

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

GABRIELA PEREIRA LUCCHESI

USP Leste: Diagnóstico Ambiental e Proposição de Medidas
Mitigadoras

São Carlos
2015

GABRIELA PEREIRA LUCCHESI

USP Leste: Diagnóstico Ambiental e Proposição de Medidas
Mitigadoras

Aluna: Gabriela Pereira Lucchesi
Orientador: Prof. Dr. Eugenio Foresti

Monografia apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Bacharelado em
Engenharia Ambiental.

São Carlos
2015

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

L931u Lucchesi, Gabriela Pereira
USP Leste: Diagnóstico Ambiental e Proposição de
Medidas Mitigadoras / Gabriela Pereira Lucchesi;
orientador Eugenio Foresti. São Carlos, 2015.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2015.

1. USP Leste. 2. EACH. 3. Área contaminada. 4.
Metano. 5. Diagnóstico ambiental. 6. Medidas
mitigadoras. 7. Água subterrânea. 8. Solo. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Gabriela Pereira Lucchesi**

Data da Defesa: 13/10/2015

Comissão Julgadora:

Eugenio Foresti (Orientador(a))

Marcelo Zaiat

Valeria Guimarães Silvestre Rodrigues

Resultado:

Aprovada
Aprovada
Aprovada


Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

Para Luísa. Sempre para Luísa.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais Leo e Luísa, por quem as palavras parecem fazer pouco jus a todo amor, ensinamento e inspiração. São meus exemplos em tudo na vida, meus amores, meus maiores tesouros.

Agradeço aos meus irmãos queridos, Andrea e Ricardo, por me proporcionarem a alegria máxima de chamá-los, em primeiro lugar, de amigos.

Agradeço ao meu cunhado Rodrigo por cuidar tão bem de todos nós e a minha cunhada Laura, por casar suas piadas com as nossas.

Agradeço ao André, meu parceiro de lar e vida, que traz cor a meus dias, me acalma e me enche de amor.

Agradeço ao meu querido amigo, professor e orientador Eugenio Foresti, pela paciência, ensinamentos, incentivos e conversas sobre a vida. Um verdadeiro mestre, por quem tenho profundo respeito e admiração.

Agradeço a AMB 09, minha sala querida. Com pessoas de todas as origens, criações, credos e valores, que me ensinaram muito sobre tudo. Cada pessoa dessa turma maravilhosa teve uma influência particular na minha vida pessoal e acadêmica e vou levá-los no meu coração para sempre. Obrigada por me ensinar a amar as pessoas por inteiro, exatamente como são.

Agradeço a todos os meus queridos amigos não contemplados anteriormente de São Carlos e de Campinas, pela amizade sincera, o riso solto e os conselhos. Sem nossos companheiros de caminhada, não somos nada.

Por fim, e definitivamente não menos importante, agradeço a todos os estudantes da Engenharia Ambiental, professores e funcionários. Com a contribuição de cada um consegui chegar aqui e com a convivência, aprendi a amar de todo o coração nossa carreira e nosso trabalho. Obrigada.

“Sê a mudança que queres ver no mundo.”
Mahatma Gandhi

RESUMO

LUCCHESI, G. P. **USP Leste: Diagnóstico Ambiental e Proposições de Medidas Mitigadoras**. 2015. 96 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

A contaminação do campus da USP Leste tem sido foco da atenção da comunidade universitária e do público em geral já há alguns anos. Localizado na zona leste de São Paulo, o campus vem enfrentando um processo na CETESB a respeito da contaminação do solo e da água subterrânea. Originalmente área de aterro de dragagem do Rio Tietê, a área onde foi construída a unidade também apresenta no seu histórico a deposição de solo de origem desconhecida. A preocupação mais noticiada é a do acúmulo de metano no subsolo, oriundo da decomposição anaeróbica de matéria orgânica e atribuído ao risco de explosão na área. A contaminação do solo e, conseqüentemente, da água subterrânea com diversas substâncias foi comprovada em algumas análises, incluindo substâncias com supostos efeitos cancerígenos. A investigação da área está sendo realizada, porém, até o ano de 2015, só contemplou detalhadamente a área denominada de AI-01 (Área Investigativa – 01) e está no processo de produção de relatório sobre a AI-02. Segundo o diagnóstico realizado, a AI-01 apresenta níveis de contaminantes no ar, solo e água estão muito aquém dos que podem ser considerados preocupantes para a comunidade universitária e a população do entorno. Nos prédios onde a presença do metano foi detectada já foram tomadas medidas consideradas efetivas para o controle das emissões e da segurança do local. A AI-01 já foi recoberta com grama com o intuito de evitar a mobilidade dos contaminantes e de elevação das partículas e a análise de risco elaborada concluiu que não há risco à saúde humana nos cenários analisados. Os solos de origem desconhecida depositados foram constatadamente reconhecidos como fontes da contaminação do solo e determinados como restos da construção de um templo da Igreja Universal. Recomenda-se o contínuo monitoramento do gás e da água subterrânea para assegurar a confiabilidade dos diagnósticos e testes realizados.

Palavras-chave: USP Leste, EACH, Área contaminada, Metano, Diagnóstico Ambiental, Medidas mitigadoras, Água Subterrânea, Solo

ABSTRACT

LUCCHESI, G. P. **USP Leste: Environmental Diagnosis and Proposal of Mitigation Measures**. 2015. 96 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

The contamination of the USP Leste campus has been the center of attention by the university communities and the general public for several years. The campus, located in the Eastern section of São Paulo, is being under scrutiny by CETESB with regard to the contamination of the soil and groundwater. The area where the campus is now located was originally the area where the dredged soil from the Tietê River was dumped, and it also had soil of unknown origin. The most well known concern is the accumulation of methane gas in the subsoil, resulting from the anaerobic decomposition of organic material, which presents the risk of explosions in the area. The contamination of the soil and the consequent pollution of the underground water with several substances was attested by several analyses. Some of the substances encountered have possibly carcinogenic effects. The investigation of the area is in progress, but up to the present day only area AI-01 ("Área Investigativa 01") has been properly investigated, and a report on Area-02 is under preparation. According to the reports available, the pollution of air, soil and water in the area AI-01 are at acceptable levels for the University community and the population in the surrounding areas. In the buildings where methane gas was detected effective measures have been taken for the control of emissions and the safety of the area. AI-01 has now been covered by lawn, with the purpose of containing the contaminants. The risk analysis indicated that there is no risk to human health in the investigated areas. The soils originally classified as those of unknown origin are now recognized to be a source of soil contamination. They originated from an excavation of a site where a "Igreja Universal" temple now stands. Continuous monitoring of gas emissions and the groundwater is advisable, so as to ensure the reliability of the conclusions of the diagnoses and tests.

Keywords: USP Leste, EACH, Contaminated land, Methane, Environmental Diagnosis, Mitigation Measures, Groundwater, Soil.

LISTA DE SIGLAS

AI – Área de Investigação
APA – Área de Proteção Ambiental
BTX – Benzeno/Tolueno/Xileno
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CMA – Concentrações Máximas Aceitáveis
CPTM – Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica
EUGRIS – Portal de Manejo de Solo e Águas Subterrâneas da Europa
GI – Gases de Interesse
HAP – Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
IARC – Agência Internacional de Pesquisa em Câncer
IGC/USP – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo
IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LII – Limite Inferior de Inflamabilidade
LSI – Limite Superior de Inflamabilidade
MPESP – Ministério Público do Estado de São Paulo
PCB – *Polychlorinated Biphenyls* (Bifenilas Policloradas)
pH – Potencial hidrogeniônico
PM – Poço de Monitoramento
PMG – Poço de Monitoramento de Gases
POP – Poluentes Orgânicos Persistentes
RSL – *Risk Screening Level*
SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SEF/USP – Superintendência do Espaço Físico da Universidade de São Paulo
SQI – Substâncias Químicas de Interesse
ST – Sondagem a Trado
SVOC – *Semi Volatile Organic Compounds* (Compostos Orgânicos Semi-Voláteis)
US EPA – *United States Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)

USP – Universidade de São Paulo

VI – Valores de Intervenção

VMP – Valor Máximo Permitido

VOC – *Volatile Organic Compounds* (Compostos Orgânicos Voláteis)

WHO – World Health Organization (Organização Mundial da Saúde)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização das Glebas 1 e 2. Fonte: SEF/USP.....	18
Figura 2 – Mapa Campus USP Capital/Leste. Fonte: USP LESTE (site) – acesso em 02 de agosto de 2014.....	19
Figura 3 – Bacia Sedimentar e Aquífero de São Paulo (DAEE, 2005).....	20
Figura 4 - Mapa potenciométrico da porção superior da AI-01. Fonte: SERVIMAR (2014b).....	21
Figura 5 – Mapa potenciométrico da porção inferior da área AI-01. Fonte: SERVIMAR (2014b).....	22
Figura 6 – Levantamento de imagens aéreas temporais (1958-1962). Fonte: SERVIMAR (2014a).....	24
Figura 7 – Levantamento de imagens aéreas temporais (1972-1981).....	26
Figura 8 – Levantamento de imagens aéreas temporais (1994-2001). Fonte: SERVIMAR (2014a).....	28
Figura 9 – Levantamento de imagens aéreas temporais (2004-2005). Fonte: SERVIMAR (2014a).....	30
Figura 10 - Levantamento de imagens aéreas temporais (2006-2007). Fonte: SERVIMAR (2014a).....	34
Figura 11 - Levantamento de imagens aéreas temporais (2008-2009). Fonte: SERVIMAR (2014a).....	35
Figura 12 - Levantamento de imagens aéreas temporais (2011-2012). Fonte: SERVIMAR (2014a).....	38
Figura 13 - Áreas AI-01 e AI-02. Fonte: SERVIMAR, 2012.....	39
Figura 14 - Levantamento de imagens aéreas temporais (2013). Fonte: SERVIMAR (2014a).....	41
Figura 15 – Localização dos poços de monitoramento de gases no interior dos edifícios existentes. (Fonte: SERVIMAR, 2014b).....	43
Figura 16 – Sondagens de investigação na área AI-01 e Ginásio – USP LESTE (Fonte: SERVIMAR, 2014b).....	44
Figura 17 – Posicionamento dos poços de monitoramento (Fonte: SERVIMAR, 2014b).....	45
Figura 18 – Isoconcentrações de PCB total no solo superficial da área AI-01. Fonte: SERVIMAR (2014b).....	51

Figura 19 – Isoconcentrações de PCB total no solo subsuperficial da área AI-01. Fonte: SERVIMAR (2014b).	51
Figura 20 - Distribuição dos pontos de alerta nos edifícios. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados de SERVIMAR (2014b)	54
Figura 21 - Série de dados das concentrações de metano no PMG-03 em 2013 (Fonte: SERVIMAR, 2014b).	55
Figura 22 – Série de dados das concentrações de metano no PMG-11 em 2013 (Fonte: SERVIMAR, 2014b).	56
Figura 23 – Série de dados das concentrações de metano no PMG-50 em 2013 (Fonte: SERVIMAR, 2014b).	57
Figura 24 – Série de dados das concentrações de metano no PMG-57 em 2013 (Fonte: SERVIMAR, 2014b).	58
Figura 25 – Série de dados das concentrações de metano no PMG-59 em 2013 (Fonte: SERVIMAR, 2014b).	58
Figura 26 – Série de dados das concentrações de metano no PMG-66 em 2013 (Fonte: SERVIMAR, 2014b).	59
Figura 27 – Série de dados das concentrações de metano no PMG-74 em 2013 (Fonte: SERVIMAR, 2014b).	59
Figura 28 – Série de dados das concentrações de metano no PMG-97 em 2013 (Fonte: SERVIMAR, 2014b).	60
Figura 29 – Série de dados das concentrações de metano no PMG-100 em 2013 (Fonte: SERVIMAR, 2014b).	61
Figura 30 – Fases de degradação da matéria orgânica em um aterro. Fonte: Antonio, 2012 apud POHLAND e GOULD (1987)	73
Figura 31 - Perfil hidrogeológico. Fonte: SERVIMAR (2014b)	77
Figura 32 - Alumínio em Água Subterrânea. Fonte: Elaborado pela autora com os dados da SERVIMAR (2014).	81
Figura 33 - Bário em Água Subterrânea. Fonte: Elaborado pela autora com os dados da SERVIMAR (2014)	81
Figura 34 - Cobalto em Água Subterrânea. Fonte: Elaborado pela autora com os dados da SERVIMAR (2014).	82
Figura 35 - Ferro em Água Subterrânea. Fonte: Elaborado pela autora com os dados da SERVIMAR (2014)	82

Figura 36 - Manganês em Água Subterrânea. Fonte: Elaborado pela autora com os dados da SERVIMAR (2014).....	83
Figura 37 - Níquel em Água Subterrânea. Fonte: Elaborado pela autora com os dados da SERVIMAR (2014).....	83
Figura 38 - Resultados fora dos parâmetros ambientais por substância analisada. Fonte: Elaborado pela autora com dados da SERVIMAR (2014).....	84
Figura 39 - Relação Amostra/VI (Poço PM-02). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014).....	86
Figura 40 - Relação Amostra/VI (Poço PM-12). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014).....	87
Figura 41 - Relação Amostra/VI (Poço PM-15). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014).....	87
Figura 42 - Relação Amostra/VI (Poço PM-21). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014).....	88
Figura 43 - Relação Amostra/VI (Poço PM-23). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014).....	88
Figura 44 - Relação Amostra/VI (Poço PM-26A). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014).....	89
Figura 45 - Relação Amostra/VI (Poço PM-29). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014).....	89
Figura 46 - Relação Amostra/VI (Poço PM-30A). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014).....	90
Figura 47 - Relação Amostra/VI (Poço PM-37). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014).....	90
Figura 48 - Relação Amostra/VI (Poço PM-39). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014).....	91
Figura 49 - Relação Amostra/VI (Poço PM-39A). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014).....	91
Figura 50 - Relação Amostra/VI (Poço PM-43). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014).....	92
Figura 51 - Processos de fitorremediação. Fonte: Adaptado pela autora de VAN AKEN; CORREA; SCHNOOR (2009).....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros físicos do solo. (Fonte: SERVIMAR, 2014b).	47
Tabela 2 - Médios e máximos de vapores orgânicos medidos in situ. Fonte: SERVIMAR (2014b)	50
Tabela 3 – Parâmetros físico-químicos da água subterrânea da área de estudo.	52
Tabela 4 - Edifícios e pontos encontrados. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados de SERVIMAR (2014b).....	53
Tabela 5 - Resultados alumínio em solo. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014b).....	75
Tabela 6 - Resultados manganês em solo. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014b).....	75
Tabela 7 - Resultados chumbo em solo. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014b).....	75
Tabela 8 - Resultados PCB em solo. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014b).....	75
Tabela 9 – Permeabilidade de aquíferos. Fonte: DAEE, 1983.....	79
Tabela 10 - Valores Orientadores para Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. Fonte: Adaptado pela autora de CETESB (2005).	80
Tabela 11 - Constituintes típicos dissolvidos encontrados em águas subterrâneas. Fonte: Adaptado de DEUTSCH (1997)	85
Tabela 12 - Máximos e mínimos das relações das concentrações. Fonte: Elaborado pela autora com dados da SERVIMAR (2014b).....	86
Tabela 13 – Principais métodos de remediação de solos. Fonte: Adaptado de USEPA (2008) e CETESB (2008) apud OLIVEIRA (2009).	94

1. Introdução

A preocupação com o meio ambiente tem crescido ao longo das últimas décadas, uma vez que as consequências do uso desenfreado e não planejado do território e dos recursos naturais estão sendo cada vez mais visíveis e impactantes no dia-a-dia da população. As áreas contaminadas são de grande risco para a própria população, além de causarem danos primários e secundários ao meio ambiente. A integração das esferas do planeta, água, ar, solo, permite a mobilidade dos contaminantes e aumenta a extensão de degradação ambiental. Desta forma, faz-se necessário o manejo e gerenciamento correto das áreas assim classificadas, investigando e optando pelas ações corretivas e de remediação. De acordo com o uso pretendido, estipula-se um plano de intervenção diferente, determinando o nível de eficiência de remoção dos contaminantes, além das considerações em relação à custo e operação.

A USP Leste localiza-se atualmente em um terreno anteriormente pertencente ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), utilizado para a deposição de sedimentos retirados na dragagem do Rio Tietê. Outras deposições não identificadas também foram realizadas na área, devido à baixa oferta de serviços sociais na região e de acordo com depoimento de moradores da região. Já na investigação preliminar, anterior à construção dos edifícios do campus, foi constatada a presença do gás metano em concentrações que necessitavam de atenção e estudos posteriores. Em vista disso, o projeto do campus já foi realizado de forma diferenciada, com o sistema elétrico localizado mais elevado do que o usual e com a adição de dutos para o escape do gás inflamável.

Muitas polêmicas já foram noticiadas pelas grandes mídias em relação à contaminação da área, além de água imprópria para consumo nos bebedouros e infestação de pombos. A gestão do campus está constantemente sendo criticada por parte dos estudantes, professores e funcionários, que reclamam da falta de infraestrutura e abandono do campus. A localização da USP Leste, distante do campus central, e a falta de autonomia da unidade dificultam a mobilização por parte da universidade para proporcionar um ambiente mais salubre e adequado para a comunidade universitária e do entorno.

As investigações ambientais preliminares na área foram realizadas pela empresa SERVIMAR, principalmente, e apontaram análises fora dos parâmetros ambientais nas

águas subterrâneas e solo, além da problemática do metano. O campus foi dividido em três áreas de investigação (AI-01, AI-02 e AI-03), sendo que até a conclusão deste trabalho somente o relatório detalhado da AI-01 foi finalizado. Desta forma, a análise apresentada envolve principalmente essa área, além de alguns outros pontos espalhados pelo campus que já foram analisados.

O diagnóstico ambiental de uma área contaminada consiste em uma etapa importantíssima para uma sequência de ações adequadas. O entendimento do problema no maior detalhamento possível permite que a escolha de ações mitigadoras seja mais eficiente e ajustada. Cabe ressaltar aqui que a escolha das ações se deu de forma preliminar, não sendo realizado projeto ou estudo da aplicabilidade das opções apresentadas.

2. Objetivo

Com base nos relatórios elaborados por empresas contratadas pela USP, em especial da SERVIMAR, elaborar diagnóstico ambiental e proposição de medidas mitigadoras para o campus da USP Leste. Os relatórios finais são referentes, mais especificamente, à Área Investigativa 01. As outras áreas ainda passam por investigação.

3. Caracterização da área

O campus da USP LESTE encontra-se próximo ao limite entre os municípios de Guarulhos e São Paulo. Programada para dar maior acessibilidade à região leste paulistana e dos municípios mais próximos do Vale do Paraíba, encontra-se na planície aluvial do rio Tietê. O terreno foi doado pelo governo do Estado de São Paulo e pertencia, anteriormente, ao DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) e constitui-se pela Gleba 1 e Gleba 2 (USP, 2004). A disposição dos edifícios e demais constituintes da planta atual estão expostos na Figura 2.

A Comissão Executiva de Implantação da USP Leste, após estudos realizados na área, selecionou a Gleba 1 como melhor destinação para a implantação imediata das edificações (Figura 1). Além de menos onerosa, sua escolha foi realizada com base em questões ambientais, localização, segurança e mais especificamente pelos seguintes fatores:

- Característica geológico-geotécnicas favoráveis à instalação de fundações;
- Terreno em área de aterro soerguida, ao invés de em área de várzea suscetível à inundações, como a Gleba 2;
- Facilidade de integração da área com a malha viária e os eixos de acesso;
- Pré-existência de infra-estrutura de saneamento.

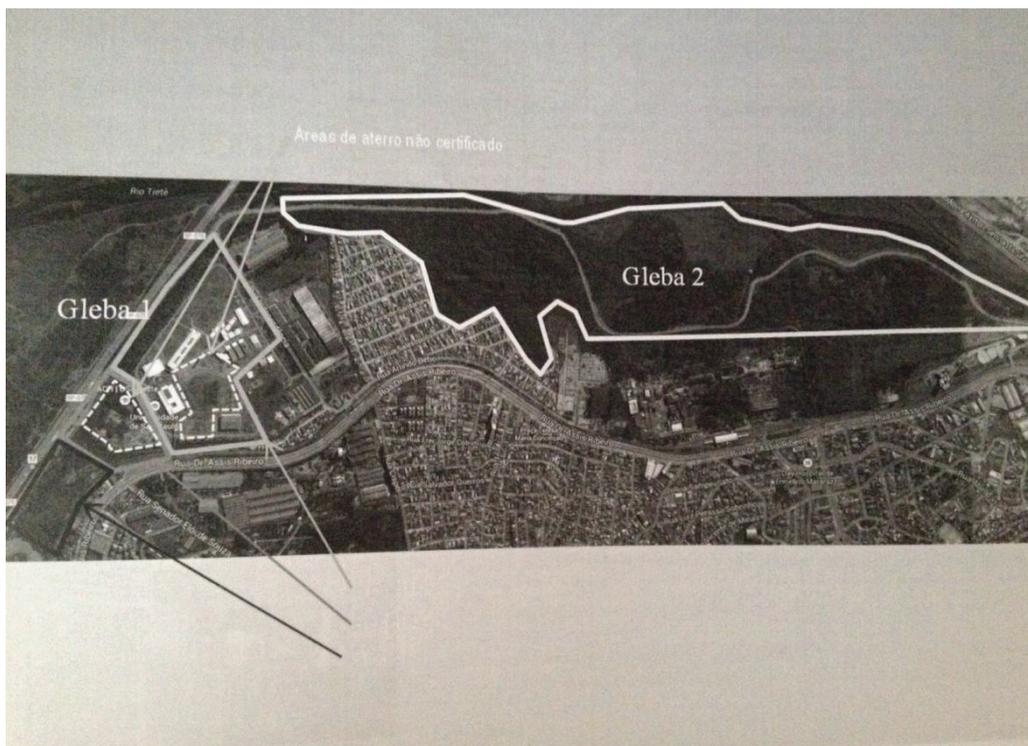


Figura 1 - Localização das Glebas 1 e 2. Fonte: SEF/USP

A Gleba 2, segundo o Relatório Ambiental Preliminar realizado pela USP (2004), consta como: "...uma área para estudos e pesquisas ambientais, sem abrigar instalações físicas, considerando que esta gleba ainda possui um dos poucos trechos naturais do rio Tietê no município de São Paulo e está recoberta em boa parte por vegetação nativa em estágios sucessionais variados."

Campus USP Capital | Leste



Figura 2 – Mapa Campus USP Capital/Leste. Fonte: USP LESTE (site) – acesso em 02 de agosto de 2014

A USP LESTE localiza-se na região da várzea do Rio Tietê que, originalmente, era mais meândrico devido às baixas declividades dessas áreas. O Rio, em si, localiza-se a cerca de 200 m a norte do campus, mas um córrego com nascente na área residencial do entorno, percorre parte do limite oeste da área da universidade,

até desaguar no Tietê. Além desse, córregos artificiais, obras de atividades antrópicas, circundam o campus nos limites sul e leste (MPESP, 2013).

A área da USP LESTE localiza-se na região da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, onde tem-se os sistemas de aquíferos Cristalino e Sedimentar, e especificamente, localiza-se acima do Aquífero São Paulo (Hirata e Ferreira, 2001). Constitui também, parte da Bacia Sedimentar de São Paulo (**Error! Reference source not found.**), agregadora das formações Resende (lamitos, arenitos e conglomerados), Tremembé (argilas orgânicas de origem lacustre) e São Paulo (cascalho, areia e siltes argilosos). Na área de estudo, aflora somente os depósitos aluviais quaternários. É importante ressaltar a proximidade da área de estudo com áreas protegidas, como o Parque Ecológico do Rio Tietê e a APA da Várzea do Rio Tietê (APA – Área de Proteção Ambiental), pertencentes à Gleba 2 original.

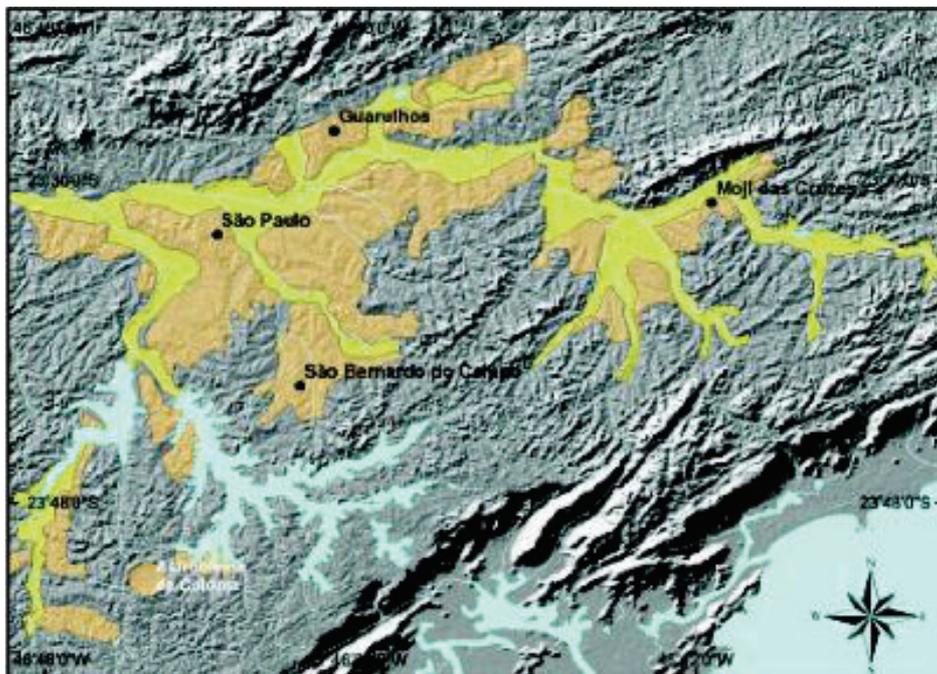


Figura 3 – Bacia Sedimentar e Aquífero de São Paulo (DAEE, 2005).

Com base nas análises físicas do solo e de dados bibliográficos, o aquífero sedimentar é caracterizado como livre e é composto predominantemente por horizontes com matriz areno siltosa e areno argilosa, com profundidade superior a 9,60 m (profundidade máxima de escavação, que não atingiu o nível inferior do aquífero livre). (SERVMAR, 2014b).

De forma a caracterizar hidrogeologicamente a área, tomadas dos níveis d'água foram realizadas com o intuito de estudar o fluxo das águas subterrâneas. Com base nos dados aferidos e com as cargas hidráulicas calculadas nos poços de monitoramento instalados durante a investigação, os mapas potenciométricos das Figura 4 e Figura 5 foram elaborados, mostrando a direção de fluxo na parte superior e na parte inferior do aquífero.

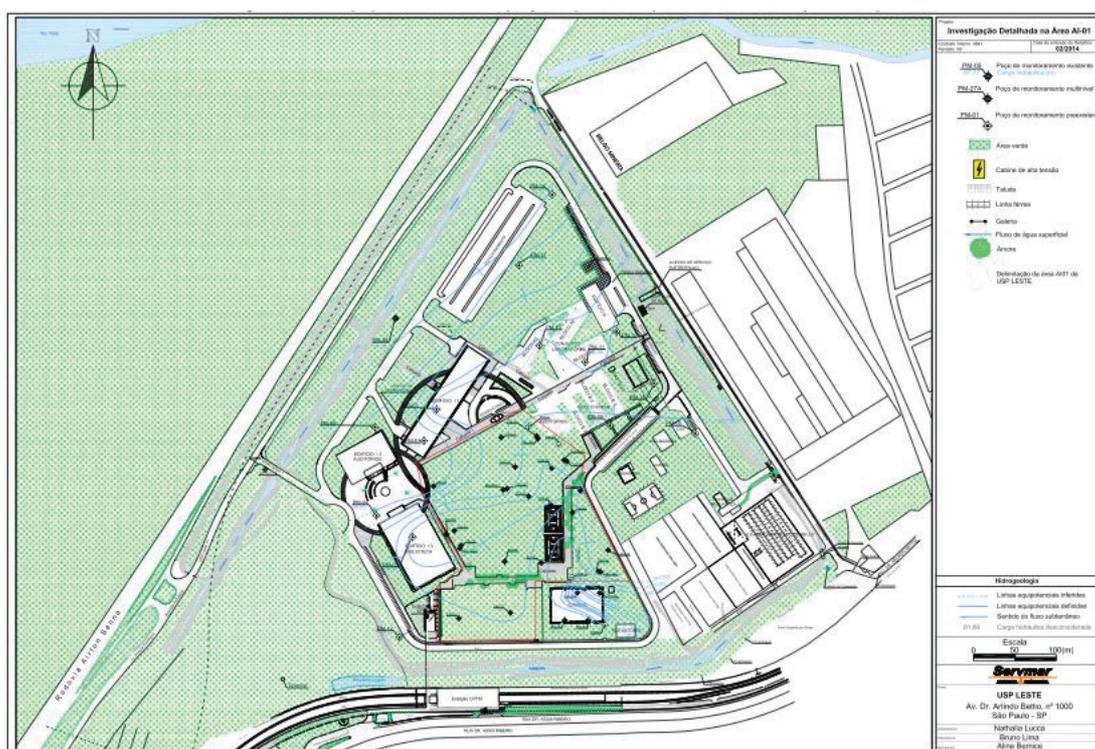


Figura 4 - Mapa potenciométrico da porção superior da AI-01. Fonte: SERVMAR (2014b)

A interpretação do mapa da porção superior do aquífero mostra que o fluxo de água subterrânea é preferencialmente para o norte, culminando no córrego do limite norte do campus. Além disso, existe um divisor de águas na área central que faz com que o fluxo local também corra em sentido ao córrego artificial no sul do campus. Já na porção inferior, o fluxo de água subterrânea vai preferencialmente para nordeste. O

fluxo vertical é descendente, característico de áreas de recarga do aquífero (SERVMAR, 2014b).

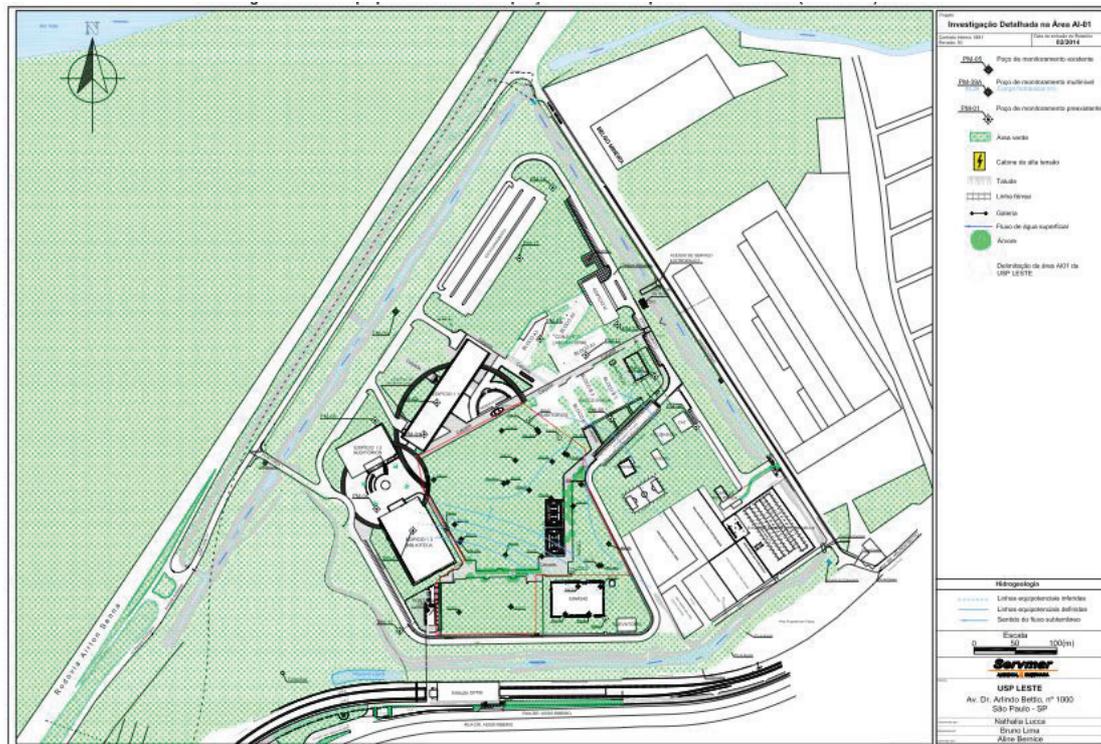


Figura 5 – Mapa potenciométrico da porção inferior da área AI-01. Fonte: SERVIMAR (2014b).

3. Histórico de uso e ocupação do solo

O levantamento do histórico da área foi realizado pela SERVIMAR através de imagens de satélite, entrevistas com moradores locais, relatórios ambientais elaborados por ela mesma anteriormente (2005, 2006, 2012, 2013) e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (2011), além de documentos relativos ao processo da CETESB em si.

3.1. 1958 a 1962

Como observado na Figura 6, a área da USP Leste possuía densa cobertura vegetal, exceto nas zonas sul e sudoeste do terreno, que se encontravam desmatadas. Com base em fotos aéreas não é possível identificar nenhuma realização

de atividade antrópica no local, exceto uma indústria de cerâmica na porção sudoeste, cujas informações sobre períodos de instalação e atividade são desconhecidas.

O Rio Tietê ainda não havia sido retificado e foi possível identificar meandros abandonados na área norte da atual área da USP LESTE. Não foi possível encontrar na área atividades de extração de areia, uma vez que as cavas exploratórias se localizavam todas no entorno.

Quanto às edificações existentes, foram constatadas edificações industriais a sul da atual USP LESTE, além da antiga Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira, localizada imediatamente a leste do terreno da Universidade.

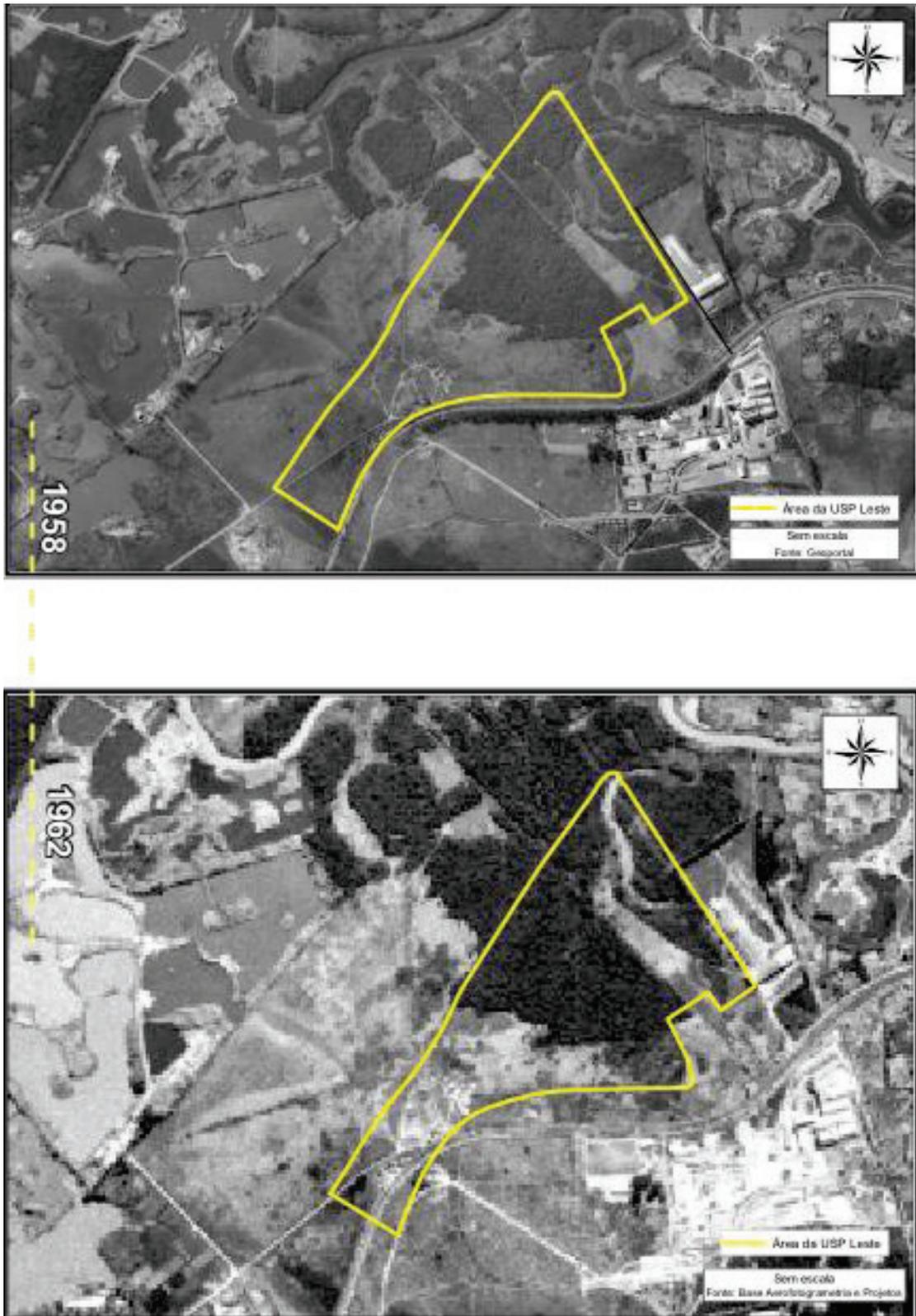


Figura 6 – Levantamento de imagens aéreas temporais (1958-1962). Fonte: SERVIMAR (2014a)

3.2. 1972 – 1981

É possível observar o crescimento da vegetação na porção sul e desmatamento nas porções norte, nordeste e leste da área. Houve uma ampliação das atividades industriais nos terrenos localizados a leste e sul da área de interesse e a constatação de uma ocupação residencial a sudeste (Figura 7).

Continuação do crescimento de vegetação na porção sul e desmatamento nas porções norte e extremo sudoeste da área. Os meandros abandonados do rio Tietê constatados nas fotos aéreas de 1950 e 1970 apareceram com suspeita de aterramento.

Dá-se o início do processo de retificação do rio Tietê, porém o curso permanecia normal nas proximidades da área de interesse. Inicia-se também a construção da Rodovia Ayrton Senna (antiga Rodovia dos Trabalhadores).

As edificações industriais pré-existentes a leste e sul da área de interesse passaram por novas ampliações e fica evidente a densificação da ocupação residencial a sul e sudeste.

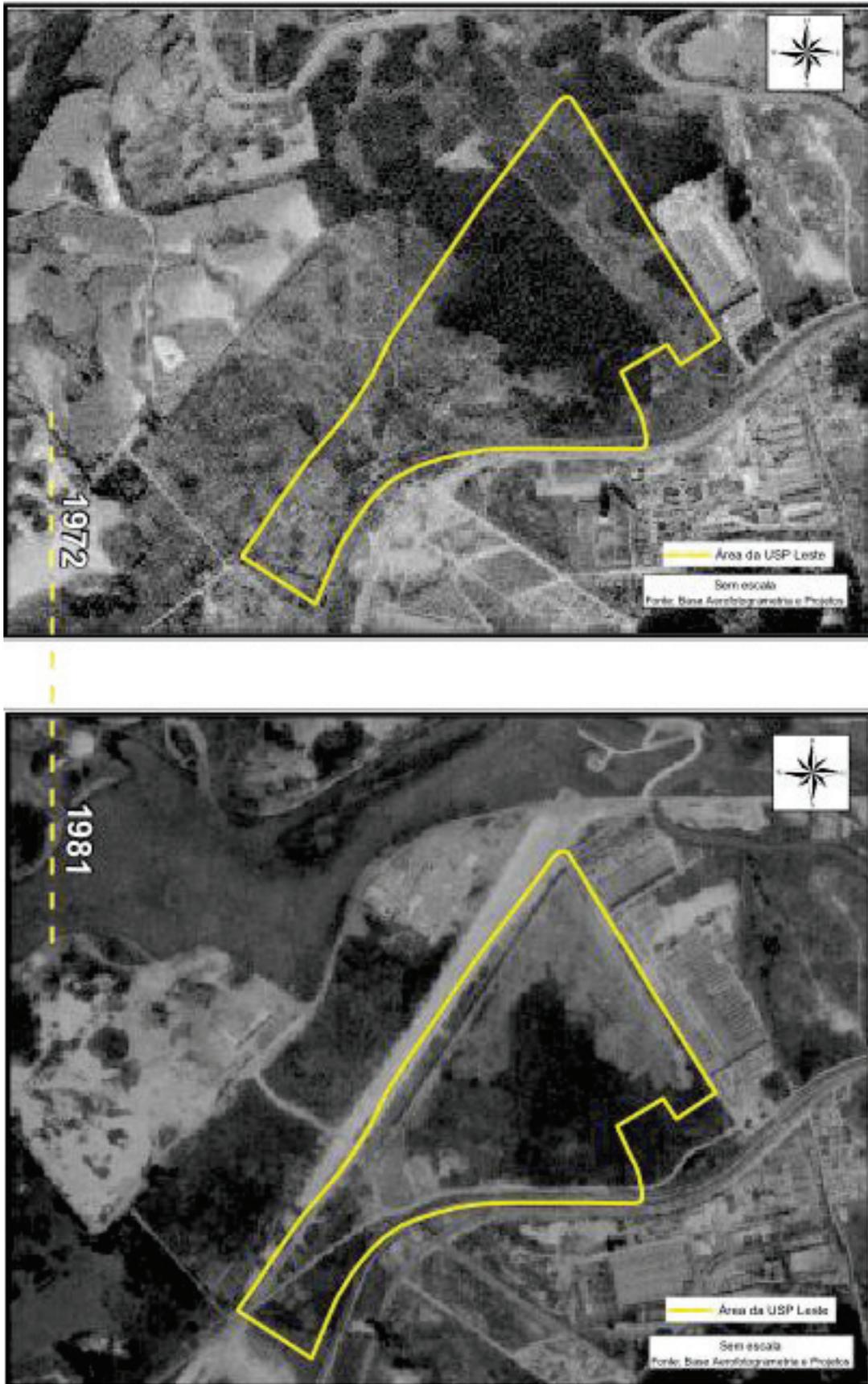


Figura 7 – Levantamento de imagens aéreas temporais (1972-1981)

3.3. 1994 – 2001

A situação nessa data mostra a área da USP LESTE com pouca área verde e terreno aterrado e aplainado. O Rio Tietê encontrava-se em processo final de retificação.

Segundo informações oriundas da colaboração de um antigo morador da região, durante o processo de assoreamento e retificação do rio Tietê toda a região de entorno imediato, que inclui a área de interesse e na época não era ocupada, recebeu o material resultado das dragagens realizadas.

A foto aérea de 1994 mostra a subdivisão da área em diques, arranjo utilizado para a deposição de resíduos de dragagem. A verificação atual da presença de plásticos, embalagens e borrachas junto com o solo natural corrobora a afirmação anterior.

Constatou-se sobre o terreno original de planície fluvial, durante investigações ambientais, a composição predominante de areia (fina a média) e matéria orgânica, contendo ainda silte e argila em menores proporções e presença de materiais antropogênicos, como plásticos, garrafas e pneus.

A Rodovia Ayrton Senna (antiga Rodovia dos Trabalhadores) encontrava-se em operação.

Com o Rio Tietê já retificado, a área da USP LESTE apresentava vegetação rasteira e claros indícios de aterramento.



Figura 8 – Levantamento de imagens aéreas temporais (1994-2001). Fonte: SERVIMAR (2014a)

3.4. 2003 – 2005

Doação de área para a USP LESTE pelo Governo do Estado de São Paulo. Área total consta de 1.240.578 m², sendo a Gleba 1 de 258.000 m² e a Gleba 2 de 982.578 m². Através do Relatório Ambiental Preliminar e suas sondagens de investigação, constatou-se a disposição de uma camada de material alóctone (originado de outro lugar), de até 8,0 m de espessura. Este material era composto principalmente por areia (fina a média), mas também contendo argila e silte. Entulhos como garrafas e pneus também foram encontrados. Estas áreas de disposição foram delimitadas com diques de contenção.

Em 2004, a imagem aérea revela a presença da chaminé da atividade de cerâmica. Área apresenta vegetação rasteira, inclusive sobre o aterro. Concedida a Licença Prévia para a instalação e funcionamento das obras previstas nas áreas das Glebas 1 e 2, a emissão da Licença de Instalação previu a necessidade de coleta de informações a respeito da situação do solo e água subterrânea locais, além do monitoramento da qualidade do rio e que o solo necessário para as obras a ser disposto deveria ter sua origem em local licenciado. A investigação ambiental realizada apontou alguns compostos orgânicos semi-voláteis (SVOC) na franja capilar, mas sem exceder os padrões de referência estabelecidos pela CETESB (2001). A água subterrânea apresentou alguns metais acima dos padrões ambientais, tais como: alumínio, antimônio, chumbo, cobalto, cromo, ferro, manganês e níquel, associados ao processo natural de lixiviação dos solos e alteração das rochas. O órgão responsável da época, Departamento de Proteção dos Recursos Naturais (DPRN), considerou viável a implantação do empreendimento da USP LESTE.



Figura 9 – Levantamento de imagens aéreas temporais (2004-2005). Fonte: SERVMAR (2014a)

3.5. 2005 a 2008

As obras de construção do campus da USP LESTE iniciaram em 2005 e terminaram em 2008. Durante as sondagens para a construção da fundação das edificações, foi constatada a presença de gás inflamável no subsolo, por isso, antes da construção dos pisos dos edifícios I-1, I-3, I-4, Módulo Inicial, Conjunto Laboratorial e Ginásio foi colocada uma camada de brita logo abaixo e instalado um conjunto de drenos horizontais, com o intuito de favorecer a troca de ar. A tubulação elétrica também foi posicionada nas laterais das edificações e não sob o piso, por prevenção.

13 de janeiro de 2005 – A SABESP estabeleceu os serviços de fornecimento de água potável e eliminação de resíduos sanitários da USP LESTE. Até março de 2014, toda a água utilizada no campus continuou a ser proveniente do abastecimento da SABESP. A previsão da adução de água potável se deu sob o leito da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), com a adutora a ser implantada no entorno da indústria siderúrgica ArcelorMittal Aços Longos (antiga Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira) e entrando na USP LESTE.

Maio a outubro de 2005 – Realização de diagnóstico ambiental pela SERVIMAR com as seguintes atividades:

- Levantamento do histórico da área;
- Monitoramento do índice de explosividade nas caixas de passagem, mapeamento de gases no solo;
- Levantamento geofísico da área;
- Sondagens de reconhecimento e instalação de poços de monitoramento;
- Amostragem do solo e águas subterrâneas;
- Ensaio de permeabilidade nos poços de monitoramento;
- Levantamento topográfico.

Os resultados dos gases no solo mostraram que estes estavam concentrados nas maiores profundidades e que a predominância encontrada foi do gás metano. Com isso, inferiu-se que a provável fonte do metano era a decomposição da matéria orgânica presente no material de aterro de dragagem do leito do rio Tietê. As

concentrações elevadas foram associadas à capacidade intrínseca do solo de impedir a liberação do gás para a atmosfera.

As análises químicas indicaram concentrações acima dos valores de intervenção (CETESB, 2011) de arsênio, ferro total, fosfato total e vanádio em diversos pontos da área total do campus. As amostras de água subterrânea indicaram concentrações fora dos padrões ambientais dos compostos fluoarenteno, criseno, benzo(b)fluoranteno, benzo(a)fluoranteno e fenol. Dentre os metais foram o bário, o cobalto e o níquel que se destacaram fora dos padrões.

O relatório recomendou as seguintes ações:

- Execução de investigação da presença de gases nas áreas onde forem construídas novas edificações;
- Implantação de sistemas de drenos, exaustão e tratamento de gases nos locais que apresentarem anomalias de gases;
- Detalhamento horizontal e vertical, através de sondagens e poços de monitoramento, dos pontos que apresentaram concentrações acima dos padrões ambientais;
- Inclusão da análise de Bifenilas Policloradas (PCB);
- Análise química das águas dos poços de abastecimento situados no terreno irregular para os parâmetros do Ministério da Saúde do Brasil (2004).

29 de dezembro de 2005 – CETESB considerou a área da USP LESTE como contaminada, sem o término da delimitação das plumas de contaminação.

Janeiro de 2006 – Com base em trabalhos complementares da SERVMAR foram constatados teores de gases orgânicos em alguns pontos, principalmente de metano, sem a lógica de um padrão vinculada.

As análises de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC), Semi-Voláteis (SVOC), metais e inorgânicos nas amostras de solo e água subterrânea na área destinada à construção da enfermaria provaram-se abaixo dos valores limite pré-determinados (CETESB, 2005).

Setembro de 2006 – Estudo do IPT constatou a presença de metano na maioria dos pontos de medição no campus USP LESTE.

Dezembro de 2006 – Amostras realizadas pelo IPT não apresentaram teores das substâncias químicas de interesse (SQI) acima dos valores de intervenção para uso industrial (CETESB, 2005).

Fevereiro de 2007 – Avaliação do IPT não constatou valores acima de intervenção ambiental das SQI (CETESB, 2005) e os vapores orgânicos em caixas de passagens foram nulos.

Março de 2007 - Análise de risco à saúde humana foi realizada com base em dados fornecidos pela USP LESTE e indicou que os limites carcinogênicos e não carcinogênicos não foram excedidos para nenhum dos cenários de exposição considerados, avaliando-se as condições do solo e água subterrânea.

Outubro de 2008 – Concluiu-se que as SQI quantificadas acima dos padrões ambientais estavam dispersas pelo campus, sem a obriedade de uma fonte primordial (Figura 11). Conseqüentemente, a área foi considerada com contaminação pouco expressiva e proveniente do uso do terreno como aterro dos materiais de dragagem do leito do rio Tietê.



Figura 10 - Levantamento de imagens aéreas temporais (2006-2007). Fonte: SERVMAR (2014a)

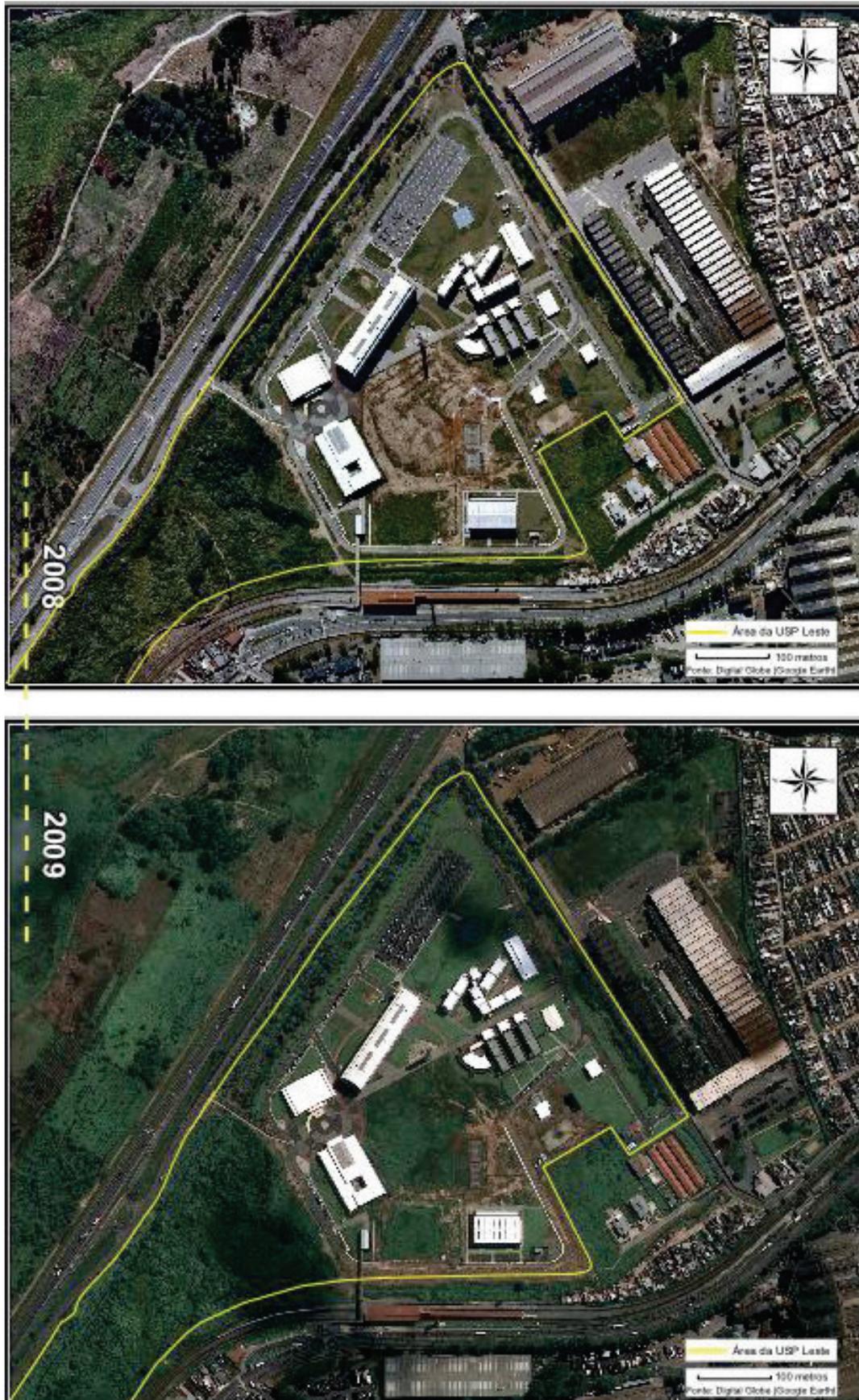


Figura 11 - Levantamento de imagens aéreas temporais (2008-2009). Fonte: SERVMAR (2014a).

3.6. Final de 2010 a 2011

Realização do aterramento com solo de origem desconhecida e com presença de restos de materiais de construção civil na área central (AI-01), na área antigamente ocupada pela indústria de cerâmica que ainda possuía uma de suas chaminés (AI-02) e na porção mais sudoeste, no terreno antigamente de posse do Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE (AI-03) (Figura 13). Segundo a SEF/USP e a USP LESTE, foi depositado um volume de 109.000 m³ de solo de origem desconhecida durante o período de aproximadamente um ano e meio.

24 de fevereiro de 2011 – Uma comissão foi designada pela Reitoria da USP para tratar da questão ambiental da USP LESTE.

Agosto de 2011 – Trabalhos de investigação ambiental e avaliação de risco à saúde humana foram realizados pelo IPT. Os resultados indicaram somente concentrações inferiores aos limites ambientais para solo superficial e subsuperficial. No caso da água subterrânea, as concentrações de alumínio, arsênio, bário, chumbo, cobalto, cromo total, ferro total, manganês, molibdênio, níquel e selênio foram averiguadas como superiores aos padrões ambientais. Foi também confirmada a presença generalizada de gás inflamável (metano) no subsolo de toda a área estudada.

A avaliação de risco à saúde humana assume risco não carcinogênico somente no cenário onde há a ingestão da água subterrânea por trabalhadores de obras civis, tanto na área interna quanto na externa do campus (escola estadual, escola infantil e creche).

08 de setembro de 2011 – O solo contaminado depositado no campus seria oriundo de obras da construtora Cyrela e entregue por uma empresa sem contrato, sem autorização ambiental ou qualquer controle da procedência do material.

A empresa Cyrela negou, em reportagem do jornal Folha de São Paulo de 23 de outubro de 2011, ter fornecido o solo para a USP LESTE. Na mesma reportagem, o diretor da USP LESTE, indagado pelo Ministério Público (MPESP) sobre a origem do solo, enviou um documento da microempresa Formosa, que afirma que o solo é originado da demolição da obra de uma fábrica na zona leste, assim como um

documento da microempresa JM Terraplanagem que informa a doação de 16.000 m³ de solo certificado. Em depoimento ao MP, um responsável pela microempresa Ratão informou que descartou na área solo proveniente da construção de templo da Igreja Universal do Reino de Deus, no Brás.

18 de outubro de 2011 – Comissão interna responsável pelo problema ambiental da USP LESTE e a Congregação concluíram que, excetuando-se o uso da água subterrânea, o cenário atual do campus não representava riscos à saúde humana superiores aos aceitáveis.

19 de outubro de 2011 – CETESB realizou uma vistoria devido à denúncia realizada junto ao Ministério Público. Os resultados desta vistoria englobam a constatação de plantio compensatório inadequado, quantificação de vapores orgânicos no solo em teores superiores ao Limite Inferior de Inflamabilidade (LII) em três pontos em ambientes abertos no campus.

26 de outubro de 2011 – Visita técnica ao campus realizada pela CETESB não encontrou mudanças no cenário anterior.

31 de outubro de 2011 – Dois dos 22 poços monitorados apresentaram teores de gases acima do LII.

Dezembro de 2011 – Averiguações sobre a eficácia do funcionamento do sistema de extração de vapores resultaram em níveis de metano inferiores ao limite de detecção do equipamento utilizado durante o funcionamento do sistema.

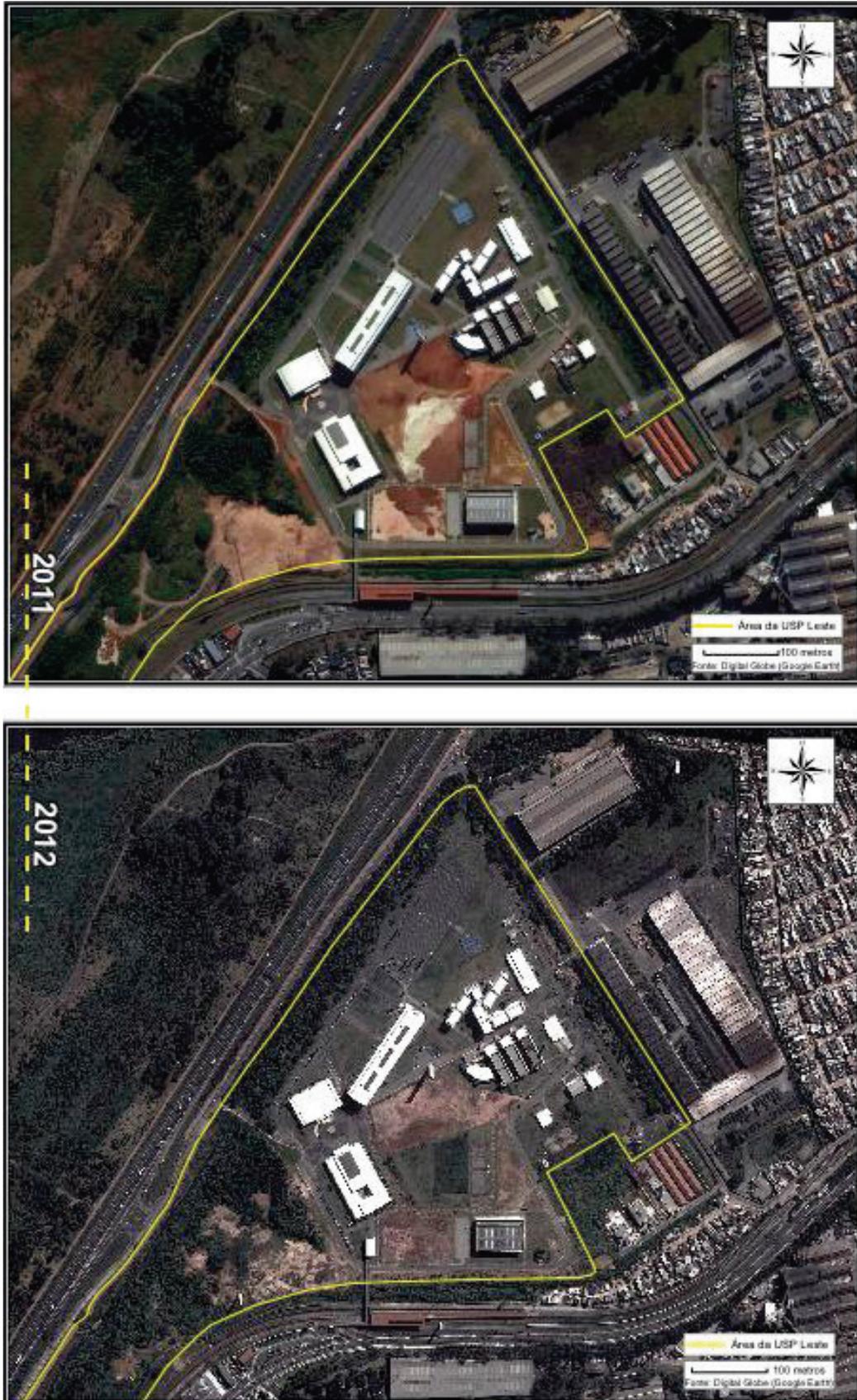


Figura 12 - Levantamento de imagens aéreas temporais (2011-2012). Fonte: SERVIMAR (2014a)

Janeiro de 2013 – AI-03 é doada para a USP LESTE (Figura 14).

Janeiro a março de 2013 – Com a manutenção das medições diárias dos gases de interesse pela SERVIMAR, não foi detectada a presença de metano, monóxido de carbono ou sulfeto de hidrogênio. Porém, foram realizadas aferições com concentrações de metano dentro da faixa de explosividade em um dos poços de interior de edifício em alguns dos dias de monitoramento.

Abril a junho de 2013 – A SERVIMAR realizou mais uma campanha de monitoramento dos gases de interesse. Os resultados apresentaram normalidade como regra, exceto por uma única medição de metano na faixa de explosividade e um ponto de aferição com a presença de monóxido de carbono.

01 de novembro de 2013 – A Gleba 2 foi retomada pelo Governo do Estado de São Paulo e não seria mais utilizada pela USP LESTE. Foi determinada a suspensão imediata das atividades docentes e de apoio administrativo e funcional até que as pendências ambientais relatadas pelos órgãos fiscalizadores fossem atendidas e aprovadas pela CETESB; o interrompimento da ampliação da estrutura física e a adequação para a disposição dos resíduos sólidos resultados das atividades da entidade.

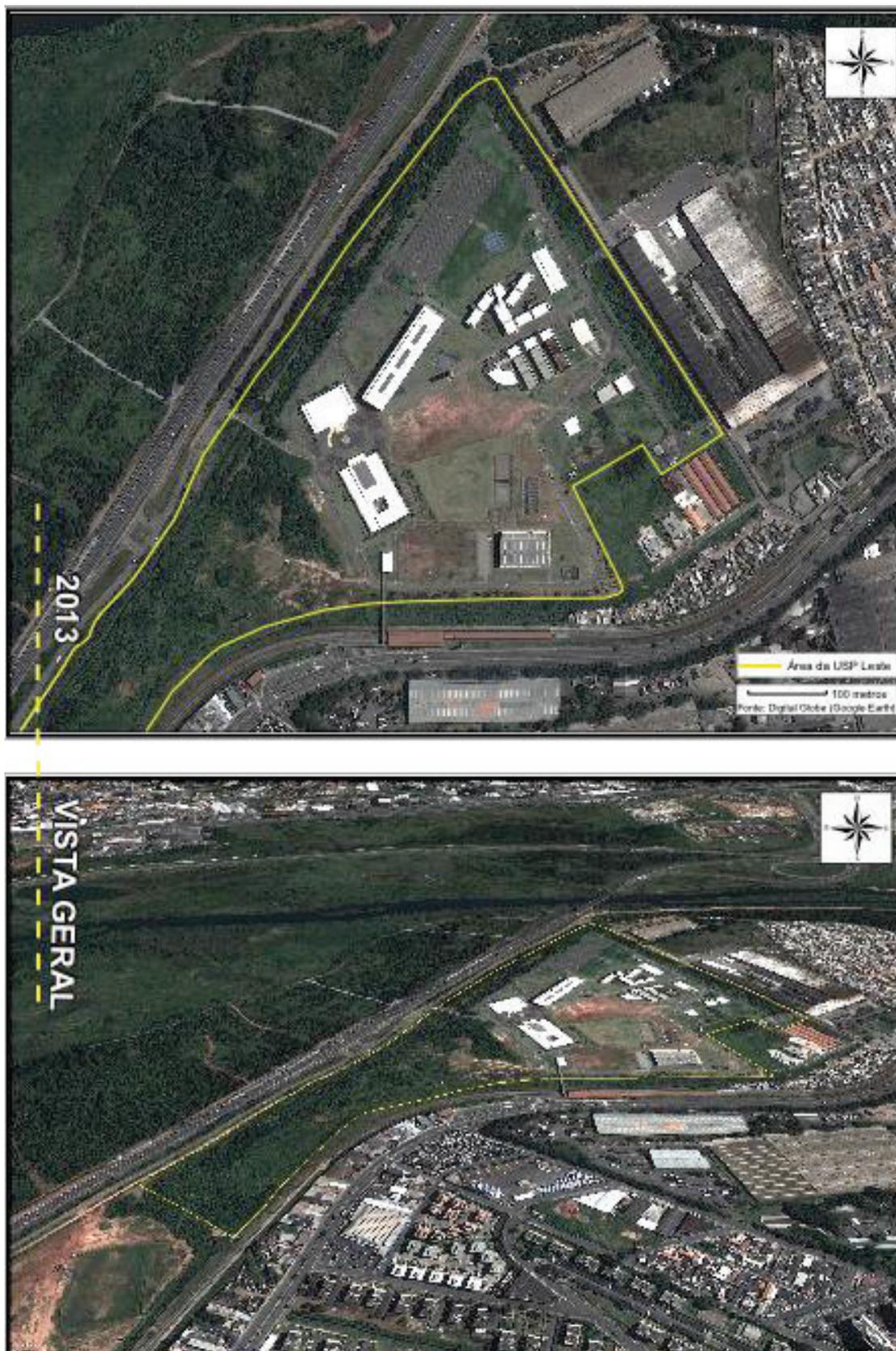


Figura 14 - Levantamento de imagens aéreas temporais (2013). Fonte: SERVMAR (2014a).

4. Métodos

A metodologia de trabalho baseou-se em dados secundários, analisando documentos técnicos referentes à caracterização ambiental da área. Pareceres de órgãos técnicos responsáveis e artigos científicos foram utilizados como base para o entendimento e averiguação da situação encontrada. Os relatórios de empresas contratadas para a investigação constituíram a base de todo o trabalho, sendo o da SERVIMAR (2014b) a origem dos resultados quantitativos a respeito das substâncias de interesse.

Para o julgamento empregado acerca dos resultados, consultou-se normas técnicas, leis ambientais, resoluções e outros documentos publicados por órgãos ambientais do Brasil e de outros países.

5. Caracterização do problema

Com base na caracterização e histórico da área do estudo, um melhor entendimento do problema em si se faz necessário. Para tal, é importante compreender espacialmente os resultados das análises efetuadas pelas empresas responsáveis e os aspectos relacionados aos contaminantes encontrados.

5.1. Rede de monitoramento e Pontos de coleta de amostras

A rede de monitoramento utilizada para as coletas foi montada com base nos poços de monitoramento pré-existent e, quando necessário, complementada com a instalação de novos poços.

4.1.1. Monitoramento de gases

O monitoramento de gases de interesse (GI) frisou o acompanhamento das lajes edificadas e da franja capilar. Com 115 poços multiníveis, o objetivo foi compreender e confirmar a existência de condições inflamáveis no meio poroso do solo e sua distribuição até os edifícios, assim como a sua intrusão no interior dos mesmos. As medições foram realizadas a 0,3 e 1,0 m de profundidade e os poços estão

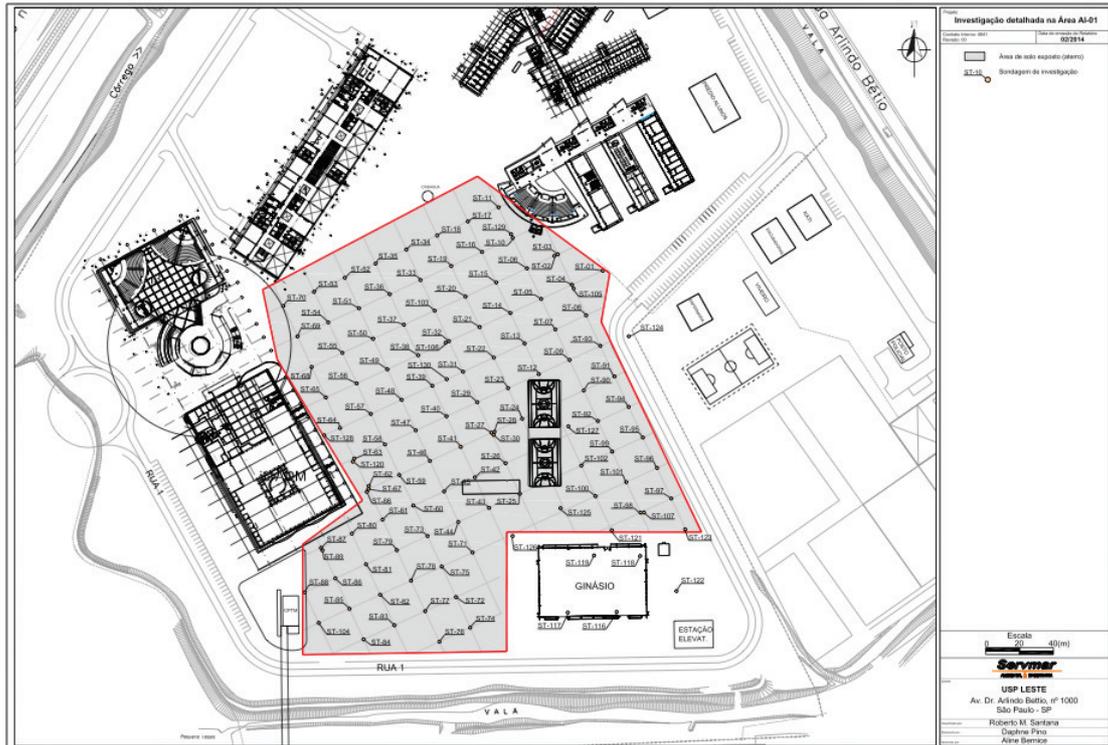


Figura 16 – Sondagens de investigação na área AI-01 e Ginásio – USP LESTE (Fonte: SERVMAR, 2014b).

As amostras de solo retiradas nesses pontos foram analisadas quimicamente para Compostos Orgânicos Voláteis (VOC), Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC), Bifenilas Policloradas (PCB), metais totais, série nitrogenada, série sulfatada, pesticidas organoclorados, cianeto, cloreto, berílio, tálio e fosfato.

Os pontos de coleta de águas subterrâneas utilizados perfazem uma intersecção entre as sondagens e os poços de monitoramento de gases, com a finalidade de possibilitar o monitoramento do comportamento do nível de água subterrânea local e o monitoramento analítico da água subterrânea. A partir das cotas de bocas de poços e das profundidades dos níveis de água foi possível elaborar o mapa de fluxo de água subterrânea da área. O posicionamento dos poços instalados é ilustrado na Figura 17.



Figura 17 – Posicionamento dos poços de monitoramento (Fonte: SERVMAR, 2014b)

5.2. Resultados das análises

4.2.1. Solo

O estudo do solo da área foi realizado através de sondagens investigativas realizadas a profundidades de 0,3 e 1,0 m e o de vapores orgânicos foi realizado a profundidades de 0,3, 0,5, 1,0 e 1,5 m. Foi possível identificar a existência e localização de depósitos antropogênicos e quaternários, sendo caracterizados como:

- Depósito antropogênico

Consiste em três camadas de diferentes etapas de deposição: uma camada foi depositada nas décadas de 80 e 90, acompanhando o movimento da época da deposição do material de dragagem do rio Tietê ao longo de toda a sua margem e permitindo a sua retificação; uma camada depositada de 2004 a 2008 na Gleba I afim de promover a terraplanagem da área, permitindo a construção posterior das edificações do campus; e a última é relativa ao solo de origem desconhecida

(supostamente oriundo de obra do Templo de Salomão) que foi disposto em 2011 nas áreas AI-01, AI-02 e AI-03. Além destas, sobrepostas foram identificadas camadas de concreto, de brita média e gramíneas.

A camada do aterro de origem desconhecida foi descrita como “areia siltosa a areia argilosa, de coloração marrom avermelhada, com mica, por vezes com caulim, eventualmente com fragmentos de materiais da construção civil (fragmentos de azulejo, concreto, telha, madeira e tijolo), arames, luvas, latas de tinta, panos e estopas” (SERVMAR, 2014b). Já a camada de aterro utilizada para a terraplanagem da Gleba I foi descrita como “areia siltosa a areia pouco siltosa, de coloração marrom avermelhada, com fragmentos de materiais da construção civil (fragmentos de azulejo, concreto e telha), eventualmente com mica e caulim”. A camada de aterro da deposição do material de dragagem do leito do rio Tietê foi descrita como “argila arenosa a silte arenoso, de coloração cinza amarronzada ou preta ou de coloração variegada (marrom, vermelho, cinza, amarelo), rica em restos vegetais, eventualmente com restos de plástico e fragmentos de piso de ardósia, por vezes com porções de areia, algumas vezes siltosa, de coloração ocre, e silte compacto de coloração cinza claro”.

- Depósitos quaternários

Estes depósitos foram naturalmente dispostos na área pela ação do rio Tietê e seus afluentes. Segundo a SERVMAR (2014b), algumas diferentes camadas foram identificadas de forma intercalada ou em lentes descontínuas, provavelmente devido ao trajeto original do rio Tietê de aspecto meandrante e dos outros córregos da região e são compostas por:

- Argila plástica a argila arenosa (fina a grossa), rica em restos vegetais, de coloração preta;
- Areia (muito fina) siltosa, de coloração cinza amarronzada a marrom escura, rica em mica, por vezes com restos vegetais e com porções mais compactas;
- Areia (fina a grossa), de coloração marrom a cinza, por vezes pouco siltosa, rica em mica.

Tabela 1 – Parâmetros físicos do solo. (Fonte: SERVIMAR, 2014b).

Parâmetros	Unidade	Sondagem / Identificação da amostra / Profundidade de coleta (m)									
		ST-121 AG-01 (ZNS) 0,40	ST-121 AG-01 (ZS) 2,50	ST-125 AG-02 (ZNS) 0,40	ST-125 AG-02 (ZS) 2,00	ST-125 AG-01 (ZNS) 0,40	ST-121 AG-01 (ZNS) 0,40	ST-121 AG-01 (ZNS) 0,40			
Densidade de Partículas	g/cm ³	2,43	2,39	2,53	2,48	3,54	2,47				
Argila	%	4,61	13,70	19,00	7,35	36,50	5,26				
Silte	%	32,40	33,90	28,00	38,80	13,70	32,60				
Areia muito fina	%	7,91	24,50	8,19	18,00	5,53	21,60				
Areia fina	%	9,68	11,90	10,60	14,00	9,49	19,40				
Areia média	%	13,20	6,52	11,70	10,60	15,50	9,12				
Areia grossa	%	13,20	5,55	9,38	5,49	11,90	4,25				
Areia muito grossa	%	8,94	2,90	6,40	2,16	6,68	2,47				
Cascalho	%	10,10	1,10	6,57	3,55	0,78	5,30				
Areia Total	%	63,06	52,46	52,89	53,82	49,81	62,14				
Matéria orgânica	%	1,03	2,28	1,04	1,16	9,01	1,42				
FOC	%	0,60	1,32	0,60	0,67	0,53	0,82				
Profundidade de coleta	m	0,40	na	0,40	na	0,40	na				
Densidade aparente	g/cm ³	1,54	na	1,43	na	1,75	na				
Porosidade efetiva	%	5,06	na	4,01	na	5,41	na				
Porosidade total	%	41,80	na	45,80	na	35,50	na				

Os parâmetros físicos do solo constam na

Tabela 1. A partir do resultado médio da densidade aparente e a observação da rede de sondagem de investigação, a SERVIMAR (2014b) estimou o volume e a massa total aproximados da camada de aterro desconhecida na AI-01, sendo 16.375,27 m³ e 25.709,18 toneladas, respectivamente.

Os resultados das análises efetuadas pela SERVIMAR (2014b) foram avaliados conforme a comparação realizada com as concentrações estabelecidas para o cenário residencial pela CETESB (“Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo, 2005) e, quando não constatada nessa, foram comparadas com o *Regional Screening Level* – RSL, equivalente da CETESB da *Environmental Protection Agency* – US EPA (2013). As substâncias encontradas acima do valor de intervenção e sua localização foram:

AI-01:

- Benzo(b)fluoranteno
- Bis(2-Etilexil)ftalato
- Cianeto
- PCB

AI-02:

- Fenol, cresol, naftaleno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, criseno, dibenzo(a,h)antraceno, benzo(k)fluoranteno, estireno, benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos
- Bis(2-Etilexil)ftalato

Ginásio de esportes:

- Benzo(b)fluoranteno

Proximidades do Edifício I-3:

- Benzo(b)fluoranteno

Proximidades do Conjunto Laboratorial:

- Arsênio (valor muito próximo ao seu valor de intervenção (10,3 mg/Kg versus 10,0 mg/Kg)

4.2.1.1. Vapores orgânicos

A medição de vapores orgânicos foram realizadas *in situ* e em alguns poços foi possível até identificá-los a olho nu, devido à aparição de bolhas de ar na água subterrânea, indicando a sua presença no subsolo. A **Error! Reference source not found.** apresenta um panorama das medições realizadas.

Tabela 2 - Médios e máximos de vapores orgânicos medidos *in situ*. Fonte: SERVIMAR (2014b)

Profundidade (m)	Coleta de amostras		Vapores orgânicos medidos <i>in situ</i>	
	Total de amostras (un.)	Teor médio (ppm)	Teor máximo (ppm)	
0,3	112	7,6	44,6	
0,5	40	8	35,3	
1,0	44	8,8	72	
1,5	22	6,6	37,4	

4.2.1.2. Metais

Alguns metais foram identificados com teores acima dos padrões de referência ambiental, como manganês e alumínio, encontrados nas amostras da área AI-01, e chumbo, no Ginásio poliesportivo.

4.2.1.3. Bifenilas Policloradas (PCB)

Algumas amostras localizadas na área AI-01 apresentaram valores superiores aos valores de intervenção pré-estabelecidos, porém, estes valores estão dispersos amplamente pela área (Figura 18 e Figura 19) e as quantificações foram superficiais.

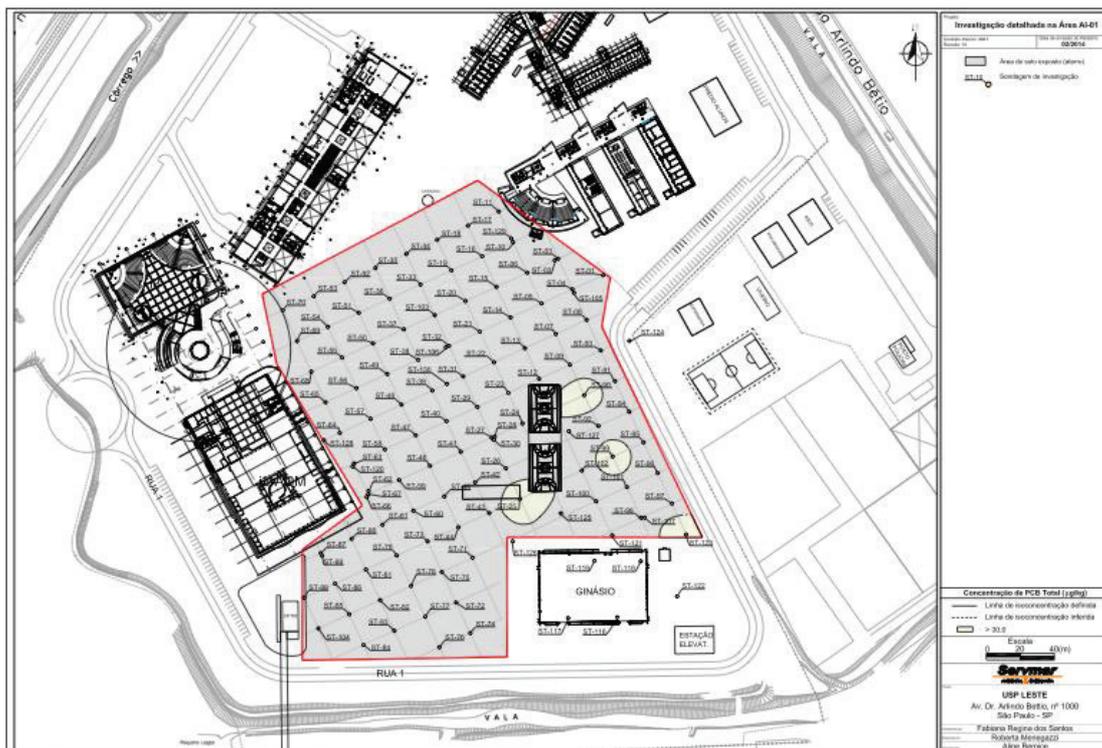


Figura 18 – Isoconcentrações de PCB total no solo superficial da área AI-01. Fonte: SERVMAR (2014b)

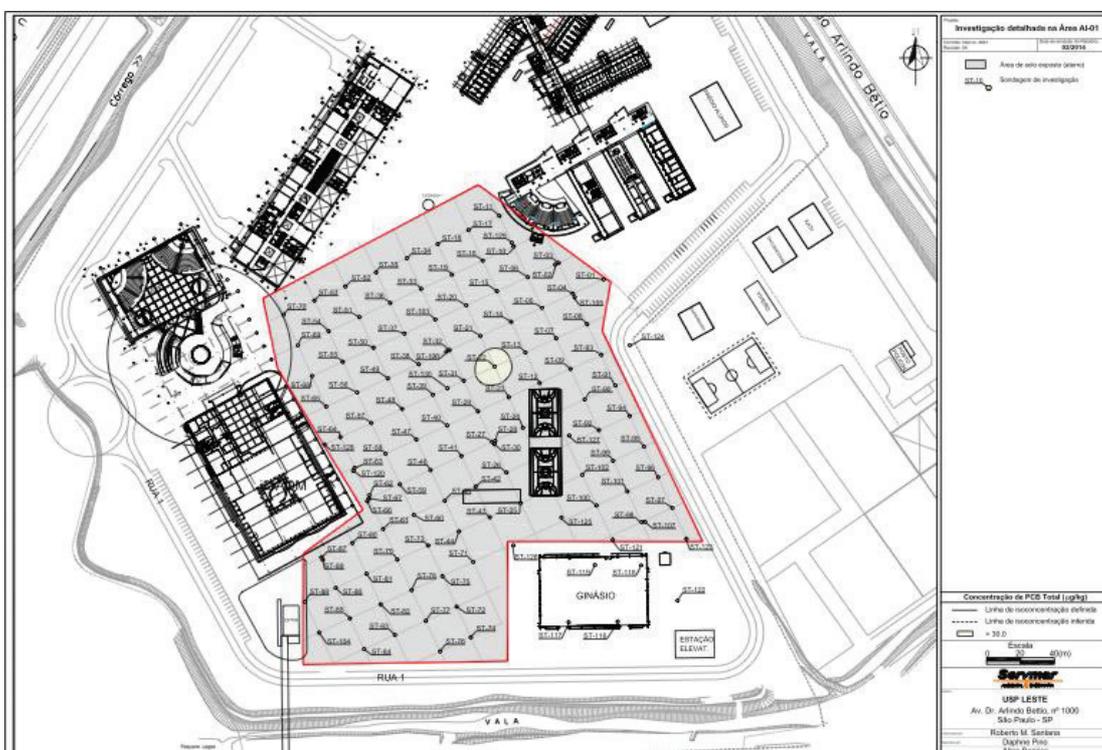


Figura 19 – Isoconcentrações de PCB total no solo subsuperficial da área AI-01. Fonte: SERVMAR (2014b).

4.2.2. Água Subterrânea

As características físico-químicas da água subterrânea da área foram medidas *in situ* nas amostras de água subterrânea dos poços de monitoramento e contemplaram a temperatura, pH, condutividade elétrica, potencial redox e oxigênio dissolvido (Tabela 3).

Tabela 3 – Parâmetros físico-químicos da água subterrânea da área de estudo.

Parâmetro	Valor médio	Valor mínimo	Valor máximo
Temperatura (°C)	23,46	20,7	29,3
pH	6,48	5,47	7,37
Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1087,95	168,5	2132
Potencial Redox (mV)	-146,54	-403,4	-27,7
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	<0,10	< 0,10	1,6

Como observado nos valores encontrados, a área de estudo se mostrou predominantemente ácida e com valores altos de condutividade elétrica. O ambiente mostrou-se redutor e anaeróbico, já que as medições de oxigênio dissolvido foram abaixo de 0,1 mg/L, exceto por uma medição de 1,60 mg/L (PM-40).

Para fins investigativos, as análises químicas efetuadas foram varredura de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC), varredura de Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC), Bifenilas Policloradas (PCB), metais (CETESB, 2005), berílio, tálio, pesticidas organoclorados, compostos das séries nitrogenada e sulfatada, cianeto, cloretos totais e fosfato. Os PCB, pesticidas organoclorados, compostos orgânicos voláteis (VOC), compostos orgânicos semi-voláteis (SVOC), tálio e cianeto mostraram-se inferiores aos limites de quantificação do método analítico e, conseqüentemente, inferiores aos padrões de referência ambiental. Não foram quantificadas concentrações em desconformidade com os valores de referência para sulfeto, sulfito, cianeto, antimônio, arsênio, berílio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, prata e selênio.

Em suma, apenas o alumínio, bário, cobalto, ferro, manganês e níquel foram encontrados acima dos valores de intervenção, sendo o ferro encontrado em todos os

poços de monitoramento e o cobalto e o níquel em apenas um. Boro e zinco também foram encontrados, mas em concentrações inferiores aos padrões ambientais.

4.2.3. Gases

De acordo com os resultados obtidos até dezembro de 2013 pelo relatório da empresa SERVIMAR (2014), não observou-se valores acima do LII de monóxido de carbono e sulfeto de hidrogênio. Para uma maior compreensão dos pontos a serem monitorados com maior cautela ou não, utilizou-se a seguinte definição:

- Pontos de alerta: pontos onde os poços de monitoramento apresentaram pelo menos uma das medições realizadas no período com concentrações superiores ao LII do metano próximo à franja capilar.
- Pontos críticos: pontos onde os poços de monitoramento apresentaram pelo menos uma das medições realizadas no período com concentrações superiores ao LII do metano abaixo do contra-piso.
- Pontos extremamente críticos: pontos onde os poços de monitoramento apresentaram pelo menos uma das medições realizadas no período com concentrações superiores ao LSI do metano próximo ao contra-piso.

As condições de cada prédio especificamente em relação às medições podem ser contempladas na Tabela 4 e na Figura 20.

Tabela 4 - Edifícios e pontos encontrados. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados de SERVIMAR (2014b)

Edifícios	Pontos de alerta	Pontos críticos	Pontos extremamente críticos
Módulo Inicial (MI)	4	1	0
Edifício I-1	1	0	0
Auditórios (I-3)	0	0	0
Biblioteca (I-3)	0	0	0
Conjunto Laboratorial	11	1	0
Edifício (I-4)	2	1	0
Enfermaria	1	0	0

Incubadora	0	0	0
CAT	2	0	0
Laranjinha	0	1	1
Ginásio	0	0	0

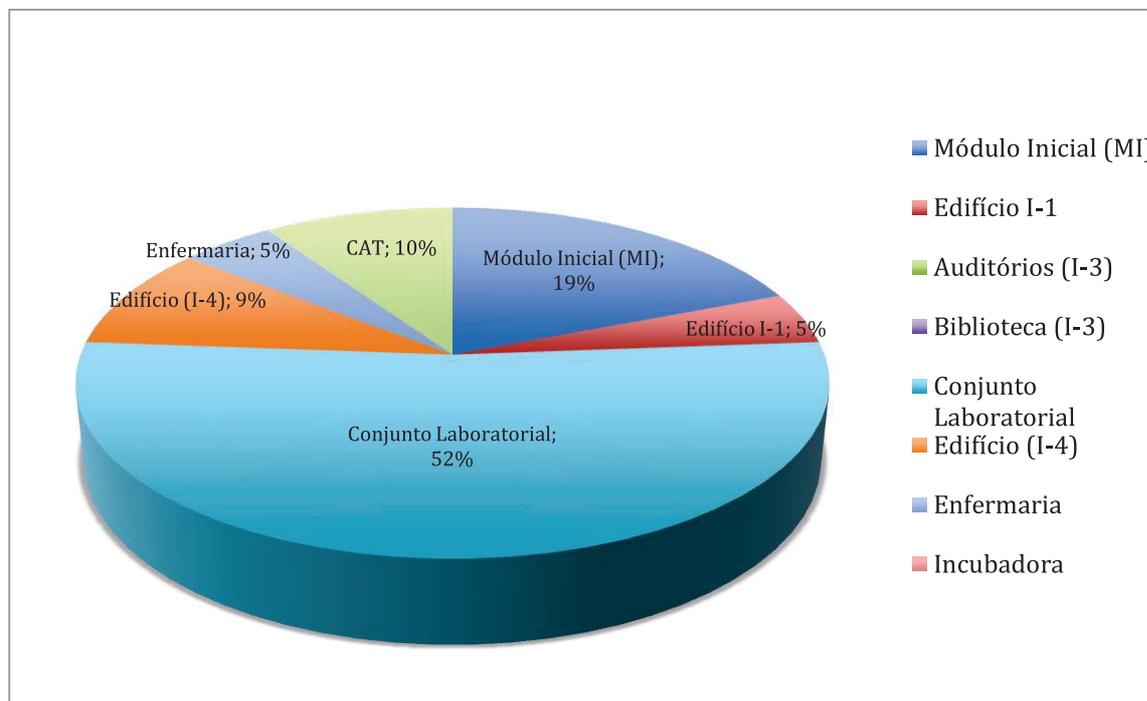


Figura 20 - Distribuição dos pontos de alerta nos edifícios. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados de SERVMAR (2014b)

A princípio, a maioria dos pontos de monitoramento onde detectou-se metano fora dos padrões ambientais apresentou maiores valores na camada inferior, próximo à franja capilar, enquanto nos pontos logo abaixo do contra-piso os valores são bem inferiores, sugerindo a dispersão do gás nas faixas intermediárias.

4.2.3.1. Análise resumida por edifício

a) Módulo Inicial (MI)

Apresentou 4 pontos de alerta (PMG-01B, PMG-03B, PMG-06B e PMG-09B), sendo todos de índice B, ou seja, relativos à franja capilar. Em quase todos os respectivos pares, próximos ao contra-piso, não existe a presença de metano acima de LII, indicando a dispersão no meio poroso. Porém, no PMG-

03A uma medição apresentou valores entre LII e LSI. PMG-03B mais de uma medição resultou em valores acima do LII e até do LSI. A evolução das concentrações de metano no PMG-03 está ilustrada na Figura 21.

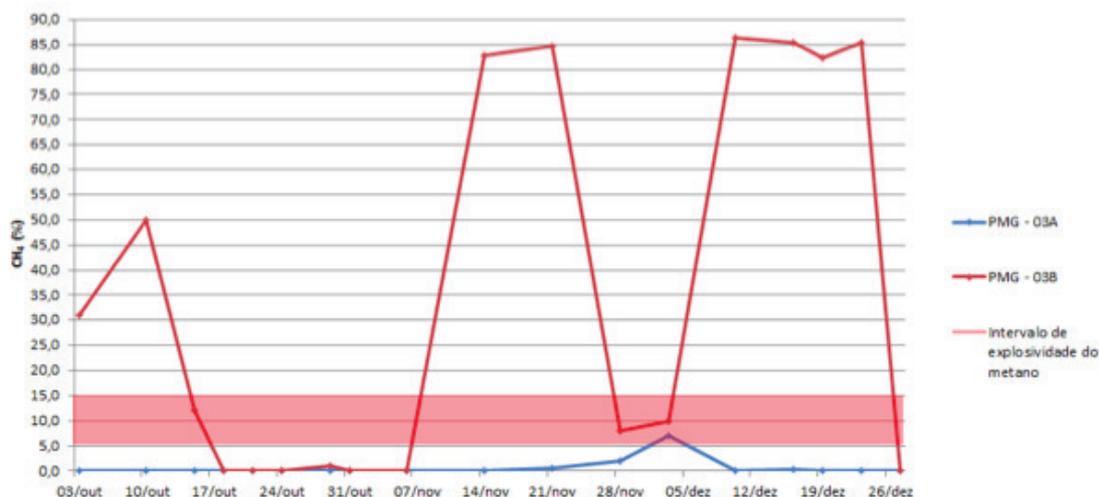


Figura 21 - Série de dados das concentrações de metano no PMG-03 em 2013 (Fonte: SERVIMAR, 2014b).

b) Edifício I-1

Apresentou 1 ponto de alerta (PMG-11B) porém, seu par respectivo apresentou concentrações de metano abaixo do LII (3,0%), evidenciando a dispersão do gás no meio poroso antes de atingir a porção superior. As concentrações de metano atingiram os 20% como valor máximo, como evidencia a Figura 22.

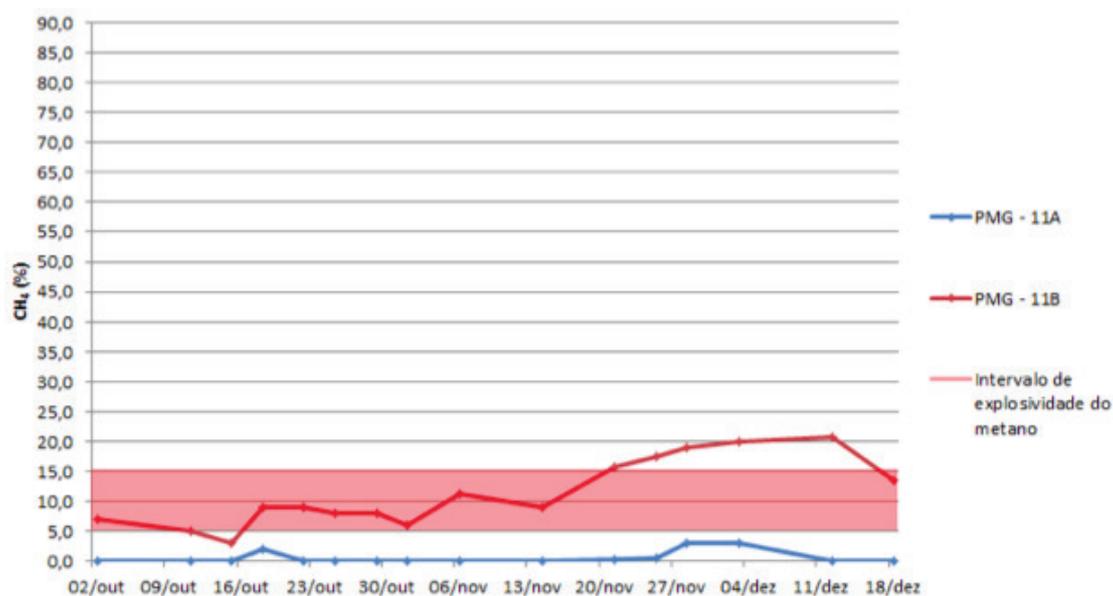


Figura 22 – Série de dados das concentrações de metano no PMG-11 em 2013 (Fonte: SERVMAR, 2014b).

c) Auditórios (Edifício I-3)

Excetuando-se uma medição de 1,0 % em outubro de 2013, todas as aferições realizadas nesse prédio foram nulas para o metano.

d) Biblioteca (Edifício I-3)

A maioria das concentrações de metano foram nulas e as demais ficaram entre a 0,1 e 4,1 %, abaixo do LII. Este edifício obteve as maiores espessuras do colchão de brita na construção com valores entre 0,15 a 1,00 m.

e) Conjunto Laboratorial

Foram detectados 11 pontos de alerta e 1 ponto crítico (PMG-47B, PMG-48B, PMG-50B, PMG-51B, PMG-53B, PMG-54B, PMG-57B, PMG-59B, PMG-60B, PMG-61B e PMG-62B e PMG-59A, respectivamente). Novamente, as concentrações de metano nos pares dos pontos de alerta mostraram-se fora da

faixa de inflamabilidade do metano, com exceção do PMG-59A, considerado ponto crítico por conter 2 leituras superiores ao LII.

É importante ressaltar as medidas realizadas no PMG-50, pois a série de dados mostrada na Figura 23 aponta aumento da concentração de metano na porção inferior, indicando a continuidade da produção de metano no subsolo. Nos pontos denominados PMG-57 (Figura 24) e PMG-59 (Figura 25 **Error! Reference source not found.**) o aumento também foi constatado em menores proporções, mas as leituras das porções superiores implicam em valores baixos e desassociados com as leituras inferiores.

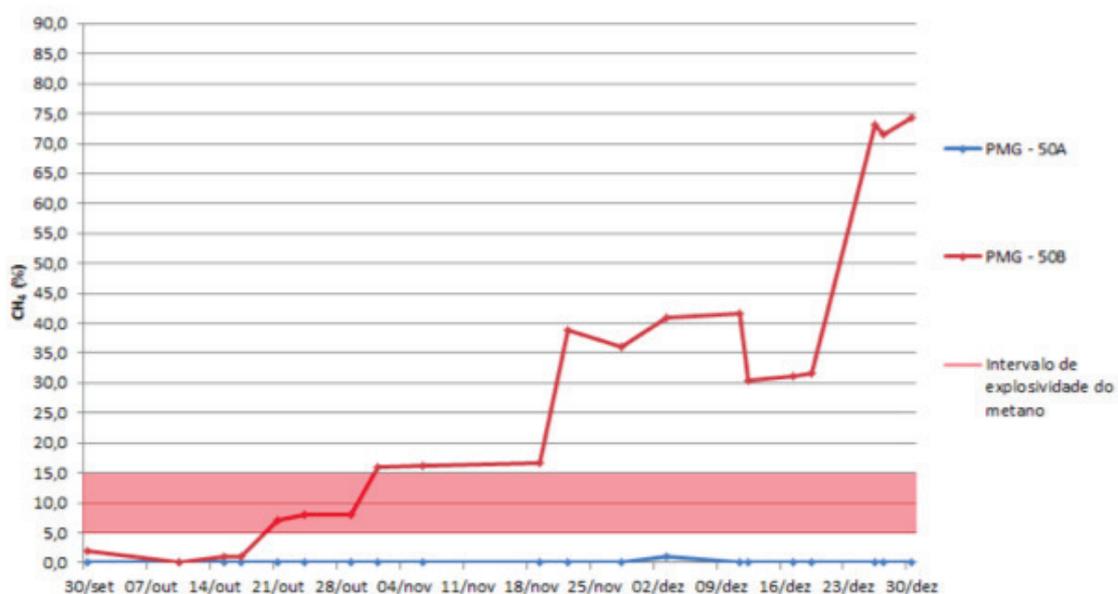


Figura 23 – Série de dados das concentrações de metano no PMG-50 em 2013 (Fonte: SERVIMAR, 2014b).

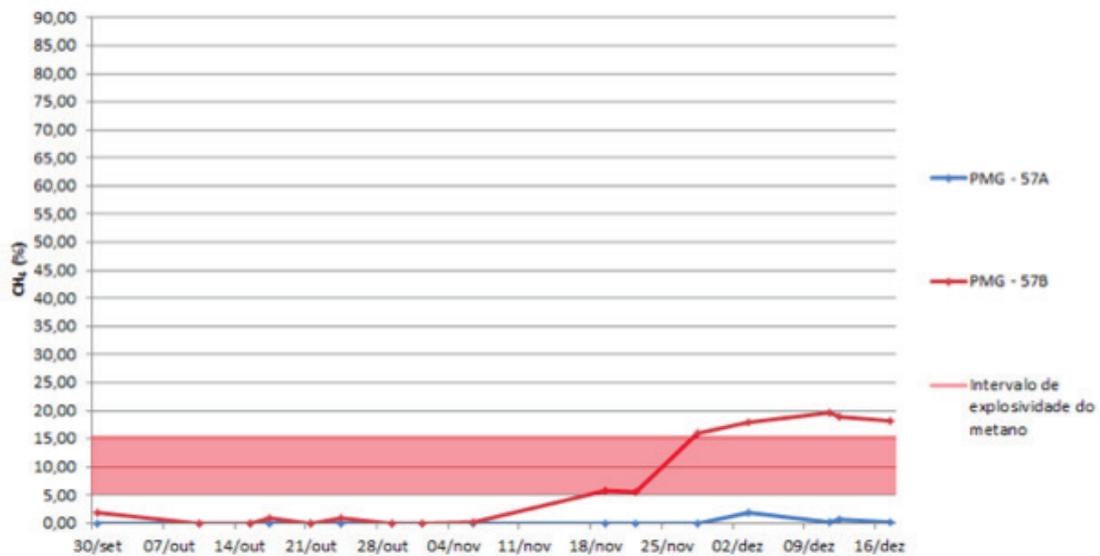


Figura 24 – Série de dados das concentrações de metano no PMG-57 em 2013 (Fonte: SERVMAR, 2014b).

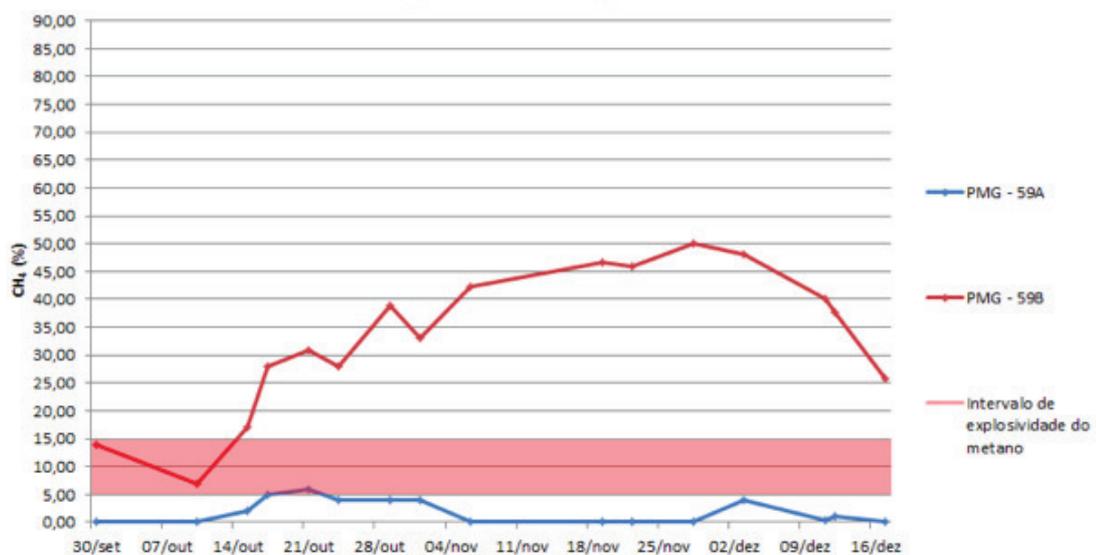


Figura 25 – Série de dados das concentrações de metano no PMG-59 em 2013 (Fonte: SERVMAR, 2014b).

f) Edifício I-4

Apresentou 2 pontos de alerta (PMG-66B e PMG-69B) e 1 ponto crítico (PMG-66A). Ao contrário do PMG-69A, que apresentou somente medições nulas durante o período aferido, o PMG-66A apresentou 2 medições acima do LII, como mostra a Figura 26.



Figura 26 – Série de dados das concentrações de metano no PMG-66 em 2013 (Fonte: SERVIMAR, 2014b).

g) Enfermaria

Foi detectado somente um ponto de alerta (PMG-74B), com seu par com medições abaixo do LII (Figura 27).

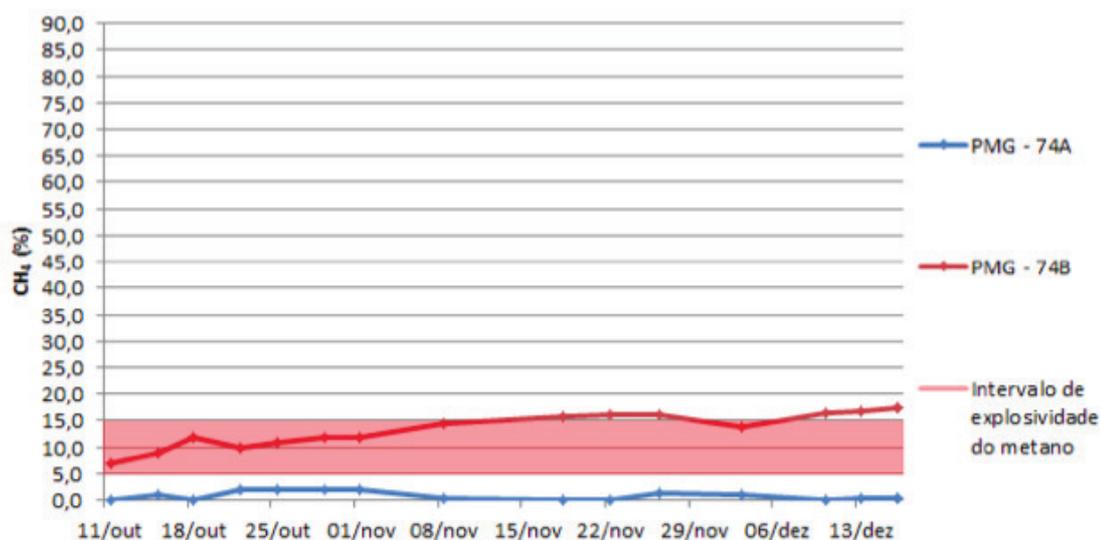


Figura 27 – Série de dados das concentrações de metano no PMG-74 em 2013 (Fonte: SERVIMAR, 2014b).

h) Incubadora

Todas as medições realizadas em todos os níveis foram nulas.

i) CAT

Foram encontrados 2 pontos de alerta (PMG-98B e PMG-97B), sendo que nos dois pares respectivos da porção inferior as leituras deram nulas. No PMG-97B, que apresentou mais leituras dentro da faixa de inflamabilidade do metano, os valores aferidos ficaram muito próximos do LII, de acordo com a Figura 28.

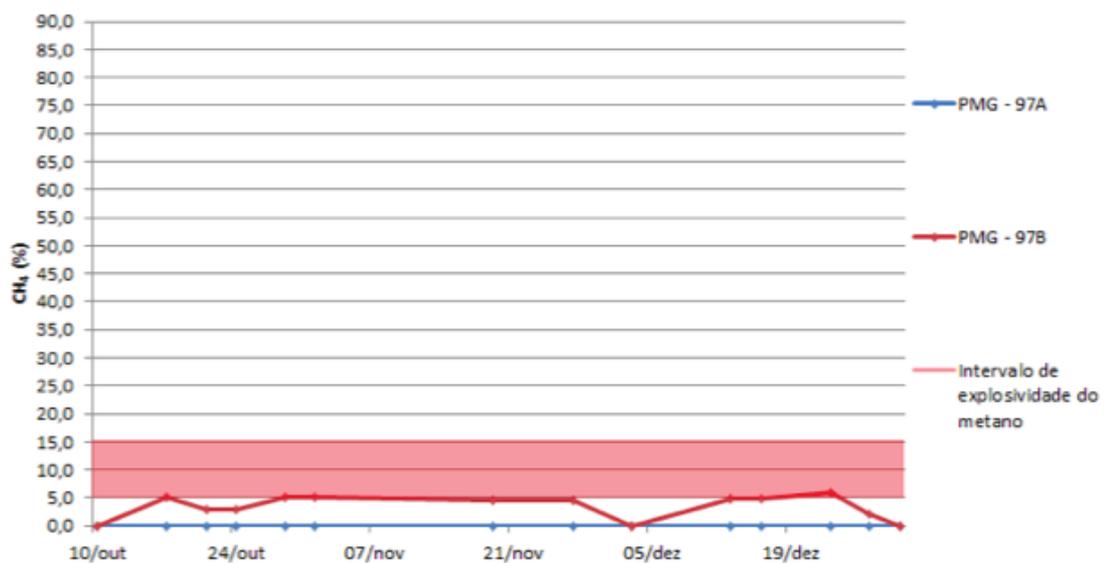


Figura 28 – Série de dados das concentrações de metano no PMG-97 em 2013 (Fonte: SERVIMAR, 2014b).

j) Laranjinha

Foram detectados um ponto crítico e um ponto extremamente crítico (PMG-99, PMG-100 e PMG-101). Este edifício, segundo a SERVIMAR (2014b), foi construído pra ser temporário, utilizado durante a construção do campus, e por isso, não apresenta o colchão de brita, como nos outros edifícios. Os valores encontrados nos poços de monitoramento atingem os 80% como mostra a Figura 29, relativo ao PMG-100.

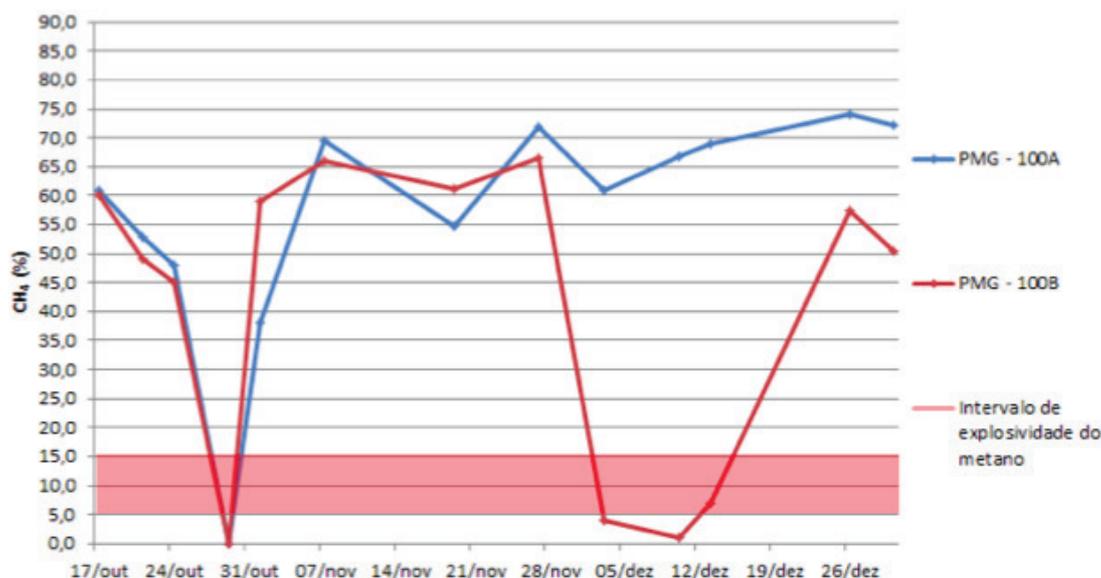


Figura 29 – Série de dados das concentrações de metano no PMG-100 em 2013 (Fonte: SERVIMAR, 2014b).

O Laranjinha já foi demolido durante a realização desse trabalho, como consta no “Relatório sobre Ações relacionadas à demolição do antigo edifício do refeitório (Laranjinha), recobrimento com grama na área AI-01 e instalação de tapumes” de 27 de janeiro de 2014 da Superintendência do Espaço Físico da USP.

k) Ginásio

As medições realizadas não superaram os 3,0 %.

4.2.4. Caracterização dos contaminantes

a) Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAP)

(Benzo(a)antraceno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(a)pireno, Criseno, Dibenzo(a,h)antraceno, Benzo(k)fluoranteno)

Os hidrocarbonetos aromáticos polinucleares são compostos orgânicos semi-voláteis, compostos de somente carbono e hidrogênio e são formados por anéis benzênicos (CETESB, 2009). Segundo a USEPA (2008), HAP são originados na

combustão incompleta de carvão, gás, óleos e lixo, mas podem ser encontrados naturalmente no ambiente.

A persistência dos HAP é o principal fator de preocupação ambiental relativa a esses compostos. Apesar de seus comportamentos variarem individualmente, sabe-se que a maioria deles não é solúvel em água e que eles podem manter-se no ambiente por períodos longos de tempo. A exposição de seres humanos está associada principalmente ao câncer, e a forma mais comum de entrada no organismo se dá através de ar contaminado. Apesar de a US EPA (2008) alertar sobre a periculosidade de ingestão desses compostos devido à proximidade de locais contaminados, a entrada no organismo também ocorre pela ingestão de alimentos e águas (normalmente apresentam baixas taxas), além da fumaça de cigarros, escape de veículos automotores, incêndios, queimas de áreas agrícolas ou até mesmo de alimentos grelhados, cujo processo de cozimento costuma aumentar a quantidade de HAP no alimento.

b) Bis(2-Etilexil)ftalato

O Bis(2-Etilexil)ftalato é comumente usado como um plastificante. A rota de exposição mais comum se configura através dos alimentos. É insolúvel em água e tem uma taxa de volatilidade baixa. Encontrado também no ar e na água, não costuma ser bioacumulativo e não possui casos de reais efeitos nocivos para a saúde humana comprovados, apesar de ser considerado possivelmente carcinogênico (WHO, 2003).

c) Cianeto

Normalmente associado à ingestão da mandioca brava nos países em desenvolvimento nas regiões tropicais e subtropicais, é encontrado no meio ambiente em água, decorrente de contaminação industrial. Seus efeitos sobre a saúde humana consistem na diminuição dos níveis de vitamina B12 e cronicamente afetam a tireóide e o sistema nervoso (WHO, 2003).

d) PCB

Conhecidas como PCB, as bifenilas policloradas são resultados da reação do grupo bifenila com cloro anidro e podem ser obtidas até 209 estruturas diferentes. Apenas em 1966 esses compostos foram reconhecidos como contaminantes ambientais e as primeiras leis americanas que restringiam seu uso surgiram em 1978, com a proibição em 1988 (PENTEADO, 2001).

As formas mais cloradas dos PCB costumam ser persistentes no ambiente, devido à sua alta capacidade de adsorção ao solo e aos sedimentos. A volatilização e a biodegradação são os principais processos para a retirada de PCB da água e do solo e são acumulativos nas cadeias alimentares. A exposição humana aos PCB se dá através da inalação de ar contaminado e ingestão de água e alimentos contaminados. Efeitos consequentes da exposição comumente encontrados afetam o sistema reprodutivo e a gestação e algumas funções neurológicas, além de casos relacionados ao surgimento de cânceres, porém, sem comprovação de uma relação direta (WHO, 2003).

e) Fenol

De diversas aplicações, principalmente na produção de resinas, plásticos, medicamentos, herbicidas e desinfetantes, é liberado ao ar por sistemas de ventilação por motores de veículos e combustão de madeira e carvão. No Brasil, 64 Kg de fenol são lançados na atmosfera próximo às termelétricas movidas a carvão. A contaminação da água se dá através de efluentes de indústrias que utilizem a substância, e também pode ocorrer em efluentes domésticos e hospitalares, advindo dos desinfetantes.

Em termos da exposição humana, o contato é irritante para a pele, olhos e mucosas, podendo causar respiração irregular, fraqueza muscular, perda da coordenação, convulsões e coma. A exposição crônica resulta em emagrecimento progressivo, diarreia, vertigem, salivação, coloração escura da urina e irritação gástrica (CETESB, 2010).

f) Cresol

O cresol é utilizado para a fabricação de resinas fenólicas e plastificantes, herbicidas, borracha, desodorizantes, antissépticos, desinfetantes, corantes, plásticos, conservante de madeira, produtos para limpeza de peças de automóveis, bactericidas

e na produção sintética de vitamina E. Proibido nos EUA e na União Europeia desde novembro de 2005, os isômeros do cresol são encontrados naturalmente no ambiente, em alimentos, madeira, cigarros, petróleo, etc.

A remoção dos cresóis se dá, em maior parte, por biodegradação aeróbica e possui baixa adsorção ao solo e sedimentos. Eles podem ser absorvidos pelos seres humanos por vias respiratória, digestória, dérmica ou mucosas. Em geral, os cresóis possuem toxicidade aguda, porém só ocorrem devido à uma exposição a grandes quantidades da substância (CETESB, 2013).

g) Naftaleno

Na temperatura ambiente, o naftaleno encontra-se na forma de cristais brancos e é utilizado na fabricação de anidrido ftálico, naftaleno sulfonado, repelentes de insetos e outros produtos. É encontrado naturalmente no meio ambiente em combustíveis fósseis, como carvão e óleo, e na queima de madeira e cigarro.

A principal fonte deste composto é antropogênica, como combustão de lenha para aquecimento residencial e uso de repelentes. A adsorção do naftaleno ao sedimento e matéria orgânica suspensa é pequena e a volatilização da água para a atmosfera é insignificante. Na atmosfera, pode degradar de diversas maneiras, como pela reação com radicais hidroxila e é considerado um composto de meia-vida curta, uma vez que possui grande tendência a volatilizar e biodegradar.

Em questão de saúde humana, a principal via de contato é respiratória e dérmica, causando náusea, cefaleia, mal-estar e anemia hemolítica. Este composto é considerado como possível cancerígeno humano, pela Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) (CETESB, 2012).

h) Estireno

O estireno é utilizado para a fabricação de embalagens plásticas e materiais descartáveis, borracha sintética, em isolamento térmico e resinas para fabricação de barcos, chuveiros, acessórios para automóveis e etc. Também está presente em produtos de combustão e não é persistente na água, mas podendo ser encontrado.

A exposição à população humana se dá principalmente pelo ar de ambientes internos, que costumam ter uma maior concentração desse composto. A curto prazo,

essa exposição resulta em irritação dos olhos e efeitos gastrintestinais; já a longo prazo, pode afetar o sistema nervoso central e é classificado como cancerígeno humano pela Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) (CETESB, 2012).

i) Benzeno

O benzeno é emitido ao ar por fornos carvão, combustão de madeira, motores automotivos, fumaça de cigarro e durante a sua produção industrial. Quando encontrado na água, geralmente tem sua origem pelo derramamento de petróleo e efluentes industriais ou pelo processo de deposição atmosférica.

Adentra os corpos humanos principalmente pelo ar e pode causar sonolência, enjôo, aceleração do ritmo cardíaco, cefaleia, tremor, confusão mental e inconsciência. A ingestão de altos teores de benzeno pode causar até a morte e a exposição por longo prazo, a depressão da medula óssea e câncer (CETESB, 2012).

j) Tolueno

O produto comercial do tolueno pode conter até 25% de benzeno e seu principal uso é como mistura (benzeno-tolueno-xileno – BTX) na gasolina. É utilizado como solvente em tintas, revestimentos, óleos e resinas, fabricação de polímeros e borracha, etc.

A emissão veicular e a volatilização de solventes à base de tolueno são as principais formas de liberação para a atmosfera. A ação tóxica sobre seres humanos ocorre principalmente para o sistema nervoso central e tem como principais efeitos a fadiga, sonolência, debilidade e náusea. Diversos outros efeitos colaterais da exposição foram observados em animais-teste e este composto não é considerado cancerígeno (CETESB, 2012).

k) Etilbenzeno

Utilizado principalmente na produção de estireno, está amplamente distribuída no ambiente, mas geralmente em níveis muito baixos. É encontrado em emissões veiculares, alimentos, cigarros, etc. A inalação pode irritar os olhos, nariz e via aérea

superior, vermelhidão e bolhas na pele, fadiga, tontura, falta de coordenação e cefaleia. É considerado um possível cancerígeno humano (IARC) (CETESB, 2012).

l) Xileno

O xileno é um hidrocarboneto aromático utilizado como matéria-prima em vários processos industriais. Liberados ao ar de fontes industriais, exaustão veicular e volatilização de solventes, a principal via de exposição humana é inalatória. Sintomas apresentados podem ser dispnéia, irritação dos olhos e garganta, vômito, desconforto gástrico, etc (CETESB, 2012).

m) Arsênio

O arsênio é um semi-metal obtido como subproduto do tratamento de minérios de cobre, chumbo, cobalto e ouro. Em forma metálica, é utilizado na produção de diodos de emissão de luz, lasers, circuitos integrados e células solares. Já o ácido arsênico e trióxido de arsênio são utilizados como descolorante, clareador e dispersante de bolhas de ar na indústria de produção de vidrarias.

Como forma natural, é encontrado no ambiente devido à dispersão do poeiras e atividade vulcânica; com origem antropogênica, advém da mineração de metais não ferrosos e fundição, aplicação de agrotóxicos, combustão de carvão e madeira e incineração de lixo. A contaminação da água por arsênio se dá pela dissolução de rochas e minérios, efluentes industriais e deposição atmosférica. Sua mobilidade pelo meio se dá em condições redutoras, onde o composto é liberado da fase sólida, podendo percolar até atingir águas subterrâneas ou pelo escoamento superficial, chegar até as águas superficiais mais próximas.

A principal forma de exposição dos seres humanos ao arsênio é através da ingestão de água e alimentos contaminados, sendo sua exposição por via respiratória considerada mínima. O arsênio não é um elemento essencial ao ser humano, apesar de ser encontrado em quantidades-traço em todos os alimentos. Estudos relatam sintomas de exposição como lesões dérmicas, câncer de pele, bexiga e pulmão sendo os mais constantes (CETESB, 2012).

n) Alumínio

É o metal mais abundante da crosta terrestre, ocorrendo naturalmente no ambiente na forma de silicatos, óxidos e hidróxidos, combinados com outros elementos (sódio e flúor) e como complexos com matéria orgânica. É utilizado na indústria automobilística, construção civil, aeroespacial, elétrica e eletrônica, na fabricação de ligas metálicas, utensílios domésticos e embalagens para alimentos. Seu uso no tratamento de água é bem disseminado, sendo utilizado na forma de sal, atuando como coagulante com o intuito de reduzir a matéria orgânica, cor, turbidez e microorganismos presentes na água bruta.

No meio, o alumínio entra na atmosfera através do material particulado originado na erosão natural do solo, mineração ou atividade agrícola, gases vulcânicos e combustão de carvão. Pode ocorrer na água em diferentes formas, tendo sua concentração muito vinculada com fatores físico-químicos e geológicos. Muito encontrado em aditivos para alimentos e no agente emulsificante usado no processamento de queijos, o uso de utensílios de alumínio também pode aumentar o teor do composto encontrado nos alimentos, mas sem uma relevante significância.

A exposição humana ao alumínio ocorre por via oral e inalatória, e seus efeitos sobre a saúde estão ainda sendo estudados. O efeito mais popularmente conhecido é o da contribuição para o início ou agravamento do Mal de Alzheimer, mas os diversos estudos sobre essa relação apresentam resultados discrepantes. O alumínio é considerado cancerígeno para os seres humanos, devido à relatos de cânceres de pulmão e bexiga entre trabalhadores envolvidos no processo de produção do metal (CETESB, 2012).

o) Bário

O bário tem sua ocorrência na natureza sob a forma combinada: barita (sulfato de bário natural) e witherita (carbonato de bário natural). Sua utilização valorada se dá na fabricação de diversos produtos industriais, como plásticos, vidros, cerâmicas, eletrônicos, têxteis, lubrificantes, ligas metálicas, sabão e borracha. Ocorre naturalmente na maioria das águas superficiais e pode estar presente nas águas subterrâneas. Tem sua origem de dispersão antropogênica na mineração, refino e

tratamento dos minérios de bário e fabricação de produtos de bário, assim como pela queima de combustíveis fósseis.

Assim como o arsênio, o bário não é um elemento essencial ao ser humano, e sua toxicidade resulta em vômito, cólica estomacal, diarreia, dificuldade respiratória, alteração da pressão sanguínea, adormecimento da face e debilidade muscular. Em altas quantidades, os compostos do bário solúveis em água podem causar alterações no ritmo cardíaco e paralisia, podendo levar à morte (CETESB, 2012).

p) Ferro

O ferro é o segundo elemento metálico mais abundante na crosta terrestre, sendo sua forma elementar raramente encontrada na natureza, uma vez que seus íons Fe^{2+} e Fe^{3+} são altamente reativos com compostos contendo oxigênio e sulfatos. Sua forma mais comumente recorrente na natureza é dada por óxidos.

É um material de construção de canos de água e é utilizado na fabricação de tintas e plásticos, assim como coagulante para o tratamento da água. Seu deslocamento pelo ambiente ocorre com a aeração de camadas do solo que contenham ferro, que pode migrar para as águas superficiais e subterrâneas. Esse último processo se dá através da baixa do lençol freático, da dissolução do ferro por oxidação e diminuição do pH, podendo ocorrer também conjuntamente com a lixiviação de nitratos.

Ao contrário do bário e do alumínio, o ferro é um elemento essencial à saúde humana, sendo sua falta no organismo considerada anemia e necessitando de tratamento apropriado. Caso seja superdosado, o ferro pode levar a danos em mucosas e hemorragias, causando até mortes (WHO, 2003).

q) Manganês

Encontrado em sua forma pura, é um elemento essencial à saúde humana e animal por sua ação relacionada ao funcionamento das enzimas. É utilizado pelo homem para a fabricação de ferro e aço e é encontrado em diversos outros produtos. O manganês ainda auxilia no tratamento de água e algumas compostos possuem propriedades desinfetantes. Águas subterrâneas, normalmente, contém elevados

níveis de manganês dissolvido, sendo que ele é capaz de ser absorvido pelo solo, dependendo da capacidade de troca catiônica deste.

Efeitos nocivos à saúde humana relacionados ao manganês só foram observados em humanos cronicamente expostos à altos níveis da substância no ambiente de trabalho. Uma síndrome, popularmente conhecida como “manganism”, e muito parecida com o Mal de Parkinson resultou em sintomas como fraqueza, anorexia, dores musculares, apatia, discurso lento, etc. É considerado um dos elementos menos tóxicos ingeridos oralmente (WHO, 2003).

r) Níquel

O níquel é utilizado na fabricação de aço inoxidável, na galvanoplastia do cromo, como catalisador em algumas reações de hidrogenação, na produção de ligas, baterias alcalinas, moedas, pigmentos inorgânicos, próteses clínicas e dentárias, etc. Está presente no meio em quantidades-traço e seu transporte se dá por todos os compartimentos ambientais por meio de processos químicos e físicos, e transportado por organismos vivos. Ele atinge os recursos hídricos a partir da atmosfera, erosão de solos e rochas, lixo e efluentes industriais.

Através da inalação de ar contaminado, ingestão de água e alimentos ou o contato com a pele o níquel pode adentrar o organismo humano. Trabalhadores que ingeriram água com 100.000 vezes mais níquel do que na água potável apresentaram sintomas de intoxicação, tais como dores de estômago e alterações sanguíneas. A inalação da substância resultou em bronquites crônicas, diminuição da função pulmonar e câncer nos pulmões e seios nasais. O níquel é considerado um possível cancerígeno para o ser humano (CETESB, 2012).

s) Gás Metano

O metano é um gás sem cor que não possui odor em concentrações baixas, mas possui um cheiro adocicado em altas temperaturas. Em misturas com taxas entre 5 e 15 % é considerado explosivo e tem uma meia-vida de 10 anos, uma vez que seu processo de decomposição se dá de forma lenta pelos outros compostos presentes no ar. Faz parte dos compostos orgânicos voláteis, conhecidos como VOC, e pode ser produzido naturalmente ou por origem antropogênica.

Utilizado principalmente em fogões domésticos e na geração de energia, é majoritariamente originado da decomposição anaeróbia de matéria orgânica. Seus efeitos nocivos ao meio ambiente possuem dois eixos: a contribuição para o efeito-estufa e a sua capacidade de se acumular em espaços fechados e sua inflamabilidade. O gás metano é considerado o gás com maior potencial para o aquecimento global, apesar de ter baixas concentrações no meio.

Seus efeitos nocivos à saúde humana contemplam situações de explosão e de alta inalação do gás. Em situações de espaços fechados e a exposição de humanos a uma alta concentração, pode causar asfixia. Já o maior problema ambiental relacionado à ele é a sua acumulação em locais antigamente de deposição de resíduos e o seu enclausuramento, podendo resultar na inflamabilidade e, conseqüentemente, explosões (USEPA).

6. Diagnóstico Ambiental

O diagnóstico ambiental se estabelece de acordo com três fases distintas: seleção e obtenção dos dados de entrada, a análise integrada dos fatores e a elaboração dos indicadores que servirão de base para a tomada de decisão. Para elevar o nível de complexidade e profundidade da análise da situação do meio, deve-se estabelecer uma lógica, evitando desconsiderar tanto atividades causadoras como impactos ambientais relevantes. Para diminuir a subjetividade do processo, caracteriza-se o agente causador do dano, o tipo de dano, a qualificação de cada tipo e, quando possível, sua quantificação (SANTOS, 2004).

Segundo SÁNCHEZ (2008), a escolha e determinação dos impactos ambientais significativos é um processo subjetivo devido ao caráter quantitativo e exclusivo, sendo necessário estipular um método de trabalho para tal. As alterações ambientais causadas dependem de dois fatores primordiais:

- Sobrecarga imposta pelo ecossistema: emissão de poluentes e adição ou supressão de elementos ao meio;
- Vulnerabilidade do meio: depende do estado de conservação do ambiente, efeitos acumulados temporalmente, importância do ecossistema específico ou áreas geograficamente delimitadas.

Seguindo estes conceitos, o diagnóstico da área de estudo se configura de forma simples, uma vez que depende da quantidade e qualidade de dados disponíveis.

6.1. Gases

Para compreender de forma mais completa a contaminação por gases no terreno, é importante ressaltar que a presença de metano foi constatada nas sondagens para se dar início à construção do campus. Dessa forma, algumas medidas foram tomadas como prevenção, tais como a implementação de uma camada de brita no projeto de todos os prédios, abaixo do piso térreo; a instalação de drenos horizontais, para favorecer e impulsionar a troca de gases; e o posicionamento estratégico da tubulação elétrica, nas laterais das edificações, para evitar a possibilidade de um curto circuito funcionar como início da combustão do gás.

Até dezembro de 2013, não foram constatados valores de medição dentro da faixa de inflamabilidade no caso dos gases monóxido de carbono e sulfeto de hidrogênio, sendo o metano o único gás de interesse nesse caso. Como apresentado nos resultados obtidos, os edifícios com os pontos considerados mais críticos são os que não receberam as medidas preventivas construtivas, por terem caráter temporário no seu projeto.

A contaminação do metano se dá em duas esferas do ambiente: ar e solo, uma vez que não apresenta baixa solubilidade em água. A liberação de metano para a atmosfera está intimamente ligada ao aumento do efeito estufa, sendo até 20 vezes mais prejudicial do que o dióxido de carbono, fato comprovado por diversas pesquisas na área. Este impacto tem caráter pouco representativo para a área em si, já que não se estabelece com efeitos locais. Já a contaminação do solo com o metano está associada à questão do confinamento, onde a possibilidade de explosão constitui em impactos com efeitos sociais e ambientais. Na ocorrência da mesma, prevê-se danos físicos a seres humanos, fauna e flora presentes no local e nas áreas mais próximas, além de desequilíbrio nas condições naturais do solo, ar e águas subterrâneas e superficiais.

Apesar da legislação ambiental brasileira ser uma das mais completas do mundo, não existe qualquer tipo de normatização em relação à quantificação de metano como poluição ambiental. A Resolução CONAMA 420/2009 dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo e a Lei 13.577/2009, sobre proteção da qualidade

do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, mas nenhuma delas atribui noções específicas ao metano. A tendência é que essas lacunas sejam cobertas com o desenrolar dos anos, principalmente após casos como o desse trabalho e do Shopping Center Norte, também investigado pela CETESB por acúmulo de metano no subsolo em 2004.

Na situação da área de estudo, a instalação de dutos para a saída do gás das camadas inferiores já foi efetuada pela USP na etapa de construção, porém, sem a intenção de realizar a combustão controlada. A queima do gás metano resulta na liberação de dióxido de carbono, diminuindo a poluição atmosférica. Não há como estimar a quantidade de metano já liberada, mas não existem evidências científicas de que essa liberação ocorra infinitamente.

SCHEUTZ e KJELDTSEN (2005) estudaram o comportamento de gases nos solos de cobertura de aterros e apontam a possibilidade de oxidação do metano com auxílio de microrganismos metilotróficos, atingindo de 10 a 100% do total emitido no período de aproximadamente um ano. Segundo os autores, alguns estudos indicam ainda um fluxo negativo das emissões, indicando a captura de metano presente na atmosfera pelo próprio solo. A otimização dessa reação ocorre entre 15 e 20 cm da superfície, onde existe maior abundância de oxigênio. Uma vez que os resultados das análises da área de estudo demonstraram maior presença do metano nas regiões mais profundas dos poços estudados, a oxidação pode já ter contribuído para a diminuição do mesmo, diminuindo a liberação para a atmosfera.

Como já citado anteriormente, o metano da área constitui-se na digestão anaeróbia da matéria orgânica proveniente das deposições de solo contaminada e de dragagem de leito do Rio Tietê. De acordo com a US EPA (1996), a presença de água é um dos fatores que contribuem para a metanogênese, dado que a umidade contribui para o crescimento celular e transporte de nutrientes dos microrganismos envolvidas no processo. Dessa forma, a área de estudo mostra-se propícia para o processo, uma vez que as análises de solo e água subterrânea apontaram o lençol freático muito próximo à superfície. POHLAND e GOULD (1987) ainda alertam para a possibilidade dos gases e lixiviados, produtos da decomposição, serem transportados através do meio aquoso para os ambientes do entorno, contaminando reservatórios de água potável e causando outros efeitos prejudiciais ao meio ambiente.

A degradação da matéria orgânica em um aterro passa por cinco fases distintas (POHLAND e GOULD, 1987):

- Fase 1 – Inicial: Deposição de resíduos sólidos e degradação aeróbia da matéria orgânica;
- Fase 2 – Transição: Fase de transição entre a condição aeróbia e anaeróbia;
- Fase 3 – Acidificação: Reações de hidrólise e fermentação tornam predominante os ácidos orgânicos voláteis, diminuindo o pH. Ocorre, ainda, o início do aparecimento do hidrogênio.
- Fase 4 – Metanogênese: Consumo contínuo de nutrientes e formação de metano e dióxido de carbono;
- Fase 5 – Maturação final: Fase onde os nutrientes tornam-se limitantes, causando diminuição da atividade biológica reduzindo, ou até mesmo cessando a geração de biogás (metano e dióxido de carbono).

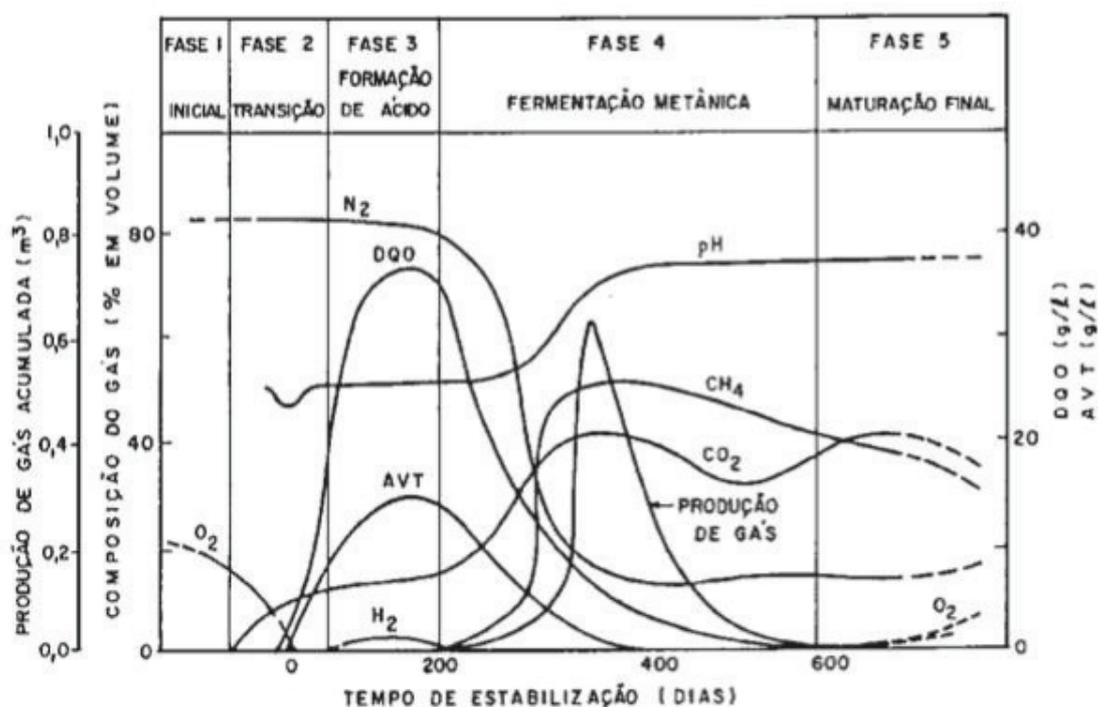


Figura 30 – Fases de degradação da matéria orgânica em um aterro. Fonte: Antonio, 2012 apud POHLAND e GOULD (1987)

Como pode ser observado na Figura 30, existe uma escala de tempo associada à digestão da matéria orgânica, indicando a característica finita do processo. A matéria orgânica encontrada na área de estudo é quase na totalidade de origem dos resíduos de dragagem do Rio Tietê, iniciados em 1994. A deposição de solo desconhecido comprovou-se de origem da construção civil, onde os resíduos são de característica

predominante inerte, inviabilizando a contribuição do substrato para a formação de metano. Desta forma, a produção de metano ocorre há aproximadamente 21 anos. Uma vez que não se tem dados experimentais que comprovem o volume exato de material orgânico depositado, fica inviável o cálculo a respeito da produção de metano esperada e, conseqüentemente, da estimativa da interrupção da produção.

Não foram encontrados dados experimentais a respeito da composição dos sedimentos da dragagem do Rio Tietê, impossibilitando a quantificação exata da porção de matéria orgânica no material. Traçado um paralelo com a literatura, constata-se uma porcentagem de 3,5% de matéria orgânica proveniente de dragagem de rios no estado do Rio de Janeiro (RANGEL, 2010). A relação, portanto, entre o volume de sedimento depositado e a quantidade de matéria orgânica mostra que o substrato necessário para o processo da metanogênese não abrange grandes valores, podendo-se considerar que a produção de metano está limitada a um curto período de tempo.

Considerando empiricamente o caso, é razoável supor que esta produção esteja próxima do fim, porém, o monitoramento da presença do gás no subsolo deve ser mantido para investigar melhor a situação. De acordo com os resultados apresentados, não há um comportamento uniforme e com tendência clara das aferições realizadas, não sendo possível afirmar um cenário óbvio. Somente o resultado do monitoramento poderá afirmar quando a produção de metano será interrompida e a área considerada descontaminada de gás metano.

6.2. Solo

Os resultados referentes ao solo das análises efetuadas para a AI-01 não apresentaram valores fora dos padrões ambientais para compostos orgânicos voláteis e compostos orgânicos semi-voláteis. As anomalias encontradas referem-se à metais e PCB no solo. O alumínio e o manganês (Tabela 5 e VMP: Valor Máximo Permitido

Tabela 6) foram encontrados fora dos limites em apenas uma amostra (ST-68 e ST-60, respectivamente), mas foram atribuídos às características intrínsecas do solo e rochas pela SERVIMAR (2014b). Outra explicação para a origem do alumínio é da dragagem do rio, através da poluição consolidada da água e de possíveis despejos de resíduos de tratamento de água de indústrias da região, utilizando o sulfato de

alumínio. O chumbo foi encontrado em dois poços (ST-122 e ST-124) e seus valores não chegaram a ultrapassar em 2 vezes o VMP (Tabela 7). Os PCB foram os encontrados em mais pontos de análise (Tabela 8) e foram atribuídos ao aterro de origem desconhecida devido à localização dos pontos contaminados. Pode-se atribuir também que os metais são originados deste aterro, uma vez que este foi caracterizado como "...eventualmente com fragmentos de materiais da construção civil (fragmentos de azulejo, concreto, telha, madeira e tijolo), arames, luvas, latas de tinta, panos e estopas".

Tabela 5 - Resultados alumínio em solo. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014b)

Poço	Profundidade (m)	Resultado (mg/Kg)	VMP (mg/kg)	Relação (Resultado/VMP)
ST-60	0,3	2062,7	1800	1,145944444

VMP: Valor Máximo Permitido

Tabela 6 - Resultados manganês em solo. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014b)

Poço	Profundidade (m)	Resultado (mg/kg)	VMP (mg/kg)	Relação (Resultado/VMP)
ST-68	1,5	77578,9	77000	1,007518182

VMP: Valor Máximo Permitido

Tabela 7 - Resultados chumbo em solo. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014b)

Poço	Profundidade (m)	Resultado (mg/kg)	VMP (mg/kg)	Relação (Resultado/VMP)
ST-122	0,3	454,9	300	1,516333333
ST-124	0,3	578,8	300	1,929333333

VMP: Valor Máximo Permitido

Tabela 8 - Resultados PCB em solo. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014b)

Poço	Profundidade (m)	Resultado (microg/kg)	VMP (microg/kg)	Relação (Resultado/VMP)
ST-22	1	699,1	30	23,30333333

ST-25	0,3	438,4	30	14,61333333
ST-90	0,3	90,54	30	3,018
ST-99	0,3	42,439	30	1,414633333
ST-123	0,3	60,29	30	2,009666667

VMP: Valor Máximo Permitido

Com base nas sondagens realizadas na área de estudo, a SERVIMAR (2014b) elaborou perfis hidrogeológicos que possuem um padrão de apresentação, mas com variações em relação ao nível d'água subterrâneo e da posição e extensão dos depósitos realizados. A Figura 30 mostra um desses perfis, que permite a visualização dos três depósitos realizados na área e evidencia a probabilidade de origem dos contaminantes do terreno de origem desconhecida. Com base nos dados apresentados, verifica-se que os contaminantes são todos alocados na faixa superficial do solo, sendo geralmente, encontrados a 30 cm de profundidade. Da mesma forma, o aterro de origem desconhecida consiste na camada superior do solo na área, sendo, em alguns lugares, coberto por concreto e/ou gramíneas.

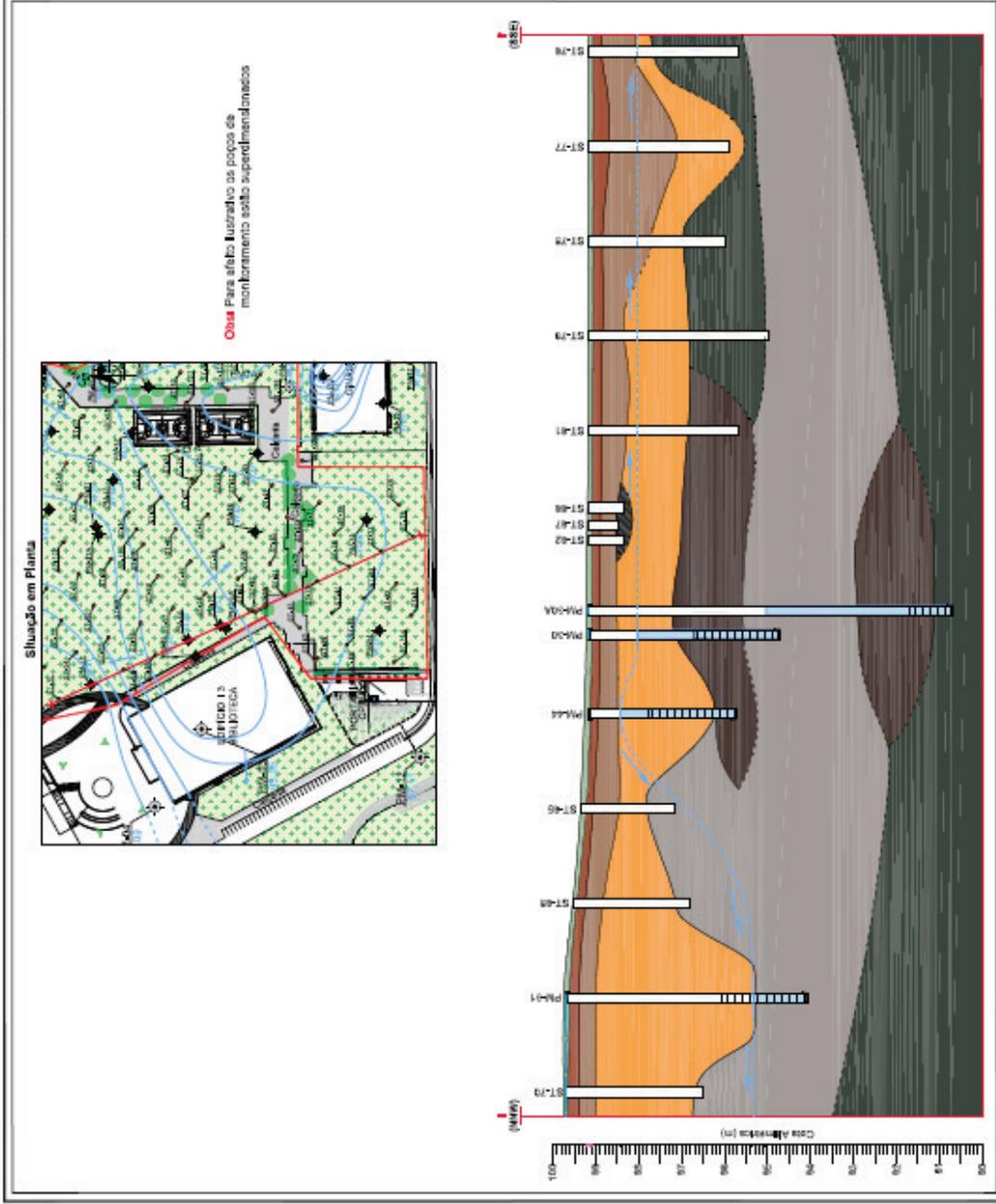


Figura 31 - Perfil hidrogeológico. Fonte: SERVIMAR (2014b)

É importante ressaltar, então, que os metais encontrados não caracterizam-se como contaminantes uma vez considerados a sua origem. Os PCB, por outro lado, são considerados como contaminantes persistentes pelos estudiosos, porém, de fácil remediação. Considerando o efeito da exposição dos PCB aos seres humanos, fez-se necessário a realização de uma “Avaliação de Risco Toxicológico à Saúde Humana”. Para este estudo, somente foram considerados as substâncias encontradas no solo atribuídas à origens antrópicas e prejudiciais. A CETESB disponibiliza em seu *site* na *internet* planilhas para a avaliação de risco auxiliando na padronização e otimização do risco à saúde humana em áreas contaminadas no Estado. Desta forma, os profissionais podem definir as Concentrações Máximas Aceitáveis (CMA) e elaborar Planos de Intervenção. Os cálculos são feitos com base em cenários hipotéticos de exposição de substâncias carcinogênicas e não carcinogênicas, com base em um banco de dados com informações de propriedades físico-químicas e toxicológicas de 755 substâncias (*Site* da CETESB – acessado em 14 de agosto de 2015).

Os resultados para a área de estudo concluíram que não são necessárias medidas de intervenção para o solo superficial, solo subsuperficial e água subterrânea da AI-01. Além disso, o prognóstico da pluma de contaminação dos PCB no solo não prevê a contaminação da água subterrânea a partir do processo de lixiviação, devido à capacidade de sorção e baixa solubilidade da substância (SERVMAR, 2014b).

Durante a realização deste trabalho, a CETESB fez algumas exigências de contenção, sendo já plantadas gramíneas nos pontos onde o solo apresentou a contaminação. Desta forma, conclui-se que a área encontra-se protegida contra possível contaminação por compostos químicos presentes no solo anteriores à ocupação da área pela USP, tendo em vista a imobilidade dos contaminantes encontrados.

6.3. Água Subterrânea

A investigação de contaminantes em águas subterrâneas esbarra em diversos fatores que atribuem complexidade à avaliação. A falta ou dificuldade de acesso ao recurso hídrico em si já resulta na necessidade de modelos matemáticos e ponderações lógicas para o comportamento da água e dos componentes presentes no meio. Aliado à impossibilidade de observação dos fatores a olho nu e aos altos custos

de obras para as coletas, as margens de erro associadas e as estimativas são grandes.

VON SPERLING (2007) acredita que a “...qualidade de uma determinada água é função das condições naturais e do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica”. Desta forma, as grandezas referentes à infiltração e à percolação de água no solo são imprescindíveis para um diagnóstico das águas de subsuperfície.

A SERVIMAR (2014b) realizou ensaios de permeabilidade do aquífero livre na área de estudo e, através do método de HVORSLEV (1951), encontrou um K (condutividade hidráulica) médio de $2,78 \times 10^{-4}$ cm/s, para a seção superior e de $1,21 \times 10^{-3}$ cm/s na seção inferior do aquífero, resultados coerentes com a litologia apresentada na parte de caracterização desse trabalho. De acordo com o DAEE (1983), estas faixas de valores de permeabilidade se enquadram como “pouco impermeável”, com valores muito próximos ao considerado, sendo os materiais constantemente encontrados como siltito, siltito arenoso e argilito (Tabela 9).

Tabela 9 – Permeabilidade de aquíferos. Fonte: DAEE, 1983.

Permeabilidade (m/dia)	10^{-6} a 10^{-4}	10^{-4} a 10^{-2}	10^{-2} a 10^0	10^0 a 10^2	10^2 a 10^4
Classificação da permeabilidade	Impermeável	Pouco Impermeável	Pequena Impermeabilidade	Permeável	Muito Permeável
Classificação hidrogeológica	Aquiclude	Aquitardo	Aquífero pobre	Aquífero regular a bom	Aquífero excelente
Tipos de materiais	Argilito, ardósias, granitos	Siltito, siltito arenoso, argilito	Areia fina, areia siltosa, calcáreo fraturado	Areia limpa, conglomerado arenoso, areia fina	Seixos limpos

Segundo o relatório elaborado pela SERVIMAR, a área é considerada de recarga de aquífero devido a um fluxo vertical das águas. É importante ressaltar que a área de estudo é classificada como “Área Potencial de Restrição e Controle” de acordo com o trabalho “Mapa das áreas potencialmente críticas para uso da água subterrânea”, elaborado pela CETESB, DAEE e IGC/USP. As áreas de restrição e controle são “...aquelas onde existe a necessidade de disciplinar as atividades que possam causar alterações ou efeitos negativos sobre a quantidade ou qualidade das águas

subterrâneas” (Deliberação Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH) n.052, de 15 de abril de 2005).

Para analisar os resultados das análises dos contaminantes presentes na área utilizou-se como base o Relatório de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas da CETESB (2005), na Tabela 10, que indica os Valores Máximos Permitidos (VMP). Na falta de padrões estabelecidos pela CETESB, utilizou-se os *Risk Screening Level* (RSL) determinados pela USEPA (2013). A tab mostra os limites definidos para as substâncias de interesse.

Tabela 10 - Valores Orientadores para Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. Fonte: Adaptado pela autora de CETESB (2005).

Substância	Intervenção
Alumínio	0,2
Bário	0,7
Chumbo	0,01
Cobalto	0,03
Cobre	2
Ferro	0,3
Manganês	0,1
Níquel	0,05

Como já dito no item de resultados analíticos, foram identificadas as seguintes substâncias em desconformidade com os padrões de referência ambiental:

- Alumínio;
- Bário;
- Cobalto;
- Ferro;
- Manganês;
- Níquel.

A investigação realizada pela SERVIMAR contou com a análise de 43 poços para caracterização da água subterrânea. A coleta das amostras foi realizada entre 30 de novembro de 2013 a 09 de janeiro de 2014 e somente uma vez por poço, não caracterizando um monitoramento. As Figura 32 a Figura 37 mostram os resultados de acordo com as substâncias acima do VMP.

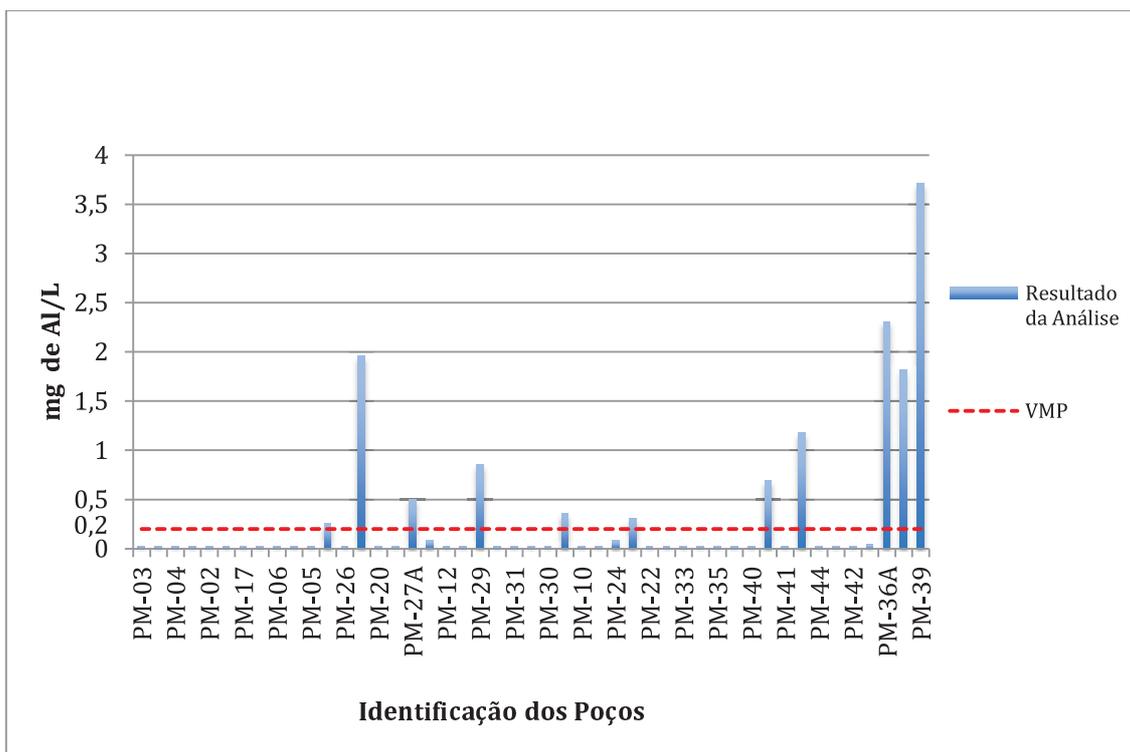


Figura 32 - Alumínio em Água Subterrânea. Fonte: Elaborado pela autora com os dados da SERVIMAR (2014)

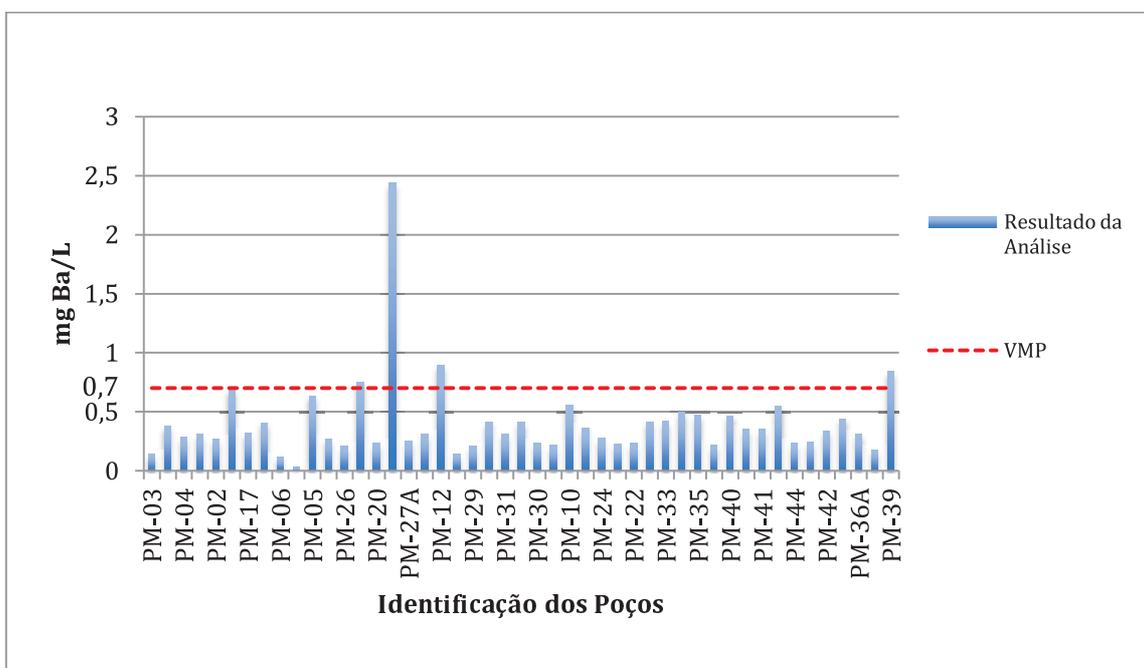


Figura 33 - Bário em Água Subterrânea. Fonte: Elaborado pela autora com os dados da SERVIMAR (2014)

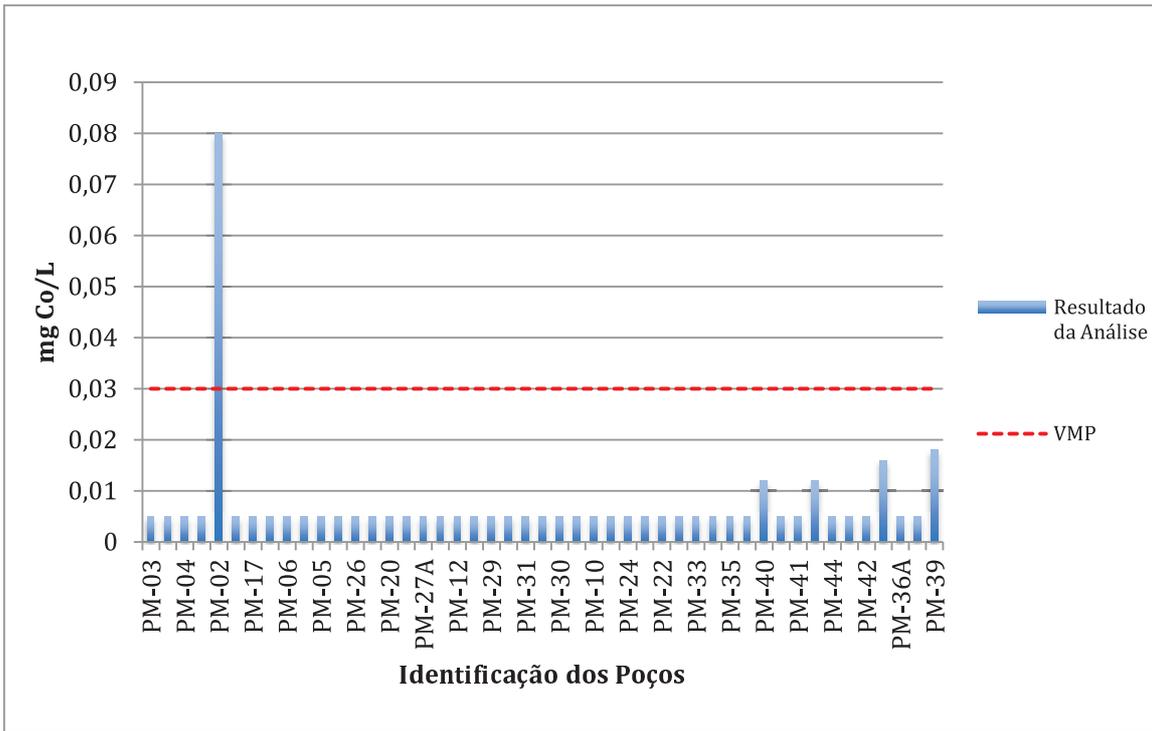


Figura 34 - Cobalto em Água Subterrânea. Fonte: Elaborado pela autora com os dados da SERVIMAR (2014)

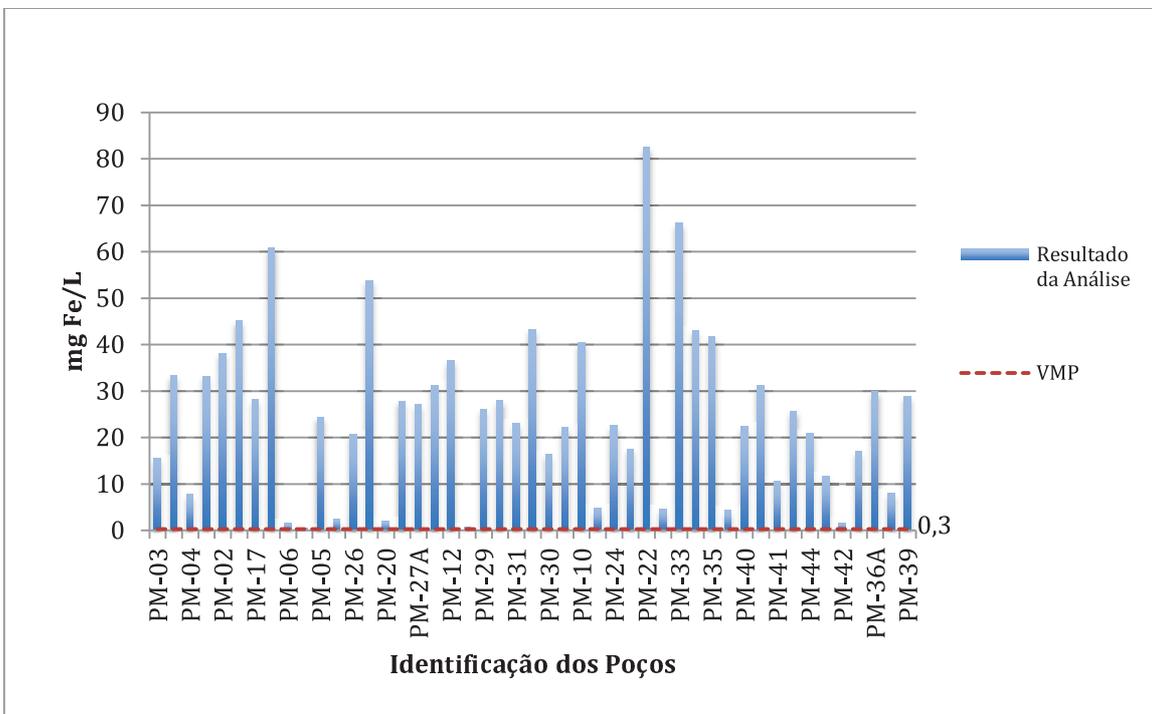


Figura 35 - Ferro em Água Subterrânea. Fonte: Elaborado pela autora com os dados da SERVIMAR (2014)

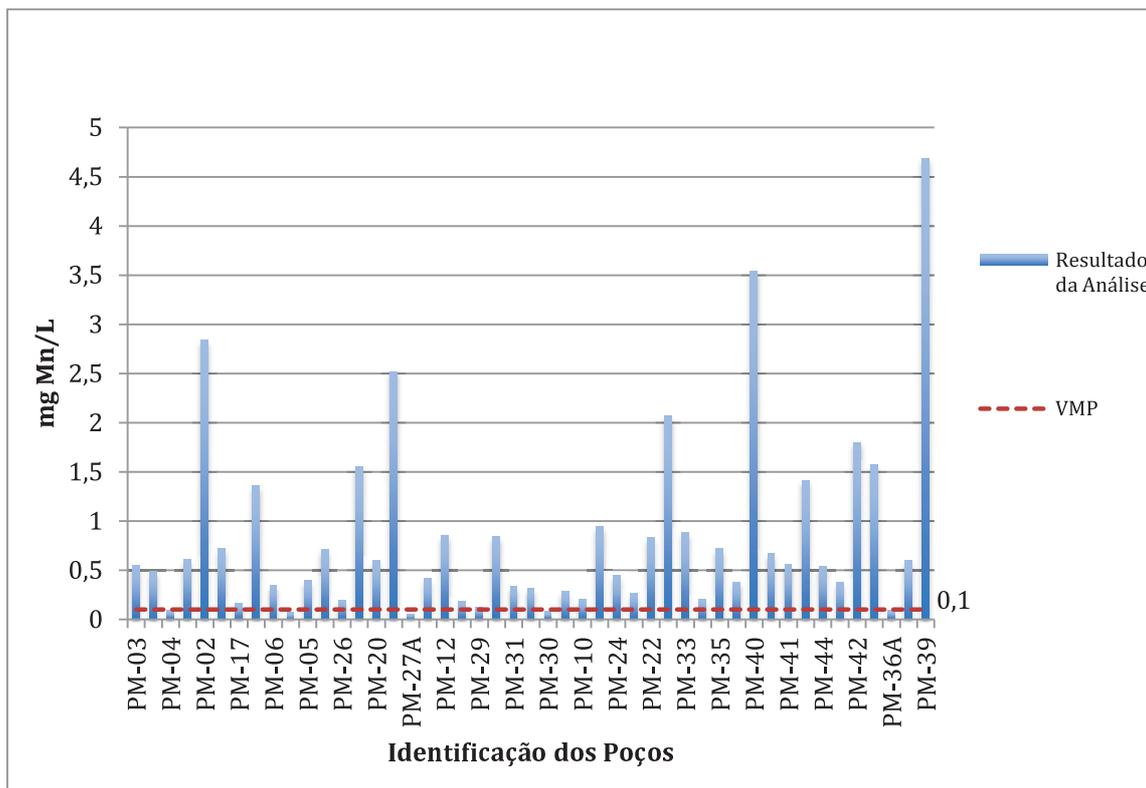


Figura 36 - Manganês em Água Subterrânea. Fonte: Elaborado pela autora com os dados da SERVIMAR (2014)

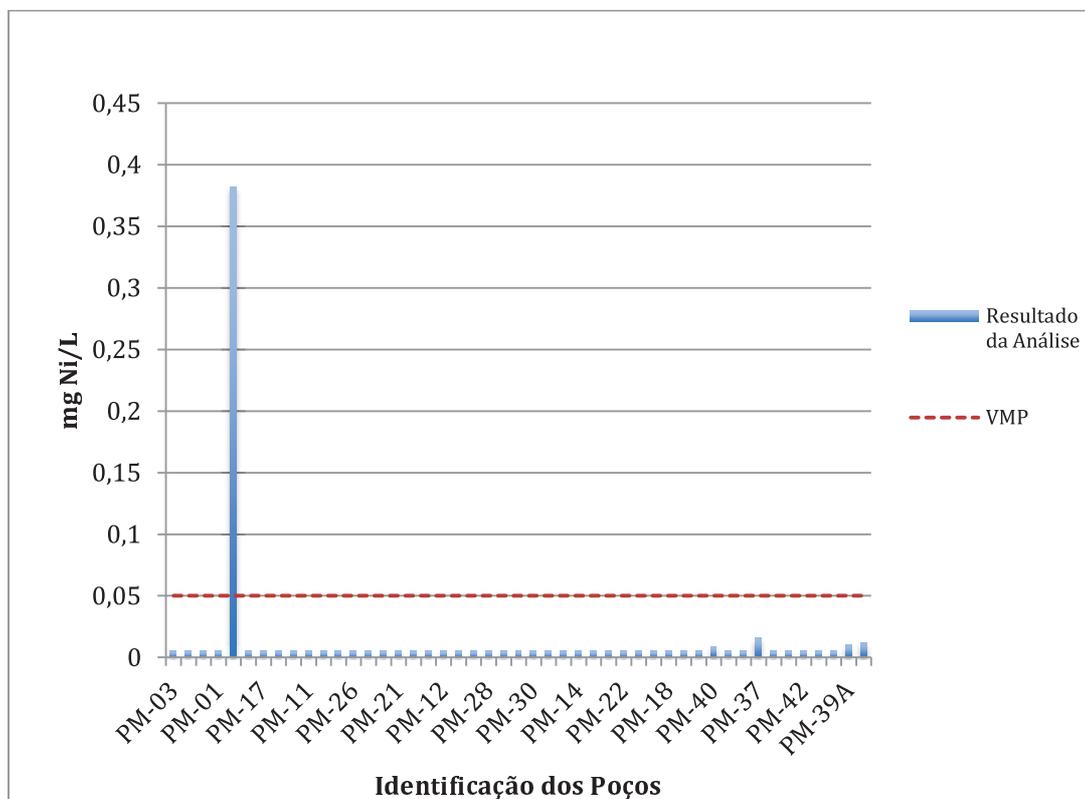


Figura 37 - Níquel em Água Subterrânea. Fonte: Elaborado pela autora com os dados da SERVIMAR (2014)

A Figura 38 mostra o número de amostras que resultaram em leituras acima do VMP de acordo com cada substância. Evidentemente, o ferro figura como a substância em maior desconformidade com os valores adotados, sendo todos os seus resultados enquadrados no caráter de intervenção. O manganês também se estabelece como preocupante, tendo a extensa maioria dos resultados em desconformidade, seguido do alumínio e bário. O cobalto e o níquel foram encontrados fora do padrão em somente uma das amostras, porém, ambos os resultados são do mesmo poço (PM-02).

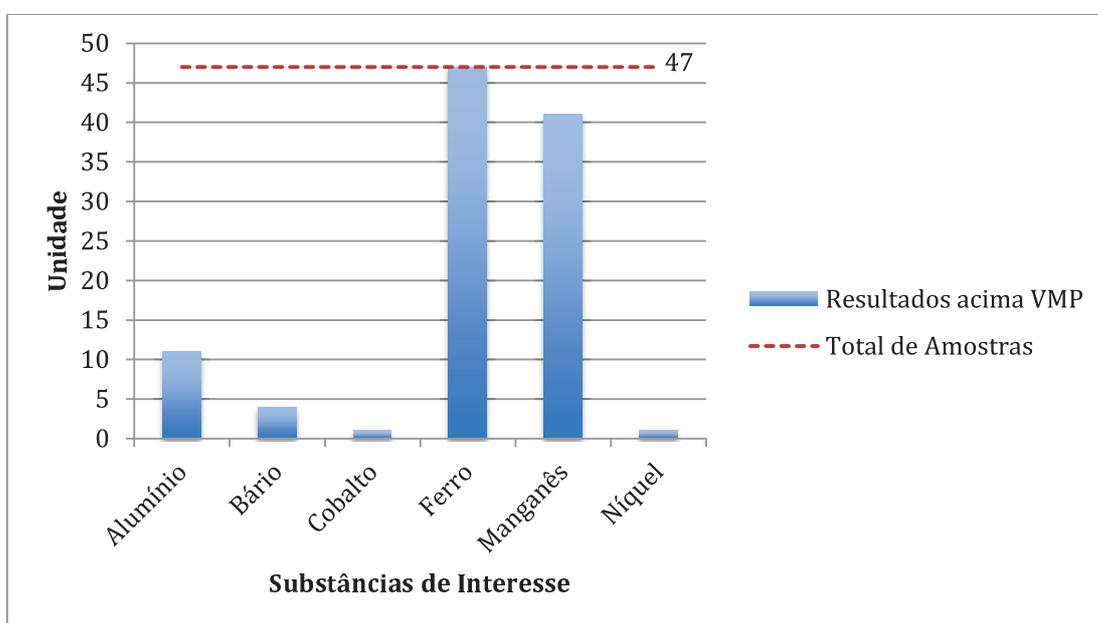


Figura 38 - Resultados fora dos parâmetros ambientais por substância analisada. Fonte: Elaborado pela autora com dados da SERVIMAR (2014)

DEUTSCH (1997) listou os componentes químicos mais comumente encontrados em águas subterrâneas na Tabela 11. O ferro e o manganês figuram na lista de elementos traço, assim como o bário, cobalto e alumínio, enquanto o níquel não aparece na tabela. A inconsistência com os valores encontrados em campo pode se configurar devido à diferenças intrínsecas a cada aquífero analisado e nas influências externas agregadas. CETESB (2001) já aponta para a necessidade de que os valores de referência para os compostos devem ser definidos mais particularmente, dependendo da ocorrência natural de cada região.

Tabela 11 - Constituintes típicos dissolvidos encontrados em águas subterrâneas. Fonte: Adaptado de DEUTSCH (1997)

Íons principais	Íons minoritários e elementos traço
Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ²⁺ , K ⁺ , HCO ⁻³ /CO ⁻³ , SO ⁻⁴ , Cl ⁻ , NO ⁻³ , H ₄ SiO ₄ ⁰	Fe, Mn, Al, Ba, Cd, Cr, Pb, Zn, As, Se, P, F, Br, I, B, NH ₄ ⁺ , Co, Cu, Hg

Dentre as substâncias de interesse, algumas são atribuídas comumente a características naturais do local onde são encontradas (SERVMAR, 2014b). A água subterrânea é influenciada pelo material geológico onde está inserida e é diretamente ligada à composição das águas de recarga e de sua conseqüente evolução química durante a travessia pelas litologias locais (CETESB, 2001).

A ocorrência de matéria orgânica no solo da área em estudo, proveniente de poluição antropogênica, pode alterar o valor do pH. Conseqüentemente, ocorre a mobilização de metais que, contidos naturalmente no solo, acabam dissolvidos na água (FREITAS *et al*, 2008). O equilíbrio geoquímico e a solubilidade de metais são influenciados pelo pH; em pH < 5, a solubilidade é facilitada e as águas tornam-se mais tóxicas (MESTRINHO, 2006 *in* FEITOSA *et al*, 2008).

A presença de ferro e manganês em sua forma insolúvel é recorrente em uma grande quantidade de solos. No caso das águas subterrâneas, onde há ausência de oxigênio dissolvido, eles são encontrados em sua forma solúvel. O ferro na água pode ser oriundo de minerais ferro-magnesianos, óxidos e sulfetos, enquanto a origem do manganês pode ser atribuída a óxidos e hidróxidos (horblenda e biotita) (SCHWARZBACH e MORANDI, 2000). NGA *et al* (2003) associa a presença de cobalto e manganês à dissolução de minerais rochosos e de bário e ferro à matéria orgânica em condições anaeróbicas; bário é atribuído, também, à rochas vulcânicas e aluviões (MESTRINHO, 2006 *in* FEITOSA *et al*, 2008). A presença de níquel e cobalto foram confirmadas em somente uma amostra, que possui sua pluma de isoconcentrações delimitada horizontalmente em todos os sentidos (SERVMAR, 2014b).

Analisando cada poço singularmente, pode-se local espacialmente na área de estudo os pontos com maiores alterações. As Figura 39 a Figura 50 evidenciam os valores da relação entre a concentração medida das substâncias em cada poço

dividida pelo VMP. Os poços relacionados abaixo foram os que apresentaram 3 ou 4 substâncias fora dos parâmetros de um total de 6 substâncias analisadas.

Como já visto nos gráficos anteriores, o ferro é o elemento com concentrações encontradas em maior discrepância com os valores indicados para água subterrânea, com concentrações quase 180 vezes a do VMP (PM-15). Em seguida, tem-se manganês, alumínio, níquel, bário e cobalto (Tabela 12).

Tabela 12 - Máximos e mínimos das relações das concentrações. Fonte: Elaborado pela autora com dados da SERVIMAR (2014b).

	Máximo (Adimensional)	Mínimo (Adimensional)
Alumínio	18,55	0,15
Bário	3,48571429	0,25428571
Cobalto	2,66666667	0,16666667
Manganês	46,9	1,21
Níquel	7,64	0,1
Ferro	179,34	8,3

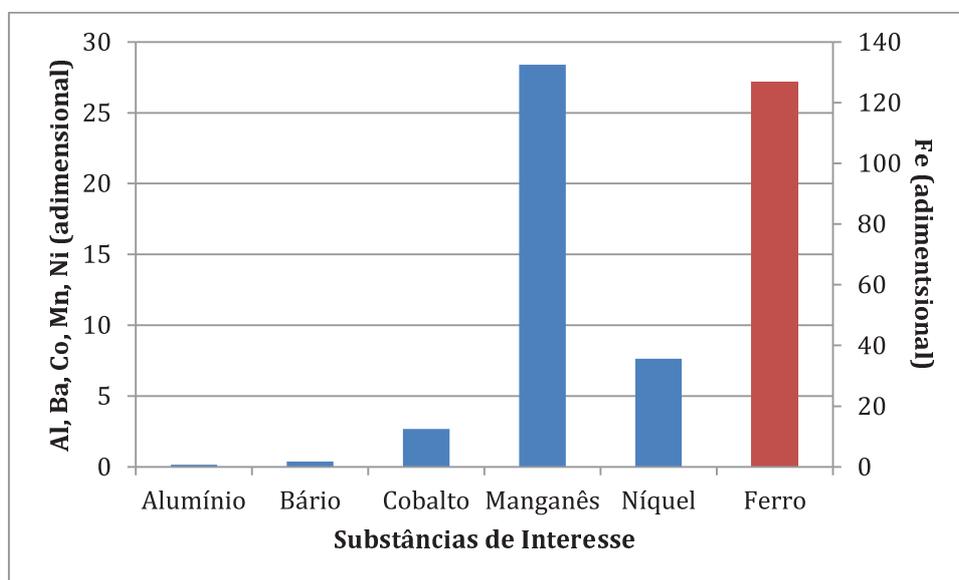


Figura 39 - Relação Amostra/VI (Poço PM-02). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014)

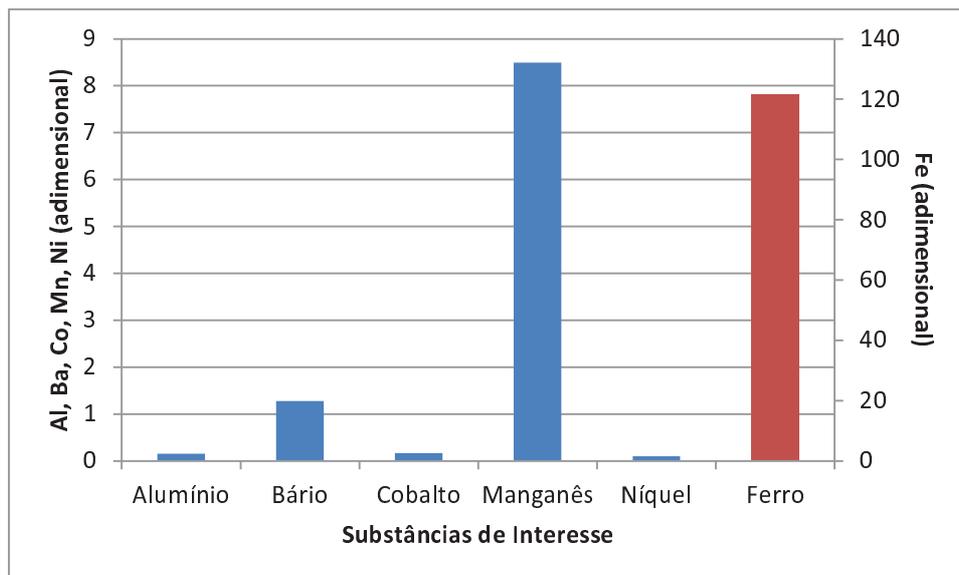


Figura 40 - Relação Amostra/VI (Poço PM-12). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014)

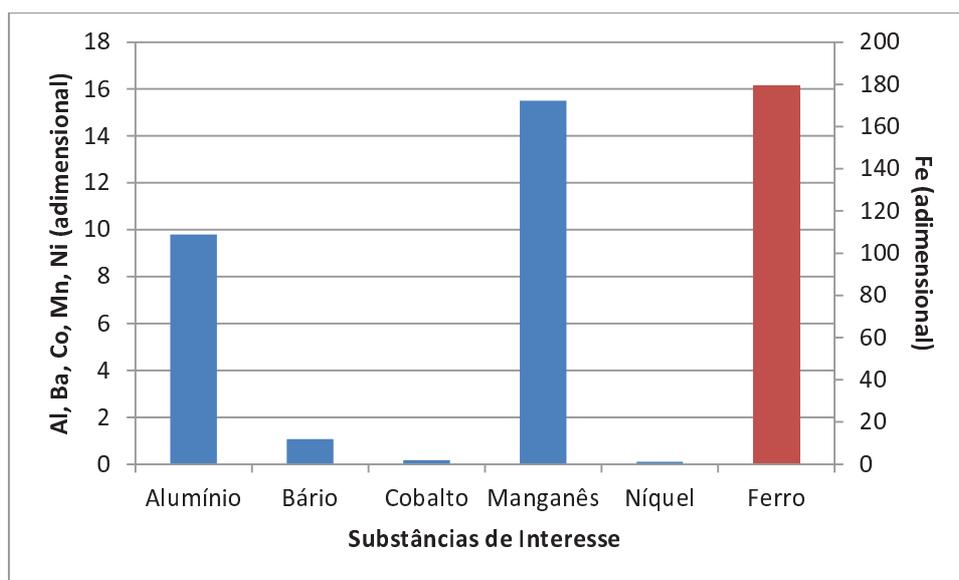


Figura 41 - Relação Amostra/VI (Poço PM-15). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014)

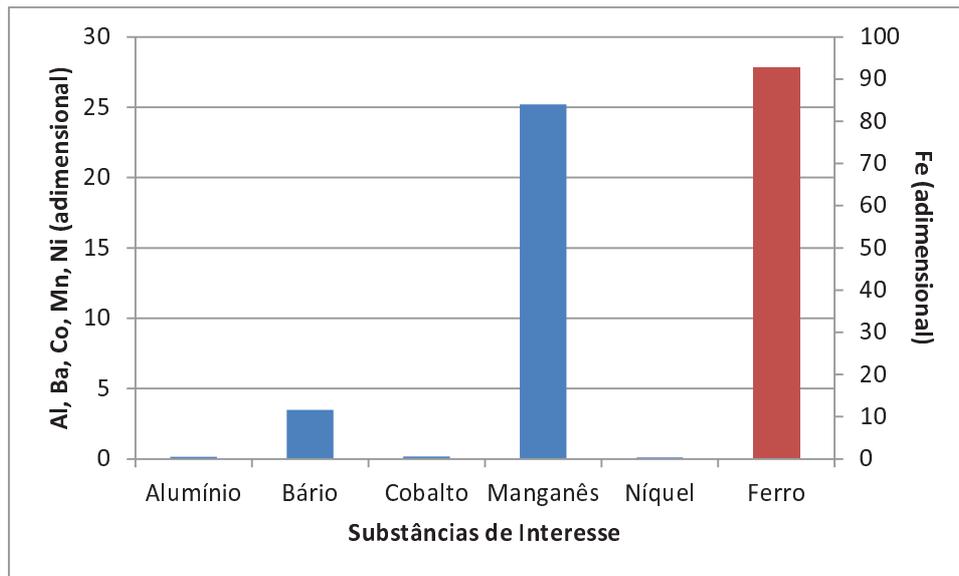


Figura 42 - Relação Amostra/VI (Poço PM-21). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014)

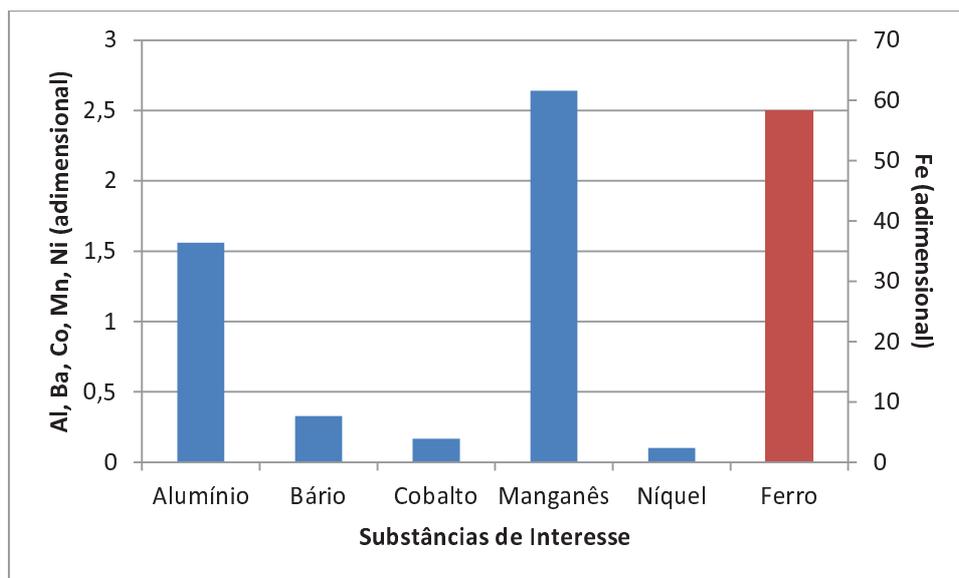


Figura 43 - Relação Amostra/VI (Poço PM-23). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014)

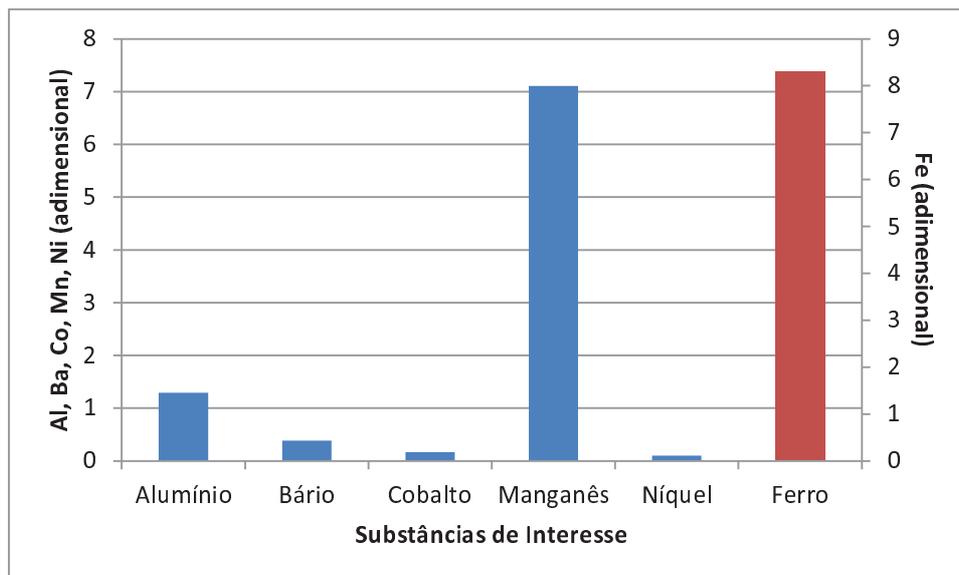


Figura 44 - Relação Amostra/VI (Poço PM-26A). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014)

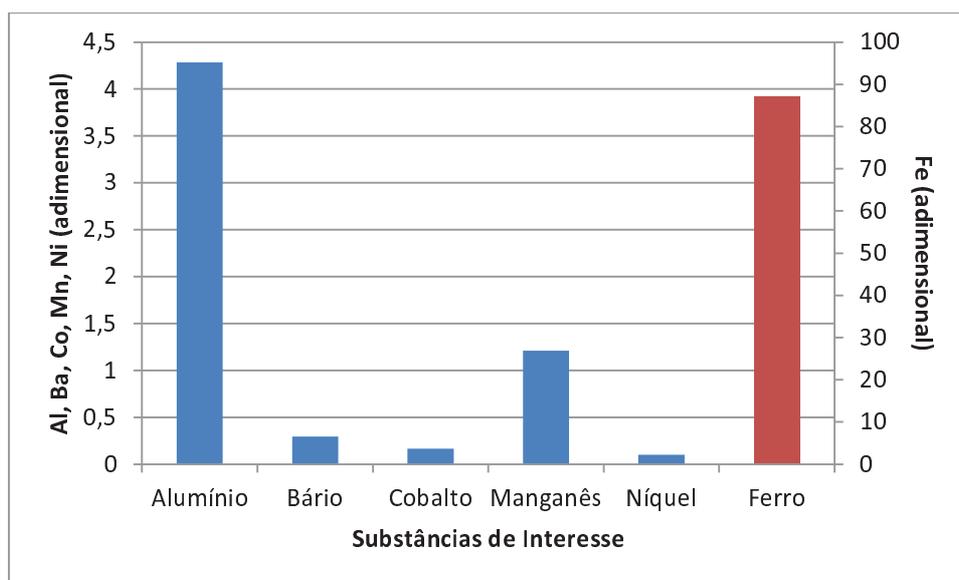


Figura 45 - Relação Amostra/VI (Poço PM-29). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014)

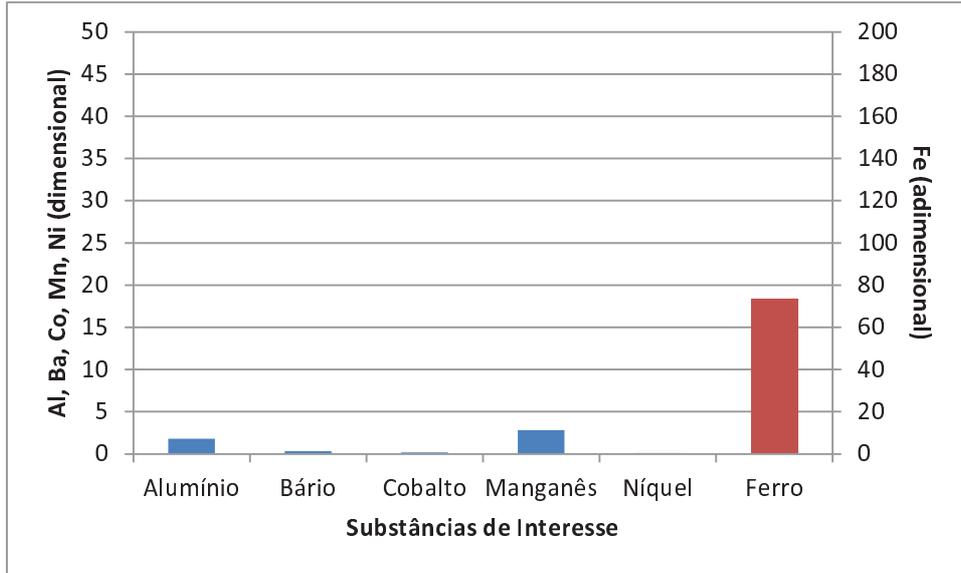


Figura 46 - Relação Amostra/VI (Poço PM-30A). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014)

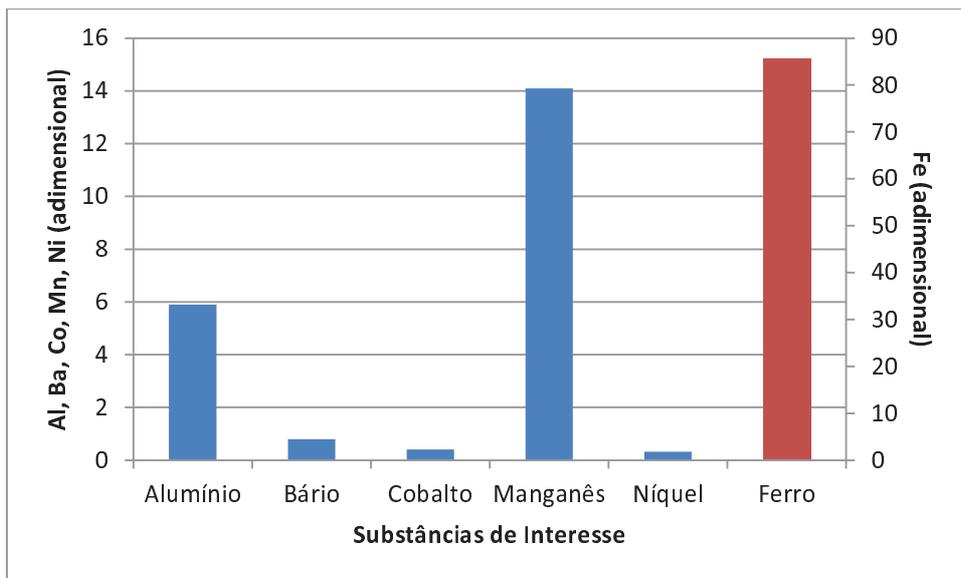


Figura 47 - Relação Amostra/VI (Poço PM-37). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014)

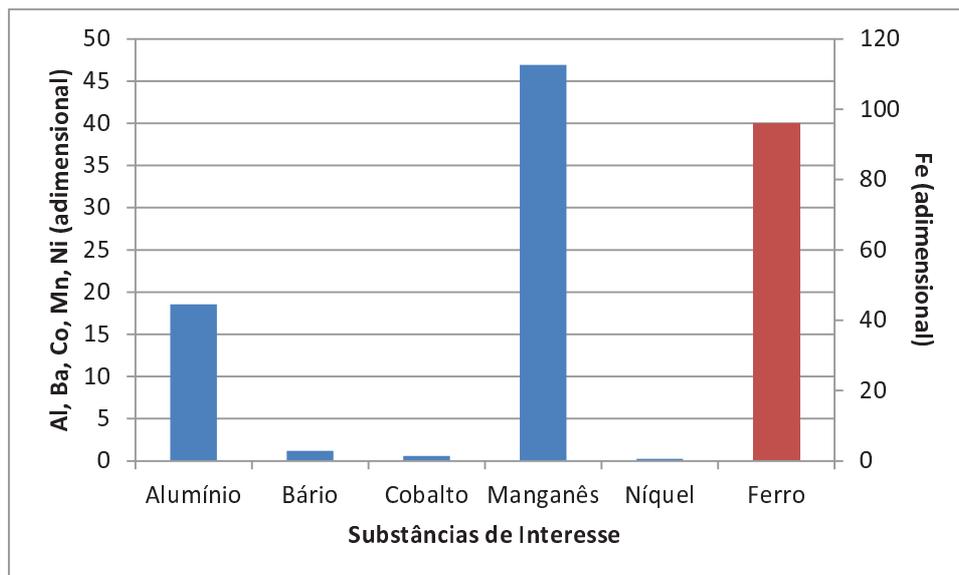


Figura 48 - Relação Amostra/VI (Poço PM-39). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014)

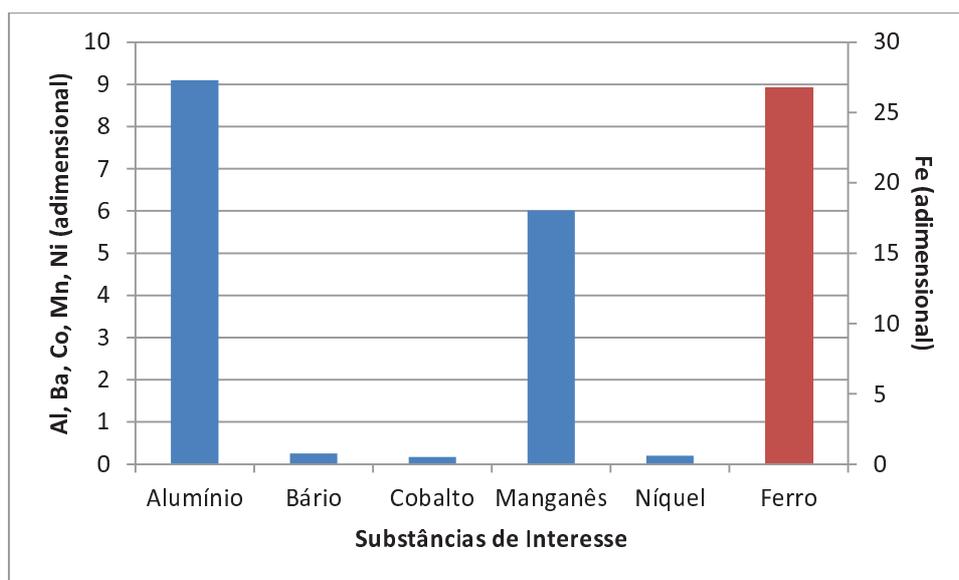


Figura 49 - Relação Amostra/VI (Poço PM-39A). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014)

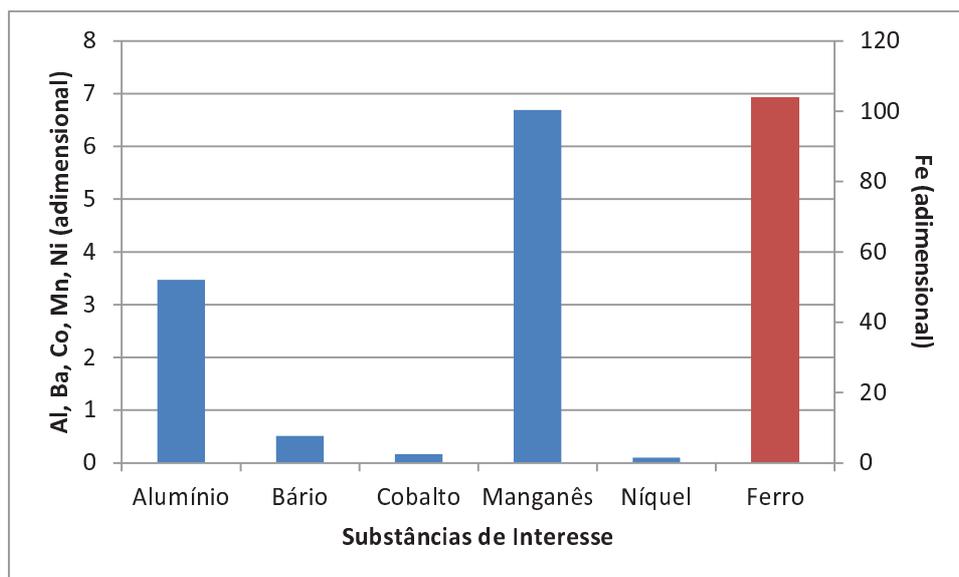


Figura 50 - Relação Amostra/VI (Poço PM-43). Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da SERVIMAR (2014)

Em todos os poços o ferro, manganês e alumínio são os principais componentes em desconformidade seguidos, normalmente, pelo bário. Como apresentado no diagnóstico do solo, as medições realizadas na água subterrânea foram de no máximo 9,5 m de profundidade, o que significa que o freático foi o aquífero analisado, sendo este, não explorado pela USP e, raramente, explorado para uso da água em locais urbanos, de acordo com os cadastros de poços tubulares profundos do DAEE.

A área de investigação AI-01, então, configura-se como pouco contaminada em relação às análises feitas da água subterrânea apresentadas neste trabalho. A nova relação de valores orientadores para solo e água subterrânea da CETESB de 2014, retira o ferro e o manganês da lista de substância com valores orientadores, justamente pela experiência comprovada da não aplicabilidade destes parâmetros devido à variabilidade de composições de solos e rochas do nosso país e região que são ricas nestes elementos. A enciclopédia do EUGRIS (Portal de Manejo de Solo e Águas Subterrâneas da Europa) afirma que, na maioria dos casos, os metais pesados são encontrados nas camadas superficiais do solo, não constituindo em ameaças significativas para a contaminação da água subterrânea dos aquíferos, devido à sua baixa mobilidade. Em contribuição à essa informação, temos a análise de permeabilidade da área como “pouco impermeável” (Tabela 9), dificultando ainda mais a mobilidade das substâncias encontradas. De qualquer forma, a análise com os

valores de 2005 servem para salientar essas conclusões, uma vez que apresenta justamente estes parâmetros em maior desconformidade com os valores adotados.

As áreas AI-02 e AI-03 ainda não tiveram seus relatórios de investigação publicados, trabalhos que estão iniciando seu desenvolvimento em julho de 2015. Pode-se prever, entretanto, que estas áreas apresentarão um cenário mais complexo na avaliação da água subterrânea, uma vez que algumas amostras já realizadas pela SERVIMAR (2014b) indicam uma maior variedade de substâncias em desconformidade com os parâmetros ambientais no solo. Como a interligação entre estes dois âmbitos do território físico é direta e sequencial, a probabilidade de contaminantes serem encontrados nestas duas áreas é alta.

7. Proposição de medidas mitigadoras

7.1. Metano

Como já apresentado neste trabalho, a problemática do metano está relacionada à sua faixa de inflamabilidade e não simplesmente baseado em sua presença ou ausência ou ao conceito de contaminação, propriamente. Sendo assim, são poucas as alternativas de medidas mitigadoras encontradas na literatura.

Considerando que a presença do gás foi constatada, quase que em sua totalidade, nas partes mais profundas do subsolo, a alternativa de mitigação do possível impacto ambiental da explosão é a da liberação do gás. Esta medida já foi tomada no projeto das edificações e é suficiente para as quantificações efetuadas na área. A alternativa de uma chama para a queima do metano e sua conversão em dióxido de carbono não se adequa neste caso, já que a produção do biogás é baixa e provavelmente insuficiente para a manutenção da chama.

Com o monitoramento contínuo, caso os resultados indiquem a ascensão do gás para a franja capilar, a proposta de medida mitigatória seria a disposição de uma camada de solo logo acima da constatação do metano. LE MER e ROGER (2001) afirmam que o metano pode ser eliminado dos solos através da oxidação microbiana. Bactérias metilotróficas auxiliam no processo de oxidação, que é facilitado em áreas de várzea ou solos saturados, como comprovado na área de estudo. As camadas de coberturas metanotróficas ou oxidativas possuem funções de camadas biorreativas e

estão sendo utilizadas como alternativas de gerenciamento de emissões de gases produzidos em aterros sanitários (LOPES *et al*, 2010). É uma alternativa considerada economicamente atraente para o tratamento das emissões de metano (IPCC, 2007), uma vez que são utilizados materiais de baixo custo como diferentes tipos de compostos oriundos da compostagem. Para uma taxa de oxidação do metano considerada ótima, deve-se selecionar os substratos desejados, controlar os parâmetros ambientais e instalar um sistema de drenagem abaixo da camada de cobertura de granulometria grosseira, que distribui o fluxo de biogás (LOPES *et al*, 2010).

7.2. Solo

De acordo com o diagnóstico apresentado para o solo da área de estudo, chumbo, manganês, alumínio e PCB foram encontrados em desacordo com os parâmetros ambientais, sendo os PCB os elementos mais preocupantes.

A remediação de metais pesados tradicionalmente se dá pela remoção do solo e destinação em aterro, coprocessamento em cimento, etc. (ANDRADE *et al*, 2009). A Tabela 13 mostra os principais métodos de remediação empregados. A escolha da técnica sempre deve levar em conta o contaminante, a área a ser remediada, a tecnologia e o custo empregado, considerando o objetivo final da mitigação de acordo com o uso pretendido da área.

Tabela 13 – Principais métodos de remediação de solos. Fonte: Adaptado de USEPA (2008) e CETESB (2008) apud OLIVEIRA (2009).

Tecnologia	Descrição
Biorremediação	Degradação de contaminantes principalmente na forma orgânica por decomposição biológica. Os microrganismos são capazes de biodegradar poluentes tóxicos, para obtenção de energia, em substâncias como dióxido de carbono, água, sais minerais e gases (metano e sulfeto). Pode ser empregada <i>in situ</i> ou <i>ex situ</i> .
Dessorção térmica	Aquecimento do solo, com o objetivo de promover a separação de contaminantes orgânicos pela volatilização ou destruição. É realizada <i>in situ</i> por meio da injeção de vapor, aquecimento condutivo em poços térmicos ou aquecimento por eletroresistividade; ou <i>ex situ</i> , mediante escavação do solo e tratamento com instalações específicas.

Extração de vapores	<p>Extração de vapores do solo <i>in situ</i>, por meio da aplicação de vácuo. Com a redução da pressão, um fluxo de ar é induzido na subsuperfície, volatilizando e eliminando compostos orgânicos voláteis.</p>
Fitorremediação	<p>Conjunto de tecnologias que usam plantas para remediar solos contaminados <i>in situ</i> ou <i>ex situ</i>. Utiliza diversas espécies de plantas para degradar, extrair, conter ou imobilizar contaminantes do solo.</p>
Lavagem do solo	<p>Tecnologia na qual o solo é inundado com solução extratora que move os contaminantes para área de captação e tratamento. Água, com ou sem aditivos (ácidos, surfactantes, agentes quelantes, etc.), é empregada para solubilizar os contaminantes <i>in situ</i> ou <i>ex situ</i>.</p>
Solidificação/Estabilização	<p>A solidificação é uma encapsulação física do contaminante em uma matriz sólida mais utilizada para tratamento <i>ex situ</i>. Monômeros líquidos que polimerizam, betume, cinzas e cimento são injetados para encapsular o solo. A estabilização promove a indução de reações químicas para reduzir a mobilidade ou toxicidade do contaminante <i>insitu</i>. Entre os aditivos possíveis cita-se zeólitas, hidroxiapatita, calcário.</p>
Separação magnética/Separação física	<p>Separa e concentra as partículas de acordo com a sua susceptibilidade magnética. Outras formas de separação utilizam propriedades físicas dos materiais, tais como, densidade, tamanho de partículas e viscosidade. Pode ser utilizada em associação com outras a fim de otimizar a descontaminação do meio.</p>
Tratamento químico	<p>Envolve reações de redução/oxidação que, quimicamente, convertem contaminantes perigosos em não perigosos ou em compostos mais estáveis, menos móveis ou inertes. Os agentes oxidantes geralmente usados <i>in situ</i> ou <i>ex situ</i> para o tratamento são ozônio, peróxido de hidrogênio, hipocloritos, cloro e dióxido de cloro.</p>
Vitrificação	<p>Processo de solidificação/estabilização que requer energia térmica. Envolve a inserção <i>in situ</i> ou <i>ex situ</i> de eletrodos no solo, o qual precisa ser apto a conduzir uma corrente elétrica e se solidificar. Essa tecnologia resulta na fundição do solo contaminado, a temperaturas de aproximadamente 1600 graus celsius. Os metais são encapsulados dentro da estrutura vítrea de compostos silicatados modificados.</p>

A fitorremediação tem se tornado uma técnica cada vez mais utilizada, devido ao seu baixo custo e impacto ao meio ambiente. Assim como os processos de biorremediação, tem como vantagem a característica de tratar a contaminação *in situ*. (SCHIANETZ, 1999 *apud* MEJÍA *et al*, 2014). Devido à contaminação do solo ser na faixa superficial e subsuperficial, atingindo pequenas profundidades, a fitorremediação consiste em uma técnica adequada, uma vez que possui como fator limitante o

alcance das raízes da vegetação escolhida para o processo (LEAHY e COLWELL, 1990 *apud* MEJÍA *et al*, 2014).

A fitorremediação ocorre através de diferentes processos (Figura 51): a fitoextração se configura quando os contaminantes são absorvidos pelos tecidos das plantas ou rizofiltração, quando são absorvidos pelas raízes; a fitotransformação ocorre quando enzimas das plantas transformam os contaminantes; a fitovolatilização, quando são volatilizados para a atmosfera; a rizoremediação consiste na degradação com auxílio de microrganismos na zona das raízes; e a fitoestabilização, na incorporação do composto no material do solo (VAN AKEN; CORREA; SCHNOOR, 2009).

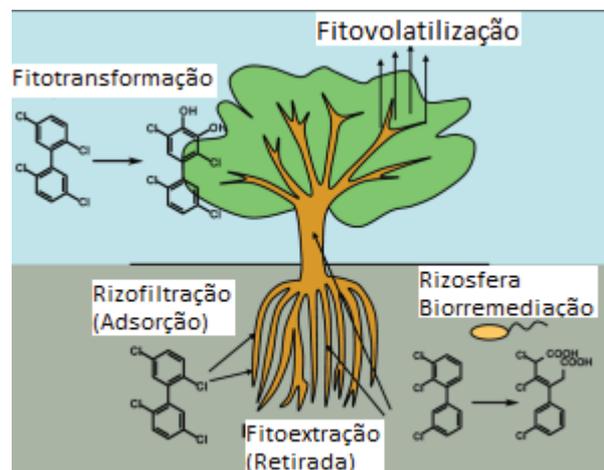


Figura 51 - Processos de fitorremediação. Fonte: Adaptado pela autora de VAN AKEN; CORREA; SCHNOOR (2009).

A fitorremediação do chumbo em solos contaminados já foi estudada através das plantas *Canavalia ensiformes L.* ou feijão-de-porco (ROMEIRO *et al*, 2007 e PEREIRA, 2005), girassol e milho (PEREIRA, 2005). OLIVEIRA (2009) e também da *Stizolobium aterrimum* associada ao fungo micorrízico arbuscular *Glomus etunicatum* (SOUZA *et al*, 2011), sendo todas as alternativas consideradas acumuladoras de chumbo e eficazes para a fitorremediação ou fitoestabilização do chumbo em solos contaminados.

WEATHERFORD *et al* (1997) atribuem à alface, melão, e milho a capacidade significativa de acumulação de alumínio, enquanto a couve-flor e tomate acumulam alumínio e chumbo. HARIDASAN (1982) atribui à algumas plantas do cerrado a capacidade de acumular alumínio, como *Miconia ferruginata*, *Miconia pohliana*,

Palicourea rigida, *Qualea grandiflora*, etc. PADMAVATHIAMMA e LI (2007) citam a *B. juncea* como uma opção para acumulador de manganês, além de *Austromyrtus bidwilli* e *P. Acinosa*.

Os PCB são considerados Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) pela Convenção de Estocolmo, que pretende a completa eliminação e destruição deles até 2028 ou antes (*site* do Ministério do Meio Ambiente). Os PCB tem seu tratamento ainda enraizado na incineração, mas essa técnica permite a produção de compostos secundários mais tóxicos ao meio ambiente, originados da queima incompleta do PCB (POLICARPO, 2008). Segundo FERNANDES (2011), , os sistemas de tratamento que obtiveram maior sucesso técnico ou comercial para o tratamento das PCB são:

- Destruição térmica por incineração: mais utilizada, é baseada da reação de oxidação e pode ser utilizada para todos os tipos de resíduos PCB. Consiste no método de menor custo e pode ser empregada para resíduo em estado líquido ou sólido (este último, quando inorgânico, necessita de tratamento posterior das cinzas)
- Destruição térmica em fornos a plasma: se diferencia da convencional por ser realizada em duas etapas: primeiro decomposto pela ação do calor e depois reagidos com o oxigênio.
- Reação de oxidação por oxigênio puro a alta pressão: uso de câmara hiperbárica, otimizando o processo oxidativo e auxiliando a sublimação.
- Hidrogenação catalítica: reação dos PCB com hidrogênio a altas temperaturas em reatores gás-líquido de leito fixo.
- Desalogenação por sódio: formado por conjunto de reatores e tanques.
- Desalogenação por PEG/PPG: similar ao anterior, mas com reagente de combinação de polietileno-glicol com polipropileno glicol e uma base forte (processo patenteado).
- Reciclagem de materiais impermeáveis: utilização de solvente apropriado, clorados, tri ou tetra-cloretileno, resultando em material livre de PCB para reciclagem.

A fitorremediação de PCB foi estudada para a alfafa, ervilha torta, *deertongue*, *reed canarygrass*, *switchgrass*, e *tall fescue*, obtendo bons resultados para a extração do contaminante (CHEKOL; VOUGH; CHANEY, 2004). A presença de plantas também aumenta a atividade biológica na rizosfera, auxiliando na proliferação de

microrganismos, elementos intimamente ligados aos resultados aferidos da fitorremediação. Algumas variações de *C. pepo* também foram consideradas eficientes para o processo (ZEEB *et al*, 2007). A associação de plantas com bactérias ou microrganismos potencializa o o processo de remediação, como com a bactéria degradadora de PCB *Mesorhizobium sp ZY1* e a planta *Astragalus sinicus L.* (TENG *et al*, 2015).

A destinação das plantas utilizadas no processo de fitorremediação também deve ser observada. A biomassa é colhida, seca e calcinada para reciclagem ou estocada (NEDELKOSKA e DORAN, 2000; KABATA-PENDIAS, 1995 *apud* ZEITOUNI, 2003). Também podem ser utilizadas para a produção de clorofila, fibras e óleos (RULKENS *et al*, 1995 *apud* ZEITOUNI, 2003).

6.3. Água Subterrânea

Com base no diagnóstico elaborado por este trabalho, considera-se que não é necessária a adoção de medidas mitigadoras para a água subterrânea dos pontos analisados e da área de estudo. As substâncias encontradas não configuram um cenário de intervenção e de significativo impacto ambiental, uma vez que não apresentam mobilidade ou características intrínsecas de desequilíbrio ambiental. Na verdade, comumente as substâncias encontradas são utilizadas para a mitigação de outros elementos mais danosos à biota e ao meio ambiente. O ferro elementar, juntamente com o peróxido de hidrogênio, é utilizado para a remediação de águas subterrâneas contaminadas com compostos organoclorados (ARRUDA e JARDIM, 2007); o hidróxido de ferro é utilizado como tecnologia para eliminação de arsênio de águas subterrâneas (GOMES, 2011).

VON SPERLING (2007) atribui ao ferro e manganês pouco significado sanitário, considerando as concentrações mais encontradas nas águas para abastecimento. Os efeitos destes compostos para a potabilidade é conferida à cor, odor e sabor, parâmetros que são importantes do ponto de vista do consumidor, não se relacionando fortemente à toxicidade e problemas sanitários. O alumínio é controlado principalmente por aspectos organolépticos, apesar de pesquisas mais recentes indicarem a ligação da ingestão do alumínio pelos seres humanos com o Mal de Alzheimer (FREITAS; BRILHANTE; ALMEIDA, 2001).

O foco para o futuro próximo deve ser, então, o diagnóstico das águas subterrâneas das áreas de investigação AI-02 e AI-03, onde diversos compostos já foram aferidos pela SERVIMAR (2014b). A investigação e o monitoramento dessas áreas demanda tempo e análises minuciosas, uma vez que a área de estudo se configura como área de recarga e várzea, com o nível estático da água subterrânea consideravelmente alto (mais próximo da superfície). Destaca-se que aquíferos são unidades de grande extensão, permitindo a mobilidade dos contaminantes entre as áreas de estudo. Apesar disso, a velocidade comumente encontrada de contaminantes e elementos seja relativamente baixa. De acordo com os mapas potenciométricos (Figura 4 e Figura 5) e com a localização das áreas investigativas (

Figura 13), entende-se que a migração dos contaminantes já encontrados e futuramente analisados nas áreas a serem investigadas para a AI-01 é muito pouco provável. A água subterrânea não tem caráter de exploração no campus, possuindo ligação e abastecimento com a rede da SABESP (SERVIMAR, 2014b). Todavia, justificando através do caráter previsto de contaminação, admite-se a necessidade de monitoramento da água subterrânea AI-01.

8. Conclusão

A análise dos dados disponíveis constantes dos relatórios sobre a possível contaminação ambiental no Campus da USP Leste, especificamente na área denominada AI-01 permite concluir que os níveis de contaminantes no ar, no solo e na água estão, em geral, muito aquém dos que podem ser considerados preocupantes para a comunidade que desenvolve atividades nessa unidade da USP.

Com relação a aspectos específicos relativos à poluição do ar devido à presença de metano, as medidas já tomadas nos prédios em que sua presença foi detectada, foram efetivas para o controle das emissões de maneira a afastar possíveis riscos à comunidade.

No que se refere à possível contaminação da água subterrânea, recomenda-se o monitoramento contínuo da qualidade da água e, com base nos dados disponíveis, não se admite a necessidade de adoção de medidas mitigadoras na AI-01, dado a distância dos poços de exploração desse recurso hídrico e da não utilização do mesmo na área. As características que essa água apresenta, no momento, não sugerem a necessidade da adoção de ações mitigadoras de possíveis impactos ambientais.

No que se refere à contaminação do solo, a área AI – 01 já foi recoberta com grama para evitar a mobilidade dos contaminantes pela movimentação das partículas. A análise de risco realizada pela SERVIMAR verificou que a AI-01 não apresenta risco à saúde humana nos cenários analisados.

O solo de origem desconhecida se configura como origem das contaminações do solo. A origem do material de aterramento foi determinada como sendo restos de construção de um templo da Igreja Universal. Trata-se de material heterogêneo, de difícil caracterização, recomendando-se a adoção de medidas na superfície do solo, como plantação de grama, e a continuidade do monitoramento da água subterrânea para avaliar a possível lixiviação de contaminantes e a migração deles para o lençol freático.

Algumas pessoas da comunidade universitária tem entrado com processos ou julgado a contaminação do campus como causa de problemas de saúde. É necessário um estudo específico para determinar a veracidade dos casos e definir a real contribuição da área contaminada.

A AI-02 deve ser investigada detalhadamente por apresentar diversos contaminantes e alguns de caráter prejudicial à saúde humana.

9. Referências Bibliográficas

ANDRADE, M. G.; MELO, V. F.; GABARDO, J.; SOUZA, L. C. P.; REISSMAN, C. B. **Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. I – Fitoextração.** R. Bras. Ci. Solo, 33: 1879-1888, 2009.

ANTONIO, S.M. **Análise da variação da vazão e da concentração do metano presentes nos gases gerados no aterro sanitário de Rio Claro – SP.** Trabalho de conclusão de curso. UNESP. 2012

ARRUDA, T. L.; JARDIM, W. F. **Tratamento de água subterrânea contaminada com compostos organoclorados usando ferro elementar e o reagente de fenton.** Química Nova, Vol. 30, No 7, 1628-1632, 2007.

CETESB (São Paulo) (2009). **Relatório de Qualidade das Águas Interiores no estado de São Paulo**. 2008. São Paulo: CETESB, 528p

CETESB. **Ficha de Informação Toxicológica (FIT)**. Disponível em: <http://laboratorios.cetesb.sp.gov.br/servicos/informacoes-toxicologicas/>. Acesso em 22 de agosto de 2014. 2010, 2012, 2013.

CETESB. **Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. 2013.

CETESB. **Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. 2005.

CHEKOL, T.; VOUGH, L. R.; CHANEY, R. L. **Phytoremediation of polychlorinated biphenyl-contaminated soils: the rhizosphere effect**. Environment International. Volume 30, Issue 6, p. 799-804. Agosto, 2004.

CORRÊA, L. B. (UFMA) ; SILVA, G. S. (UFMA) ; MARQUES, A. L. B (UFMA) ; MARQUES, E. P. (UFMA) ; SANTOS, E. A. (UFMA). **Caracterização Geoquímica de Sedimentos fluviais das Bacias dos Rios Anil e Bacanga – MA, para fins de estudo da dinâmica de metais traço**. Congresso Brasileiro de Química. 2011

DAEE – **Curso de projeto, perfuração e operação de poços profundos**. Ribeirão Preto, São Paulo. Agosto, 1983.

DAEE. IG. IPT. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000: nota explicativa**. São Paulo, 2005.

FERNANDES, P. **Projeto BRA/08/G32: Brasil – Estabelecimento da Gestão de Resíduos de PCB e Sistema de Disposição**. Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80104/PCBs/Projeto%20PNUD%20BRA08G32/Produtos%20Paulo%201/Paulo_Produto%2003.pdf. Acessado em 25/08/2015. São Paulo, 2011.

FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M. e ALMEIDA, L. M. **Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio.** Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 17(3):651-660, mai-jun, 2001.

Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo. Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. **Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê – Relatório Final.** Volume 1/4. Dezembro de 2009.

GOMES, A. B. M. **Mitigação do Arsênio em Águas Subterrâneas utilizando SBF.** Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Outubro, 2011.

HARIDASAN, M. ***Aluminum accumulation by some cerrado native species of central Brazil.*** Plant and soil 65, 265-273. 1982.

HILGER, H.; HUMER, M. **Biotic landfill cover treatments for mitigating methane emissions.** Environmental Monitoring and Assessment. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 71-84. 2003.

HIRATA, R.; FERREIRA, L. M. R. **Os aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição.** Revista Brasileira de Geociências, 31 (1): 43-50. 2001.

LE MER, J.; ROGER, P. **Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review.** 2001.

LOPES et al. **Camadas de cobertura metanotróficas como alternativas para gerenciamento de gases de efeito estufa em aterros sanitários.** Holos, Ano 25, Vol. 4 3. 2010.

LOPES, D. **Plantas nativas do cerrado: uma alternativa para fitorremediação.** Revista estudos. Universidade Católica de Goiás. Goiânia, v. 37, n. 3/4, mar/abril, 2010.

MEJÍA, P. V. L.; ANDREOLI, F. N.; ANDREOLI, C. V.; SERRAT, B. M. **Metodologia para Seleção de Técnica de Fitorremediação em Áreas Contaminadas**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais – Número 31 – Março de 2014.

MESTRINHO, S. S. P. **Geoquímica das Águas Subterrâneas**. In FEITOSA *et al*, 2008. Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações. 3 ed. Rev. e ampl. – Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 p.

Ministério Público do Estado de São Paulo. Centro de Apoio Operacional à Execução. (2013). Inquérito Civil nº 58/05. **Parecer Técnico SETEC RI 4412 LT1198-13 MAHUAC PJMAC IC 58-05**. Emissão de Parecer Técnico em atenção a solicitação da Promotoria de Justiça do Meio Ambiente da Capital referente à área contaminada da USP Leste (EACH USP) e ao seu licenciamento ambiental.

NGA, T. T. V.; INOUE, M.; KHATIWADA, N. R.; TAKIZAWA, S. **Heavy metal tracers for the analysis of groundwater contamination: case study in Hanoi City, Vietnam**. Water Supply. Vol 3 No 1-2 pp 343–350. IWA Publishing. 2003

OLIVEIRA, M. L. J. **Superfostato triplo, lama vermelha e zeólitas para remediação de metais pesados em solo contaminado**. Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2009.

PADMAVATHIAMMA, P. K.; LI, L. Y. **Phytoremediation Technology: Hyper-accumulation Metals in Plants**. Water Air Soil Pollut 184: 105-126. Abril, 2007.

PENTEADO, J. C. P.; VAZ, J. M. **O legado das bifenilas policloradas (PCBs)**. Quím. Nova, Vol.24, n.3, pp. 390-398. ISSN 0100-4042. 2001.

PEREIRA, B. F. F. **Potencial fitorremediador das culturas de feijão-de-porco, girassol e milho cultivadas em latossolo vermelho contaminado com chumbo**. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação, em Agricultura Tropical e

Subtropical, do Instituto Agrônômico, como requisito parcial à obtenção do título de mestre. Campinas, 2005.

POHLAND, F. G.; GOULD, J. P. **Co-disposal of municipal refuse and industrial waste sludge in landfills**. School of Civil Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, U.S.A.1987.

POLICARPO, N. A. **Tratamento de solos contaminados com bifenilas policloradas (PCBs)**. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química. 2008.

RANGEL et al. **BIOGEOQUÍMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA NAS BACIAS DO RIO SÃO JOÃO E RIO DAS OSTRAS, INTERFACE CONTINENTE – OCEANO 2010**

ROMEIRO, S.; LAGÔA, A. M. M. A.; FURLANI, P. R.; ABREU, C. A.; PEREIRA, B. F. F. **Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de *Canavalia Ensiformes* L.** *Bragantia*, Campinas, v.66, n. 2, p. 327-334, 2007.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental – Teoria e Prática**. São Paulo: Oficina de Textos. 184 p. 2004.

SCHEUTZ, C.; KJELDSEN, P. **Biodegradation of Trace Gases in Simulated Landfill**. *Soil, Journal of the Air e Waste Management Association*, 55:7, 878-885. 2005.

SCHWARZBACH, M. S. R.; MORANDI, I. C. **Avaliação da variabilidade temporal das características físicoquímicas das águas subterrâneas dos poços tubulares profundos do município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil**. 1 st Joint World Congress on Groundwater. Fortaleza. 2000.

SEPA. **Scottish Pollutant Release Inventory (SPRI)**. Disponível em: http://www.sepa.org.uk/air/process_industry_regulation/pollutant_release_inventory.aspx. Acessado em 25 de agosto de 2014.

Servmar Serviços Técnicos Ambientais – SERVIMAR (2014a). **Plano de Trabalhos Ambientais Futuros. Escola de Artes, Ciências e Humanidades.** MA/12902/14/AMB. Emitido em 14 de janeiro de 2014.

Servmar Serviços Técnicos Ambientais – SERVIMAR (2014b). **Relatório MA/12936/14/BLS. Relatório de Investigação Detalhada, Avaliação de Risco à Saúde Humana e Plano de Intervenção na AI-01 e Investigação Detalhada de Gases.** Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo – USP LESTE. Emitido em fevereiro de 2014.

SOUZA, L. A.; ANDRADE, S. A. L.; SOUZA, S. C. R.; SCHIVINATO, M. A. **Tolerância e potencial fitorremediador de *Stizolobium aterrimum* associada ao fungo micorrízico arbuscular *Glomus etunicatum* em solo contaminado por chumbo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 35, núm. 4. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, Brasil. 2011.

TENG, Y.; LI, X.; CHEN, T.; ZHANG, M.; WANG, X.; LI, Z.; LUO, Y. **Isolation of the PCB-degrading bacteria *Mesorhizobium sp. ZY1* and its combined remediation with *Astragalus sinicus* L. for contaminated soil.** International Journal of Phytoremediation. 2015.

USEPA. *Regional Screening Level (RSL)*, disponível em: <http://www.epa.gov/region09/superfund/prg>, acessado em 16 de julho de 2015.

USEPA (Environmental Protection Agency). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) — EPA fact sheet. Washington, DC: National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development; 2008.

USP – 2004 – Universidade de São Paulo - Campus USP Leste – **Relatório Ambiental Preliminar.** Março, 2004.

VAN AKEN, B.; CORREA, P. A.; SCHNOOR, J. L. **Phytoremediation of Polychlorinated Biphenyls: New Trends and Promises.** Environmental Science e Technology. Vol 44, no 8. 2009.

WEATHERFORD, J.; HAMMOND, A.; RATLIFF, J. **Investigation of the Ability of Plants Found in Western Kentucky to Hyperaccumulate Lead and Aluminum from Soils.** *Microchemical Journal*. V. 56, 93-102. Maio, 1997.

WHO (World Health Organization). ***Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality.*** 2003.

WHO (World Health Organization). ***Polychlorinated biphenyls: Human health aspects.*** 2003.

ZEEB, B. A.; AMPHLETT, J. S.; RUTTER, A.; REIMER, K. J. **Potential for Phytoremediation of Polychlorinated Biphenyl-(PCB)-Contaminated Soil.** *International Journal of Phytoremediation*. 8:3, 199-221. 2006.

ZEITOUNI, C. F. **Eficiência de Espécies Vegetais como Fitoextratoras de Cádmio, Chumbo, Cobre, Níquel e Zinco de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico.** Dissertação de Mestrado. Instituto Agronômico de Campinas. 91 p. 2003.