed. Revisada, São Paulo: BNDES, 2013.

KABBOUR, B. B. et al. Assessing groundwater contamination risk using the DASTI/IDRISI GIS method: coastal system of western Mamora, Morocco. *Bulletin Of Engineering Geology And The Environment*, [s.l.], v. 65, n. 4, p.463-470, 11 nov. 2006.

KHALIL, A. et al. GIS-based environmental database for assessing the mine pollution: A case study of an abandoned mine site in Morocco. *Journal Of Geochemical Exploration*, [s.l.], v. 144, p.468-477, set. 2014.

KLINK, J. J. *A cidade região: regionalismo e reestruturação no Grande ABC Paulista*. Rio de Janeiro: DP&A, 2001.

KULFS, C. et al. Rating the hazard potential on waste disposal facilities. In: National Conference on Management of Uncontrolled Hazardous Waste Sites, 1980. Washington, D.C.p.30-41.

LI, X. et al. The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach. *Environmental Pollution*, [s.l.], v. 129, n. 1, p.113-124, maio 2004.

MARCOMINI, A. et al. Regional risk assessment for contaminated sites Part 2: Ranking of potentially contaminated sites. *Environment International*, [s.l.], v. 37, n. 8, p.1307-1320, nov. 2011.

MARCOMINI, A. et al. Regional risk assessment approaches to land planning for industrial polluted areas in China: The Hulunbeier region case study. *Environment International*, [s.l.], v. 65, p.16-32, abr. 2014.

MARKER, A. *A revitalização de áreas urbanas degradadas: políticas, instrumentos e incentivos no cenário internacional – Relatório de Consultoria 01/01*. São Paulo: GTZ, 2003. 45p.

MCCARTHY, J.F.; ZACHARA, J.M. Subsurface transport of contaminants. *Environmental Science & Technology*, v. 23, n. 5, p. 496-502, 1989.

MICÓ, C. et al. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European

- Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*, [S.L.], v.65, n. 5, p.863–872, out. 2006.
- MONDELLI, G. *Integração de diferentes técnicas de investigação para avaliação da poluição e contaminação de uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos*. 2008. 392 f. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.
- NEVES, B.F. *Estudo das inundações no município de Santo André e sua relação com as chuvas intensas*. 2016. 99 f. Trabalho de Graduação em Engenharia Ambiental e Urbana da Universidade Federal do ABC. Santo André, 2016.
- OLIVEIRA, R.G.. *Avaliação de Impactos e Condicionantes Ambientais na Implantação do Projeto Urbano “Eixo Tamanduatehy”*. 2015. 96 f. Monografia em Engenharia Ambiental e Urbana – Universidade Federal do ABC, Santo André. 2015.
- PARREIA, F.V.; CARDEAL, Z.L. Amostragem de Compostos Orgânicos Voláteis no Ar utilizando a Técnica de Microextração em Fase Sólida. *Química Nova*, [s.l.], v. 28, n. 4, p.646-654, fev. 2005.
- PASCALICCHIO, Aurea. *Contaminação por metais pesados: Saúde pública e medicina ortomolecular*. São Paulo. Annablume. 2002
- PEPPER, I. et al. *Environmental and Pollution Science*. Amsterdam Boston: Elsevier/Academic Press, 2006.
- PETTS, J; CAIRNEY, T.; SMITH, M., 1997. Risk-based Contaminated Land Investigation and Assessment. John Wiley and Sons, Chichester, 352p.
- PHILLIPS, C.r.; NATHWANI, J.s.; MOOIJ, H.. Development of a soil—waste interaction matrix for assessing land disposal of industrial wastes. *Water Research*, [s.l.], v. 11, n. 10, p.859-868, jan. 1977.
- PRADO, H. Glossário Pedológico. *Pedologia Fácil*.
- PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA DESENVOLVIMENTO. Relatório do Desenvolvimento Humano 2007/2008 – Combater as mudanças climáticas: solidariedade humana em um mundo dividido. Nova York: PNUD, 2007. Disponível em: <http://hdr.undp.org/en/media/hdr_20072008_pt_complete.pdf>. Acesso em março 2018.
- REGEA. *Relatório de Investigação Confirmatória e Investigação Detalhada quanto a Passivo Ambiental por Contaminação do Solo e Águas Subterrâneas e Avaliação de Risco no Campus Universitário de Santo André – UFABC – SP*. Relatório 1522 - R2 -10. Regea Geologia e Estudos Ambientais, 2010, 82p.

- REGEA. Relatório Técnico: *Monitoramento da qualidade das águas subterrâneas – Universidade Federal do ABC – Santo André/SP – 1º Campanha de Monitoramento*. Grupo Regea-Pangea Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais. São Paulo, jan. 2014.
- ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, v. 10, p. 41-58, nov. 2011. ISSN 2236-2878. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/53703>>. Acesso em abril 2018.
- SÁNCHEZ, L.H. *Desengenharia: O Passivo Ambiental na Desativação de Empreendimentos Industriais*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- SÁNCHEZ, L.H. Revitalização de áreas contaminadas. In: MOERI, E; COLEHO, R; MARKER, A. (Ed). *Remediação e revitalização de áreas contaminadas: aspectos técnicos, legais e financeiros*. São Paulo: Signus, 2004. P.79-90.
- SANTO ANDRÉ. *Lei nº7.733, de 14 de Outubro de 1998*. Dispõe sobre Política Municipal de Gestão e Saneamento Ambiental e dá outras providências. Santo André-SP, 1998.
- _____. *Lei nº 9.394, de 05 de janeiro de 2012*. Altera a Lei nº 8.696, de 17 de dezembro de 2004, que instituiu o Plano Diretor no Município de Santo André. Santo André-SP, 2012.
- _____. Prefeitura Municipal de Santo André. Arquivos georreferenciados. 2016.
- SANTOS, G.O.S. *Construção de uma base de dados sobre as áreas contaminadas do Projeto Eixo Tamanduatehy*. 2017. 20 f. Trabalho de Iniciação Científica em Engenharia Ambiental e Urbana – Universidade Federal do ABC, Santo André. 2017.
- SANTOS, M. C. *Águas revoltas: história das enchentes em Santo André*. Santo André: PMSA, 2002.
- SÃO PAULO (ESTADO). *Decreto nº 59.263/ 2013, de 5 de Junho de 2013*. Diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas. Estado de São Paulo. 2013.
- _____. *Lei Nº9.999 de 9 de Julho de 1998*. Disciplina o uso de áreas industriais. Estado de São Paulo. 1998.
- _____. *Decreto nº 10.755, de 22 de novembro de 1977*. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas. São Paulo, 1977.
- SEMASA- SERVIÇO MUNICIPAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SANTO

- ANDRÉ. Arquivos georreferenciados. 2016.
- SILVA, S. F. *Zoneamento Geoambiental com auxílio da Lógica Fuzzy e proposta de um Geoindicador para caracterização do meio físico da Bacia do Rio do Peixe*. Tese (Doutorado em Geotecnia)-Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos, SP, 2005. Disponível em: < http://www.cprm.gov.br/publique/media/dou_sandra_silva.pdf >.
- SILVA; DANTAS, 2007. *Mapas Geoambientais*. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Rio de Janeiro/RJ. GEOLOGIA AMBIENTAL . Disponível em <http://www.cprm.gov.br/publique/media/gestao_territorial/geodiversidade/mapas_geoambientais_SCGG.pdf> . Acesso em: Setembro de 2017.
- SHI, J.C. et al. Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of Changxing, China. *Environmental Geology*, v.5, p.1–10. 2007.
- SOUZA, L. A.; SOBREIRA, F. G.; PRADO FILHO, J. F. Cartografia e Diagnóstico Geoambiental Aplicados ao Ordenamento Territorial do Município de Mariana-MG. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 57. 2005. Disponível em: < http://www.rbc.ufrrj.br/_pdf_57_2005/57_3_03.pdf >
- SPÍNOLA, A.L.S. *Inserção das áreas contaminadas na gestão municipal: desafios e tendências*. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo – USP, 2011.
- TEIXEIRA, A. N. *Espaço Público e Projeto Urbano: o Eixo Tamanduateí em Santo André (SP)*. 2007. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/posfau/article/viewFile/43509/47131>>. Acesso em: Abril de 2016.
- THOMÉ, A. KNOP, A. Movimento de contaminantes no solo. *II Simpósio Nacional sobre o Uso da Água na Agricultura*. Passo Fundo – RS, 2006. 14f.
- TREMOLADA, P. et al. POPs in mountain soils from the Alps and Andes: suggestions for a ‘precipitation effect’ on altitudinal gradients. *Water Air Soil Pollut* , [s.l.], v.188, p.93–109. 2008
- USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Technical Overview of Volatile Organic Compounds. Indoor Air Quality (IAQ). General Definition and Classifications. Disponível em: <<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds>> . Acesso em: Março de 2018.
- _____. *Overview of the Brownfields Program*. Disponível em: <

<https://www.epa.gov/brownfields/overview-brownfields-program> > . Acesso em: Maio de 2017.

- VALENTIM, L.S.O. *Requalificação urbana em áreas de risco à saúde devido a contaminação do solo por substâncias perigosas: um estudo de caso na cidade de São Paulo* – São Paulo, 2005.
- VASQUES, A.R. Considerações sobre estudos de casos de *brownfields*: exemplos no Brasil e no mundo. *Revista Bibliográfica de Geografia y Ciências Sociales*, Barcelona, v. XI, n. 648, abr. 2006.
- VERECHIA, C.T. *Síntese da Investigação Ambiental do Impacto por VOC*. Cutrim e Gutierrez Meio Ambiente e Geologia. Kienast & Kratschmer Ltda. 2014.
- VEYRET, Y.; MESCHINET DE RICHEMOND, N. O risco, os riscos. In: VEYRET, Y. (Org.) *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. São Paulo: Contexto, 2007. p. 23-79.
- VITORINO, J. C., et al. Terrenos tecnogênicos do Jardim Fortaleza, bacia hidrográfica do córrego do Entulho, Guarulhos (SP): mapeamento geológico, estratigrafia, geomorfologia e arqueologia da paisagem. *Revista Geociências*. [s.l.], v. 15, e. 2, p.33-60, 2016.
- VRBA, J.; ZAPOROZEC, A. (1994) *Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability* — IAH International Contributions to Hydrogeology, 16. FRG, Heise Publication, Hannover, 131 p.
- YOU, K.; ZHAN, H.. Comparisons of diffusive and advective fluxes of gas phase volatile organic compounds (VOCs) in unsaturated zones under natural conditions. *Advances In Water Resources*, [s.l.], v. 52, p.221-231, fev. 2013.

ANEXO A

Ofício protocolado junto à CETESB



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Fundação Universidade Federal do ABC
Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental
Av. dos Estados, 5001 · Bairro Santa Therezinha · Santo André - SP
CEP 09210-580 · Fone: (11) 4996.9897 / (11)97390-9431
roberlene.oliveira@ufabc.edu.br/ caroline.vaitkevicius@aluno.ufabc.edu.br

Ofício nº 003/2016/PGCTA

Santo André, 25 de maio de 2016.

À
Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB
Agência Ambiental I - Rua dos Vianas, nº 625 – Bairro Baeta Neves – São Bernardo do Campo - SP

Assunto: Disponibilização de informações para dissertação de mestrado

Prezados,

1. Em decorrência do desenvolvimento do projeto de pesquisa intitulado “Diagnóstico das áreas contaminadas na região do “Projeto Eixo Tamanduatehy”: Impactos no planejamento urbano do município de Santo André-SP”, vinculado ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal do ABC – UFABC, gostaríamos de solicitar a CETESB, acesso aos processos de licenciamento ambiental de áreas contaminadas localizadas no município de Santo André, de maneira a nos ajudar a compreender os possíveis fluxos de plumas de contaminação em determinadas matrizes ambientais como águas superficiais e águas subterrâneas.

2. Diante do exposto, solicitamos à CETESB acesso aos processos dos seguintes endereços abaixo relacionados:

| | |
|----|--|
| 1 | AVN INDUSTRIAL, 3331 - TAMANDUATEÍ 1 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-511 |
| 2 | AVN INDUSTRIAL, 600 - TAMANDUATEÍ 3 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-500 |
| 3 | AVN QUEIRÓS DOS SANTOS, 972 - CASA BRANCA - SANTO ANDRÉ - CEP: 09015-311 |
| 4 | AVN INDUSTRIAL, 2397 - TAMANDUATEÍ 1 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-511 |
| 5 | RUA CARAVELAS, 652 - VL. PIRES - SANTO ANDRÉ - CEP: 09195-520 |
| 6 | AVN ESTADOS, DOS, 6145 - PQ. JACATUBA - SANTO ANDRÉ - CEP: 09290-520 |
| 7 | RUA COQUEIROS, DOS, 1379 - TAMANDUATEÍ 1 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-010 |
| 8 | AVN ALEXANDRE DE GUSMÃO, 1395 - TAMANDUATEÍ 7 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09111-310 |
| 9 | AVN ESTADOS, DOS, 2103 - VL. METALURGICA - SANTO ANDRÉ - CEP: 09220-570 |
| 10 | PCA QUATORZE BIS, 05 - TAMANDUATEÍ 7 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09110-290 |
| 11 | AVN ALEXANDRE DE GUSMÃO, 0 - TAMANDUATEÍ 7 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09111-310 |
| 12 | AVN ALEXANDRE DE GUSMÃO, 1125 - TAMANDUATEÍ 7 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09111-310 |
| 13 | AVN ALEXANDRE DE GUSMÃO, 177 - TAMANDUATEÍ 7 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09111-310 |
| 14 | AVN ALEXANDRE DE GUSMÃO, 865 - TAMANDUATEÍ 7 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09111-310 |
| 15 | AVN ANTONIO CARDOSO, 319 - TAMANDUATEÍ 5 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09280-570 |
| 16 | AVN VARSÓVIA, 248 - VL. METALURGICA - SANTO ANDRÉ - CEP: 09220-000 |
| 17 | RUA FELIPE CAMARÃO, 414 - TAMANDUATEÍ 2 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09220-580 |
| 18 | RUA GIOVANNI BATTISTA PIRELLI, 1980 - VL. HOMERO THON - SANTO ANDRÉ - CEP: 09111-340 |
| 19 | ALM JACARANDAS, DOS, 54 - JARDIM - SANTO ANDRÉ - CEP: 09090-030 |



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Fundação Universidade Federal do ABC
Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental
Av. dos Estados, 5001 · Bairro Santa Therezinha · Santo André - SP
CEP 09210-580 · Fone: (11) 4996.9897 / (11)97390-9431
roberlene.oliveira@ufabc.edu.br/ caroline.vaitkevicius@aluno.ufabc.edu.br

| | |
|----|---|
| 20 | AVN INDUSTRIAL, 1489 - JARDIM - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-500 |
| 21 | AVN INDUSTRIAL, 1509 - JARDIM - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-500 |
| 22 | AVN INDUSTRIAL, 1581 - JARDIM - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-500 |
| 23 | AVN INDUSTRIAL, 1587 - JARDIM - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-500 |
| 24 | AVN INDUSTRIAL, 1607 - JARDIM - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-500 |
| 25 | PCA GALDINO RAMOS DA SILVA, 1607 - JARDIM - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-050 |
| 26 | RUA VISC TAUNAY, DE, 216 - TAMANDUATEÍ 5 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09210-570 |
| 27 | AVN GUARATINGUETÁ, 745 - TAMANDUATEÍ 8 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09290-270 |
| 28 | AVN ESTADOS, DOS, 8500 - VL. METALURGICA - SANTO ANDRÉ - CEP: 09220-570 |
| 29 | AVN INDUSTRIAL, 750 - TAMANDUATEÍ 3 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-500 |
| 30 | AVN ESTADOS, DOS, 4826 - TAMANDUATEÍ 2 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09220-570 |
| 31 | AVN ESTADOS, DOS, 6700 - TAMANDUATEÍ 6 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09290-340 |
| 32 | AVN ESTADOS, DOS, 2371 - TAMANDUATEÍ 4 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09210-580 |
| 33 | AVN PAZ, DA, 543 - TAMANDUATEÍ 2 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09220-310 |
| 34 | AVN UTINGA, 635 - VL. METALURGICA - SANTO ANDRÉ - CEP: 09220-610 |
| 35 | AVN UTINGA, 865 - VL. METALURGICA - SANTO ANDRÉ - CEP: 09220-611 |
| 36 | RUA TEIXEIRA DE FREITAS, 20 - TAMANDUATEÍ 2 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09220-720 |
| 37 | AVN INDUSTRIAL, 900 - TAMANDUATEÍ 3 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-500 |
| 38 | AVN QUEIRÓS DOS SANTOS, 1350 - CASA BRANCA - SANTO ANDRÉ - CEP: 09015-311 |
| 39 | RUA COM JÚLIO PIGNATARI, 109 - TAMANDUATEÍ 2 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09220-460 |
| 40 | RUA HAVANA, 0 - VL. METALURGICA - SANTO ANDRÉ - CEP: 09220-440 |
| 41 | AVN INDUSTRIAL, 780 - TAMANDUATEÍ 3 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-500 |
| 42 | AVN PEDRO AMÉRICO, 23 - TAMANDUATEÍ 7 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09110-560 |
| 43 | AVN ANTONIO CARDOSO, 0 - TAMANDUATEÍ 5 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09280-570 |
| 44 | RUA ACRE, 85 - SANTA TEREZINHA - SANTO ANDRÉ - CEP: 09210-380 |
| 45 | AVN DOM PEDRO II, 2180 - CAMPESTRE - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-001 |
| 46 | AVN DOM PEDRO II, 2799 - CAMPESTRE - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-111 |
| 47 | AVN DOM PEDRO II, 3506 - TAMANDUATEÍ 1 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-001 |
| 48 | AVN ESTADOS, DOS, 1586 - TAMANDUATEÍ 4 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09210-580 |
| 49 | AVN INDUSTRIAL, 1580 - TAMANDUATEÍ 3 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-500 |
| 50 | RUA ACRE, 85 - SANTA TEREZINHA - SANTO ANDRÉ - CEP: 09210-380 |
| 51 | AVN CAPUAVA, 501 - TAMANDUATEÍ 7 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09111-000 |
| 52 | AVN CAPUAVA, 557 - TAMANDUATEÍ 7 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09111-000 |
| 53 | AVN VARSÓVIA, 850 - TAMANDUATEÍ 4 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09220-000 |
| 54 | AVN INDUSTRIAL, 0 - TAMANDUATEÍ 1 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-501 |
| 55 | AVN INDUSTRIAL, 1600 - TAMANDUATEÍ 3 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-500 |
| 56 | AVN INDUSTRIAL, 1680 - TAMANDUATEÍ 1 - SANTO ANDRÉ - CEP: 09080-501 |



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Fundação Universidade Federal do ABC
Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental
Av. dos Estados, 5001 · Bairro Santa Therezinha · Santo André - SP
CEP 09210-580 · Fone: (11) 4996.9897 / (11)97390-9431
roberlene.oliveira@ufabc.edu.br/ caroline.vaitkevicius@aluno.ufabc.edu.br

3. Colocamos à disposição para esclarecimentos e informações complementares que se fizerem necessárias.

Atenciosamente,

Caroline Vaitkevicius de Siqueira
Mestranda no PGCTA-UFABC

Roberlene Gonzales de Oliveira
Mestranda no PGCTA-UFABC

Dácio Roberto Matheus
Orientador e Co-orientador: Professor Doutor Titular - UFABC

APÊNDICE A

Planilhas Exemplos da Base de Dados

| HIDROGEOLOGIA | | | | | | | |
|---------------|-------------|--|---------------------------------|---------|------------------------------|--------------|------------------------|
| ID_Processo | No Processo | Endereço AC | Fase GAC | ID Poço | Domínio Hidrogeológico | Subdomínio | Unidade Hidrogeológica |
| 1 | 16/00338/12 | Av. Industrial, nº 3331 - Bairro Campestre, Santo André | Contaminada Risco Confirmado | PM-01 | Bacia sedimentar | Tipo Taubaté | Formação Resende |
| 2 | 16/00171/13 | Av. Industrial, nº 3330 - Bairro Campestre, Santo André | Contaminada sob investigação | PM-01 | Bacia sedimentar | Tipo Taubaté | Formação Resende |
| 3 | 16/01760/07 | Av. Industrial, nº 1580 - Bairro Campestre, Santo André | Reabilitada para uso declarado | PM-01 | Bacia sedimentar | Tipo Taubaté | Formação Resende |
| 4 | 16/00028/12 | Av. Industrial, nº 900 - Bairro Jardim, Santo André | Reabilitada para uso declarado | PM-01 | Bacia sedimentar | Tipo Taubaté | Formação Resende |
| 5 | 16/00155/11 | Av. Industrial, nº 780 - Bairro Jardim, Santo André | Reabilitada para uso declarado | PM-05R | Bacia sedimentar | Tipo Taubaté | Formação Resende |
| 6 | 16/00420/09 | Av. Capuava, 557 - Vila Homero Thon, Santo André | Reabilitada para uso declarado | PM-01 | Formação cenozóica | Aluviões | Depósitos aluvionares |
| 7 | 16/00225/13 | Rua dos Coqueiros, 1379 - Bairro Campestre, Santo André | Processo de Remediação | PM-01 | Bacia sedimentar | Tipo Taubaté | Formação Resende |
| 8 | 16/00206/09 | Av. dos Estados, nº 8500 - Parque João Ramalho, Santo André | | PM-01 | Formação cenozóica | Aluviões | Depósitos aluvionares |
| 9 | PA 137/07 | Av. Industrial, nº 1600 e 1740 - Bairro Campestre, Santo André | Reabilitada para uso declarado | PM-16 | Bacia sedimentar | Tipo Taubaté | Formação Resende |
| 10 | 16/01176/09 | Av. Industrial, nº 2360 - Bairro Jardim, Santo André | Monitoramento para encerramento | S-07/PM | Bacia sedimentar | Tipo Taubaté | Formação Resende |
| 11 | 16/00455/12 | Av. Pedro Américo, nº 23 - Vila Homero Thon, Santo André | Monitoramento para encerramento | PM-01 | Bacia sedimentar | Tipo Taubaté | Formação Resende |
| 12 | 16/00832/04 | Av. Dos Estados, 4826 - Utinga, Santo André | Monitoramento para encerramento | | Formação cenozóica | Aluviões | Depósitos aluvionares |
| 13 | 16/00484/11 | Av. Alexandre de Gusmão, 1395 - Capuava, Santo André | Processo de Remediação | PM-044 | Bacia sedimentar | Tipo Taubaté | Formação Resende |
| 14 | 16/00238/13 | Av. Alexandre de Gusmão, 865 - Capuava, Santo André | Processo de Remediação | PM-02 | Bacia sedimentar | Tipo Taubaté | Formação Resende |
| 15 | 16/00590/10 | R. Felipe Camarão, 500 - Utinga, Santo André | Monitoramento para encerramento | PM-01 | Bacia sedimentar | Tipo Taubaté | Formação Resende |
| 16 | 16/00539/09 | R. Felipe Camarão, 414 - Utinga, Santo André | Processo de Remediação | PM-32A | Bacia Sedimentar (São Paulo) | Tipo Taubaté | Formação Resende |

ZONA VADOSA

| ID_Processo | No Processo | Relatório utilizado (período) | Fase GAC CETESB DEZ 2016 | ID Poço | Coordenada N/S (UTM m) | Coordenada L/O (UTM m) | Profundidade d'água(m) Inverno | Data amostragem Inverno | Profundidade d'água (verão) | Data amostragem verão |
|-------------|-------------|---|---------------------------------|---------|------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 1 | 16/00338/12 | 6º monitoramento (verão) e 7º monitoramento (inverno) | Contaminada Risco Confirmado | PM-01 | 7386013.6750 | 342228.6650 | 4.46 | Oct-14 | 4.52 | Apr-14 |
| 2 | 16/00171/13 | Investigação ambiental detalhada: maio(fria) e dezembro (quente) | Contaminada sob investigação | PM-01 | | | 2.92 | May-14 | | Dec-14 |
| 3 | 16/01760/07 | Investigação ambiental detalhada (fria) e confirmatória (quente) | Reabilitada para uso declarado | PM-01 | | | 2.95 | Jul-08 | 2.15 | Mar-08 |
| 4 | 16/00028/12 | 2ª campanha monitoramento água subterrânea (frio) e 1ª (quente) | Reabilitada para uso declarado | PM-01 | | | 0.48 | Oct-13 | 0.73 | Jan-13 |
| 5 | 16/00155/11 | Monitoramento água subterrânea (fria) e investigação detalhada (quente) | Reabilitada para uso declarado | PM-05R | 7384103.3130 | 343520.5820 | 1.37 | Aug-12 | 1.19 | Apr-13 |
| 6 | 16/00420/09 | Monitoramento da água subterrânea: set/out (fria) e abril (quente) | Reabilitada para uso declarado | PM-01 | 7382021.4040 | 346991.0730 | 2.87 | Sep-10 | 2.35 | Apr-11 |
| 7 | 16/00225/13 | 1º relatório de remediação (quente) e 2º relatório de remediação (fria) | Processo de Remediação | PM-01 | | | 5.44 | Oct-15 | | |
| 8 | 16/00206/09 | Relatório de caracterização geológica | | PM-01 | | | | | 1.78 | Dec-08 |
| 9 | PA 137/07 | Monitoramento das águas subterrâneas: out 2012 (fria) fev 2013 (quente) | Reabilitada para uso declarado | PM-28 | 7384751.9100 | 343232.7200 | 3.47 | Oct-12 | 1.18 | Feb-13 |
| 10 | 16/01176/09 | Monitoramento das águas subterrâneas: jun 2014 (fria) dez 2013 (quente) | Monitoramento para encerramento | S-07/PM | | | 0.53 | Jun-14 | 0.32 | Dec-13 |
| 11 | 16/00455/12 | Monitoramento das águas subterrâneas para enc.: set 2015(fria) mar 2015 (quente) | Monitoramento para encerramento | PM-01 | | | 2.66 | Sep-15 | 2.18 | Mar-15 |
| 12 | 16/00832/04 | Não estava disponível, apenas os de inspeção | Monitoramento para encerramento | | | | | | | |
| 13 | 16/00484/11 | Considerações sobre o parecer Técnico Cetesb (quente - Março 2011) | Processo de Remediação | PM-044 | 7382369.8120 | 347897.3040 | 4.30 | Sep-11 | 8.45 | Mar-11 |
| 14 | 16/00238/13 | Campanha Monitoramento 2-2012 (Set/2012 - Fria) e Inves. Complementar (Abril/2014 - Quente) | Processo de Remediação | PM-02 | 7382339.2450 | 347712.0980 | 2.80 | Sep-12 | 2.58 | Nov-13 |
| 15 | 16/00590/10 | Relatório Técnico Campanha de Monitoramento de Água Sub. (Frio - Julho 2011, Quente-Dez 2013) | Monitoramento para encerramento | PM-02 | 7387207.0500 | 342416.1705 | 2.11 | Jul-11 | 0.70 | Dez-13 |
| 16 | 16/00539/09 | Avaliação Ambiental Preliminar, detalhadas e dos riscos toxicológicos - Jun 2009 | Processo de Remediação | PM-32A | 7387113.61 | 342365.0167 | 1.17 | Jun-09 | | |

| LITOLOGIA | | | | | |
|-------------|-------------|--|---------------------------------|---------|---|
| ID_Processo | No Processo | Endereço AC | Fase GAC | ID Poço | Tipo Litológico Predominante |
| 1 | 16/00338/12 | Av. Industrial, nº 3331 - Bairro Campestre, Santo André | Contaminada Risco Confirmado | PM-01 | Conglomerado/Argilito/Siltito |
| 2 | 16/00171/13 | Av. Industrial, nº 3330 - Bairro Campestre, Santo André | Contaminada sob investigação | PM-07 | Conglomerado/Argilito/Siltito |
| 3 | 16/01760/07 | Av. Industrial, nº 1580 - Bairro Campestre, Santo André | Reabilitada para uso declarado | PM-10 | Conglomerado/Argilito/Siltito |
| 4 | 16/00028/12 | Av. Industrial, nº 900 - Bairro Jardim, Santo André | Reabilitada para uso declarado | PM-23 | Conglomerado/Argilito/Siltito |
| 5 | 16/00155/11 | Av. Industrial, nº 780 - Bairro Jardim, Santo André | Reabilitada para uso declarado | PM-107R | Conglomerado/Argilito/Siltito |
| 6 | 16/00420/09 | Av. Capuava, 557 - Vila Homero Thon, Santo André | Reabilitada para uso declarado | PM-04 | Areia/Argila/Cascalho |
| 7 | 16/00225/13 | Rua dos Coqueiros, 1379 - Bairro Campestre, Santo André | Processo de Remediação | PM-22 | Conglomerado/Argilito/Siltito |
| 8 | 16/00206/09 | Av. dos Estados, nº 8500 - Parque João Ramalho, Santo André | | PM-03 | Areia/Argila/Cascalho |
| 9 | PA 137/07 | Av. Industrial, nº 1600 e 1740 - Bairro Campestre, Santo André | Reabilitada para uso declarado | PM-16 | Conglomerado/Argilito/Siltito |
| 10 | 16/01176/09 | Av. Industrial, nº 2360 - Bairro Jardim, Santo André | Monitoramento para encerramento | S-52/PM | Complexos Pilar: Quartzo Filito/Metassiltito/Micaxisto |
| 11 | 16/00455/12 | Av. Pedro Américo, nº 23 - Vila Homero Thon, Santo André | Monitoramento para encerramento | PM-01 | Sedimentos Aluviões quaternários : argila, areia e cascalho |
| 12 | 16/00832/04 | Av. Dos Estados, 4826 - Utinga, Santo André | Monitoramento para encerramento | | Depósitos Aluvionares |
| 13 | 16/00484/11 | Av. Alexandre de Gusmão, 1395 - Capuava, Santo André | Processo de Remediação | PM-044 | Aterro, sedimento aluvionares e xistos |
| 14 | 16/00238/13 | Av. Alexandre de Gusmão, 865 - Capuava, Santo André | Processo de Remediação | PM-02 | Aluviões fluviais, argila areia e cascalho - Quaternário |
| 15 | 16/00590/10 | R. Felipe Camarão, 500 - Utinga, Santo André | Monitoramento para encerramento | PM-26 | Aluviões fluviais, argila areia e cascalho - Quaternário |
| 16 | 16/00539/09 | R. Felipe Camarão, 414 - Utinga, Santo André | Processo de Remediação | PM-32A | Sedimentos de origem colúvio-aluvionares |

| SOLO | | | | | | | |
|-------------|-------------|--------------------------------|---------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|
| ID_Processo | No Processo | Fase GAC | ID Poço | Primeira Camada de Solo | Profundidade (m) | Segunda Camada de Solo | Profundidade (m) |
| 4 | 16/00028/12 | Reabilitada para uso declarado | PM-03 | Solo argiloso acimentado | 0.40 | Solo argiloso de cor castanha | 4.00 |
| 4 | 16/00028/12 | Reabilitada para uso declarado | PM-04 | Solo argiloso de cor castanha | 2.30 | Solo arenoso | 2.60 |
| 4 | 16/00028/12 | Reabilitada para uso declarado | PM-05 | Solo argiloso-arenoso | 2.70 | Solo arenoso | 3.70 |
| 4 | 16/00028/12 | Reabilitada para uso declarado | PM-06 | Solo arenoso | 0.50 | Solo argiloso acimentado | 1.00 |
| 4 | 16/00028/12 | Reabilitada para uso declarado | PM-07 | Solo argiloso-arenoso | 0.90 | Solo argiloso de cor castanha | 2.00 |
| 4 | 16/00028/12 | Reabilitada para uso declarado | PM-08 | Argila preta | 0.50 | Solo argiloso-arenoso | 1.00 |
| 4 | 16/00028/12 | Reabilitada para uso declarado | PM-09 | Solo argiloso de cor castanha | 0.50 | Solo argiloso-arenoso | 1.00 |
| 4 | 16/00028/12 | Reabilitada para uso declarado | PM-10 | Solo argiloso-arenoso | 2.00 | Solo argiloso acimentado | 2.40 |

| DECLIVIDADE | | | | | |
|-------------|-------------|--|------------------------|---------|-------------------------------|
| ID_Processo | No Processo | Endereço AC | Fase GAC | ID Poço | Declividade Média Terreno (%) |
| 16 | 16/00539/09 | R. Felipe Camarão, 414 - Utinga, Santo André | Processo de Remediação | PM-32A | |
| 16 | 16/00539/09 | R. Felipe Camarão, 414 - Utinga, Santo André | Processo de Remediação | PM-33A | |
| 16 | 16/00539/09 | R. Felipe Camarão, 414 - Utinga, Santo André | Processo de Remediação | PM-37A | |
| 16 | 16/00539/09 | R. Felipe Camarão, 414 - Utinga, Santo André | Processo de Remediação | PM-46A | |

CONFINAMENTO

| ID_Processo | No Processo | Endereço AC | ID Poço | Grau Confinamento Aquífero | Tipo de Aquífero | Velocidade Média (m/ano) | Vazão |
|-------------|-------------|---|---------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------|
| 1 | 16/00338/12 | Av. Industrial, nº 3331 - Bairro Campestre, Santo André | PM-09 | Não confinado | Raso | 10.38 | |
| 1 | 16/00338/12 | Av. Industrial, nº 3331 - Bairro Campestre, Santo André | PM-10 | Não confinado | Raso | 10.38 | |
| 1 | 16/00338/12 | Av. Industrial, nº 3331 - Bairro Campestre, Santo André | PM-11 | Não confinado | Raso | 10.38 | |
| 1 | 16/00338/12 | Av. Industrial, nº 3331 - Bairro Campestre, Santo André | PM-12 | Não confinado | Raso | 10.38 | |
| 1 | 16/00338/12 | Av. Industrial, nº 3331 - Bairro Campestre, Santo André | PM-13 | Não confinado | Raso | 10.38 | |
| 1 | 16/00338/12 | Av. Industrial, nº 3331 - Bairro Campestre, Santo André | PM-14 | Não confinado | Intermediário | 10.38 | |
| 1 | 16/00338/12 | Av. Industrial, nº 3331 - Bairro Campestre, Santo André | PM-15 | Não confinado | Raso | 10.38 | |
| 1 | 16/00338/12 | Av. Industrial, nº 3331 - Bairro Campestre, Santo André | PM-16 | Não confinado | Raso | 10.38 | |
| 1 | 16/00338/12 | Av. Industrial, nº 3331 - Bairro Campestre, Santo André | PM-17 | Não confinado | Raso | 10.38 | |
| 10 | 16/01176/09 | Av. Industrial, nº 2360 - Bairro Jardim, Santo André | S-07/PM | Não confinado a Semi-confinado | Sedimentar (heterogenea) | 3,31 | |
| 10 | 16/01176/09 | Av. Industrial, nº 2360 - Bairro Jardim, Santo André | S-08/PM | Não confinado a Semi-confinado | Sedimentar (heterogenea) | 22 | |

CONTAMINANTES A - METAIS E OUTROS

| ID_Processo | No Processo | Fase GAC | ID Poço | Contaminante | Concentração estação fria (µg/L) | Concentração estação quente (µg/L) | Contaminante | Concentração estação fria (µg/L) | Concentração estação quente (µg/L) |
|-------------|-------------|------------------------------|---------|--------------|----------------------------------|------------------------------------|--------------|----------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 16/00338/12 | Contaminada Risco Confirmado | PM-05 | Alumínio | 232340.00 | 36152.00 | Boro | 41.30 | 50.40 |
| 1 | 16/00338/12 | Contaminada Risco Confirmado | PM-07 | Alumínio | 178778.00 | 294783.00 | Chumbo | 107.00 | |
| 1 | 16/00338/12 | Contaminada Risco Confirmado | PM-08 | Alumínio | | 62033.00 | Bário | | 18.60 |
| 1 | 16/00338/12 | Contaminada Risco Confirmado | PM-09 | Boro | 25.80 | 99.50 | Cobre | 10.10 | 10.50 |
| 1 | 16/00338/12 | Contaminada Risco Confirmado | PM-10 | Chumbo | 630.00 | | Cobalto | 11.80 | 22.80 |
| 1 | 16/00338/12 | Contaminada Risco Confirmado | PM-11 | Alumínio | 65.30 | 75.90 | Boro | 33.20 | |
| 1 | 16/00338/12 | Contaminada Risco Confirmado | PM-12 | Chumbo | 152.00 | 141.00 | Cobre | 6108.00 | 5399.00 |
| 1 | 16/00338/12 | Contaminada Risco Confirmado | PM-13 | Cromo | 37.10 | 13.60 | Mercurio | 0.50 | |

CONTAMINANTES B - COVs

| | | | | | | | | | |
|----|-------------|------------------------|-------|-------------------|----------------|--|------------------|-------|--|
| 14 | 16/00238/13 | Processo de Remediação | PM-21 | Cloreto de Vinila | <1 | | 1,1 dicloroetano | <1 | |
| 14 | 16/00238/13 | Processo de Remediação | PM-22 | Cloreto de Vinila | 3.60 | | 1,1 dicloroetano | 2.50 | |
| 14 | 16/00238/13 | Processo de Remediação | PM-23 | Cloreto de Vinila | 25.00 | | 1,1 dicloroetano | 2.40 | |
| 14 | 16/00238/13 | Processo de Remediação | PM-24 | Cloreto de Vinila | 37.00 | | 1,1 dicloroetano | <1 | |
| 14 | 16/00238/13 | Processo de Remediação | PM-25 | Cloreto de Vinila | 362.00 | | 1,1 dicloroetano | 2.00 | |
| 14 | 16/00238/13 | Processo de Remediação | PM-26 | Cloreto de Vinila | <1 | | 1,1 dicloroetano | <1 | |
| 14 | 16/00238/13 | Processo de Remediação | PM-27 | Cloreto de Vinila | 5294.00 | | 1,1 dicloroetano | 12.00 | |
| 14 | 16/00238/13 | Processo de Remediação | PM-28 | Cloreto de Vinila | 3773.00 | | 1,1 dicloroetano | 2.60 | |

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

| ID_Processo | Nº Processo | Endereço AC | Fase GAC | ID Poço | Empresa | Ramo Industrial | Antigo Uso | Uso Atual |
|-------------|-------------|--|---------------------------------|---------|--|----------------------------------|-----------------------|----------------------|
| 1 | 16/00338/12 | Av. Industrial, nº 3331 - Bairro Campestre, Santo André | Contaminada Risco Confirmado | PM-02 | Kienast & Kratschmer Ltda (Kraki) | Alimentício | Industrial | Industrial |
| 2 | 16/00171/13 | Av. Industrial, nº 3330 - Bairro Campestre, Santo André | Contaminada sob investigação | PM-04 | Anhanguera Educacional Ltda (UniABC) | Ensino | Industrial | Ensino |
| 3 | 16/01760/07 | Av. Industrial, nº 1580 - Bairro Campestre, Santo André | Reabilitada para uso declarado | PM-07 | Lepus Even Empreendimentos Imobiliários | Imobiliário | Industrial | Residencial |
| 4 | 16/00028/12 | Av. Industrial, nº 900 - Bairro Jardim, Santo André | Reabilitada para uso declarado | PM-13 | Immobili Participações e Empreendimentos | Descarte de resíduos | Industrial | Descarte de resíduos |
| 5 | 16/00155/11 | Av. Industrial, nº 780 - Bairro Jardim, Santo André | Reabilitada para uso declarado | PM-102 | Horizon 11 participações | Imobiliário | Industrial | Residencial |
| 6 | 16/00420/09 | Av. Capuava, 557 - Vila Homero Thon, Santo André | Reabilitada para uso declarado | PM-01 | MRV Engenharia e Participações | Imobiliário | Industrial | Residencial |
| 7 | 16/00225/13 | Rua dos Coqueiros, 1379 - Bairro Campestre, Santo André | Processo de Remediação | PM-01 | Auto Posto Pampo - Ipiranga Produtos de Petróleo | Posto de combustível | Não informado | Posto de combustível |
| 8 | 16/00206/09 | Av. dos Estados, nº 8500 - Parque João Ramalho, Santo André | | PM-01 | Wallmart | Comércio | Não informado | Comércio |
| 9 | PA 137/07 | Av. Industrial, nº 1600 e 1740 - Bairro Campestre, Santo André | Reabilitada para uso declarado | PM-28 | Oderbrecht - Realizações imobiliárias | Imobiliário | Industrial | Residencial |
| 10 | 16/01176/09 | Av. Industrial, nº 2360 - Bairro Jardim, Santo André | Monitoramento para encerramento | S-08/PM | Actos Comércio Importação e Exportação Ltda. | Imobiliário | Industrial | Residencial |
| 11 | 16/00455/12 | Av. Pedro Américo, nº 23 - Vila Homero Thon, Santo André | Monitoramento para encerramento | PM-01 | Carrefour Comércio e Indústria Ltda. | Posto de combustível | Posto de combustível | Posto de combustível |
| 12 | 16/00832/04 | Av. Dos Estados, 4826 - Utinga, Santo André | Monitoramento para encerramento | | Akzo Nobel Ltda. | Tintas | Tintas | Industrial - Tintas |
| 13 | 16/00484/11 | Av. Alexandre de Gusmão, 1395 - Capuava, Santo André | Processo de Remediação | PM-046 | Magneti Marelli COFAP Cia Fabricadora de Peças | Peças Sinterizadas e Componentes | Peças | Industrial |
| 14 | 16/00238/13 | Av. Alexandre de Gusmão, 865 - Capuava, Santo André | Processo de Remediação | PM-02 | Paranapanema S/A - Fábrica Capuava | Ligas Metálicas | Ligas Metálicas | Industrial |
| 15 | 16/00590/10 | R. Felipe Camarão, 500 - Utinga, Santo André | Monitoramento para encerramento | PM-05 | Paranapanema S/A - Fábrica Utinga | Ligas de Cobre | Ligas de Cobre | Industrial |
| 16 | 16/00539/09 | R. Felipe Camarão, 414 - Utinga, Santo André | Processo de Remediação | PM-32A | NOVELIS do Brasil Ltda. | Laminados de Alumínio | Laminados de Alumínio | Industrial |

APÊNDICE B

Usos atuais dos lotes consultados na CETESB

**ID 01 – Av. Industrial, 3.331 –
Bairro Campestre**

Uso Atual: Kienast & Kratschmer Ltda - KRAKI - Parque Industrial e Escritório Comercial.

Descrição: O lote foi propriedade da Indústria Nacional de Armas até a década de 1970. Depois foi ocupado pela Companhia Brasileira de Cartuchos. No final da década de 1990 o terreno foi vendido à Kraki, que produz aditivos e ingredientes alimentícios.



**ID 02 – Av. Industrial, 3.330 –
Bairro Campestre**

Uso Atual: Universidade Anhanguera de São Paulo – Santo André – Unidade 3.

Descrição: Até o início da década de 1990 abrigava a Companhia Brasileira de Cartuchos. Desde 1998 abriga a UniABC, atual Anhanguera.



**ID 03 – Av. Industrial, 1.580 –
Bairro Campestre**

Uso Atual: Condomínio Edifício Park Club (Lepus Even Empreendimentos Imobiliários).

Descrição: O lote era utilizado pela antiga empresa Takenaka S/A Indústria e Comércio, atual Empresa Paulista de Produtos Químicos, uma produtora de fertilizantes. Atualmente é um condomínio de apartamentos residenciais já ocupados.



**ID 04 – Av. Industrial, 900 –
Bairro Jardim**

Uso Atual: Terreno desocupado da Immobili Participações e Empreendimentos S/A.

Descrição: Antigo lote da Cia Brasileira Fichet & Schwartz Hautmont – Fábrica de Estruturas Metálicas. O uso futuro planejado para o lote é um empreendimento residencial/comercial.



**ID 05 – Av. Industrial, 780 –
Bairro Jardim**

Uso Atual: Jardim Park Business e Jardim Park House (Horizon 11 Participações Ltda.).

Descrição: O lote foi utilizado por indústrias de tintas e vernizes para máquinas e automóveis. A última proprietária do terreno foi a empresa General Tintas e Vernizes. A propriedade foi adquirida pela Horizon 11 em 2008, e a implementação de uma torre comercial e três torres residenciais iniciou-se em 2013 e atualmente já estão ocupadas.



**ID 06 – Av. Capuava, 557 – Vila
Homero Thon**

Uso Atual: Spazio San Gotardo (MRV Engenharia e Participações S/A).

Descrição: A área foi utilizada por uma indústria de laminação e posteriormente por uma indústria de fabricação de produtos de ferramentaria, estamparia e injeção de plásticos em geral para indústrias automotivas. Atualmente é um condomínio residencial em operação.



ID 07 – Rua dos Coqueiros, 1.379– Bairro Campestre

Uso Atual: Construção privada.

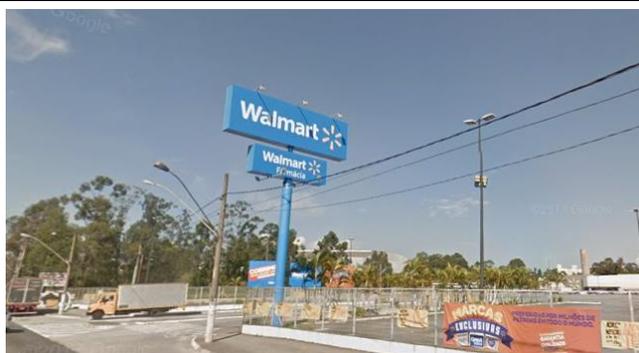
Descrição: O lote antigamente pertencia à empresa Ipiranga Produtos de Petróleo S/A. No local havia um posto de serviços. Atualmente o lote é de um terceiro.



ID 08 – Av. dos Estados, 8.500 – Parque João Ramalho

Uso Atual: Walmart Supercenter Ltda.

Descrição: Posto de Combustíveis.



ID 09 – Av. Industrial, 1.740 – Bairro Jardim

Uso Atual: Cidade Viva *Offices* e Residencial (Odebrecht Realizações Imobiliárias).

Descrição: A área dos lotes desse empreendimento era utilizada por empresas de fertilizantes. A IAP S/A Indústria de Fertilizantes e a Companhia Brasileira de Fertilizantes (COPAS) operaram nessa área até o final da década de 1980. Vários estudos ambientais foram realizados na área desde 2001. As obras do empreendimento Cidade Viva foram iniciadas em janeiro de 2015.



**ID 10 – Av. Industrial, 2.360 –
Bairro Jardim**

Uso Atual: Lote desocupado da Actos Comércio Importação e Exportação Ltda.

Descrição: O lote pertencia anteriormente ao Grupo Pierre Saby S/A, que realizava o corte, soldagem, montagem e pintura de estruturas metálicas. Em 2006 a Actos comprou o lote com o intuito de construir futuras instalações.



**ID 11 – Av. Pedro Américo, 23
– Vila Homero Thon**

Uso Atual: Posto Carrefour Santo André Ltda.

Descrição: Posto de combustíveis da empresa Carrefour.



**ID 12 – Av. dos Estados, 4.826 –
Parque Central**

Uso Atual: Akzo Nobel.

Descrição: A atividade industrial no lote é basicamente a produção de tintas antiincrustantes e anticorrosivas para navios e obras de estrutura metálica.



ID 13 – Av. Alexandre de Gusmão, 1.395 – Vila Homero Thon

Uso Atual: COFAP Cia Fabricadora de Peças – Magneti Marelli.

Descrição: Os lotes fazem parte de um Complexo Industrial, parte em Santo André, parte em Mauá. Unidades: Amortecedores, Anéis, Fundição, Sintetizados e Corporativo.



ID 14 – Av. Alexandre de Gusmão, 865 – Vila Homero Thon

Uso Atual: Paranapanema S/A – Fábrica Capuava.

Descrição: A fábrica está situada nessa área há pelo menos 50 anos. As atividades são relacionadas à produção de ligas metálicas.



ID 15 – Rua Felipe Camarão, 500 – Bairro Utinga

Uso Atual: Paranapanema S/A – Fábrica Utinga.

Descrição: Localizada no lote há mais de 50 anos, antes como ELUMA e Laminação Nacional. As atividades dessa fábrica estão relacionadas à produção de ligas de cobre.



ID 16 – Rua Felipe Camarão, 414 – Bairro Utinga

Uso Atual: Novelis do Brasil Ltda.

Descrição: Antiga Alcan Alumínio do Brasil Ltda. Essa fábrica produz lâminas de alumínio, que são usadas em diversos setores.



**ID 17 – Rua Santo Adélia, 166 –
Vila São Pedro**

Uso Atual: Universidade Federal do ABC – Campus Santo André.

Descrição: A atual área da Universidade foi sede do Matadouro Municipal de Santo André, de 1941 a 1934. No final da década de 1960, a área passou a abrigar a Garagem Municipal, com oficinas mecânicas, posto de abastecimento de combustíveis e áreas de depósitos de materiais. Em 2006 foi decidido mudar o uso da área, para o primeiro Campus da UFABC. Atualmente, o estacionamento do Bloco E está localizada na área remediada do antigo posto de combustíveis.



Fonte: Relatórios dos Processos; Fotos do arquivo pessoal retiradas em Mar/2018; Fotos do Google Street View Mar/2018 (ID 07, 08 e 11).