

Joaquin Enrique Francisco Albarracin Oviedo

**Proteção de usuários e edifícios por implantação de drenos para extração
de gás de subsolo.**

São Paulo

2007

Joaquin Enrique Francisco Albarracin Oviedo

**Proteção de usuários e edifícios por implantação de drenos para extração
de gás de subsolo.**

São Paulo

2007

Joaquin Enrique Francisco Albarracin Oviedo

**Proteção de usuários e edifícios por implantação de drenos para extração
de gás de subsolo.**

**Monografia de conclusão de curso apresentado
ao PECE – Programa de Educação
Continuada da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para a obtenção do
título de especialista em Tecnologia e Gestão
da Produção de Edifícios.**

Orientador: Professor Dr. Luiz Sérgio Franco

São Paulo

2007

Joaquin Enrique Francisco Albarracin Oviedo



Proteção de usuários e edifícios por implantação de drenos para extração de gás de subsolo.

Monografia de conclusão de curso apresentado
ao PECE – Programa de Educação
Continuada da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para a obtenção do
título de especialista em Tecnologia e Gestão
da Produção de Edifícios.

Orientador: Professor Dr. Luiz Sérgio Franco

São Paulo

2007

FICHA CATALOGRÁFICA

Albarracin Oviedo, Joaquin Enrique Francisco

Proteção de usuários e edifícios por implantação de drenos

para extração de gás de subsolo / J.E.F. Albarracin Oviedo. -- São Paulo, 2007.

109 p.

Monografia (MBA em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Gases (Proteção) 2.Redes de drenagem 3.Biogás 4.Poluição do solo 5.Poluição ambiental 6.Monitoramento ambiental 7.Efeito estufa I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

Dedicatória

Dedico este trabalho;

À minha **Esposa e Filha**, cuja compreensão e estímulo serviram para dar mais valor ainda ao tempo que tirei delas.

Ao Engenheiro **Scandar Gasperazzo Ignátius** pela colaboração nos aspectos técnicos deste trabalho.

Ao Engenheiro **Luiz Sérgio Franco** pelo incentivo e colaboração na elaboração deste trabalho.

Aos **amigos** e a todos que colaboraram direta ou indiretamente, na execução deste trabalho.

Sumário

Lista de ilustrações	4
Lista de tabelas	8
Lista de abreviaturas e siglas	9
Resumo	10
Abstract.....	10
1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. Justificativa.....	11
1.2. Objetivo	12
1.3. Metodologia.....	12
1.4. Estrutura do trabalho	13
2. CONCEITOS BÁSICOS.....	14
2.1. Biogás	14
2.1.1. Definição	14
2.1.2. Mecanismos de formação	14
2.1.3. Dinâmica.....	17
2.1.4. Características energéticas.....	18
2.1.5. Poluentes.....	20
3. ESTUDO DE CASO	22
3.1. Terreno	22
3.1.1. Histórico	22
3.1.2. Geologia	24
3.1.3. Dados ambientais.....	25
3.2. Edificação	25
3.2.1. Localização.....	25
3.2.2. Utilização.....	27
3.2.3. Dados técnicos da edificação.....	27
4. INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL.....	30
4.1. Investigação de gases no solo (Soil Gas Survey)	30
4.1.1. Procedimento	32

4.1.2.	Locação de perfurações	32
4.1.3.	Explosividade	34
4.1.3.1.	Limite Inferior de Explosividade ou Lower Explosive Limit (LIE ou LEL)	35
4.1.3.2.	Limite Superior de Explosividade (LSE)	35
4.1.4.	Dados de campo	36
4.1.4.1.	Dados do monitoramento de gases em ppm	36
4.1.4.2.	Resultados do monitoramento de gases incluindo o gás metano.....	37
4.1.4.3.	Resultados do monitoramento de gases excluindo o metano	39
4.2.	Poços de monitoramento e sondagens de reconhecimento.....	41
4.2.1.	Objetivos.....	41
4.2.2.	Metodologia.....	41
4.2.3.	Locação.....	44
4.2.4.	Resultados obtidos no campo.	45
4.3.	Investigação do solo	46
4.3.1.	Objetivos.....	46
4.3.2.	Metodologia.....	46
4.3.3.	Locação.....	46
4.3.4.	Resultados obtidos no campo	49
4.3.4.1.	Levantamento Geofísico.....	49
4.3.4.2.	Análise química	50
4.4.	Resultados finais da investigação ambiental em relação a VOC na área do edifício estudado.....	51
4.4.1.	Conclusões e resultados das amostras de água subterrânea	51
4.4.2.	Conclusões e resultados das amostras de solo.....	51
4.4.3.	Ações preventivas recomendadas	52
5.	PROJETO DE DRENAGEM DE GÁS (EXTRAÇÃO DE VAPORES DO SOLO)	
	54	
5.1.	Métodos mais usados no Brasil	54
5.1.1.	Soil Vapor Extraction (SVE).....	54
5.1.2.	In-situ Air Sparging (IAS).....	55
5.1.3.	Multiphase Extraction (MPE).....	55

5.2.	Diretrizes para o projeto de drenos de gás.....	55
5.2.1.	Generalidades	55
5.2.2.	Dimensionamento de drenos	56
5.2.3.	Detalhamento dos drenos e trincheiras drenantes.....	56
5.2.4.	Descrição do funcionamento do sistema.	58
5.2.5.	Drenagem contínua por baixo da laje de piso (tapete drenante).....	58
5.2.6.	Poços de monitoramento.	61
5.3.	Elementos gráficos do projeto.	61
5.3.1.	Primeira etapa de Projeto.....	61
5.3.2.	Segunda etapa de Projeto.....	70
6.	IMPLANTAÇÃO DE DRENOS.....	71
6.1.	Implantação de drenos horizontais	71
6.2.	Implantação de redes externas de interligação de drenos.....	86
6.3.	Caixas de passagem	86
7.	TESTE PILOTO (PILOT-SCALE TESTS)	88
7.1.	Conceito do teste piloto	88
7.2.	Definição do modelo de extração	88
7.2.1.	Primeiro modelo proposto	88
7.2.2.	Modelo final adotado.....	89
7.3.	Testes de extração.....	90
7.4.	Zona de captura (Zone of Influence)	95
8.	CONCLUSÕES	98
8.1.	Recomendações	98
8.2.	Críticas ao sistema.....	100
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106

Lista de ilustrações

Ilustração 2-1 - Fluxo do processo de decomposição anaeróbia (Castilhos - 2003)	15
Ilustração 2-2 - Modelo de produção de Biogás (Farquhar; Rover apud Castilhos - 2003). 16	
Ilustração 2-3 – Modelo de produção de VOC em aterros (Pohland; Harper apud Castilhos - 2003).....	17
Ilustração 2-4 - Mecânica do efeito estufa (www.geocities.com/Augusta/7135).....	21
Ilustração 3-1 - Foto em 1962 (rio em azul, USP Leste em vermelho). (Galante; Hurtado; Klein 2005).....	23
Ilustração 3-2 - Foto em 2001 (rio em azul, USP Leste em vermelho) (Galante; Hurtado; Klein 2005).....	23
Ilustração 3-3 – USP Leste, em azul a localização do edifício I-1.....	26
Ilustração 3-4 - Vista aérea da USP Leste (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)	28
Ilustração 3-5 - Vista do edifício I-1 (fachada lateral e posterior) (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo).....	28
Ilustração 3-6 - Montagem de estrutura metálica. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)	29
Ilustração 3-7 - Cura de lajes tipo Steel Deck. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)	29
Ilustração 4-1 - Esquema de utilização de amostrador acoplado a explosímetro (www.clean.com.br).	31
Ilustração 4-2 - Medição de gases (Soil Gas Survey) (Foto: Guedes B. P).....	33
Ilustração 4-3 - Perfuração para medição de gases (Foto: Guedes B. P).....	33
Ilustração 4-4 - Locação dos pontos de avaliação de VOC.....	34
Ilustração 4-5 - Resultado da investigação de gases a 0,5 m incluindo o metano (Galante; Hurtado; Klein - 2005).	37
Ilustração 4-6 - Resultado da investigação de gases a 1,0 m incluindo o metano (Galante; Hurtado; Klein - 2005).	38
Ilustração 4-7 - Resultado da investigação de gases a 0,5 m excluindo o metano (Galante; Hurtado; Klein - 2005).	39
Ilustração 4-8 - Resultado da investigação de gases a 1,0 m excluindo o metano (Galante; Hurtado; Klein - 2005).	40

Ilustração 4-9 - Detalhe genérico de poço de monitoramento segundo a NBR 13.895	42
Ilustração 4-10 - Locação de poços de monitoramento e potenciometria local (Galante; Hurtado; Klein - 2005).	43
Ilustração 4-11 - Poço de monitoramento instalado conforme recomendações da NBR. (Foto: Guedes B. P)	44
Ilustração 4-12 - Execução de poço de monitoramento (escavação) (Foto: Guedes B. P)...	45
Ilustração 4-13 - Locação de sondagens e pontos de amostragem de solo e os resultados químicos obtidos apresentados para simples referência. (Galante; Hurtado; Klein 2005)...	47
Ilustração 4-14 - Coleta de amostras superficiais de solo (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)	48
Ilustração 4-15 - Coleta de amostras superficiais de solo (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)	49
Ilustração 4-16 - Anomalias geofísicas para a frequência de 8.910 Hz (Galante G., Hurtado S., Klein D. - 2005).	50
Ilustração 4-17 - Localização dos drenos horizontais de gás (Galante; Hurtado; Klein - 2005).....	53
Ilustração 5-1 - Lastro de brita usado como tapete drenante (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)	60
Ilustração 5-2 - Esquema de funcionamento do sistema	62
Ilustração 5-3 – Planta de drenos horizontais do edifício I-1 (vista geral).....	63
Ilustração 5-4- Detalhe da planta de drenos horizontais.....	64
Ilustração 5-5 - Detalhe da seqüência executiva da implantação de drenos.....	65
Ilustração 5-6 - Corte transversal dos drenos horizontais de gás (trincheiras).....	65
Ilustração 5-7 - Detalhe do dreno horizontal (trincheira)	66
Ilustração 5-8 - Detalhe de furo na viga para ventilação de gases	66
Ilustração 5-9 - Detalhe das caixas de passagem de tubos	67
Ilustração 5-10 - Locação da cabine de exaustão de gás e redes (Fonte: Coesf).....	67
Ilustração 5-11 - Vista lateral do duto de disposição de gás na atmosfera (Fonte: Coesf)...	68
Ilustração 5-12 - Seção da estrutura ascendente na fachada para exaustão de gases (Fonte Coesf).	68
Ilustração 5-13 - Planta da cabine de exaustão de gases (Fonte: Coesf)	69
Ilustração 5-14 – Corte A-A transversal da cabine da ilustração anterior (Fonte: Coesf)....	69

Ilustração 6-1 - Escavação de trincheiras para instalação de drenos de gás. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo).....	73
Ilustração 6-2 - Instalação de tubos geomecânicos nas trincheiras drenantes. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)	74
Ilustração 6-3 - Detalhe de travessia de tubos e trincheiras nas vigas baldrame. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo).....	75
Ilustração 6-4 - Detalhe do preenchimento das trincheiras com pedra brita n.º 2. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)	76
Ilustração 6-5 - Vista da trincheira e do cruzamento de drenos interligados. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)	77
Ilustração 6-6 - Detalhe do cruzamento de tubos drenos e trincheiras. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)	78
Ilustração 6-7 - Detalhe do final do tubo dreno, antes de ser acoplado o tubo liso. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo).....	79
Ilustração 6-8 - Detalhe da finalização das trincheiras em pedra brita n.º 2. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)	80
Ilustração 6-9 - Vista geral das interferências. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)	81
Ilustração 6-10 - Trincheira aguardando a execução de camada drenante sob a laje de piso armada. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)	82
Ilustração 6-11 - Trincheiras drenantes. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)	83
Ilustração 6-12 - Detalhe de interferência dos drenos com o sistema de aterramento. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo).....	84
Ilustração 6-13 - Vista da execução de camada drenante sob a laje de piso armada. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo).....	84
Ilustração 6-14 - Detalhe do dreno ou trincheira (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)	85
Ilustração 6-15 - Detalhe da proteção do dreno sob a laje armada. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo).....	85
Ilustração 6-16 - Detalhe executivo de cruzamento de drenos (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo).....	86
Ilustração 6-17 - Caixa de passagem em alvenaria. (Foto: Guedes B. P.).....	87

Ilustração 7-1 - Esquema utilizado na medição de VOC na primeira tentativa. (Kurozawa; Castro; Guedes – 2006)	89
Ilustração 7-2 - Montagem final do sistema em “L” (Kurozawa; Castro; Guedes – 2006). 90	
Ilustração 7-3 - Gráfico de VOC medidos durante o teste piloto (Kurozawa; Castro; Guedes - 2006)	92
Ilustração 7-4 - Gráfico de O ₂ medidos durante o teste piloto (Kurozawa; Castro; Guedes - 2006).....	93
Ilustração 7-5 - Medição de velocidade de fluxo de gases (Kurozawa; Castro; Guedes - 2006).....	94
Ilustração 7-6 - Detalhe interno da montagem da caixa de passagem do sistema de exaustão (Kurozawa; Castro; Guedes - 2006)	94
Ilustração 7-7 - Bomba utilizada na extração de VOC do teste piloto (Kurozawa; Castro; Guedes - 2006)	95
Ilustração 7-8 - Curva do raio de influência x porosidade (usando a equação 1).....	97
Ilustração 8-1 - Gráfico com concentrações de VOC acumuladas, com tendência ascendente.....	101
Ilustração 8-2 - Modelo de extração utilizado no estudo de caso.....	102
Ilustração 8-3 - Modelo aprimorado, em implantação em outras edificações da USP Leste.	103

Lista de tabelas

Tabela 1 - Composição média do Biogás (Izolan; Alban; Cesari - 2006).....	18
Tabela 2 - Composição média de gases da atmosfera (www.geocities.com/Augusta/7135)	18
Tabela 3 - PCI para outros gases (Izolan; Alban; Cesari - 2006).....	19
Tabela 4 - Equivalentes energéticos do Biogás (Izolan; Alban; Cesari - 2006).....	19
Tabela 5 - Gases responsáveis pelo efeito estufa (www.geocities.com/Augusta/7135)	20
Tabela 6 – Serviços e quantidades relevantes no edifício (fonte: COESF).....	27
Tabela 7 - LIE e LSE de diversos gases (Munhoz-2006).....	35
Tabela 8 - Resultado da avaliação de gases no edifício I-1 (Galante; Hurtado; Klein 2005)	36
Tabela 9 - Resultado dos poços de investigação(Galante; Hurtado; Klein 2005).....	45
Tabela 10 - Resultado dos poços de monitoramento instalados (Galante; Hurtado; Klein 2005).....	46
Tabela 11 - Características das amostras de solo analisados em laboratório (Galante; Hurtado; Klein 2005).....	51
Tabela 12 - Resultado analítico para teste de extração de vapores VOC. (Kurozawa; Castro; Guedes – 2006).....	91
Tabela 13 – Resultado da pressão no sistema apresentado na Ilustração 7-1 (Kurozawa; Castro; Guedes – 2006)	92
Tabela 14- Determinação da influência dos drenos (usando a equação 1).....	96
Tabela 15 - Quadro comparativo entre outras soluções utilizadas na USP Leste	104

Lista de abreviaturas e siglas

AGVs	Ácidos Graxos Voláteis
ATSDR	Agency of Toxic Substances and Desesase Registry - USA
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CH ₄	Gás Metano
CO ₂	Gás Carbônico
COESF	Coordenadoria do Espaço Físico da Universidade de São Paulo
COV	Composto Orgânico Volatil
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
EACH	Escola de Artes Ciências e Humanidades da USP Leste
EPA	Environmental Protection Agency
H	Hora
H ₂ O	Água
IAS	In-situ Air Sparging
LEL	Lower Explotion Limit
LIE	Limite Inferior de Explosividade
LSE	Limite Superior de Explosividade
M	Minutos
MPE	Multiphase Extration
NBR	Norma Brasileira
NH ₃	Amônia
O ₂	Oxigênio
PCI	Poder calorífico Inferior
pH	Potencial Hidrogenóico
PPM	Partes Por Milhão
PVC	Poli cloreto de Vinila (plástico)
SVE	Soil Vapor Extration
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VOC	Volatile Organic Compound

Resumo

Proteger usuários e edifícios da ação de poluentes, pode à primeira vista parecer algo improvável ou inesperado, assim este trabalho ganhou fôlego para caminhar e mergulhar em conceitos desconhecido para o engenheiro de obras, documentando passo a passo a experiência de implantar drenos para gás metano, necessários no edifício didático e de convívio acadêmico I-1 da USP Leste.

Neste estudo de caso são apresentados tanto conceitos ambientais, legais, científicos, assim como, de projeto e implantação de drenos, com o objetivo de propor melhoras a partir de recomendações práticas, elevando o raciocínio crítico do leitor, para análise da opção de ventilação de subsolo adotada.

Abstract

To protect users and buildings from pollutants action, can seem at first sight something improbable or unexpected, thus this work gained breath to walk and dive in unknown concepts to the engineer of workmanships, registered step by step the experience to implant drains for gas methane, needed in the didactic building and academic conviviality I-1 of USP LESTE.

In this study of case, as many ambient, legal, scientific concepts are presented, as well as, of the project and implantation of drains, with the objective to consider improvements from practical recommendations raising the critical reasoning of the reader, for analysis of subsoil ventilation option adopted.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

Embora se observe a falta de referências bibliográficas específicas que enfoquem a problemática abordada neste trabalho, tanto para o fornecimento de diretrizes de projeto, quanto para a implantação de sistemas para drenagem de gás de subsolo, neste trabalho são apresentadas as experiências práticas, alcançadas ao longo da implantação de drenos de gás.

Em algumas situações de contaminação ambiental, o Engenheiro Civil gerente de obras, acaba tendo mais uma responsabilidade ao se tornar administrador da implantação de drenos de gás. Essa atividade é muitas vezes carente de assessoria técnica ou conhecimentos adquiridos em experiências anteriores.

Fatos como o descrito anteriormente, acabaram inspirando este trabalho, direcionado principalmente, para quem não está habituado ou nunca tratou de interferências ambientais como as relacionadas à proteção de edifícios por drenagem de gases de subsolo, procurando oferecer ao leitor um primeiro contato com o assunto, mesmo que apenas de forma teórica.

Lembra-se que as interferências ambientais, estão se tornando cada vez mais frequentes em nosso meio, motivadas pela falta de espaços para alojar novas obras, assim como, devido ao maior rigor da legislação ambiental e sua conseqüente responsabilidade com a sociedade, fruto de acordos internacionais que visam controle de emissões de poluentes.

1.2. Objetivo

O Trabalho tem por objetivo apresentar de forma prática e simplificada, recomendações para a implantação de drenos de gás metano em subsolo, para proteção de usuários e edificações.

Procurando maximizar seus resultados é apresentado um estudo de caso modelo, assim como, e as experiências conseguidas na implantação de drenos no edifício didático e de convívio acadêmico I-1 da USP Leste.

1.3. Metodologia

Inicialmente foi realizada uma extensa pesquisa bibliográfica, inclusive sobre assuntos correlatos para o embasamento da problemática apresentada, seguindo-se a elaboração de um também extenso fluxograma lógico de tópicos e conceitos relevantes, abordando desde as principais dúvidas conceituais, passando por levantamentos experimentais de campo, resultando na execução do projeto e **na prática da sua implantação**, nascendo desta forma uma proposta de sumário para este trabalho.

Finalmente, os conceitos relevantes apontados no sumário, foram desenvolvidos por meio de entrevistas junto aos profissionais qualificados, envolvidos no processo da implantação de drenos e as conclusões confrontadas com os dados teóricos alcançados em pesquisas bibliográficas.

Os resultados finais e conclusões apresentadas; decorrem também da experiência adquirida durante a implantação destes drenos na obra modelo.

1.4. Estrutura do trabalho

O presente trabalho está estruturado em oito capítulos: o primeiro, destinado a justificar o trabalho, apresentando os objetivos, assim como, à metodologia utilizada na sua elaboração. No segundo capítulo, são apresentados os conceitos básicos envolvidos nos processos, habitualmente desconhecidos do Engenheiro de obras a quem se destina este trabalho. No terceiro capítulo é apresentado o estudo de caso propriamente dito, sua localização e demais características. No quarto capítulo é abordada a investigação ambiental propriamente dita, seus procedimentos e apresentação dos resultados de campo, incluindo breves discussões para esclarecer características como às relativas ao conceito de explosividade. No quinto capítulo, são apresentados os projetos dos sistemas de drenagem utilizados na área em estudo, assim como outros conceitos utilizados no Brasil. São também abordadas neste capítulo, as diretrizes de projeto, aspecto que inspirou o trabalho. No sexto capítulo são apresentadas as facetas executivas no canteiro de obras, mostrando como foram implantados os drenos, seus componentes e as dificuldades encontradas. No sétimo capítulo, numa fase de pós obra, é apresentado para o leitor o conceito de teste piloto, como foi realizado e as conclusões que definiram o modelo final adotado. E, finalmente no oitavo capítulo são apresentadas recomendações para a administração com sucesso, da implantação de sistemas de drenos de gás, pelo engenheiro de obras.

2. CONCEITOS BÁSICOS

2.1. Biogás

2.1.1. Definição

O biogás ou “gás dos pântanos” é um composto orgânico formado em quase sua totalidade pelo gás metano (CH_4) e gás carbônico ou dióxido de carbono (CO_2). Foi descoberto em 1667 por Shirley, mas apenas teve confirmada a composição do gás metano em 1776. Ambos os gases são responsáveis pelo efeito estufa, como discutido no item 2.1.5.

O gás metano é considerado um gás asfixiante simples de baixa toxicidade. (MUNHOZ - 2006).

O gás metano é incolor, não tem cheiro ou sabor, é mais leve que o ar, possui densidade em torno de 0,6430 g/l. A densidade do ar está entre 1,1614 g/l à temperatura de 300K e pressão atmosférica. O mau cheiro normalmente associado ao gás metano, esta relacionado à presença de outros compostos, originários da decomposição de matéria orgânica, assim como o gás sulfídrico (H_2S), amônia (NH_3) e outros.

2.1.2. Mecanismos de formação

O processo de decomposição da matéria orgânica e formação do biogás, assim como de alguns Compostos Orgânicos Voláteis (COV), se dá basicamente, e simplifadamente, a partir de material orgânico soterrado e confinado em bolsões. Ao sofrer diminuição na quantidade de oxigênio, inicia sua decomposição por predomínio de microrganismos anaeróbios num processo denominado hidrólise ou liquefação. As bactérias então iniciam uma fase lenta e demorada, onde predominaram processos bioquímicos, obtendo-se energia pela transformação de consideráveis quantidades de compostos orgânicos antes hidrolisados.

A matéria orgânica, constituída principalmente de ácidos graxos, ao se misturar com líquidos percolados do lençol freático ou com origem nas chuvas, acaba dissolvendo o material inorgânico, provocando a liberação de

gases como o gás sulfídrico (H_2S), amônia (NH_3) e outros. Ocorre o consumo de oxigênio (O_2) devido à alta demanda biológica de oxigênio (DBO), biodegradando-se a seguir com o auxílio de bactérias estritamente anaeróbias (metanogênicas), dando origem ao metano (CH_4) e ao gás carbônico (CO_2) conhecidos como biogás.

Segundo a EPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos), todos os Compostos Orgânicos Voláteis (Volatile Organic Compound) são denominados pela sigla VOC.

Na ilustração Ilustração 2-1 é mostrado o mecanismo de decomposição descrito anteriormente.

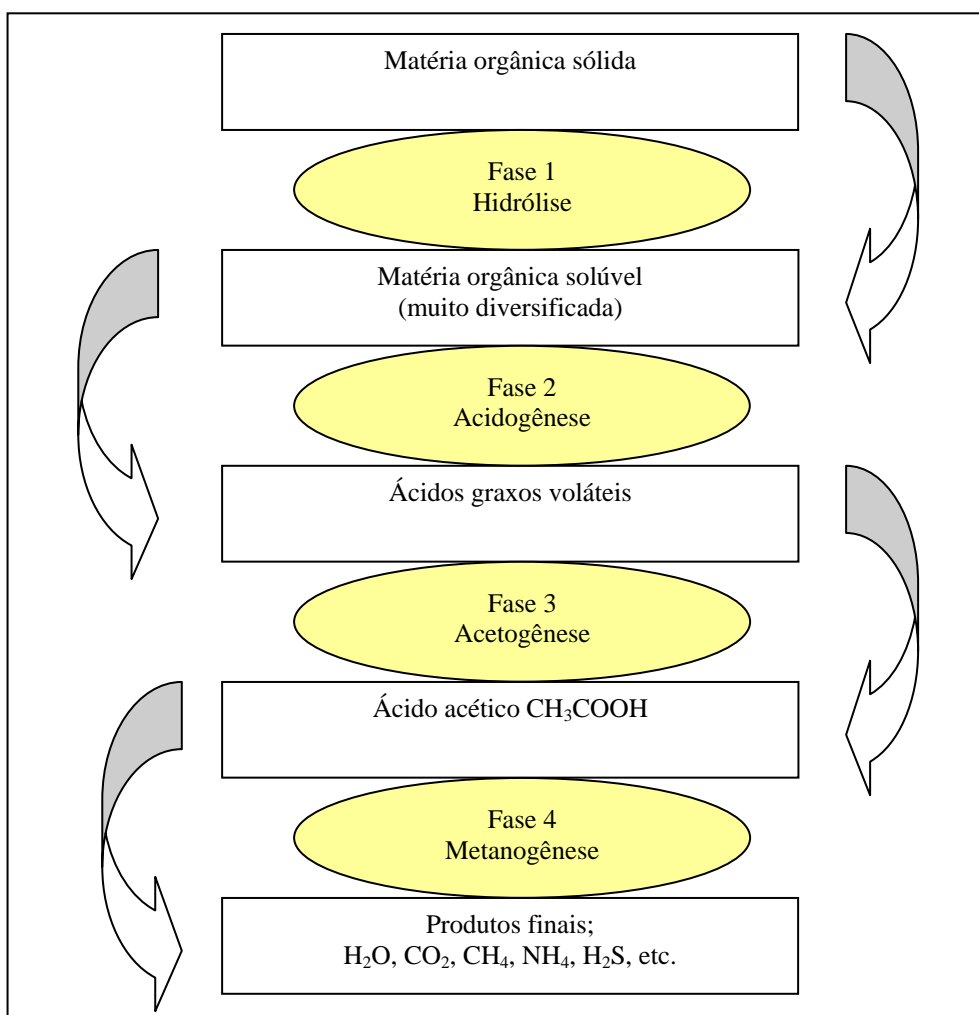


Ilustração 2-1 - Fluxo do processo de decomposição anaeróbia (Castilhos - 2003)

FARQUHAR; ROVER apud CASTILHOS – (2003), experimentalmente, apresentaram dados empíricos em aterros experimentais onde sugerem idades de duração para as fases da decomposição apresentados na Ilustração 2-2 e Ilustração 2-3, que podem auxiliar a entender este fenômeno. Desta forma, a fase (I) teria uma duração muito curta, em torno de semanas, a fase (II) uma duração de 6 meses, a fase (III) de 3 meses a 3 anos, a fase (IV) de 8 a 40 anos e uma última fase que consta da Ilustração 2-3, batizada como fase (V) que pode variar de 1 a 80 anos. Esta última fase é composta pela estabilidade biológica, advinda do final do consumo de toda a matéria orgânica, caracterizada pela diminuição considerável da produção de gases. (CARVALHO, 1999).

Os tempos de duração das fases acima descrita são afetados diretamente pelas seguintes características; distribuição dos compostos orgânicos; disponibilidade de nutrientes; grau de compactação e umidade; implicando, segundo COELHO, (2005), menores produções de gás em solos com maiores densidades, assim como em solos com menor umidade.

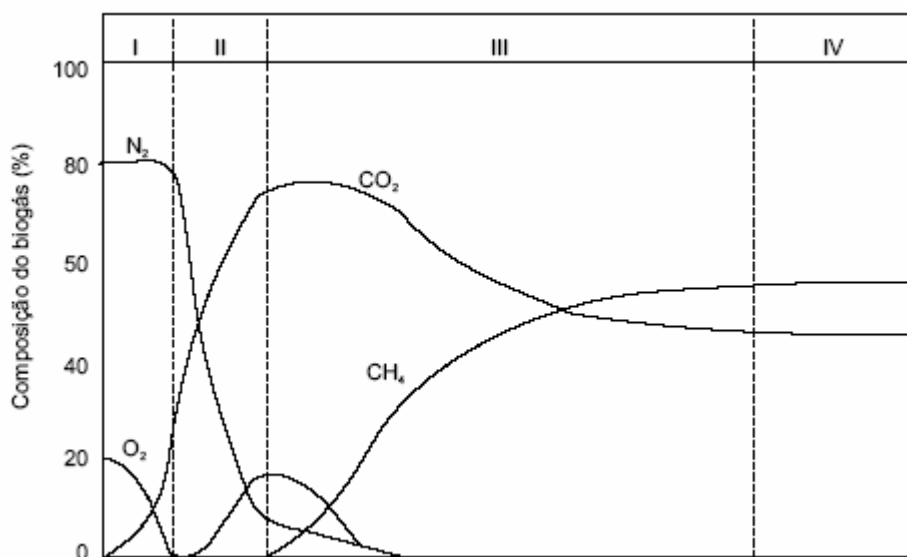


Ilustração 2-2 - Modelo de produção de Biogás (Farquhar; Rover apud Castilhos - 2003)

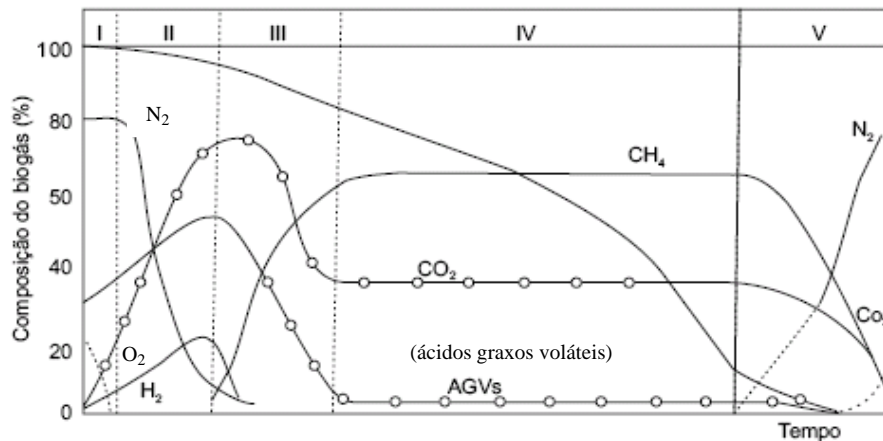


Ilustração 2-3 – Modelo de produção de VOC em aterros (Pohland; Harper apud Castilhos - 2003)

2.1.3. Dinâmica

Em relação ao caminho preferencial do gás metano, os pesquisadores ainda não chegaram a uma conclusão consensual. Desta forma, segundo relatório da ATSDR (Agency of Toxic Substances and Desesase Registry) é considerado como sendo seu fluxo preferencial o sentido horizontal sobre o vertical.

Os pesquisadores LANG et. al. (1989) consideram que o fluxo predominante seja o vertical, pois o sentido horizontal oferece uma maior resistência, devido ao fluxo do gás ser ascendente, propiciando sua difusão.

De observações visuais realizadas em campo, na USP Leste, e da experiência do autor deste trabalho, verifica-se o comportamento sugerido por LANG et. al. (1989), uma vez que em dias de chuva, as depressões do terreno ao ficarem saturadas, permitem a fácil observação da formação de bolhas similares a um “comprimido efervescente”. O comportamento observado tem interpretação restrita pois não foi repedido em laboratório.

2.1.4. Características energéticas

O Biogás é composto por diversos gases, entre os quais, predominam o gás metano e o gás carbônico. É apresentada na Tabela 1 abaixo, a composição média de gases.

Componentes	Participação (%)
Metano (CH ₄)	50 a 75 %
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25 a 40 %
Hidrogênio (H ₂)	1 a 3 %
Azoto (N ₂)	0.5 a 2.5 %
Oxigênio (O ₂)	0.1 a 1 %
Sulfureto de Hidrogênio (H ₂ S)	0.1 a 0.5 %
Amoníaco (NH ₃)	0.1 a 0.5 %
Monóxido de Carbono (CO)	0 a 0.1 %
Água (H ₂ O)	variável

Tabela 1 - Composição média do Biogás (Izolan; Alban; Cesari - 2006).

Gases da atmosfera	Volume (%)
Nitrogênio	78.1%
Oxigênio	21%
Vapor de água	Varia de 0 - 4%
Argônio	0.93%
Dióxido de Carbono	Por volta de 0.3%
Néon	Abaixo dos 0.002%
Hélio	0.0005%
Metano	0.0002%

Tabela 2 - Composição média de gases da atmosfera (www.geocities.com/Augusta/7135)

Devido à presença de gás metano, o Biogás é um gás combustível com poder calorífico inferior (PCI) cerca de 6.000 Kcal / m³, quando a proporção de gás metano é de 60%.

O Metano é um gás leve e de baixa densidade, sendo mais leve do que o ar, contrariamente ao butano e ao propano que são outros gases combustíveis conhecidos, ele suscita menores riscos de explosão, quando livre, na medida em que a sua acumulação se torna mais difícil. A sua baixa densidade implica, em contrapartida, na ocupação de um volume significativo e na dificuldade de sua liquefação, o que lhe confere algumas desvantagens em termos de transporte e utilização.

Contrariamente ao que se pensa, o gás metano, tem sua acumulação facilitada quando dissolvido no solo, isto pela presença de elementos de fundação e lajes de piso, podendo chegar a concentrações explosivas.

O biogás, em condições normais de formação, devido ao seu baixo teor de monóxido de carbono (inferior a 0.1 %), não é tóxico, mas asfixiante, contrariamente, por exemplo, a outros gases, cujo elevado teor de monóxido de carbono, pode tornar-se mortal. Por outro lado, devido às impurezas que contém, o biometano é muito corrosivo. (Izolan; Alban; Cesari - 2006.).

É apresentada na Tabela 3 a seguir, o Poder Calorífico Inferior (PCI), de vários gases combustíveis e na Tabela 4 na página 19, suas equivalências energéticas.

Gás	P.C.I. (Kcal/m3)
Metano	8.500
Propano	22.000
Butano	28.000
Biogás	6.000

Tabela 3 - PCI para outros gases (Izolan; Alban; Cesari - 2006).

1 m3 de Biogás = 6000 Kcal - é equivalente a:
0,7 m3 de Metano
0,8 L de Gasolina
1,3 L de Álcool
2 kg de Carboneto de Cálcio
0,7 L de Gasóleo
7 kW h de Eletricidade
2,7 kg de Madeira
1,4 kg de Carvão de Madeira
0,2 m3 de Butano
0,3 m3 de Propano

Tabela 4 - Equivalentes energéticos do Biogás (Izolan; Alban; Cesari - 2006).

2.1.5. Poluentes

O gás metano é considerado um dos principais poluentes responsáveis pelo efeito estufa, fenômeno responsável pelo aquecimento gradual do planeta, assim como o dióxido de carbono. Conforme mostrado na Tabela 5 a seguir.

Gases de Efeito Estufa	Participação (%)
Dióxido de Carbono	49%
Metano	18%
CFC's	14%
Óxido Nitroso	6%
Outros Gases	13%

Tabela 5 - Gases responsáveis pelo efeito estufa (www.geocities.com/Augusta/7135)

Segundo o boletim da Escola Nacional de Serviços Urbanos do IBAM e Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental PMSS, 1 grama de metano, contribui 21 vezes mais para a formação do efeito estufa do que 1 grama de dióxido de carbono. Desta forma o metano coletado deve, a rigor, ser queimado desde que sua concentração o permita.

O Efeito Estufa é basicamente provocado pela ação do dióxido de carbono e outros gases, sobre os raios infravermelhos refletidos pela superfície da terra, reenviando-os para ela, mantendo assim uma temperatura estável no planeta. O mecanismo do efeito estufa funciona da seguinte forma; ao irradiarem a Terra, parte dos raios luminosos oriundos do Sol é absorvida e transformados em calor, outra parte é refletida para o espaço, mas só uma parcela desta chega a deixar a Terra, em consequência da ação refletora dos chamados "Gases de Efeito Estufa", Tabela 5 na página 20, o restante é reenviada para a superfície terrestre na forma de raios infravermelhos, conforme apresentado na Ilustração 2-4 .

Visando à redução de poluentes e a minimização do efeito estufa, em 1997 dentro da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudanças do clima, foi assinado o Protocolo de Kyoto, que trata sobre os créditos de carbono e incentivos para o crescimento sustentável.

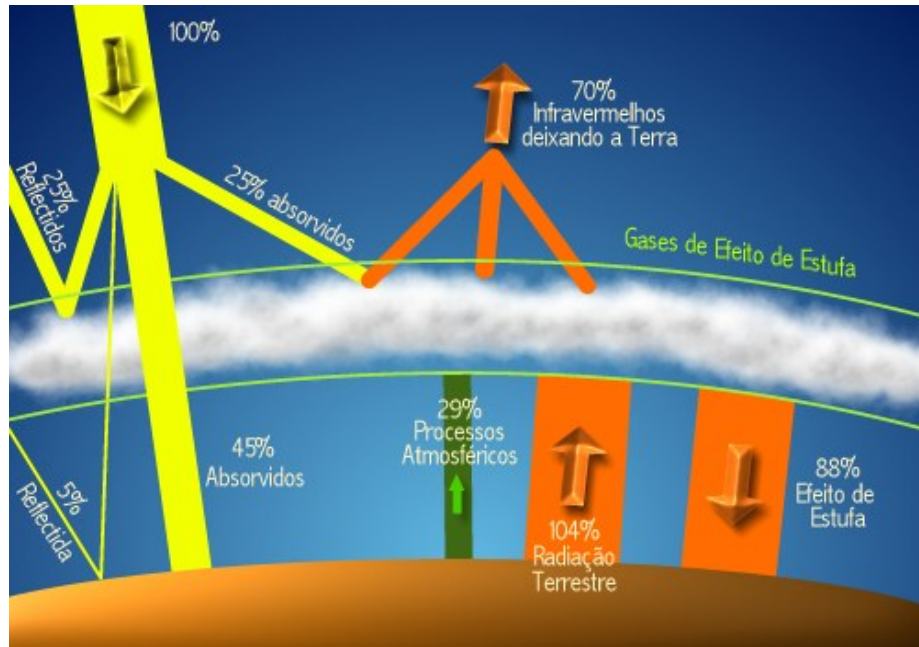


Ilustração 2-4 - Mecânica do efeito estufa (www.geocities.com/Augusta/7135)

3. ESTUDO DE CASO

3.1. Terreno

3.1.1. Histórico

Com a retificação da calha do rio Tietê, ocorrido em meados da década de 1960, Ilustração 3-1 e Ilustração 3-2, os meandros do rio localizados na sua várzea, deixaram de fazer parte de seu fluxo normal, transformando-se em lagoas abastecidas pelo próprio rio, assim como em áreas alagáveis, onde eram dissipadas as vazões de enchente nas altas do nível do rio.

Estas lagoas sofreram assoreamento natural, assim como também aterro artificial por parte da sociedade paulista, incentivada por interesses comerciais de exploração imobiliária e até por interesse público; aterro com resíduos da dragagem do rio Tietê, e bota fora na construção da Rodovia Ayrton Senna, antiga Rodovia dos Trabalhadores e Carvalho Pinto.

O material depositado confinou o material originário do fundo da várzea do rio, formando grandes bolsões enriquecendo com material os processos naturais de decomposição dos compostos orgânicos e inorgânicos.



Ilustração 3-1 - Foto em 1962 (rio em azul, USP Leste em vermelho). (Galante; Hurtado; Klein 2005)



Ilustração 3-2 - Foto em 2001 (rio em azul, USP Leste em vermelho) (Galante; Hurtado; Klein 2005)

3.1.2. Geologia

A área da USP Leste insere-se, no contexto geológico da Bacia de São Paulo, e as litografias encontradas pertencem aos depósitos aluviais quaternários, associados ao rio Tietê. Constituídos por sedimentos com aproximadamente 100 m de espessura, sobrepostos sobre um cristalino em granito cinza (VARNIER; HIRATA, 2002).

Verificou-se nessa área grande heterogeneidade das características hidráulicas dos sedimentos. Nas sondagens são comuns camadas de aterro com escombros de construção e grandes quantidades de plástico, borracha, etc., com provável origem na dragagem do rio Tietê.

As sondagens realizadas e apresentadas no item 4.2, mostraram para uma profundidade de 0,2 m a 4,0 m, os seguintes perfis litográficos; argila, areia argilosa, argila arenosa e areia média e grossa. Enfim, um perfil totalmente heterogêneo de difícil previsibilidade.

3.1.3. Dados ambientais

Em função da necessidade da implantação do edifício didático e de convívio acadêmico I-1, foram então realizadas as investigações ambientais seguintes e que serão tratadas e desenvolvidas no capítulo 4 ;

Monitoramento do índice de explosividade ¹

Mapeamento de gases

Levantamento geofísico da área ²

Sondagens de reconhecimento e instalação de poços de monitoramento

Coleta de amostras de solo e ensaio para determinação do coeficiente de condutividade hidráulica.

3.2. Edificação

3.2.1. Localização

O edifício I-1 encontra-se localizado na USP Leste, abrigando a unidade EACH (Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo), Rua Arlindo Bettio, 1000, Ermelindo Matarazzo, SP, próximo ao quilômetro 17 da Rodovia Ayrton Senna, área localizada dentro do Parque Ecológico do Tietê. Inicialmente denominada USP Leste, em função da integração pretendida pelo Governo do Estado de São Paulo e pela Universidade de São Paulo, na Zona Leste da Capital conforme é mostrado na Ilustração 3-3.

¹ Não abordados neste trabalho uma vez que não foram realizados no edifício do estudo de caso apresentado.

² Não aprofundado em função de não ser escopo deste trabalho.

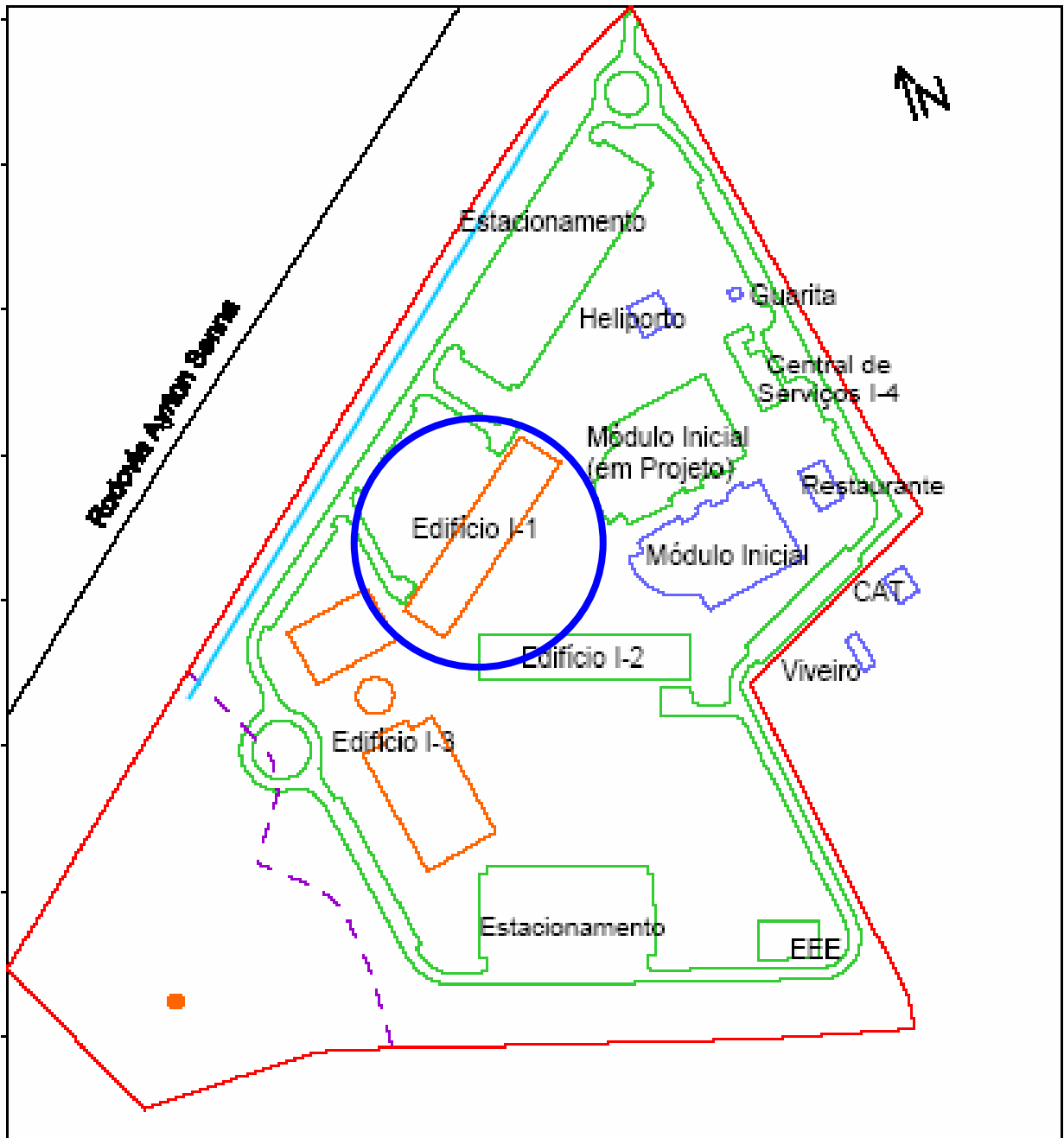


Ilustração 3-3 – USP Leste, em azul a localização do edifício I-1.

3.2.2. Utilização

A edificação comporta as áreas de convívio acadêmico da unidade EACH (Escola de Artes, Ciências e Humanidades da USP Leste), distribuindo ao longo dos 18.135,35 m², salas de aula, sanitários, áreas de vivências, restaurante, salas de professores, laboratórios diversos, áreas de manutenção e auditórios.

3.2.3. Dados técnicos da edificação

O edifício foi implantado numa área de 5.000,00 m² de projeção, ao longo de 4 pavimentos. Para melhor entendimento da magnitude da edificação executada, é apresentada lista dos principais serviços executados na Tabela 6 na página 27 e algumas fotos da obra na Ilustração 3-4, Ilustração 3-5, Ilustração 3-6 e Ilustração 3-7.

Principais Serviços	Quantidades
Estacas pré-moldadas de concreto de (10 a 70 toneladas)	10.697 m
Volume de concreto estrutural	2.896 m ³
Armação	143.353 kg
Estrutura metálica da Edificação com 4 pavimentos em aço anti-corrosivo	1.015 ton
Laje sistema Steel Deck	14.435 m ²
Conectores Stud Bolt	23.249 un
Cobertura com telha termo acústica galvanizada zipada	5.121 m ²
Fechamento lateral e forro em placa cimentícia	4.957 m ²
Painéis pré-moldados para fechamento das fachadas	2.716 m ²
Esquadrias tipo pele de vidro com pintura eletrostática e vidro laminado	2.026 m ²
Revestimento em Chapa de ACM	3.017 m ²
Piso Vinílico em placas	8.202 m ²
Piso em porcelanato	5.673 m ²
Forro de Gesso Acartonado removível	9.813 m ²
Forro acústico removível	4.938 m ²

Tabela 6 – Serviços e quantidades relevantes no edifício (fonte: COESF)



Ilustração 3-4 - Vista aérea da USP Leste (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)



Ilustração 3-5 - Vista do edifício I-1 (fachada lateral e posterior) (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)



Ilustração 3-6 - Montagem de estrutura metálica. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)



Ilustração 3-7 - Cura de lajes tipo Steel Deck. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)

4. INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL

A investigação ambiental no edifício I-1 foi realizada a partir do levantamento do histórico local, do monitoramento do índice de explosividade, do mapeamento de gases no solo, dos levantamentos geofísicos da área, das sondagens e instalação de poços de monitoramento, das coletas de amostras de solo, das coletas de amostras de água subterrânea, do ensaio e determinação do coeficiente de condutividade hidráulica e do levantamento topográfico.

Segundo o anexo IV da decisão da diretoria 010/2006 (CETESB), adotados como referência nesta investigação ambiental, as ações legais necessárias para a identificação de passivos ambientais em estabelecimentos com sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC), seriam as seguintes;

Comunicação à CETESB. ³

Coleta de dados básicos da área.

Reconhecimento da área para um trabalho seguro. ⁴

Locação dos pontos de sondagem e determinação do número de amostras a serem coletadas.

Coleta de amostras e realização de análises químicas.

Emissão de relatório. ⁵

4.1. Investigação de gases no solo (Soil Gas Survey)

A avaliação original foi realizada num total de 954 pontos distribuídos ao longo das edificações da unidade EACH. Como este trabalho tem foco apenas no edifício I-1, os resultados apresentados foram separados, levando-se em conta esta restrição.

³ Não abordado em função de não ser escopo deste trabalho.

⁴ Não abordado em função de não ser escopo deste trabalho.

⁵ Não abordado em função de não ser escopo deste trabalho.

No edifício I-1 foram avaliados 113 pontos no período de 6/5/2005 a 5/6/2005. Foi utilizado um amostrador de aço carbono com 10 mm de espessura, provido de 16 aberturas cilíndricas laterais com 3 mm cada, distribuídos a partir de 0,6 m. As aberturas no solo para colocação do amostrador foram até 1,0 m de profundidade, distribuídos em malhas 10 x 10 metros e cravações com martelete elétrico.

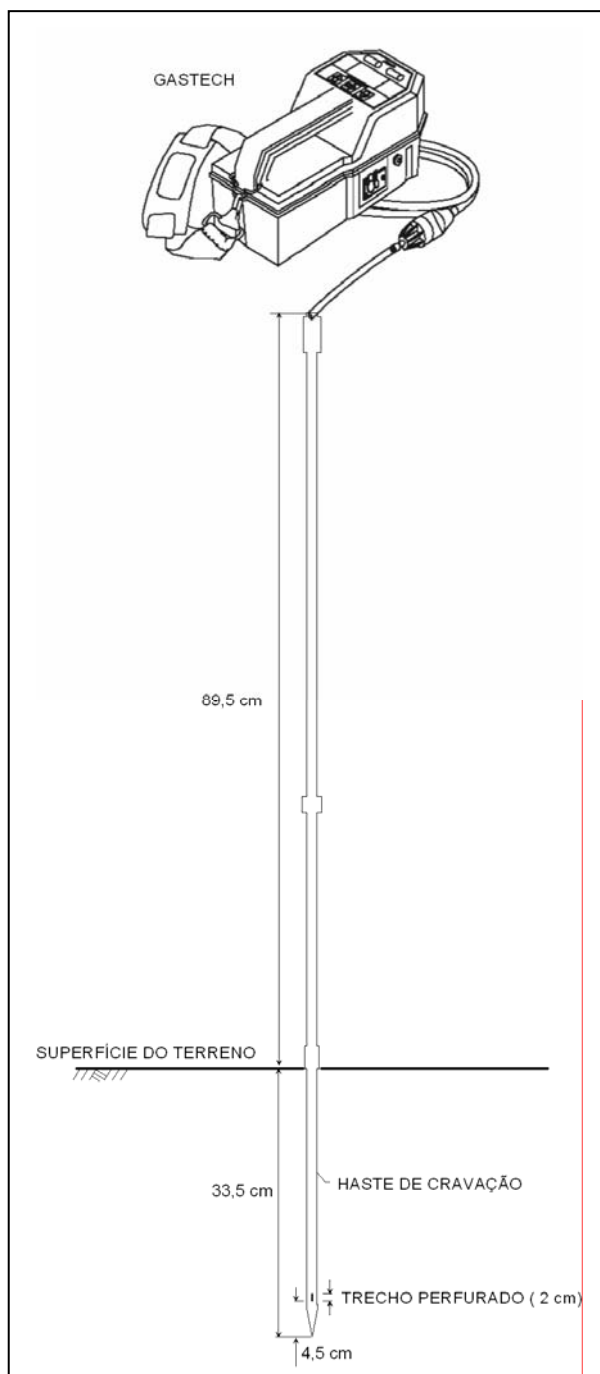


Ilustração 4-1 - Esquema de utilização de amostrador acoplado a explosímetro (www.clean.com.br).

4.1.1. Procedimento

Para a leitura dos VOC's foi utilizado um medidor explosímetro tipo GASTECH marca INNOVA provido de certificado de calibração.

Foram realizadas medições de VOC's a 0,5 m e a 1,0 m de profundidade sempre incluindo o gás metano. Nos casos onde foi ultrapassado o limite de detecção do equipamento (10.000 ppm), foi realizada nova perfuração e nova medição com a exclusão do gás metano.

A inclusão ou exclusão do gás metano esta relacionada à sensibilidade do explosímetro, podendo ser separada esta leitura, para verificar a existência de outros gases.

A leitura do explosímetro de gás metano, apresenta valores percentuais em relação ao valor crítico de explosão do mesmo que inicia em 5%, ou seja, equivale a 100% de LEL (Lower Explosion Limit). Num exemplo, uma leitura de 50% de LEL, significaria que a concentração de gás se encontra na metade do caminho para chegar a uma concentração explosiva, no caso 2,5%.

4.1.2. Locação de perfurações

A locação dos pontos de avaliação é apresentada na Ilustração 4-4 (circulo azul), em malhas de 10 m x 10 m.



Ilustração 4-2 - Medição de gases (Soil Gas Survey) (Foto: Guedes B. P)



Ilustração 4-3 - Perfuração para medição de gases (Foto: Guedes B. P)

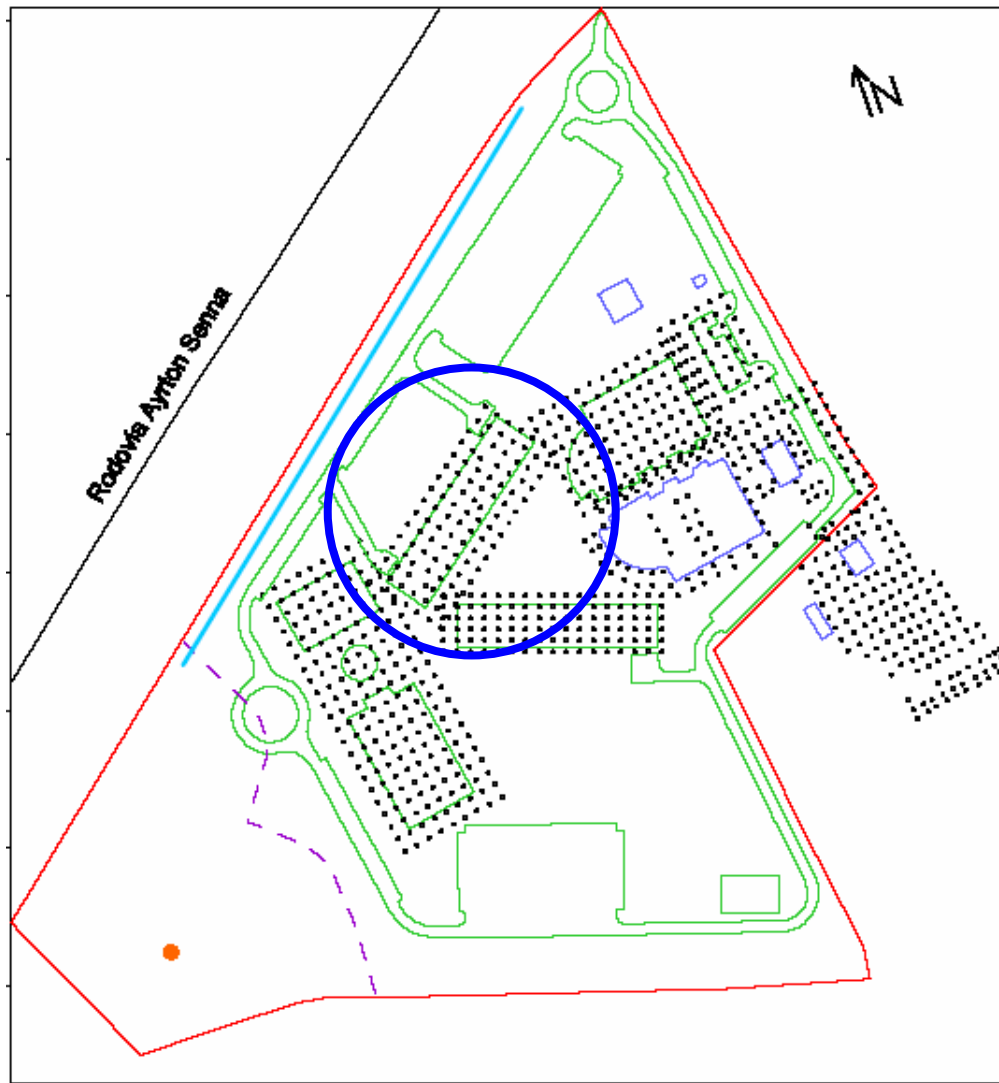


Ilustração 4-4 - Locação dos pontos de avaliação de VOC

4.1.3. Explosividade

É uma propriedade que parametriza um gás, que em determinada concentração, tende a se inflamar continuamente e rapidamente, consumindo seu potencial energético (combustível), na presença de oxigênio com a participação de uma fonte de ignição (MUNHOZ-2006).

Na Tabela 7 página 35, é apresentada uma lista de gases e seus limites inferior e superior de explosividade.

4.1.3.1. Limite Inferior de Explosividade ou Lower Explosive Limit (LIE ou LEL)

É a quantidade de concentração mínima de um gás, em mistura com o ar ambiente, para permitir uma explosão a partir da ação de uma fonte de ignição qualquer.

Se uma concentração estiver abaixo do LIE não haverá explosão mesmo que na presença de uma fonte de ignição.

A leitura deste limite muitas vezes é expressa pela legenda LEL (Lower Explosive Limit), medindo em percentual a leitura efetiva em relação ao valor do limite de explosividade do gás de referência, ou seja, uma leitura de 50% significa que estamos na metade do caminho para alcançar uma concentração explosiva.

4.1.3.2. Limite Superior de Explosividade (LSE)

É a quantidade de concentração acima da qual um gás não pode sofrer mais queima por excesso de combustível e falta de oxigênio mesmo na presença de uma fonte de ignição.

Gás / Vapor	L.I.E (%)	L.S.E. (%)
Octano	0,8	6,5
Metano	5,0	15,0
Hidrogênio	4,0	75,6
Propano	2,1	9,5
Toluol	1,2	7,0
Acetileno	2,4	83,0
Álcool Etilico (Etanol)	3,5	15,0
Etileno	2,7	34,0

Tabela 7 - LIE e LSE de diversos gases⁶ (Munhoz-2006)

⁶ Para conversão de concentrações expressas em valores percentuais (%) para valores expressos em partes por milhão (ppm), usar o seguinte critério; uma concentração de 1 ppm de gás metano significa que em cada 1 m³ de ar atmosférico, existe 1 ml de gás metano, ou seja, sua concentração equivalente será de 0,0001%.

4.1.4. Dados de campo

4.1.4.1. Dados do monitoramento de gases em ppm

Ponto	VOC com metano		VOC sem metano		Ponto	VOC com metano		VOC sem metano	
	0,5 m	1,0 m	0,5 m	1,0 m		0,5 m	1,0 m	0,5 m	1,0 m
1	264	726	-	-	58	0	0	-	-
2	0	0	-	-	59	0	0	-	-
3	132	66	-	-	60	0	264	-	-
4	264	1188	-	-	61	66	15180	-	-
5	7920	8118	-	-	62	858	12078	-	-
6	33000	33000	0	0	63	396	594	-	-
7	594	1980	-	-	64	264	924	-	-
8	0	66	-	-	65	198	198	-	-
9	0	0	-	-	66	528	396	-	-
10	25476	20196	-	-	67	33000	33000	198	264
11	2772	5478	-	-	68	11154	33000	396	330
12	462	10362	-	-	69	264	792	-	-
13	264	1188	-	-	70	0	330	-	-
14	2310	33000	0	0	71	858	5940	-	-
15	11286	7062	-	-	72	2244	1650	-	-
16	33000	33000	0	0	73	1056	6534	-	-
17	13992	33000	0	0	74	3762	14718	-	-
18	33000	33000	0	0	75	396	3894	-	-
19	33000	33000	0	0	76	462	3168	-	-
20	33000	33000	0	0	77	528	3960	-	-
21	2838	7062	-	-	78	528	528	-	-
22	6600	9636	-	-	79	0	990	-	-
23	7194	15642	-	-	80	0	0	-	-
24	66	594	-	-	81	0	0	-	-
25	0	4488	-	-	82	0	0	-	-
26	3828	15312	-	-	83	0	0	-	-
27	1254	15312	-	-	84	0	198	-	-
28	1848	33000	0	0	85	0	0	-	-
29	2904	3366	-	-	86	0	792	-	-
30	0	2772	-	-	87	132	462	-	-
31	330	462	-	-	88	330	1650	-	-
32	462	2244	-	-	89	10164	4224	-	-
33	*	*	-	-	90	0	594	-	-
34	15114	33000	0	0	91	0	0	-	-
35	3366	9438	-	-	92	0	2442	-	-
36	1980	5082	-	-	93	132	660	-	-
37	0	*	-	-	94	528	594	-	-
38	4158	*	-	-	95	-	-	-	-
39	1518	792	-	-	96	-	-	-	-
40	1122	11550	-	-	97	-	-	-	-
41	594	3762	-	-	98	0	2442	-	-
42	495	29040	-	-	99	66	594	-	-
43	33000	33000	-	-	100	11352	33000	0	132
44	462	25212	-	-	101	15840	33000	0	0
45	1650	15444	-	-	102	726	33000	0	0
46	6138	33000	0	66	103	3960	33000	66	132
47	1914	33000	0	66	104	528	6798	-	-
48	21120	19206	-	-	105	2244	1122	-	-
49	990	6204	-	-	106	528	3138	-	-
50	13464	25080	-	-	107	-	-	-	-
51	25212	33000	0	66	108	0	8580	-	-
52	33000	33000	0	66	109	0	*	-	-
53	726	5544	-	-	110	0	0	-	-
54	0	3102	-	-	111	0	0	-	-
55	0	3102	-	-	112	0	320	-	-
56	33000	33000	1254	594	113	132	33000	0	0
57	66	198	-	-					

* Pontos impenetráveis ou acesso obstruído. ** os dados apresentados foram convertidos para ppm (base metano) pelo fator 3,3

Tabela 8 - Resultado da avaliação de gases no edifício I-1 (Galante; Hurtado; Klein 2005)

4.1.4.2. Resultados do monitoramento de gases incluindo o gás metano

Na Ilustração 4-5 é apresentada uma interpretação gráfica, elaborada a partir dos dados obtidos na investigação de gases a 0,5 m de profundidade, onde as concentrações de VOC, incluindo metano, são apresentadas em escala de cores, conforme legenda no canto inferior direito da figura. Do gráfico observamos a existência de uma região discreta com concentrações de 33.000 ppm (equivalente a 66% de LEL), entre os pontos 18 e 19, sinalizados pela escala na cor rosa.

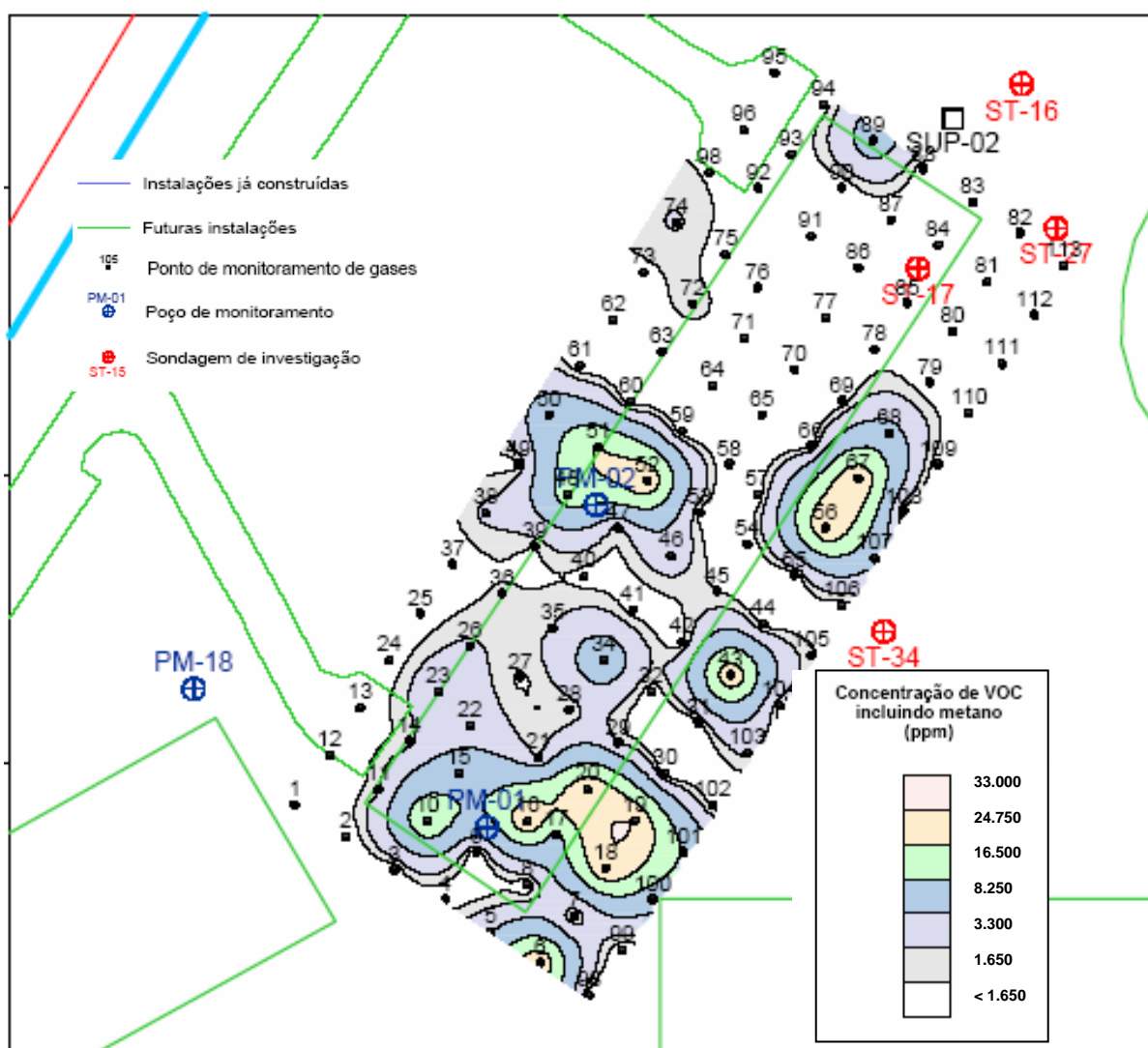


Ilustração 4-5 - Resultado da investigação de gases a 0,5 m incluindo o metano (Galante; Hurtado; Klein - 2005).

Na Ilustração 4-6 é apresentada uma interpretação gráfica, elaborada a partir dos dados obtidos na investigação de gases a 1,0 m de profundidade, onde as concentrações de VOC, incluindo metano, são apresentadas em escala de cores, conforme legenda no canto inferior direito da figura. Do gráfico observamos a existência de uma região extensa com concentrações de 33.000 ppm, entre os pontos 17, 18, 100, 101, 19 e 20, sinalizados pela escala na cor rosa. Portanto fica comprovado que as concentrações estão muito próximas de serem explosivas, pois uma leitura de concentração explosiva seria da ordem de 50.000 ppm.

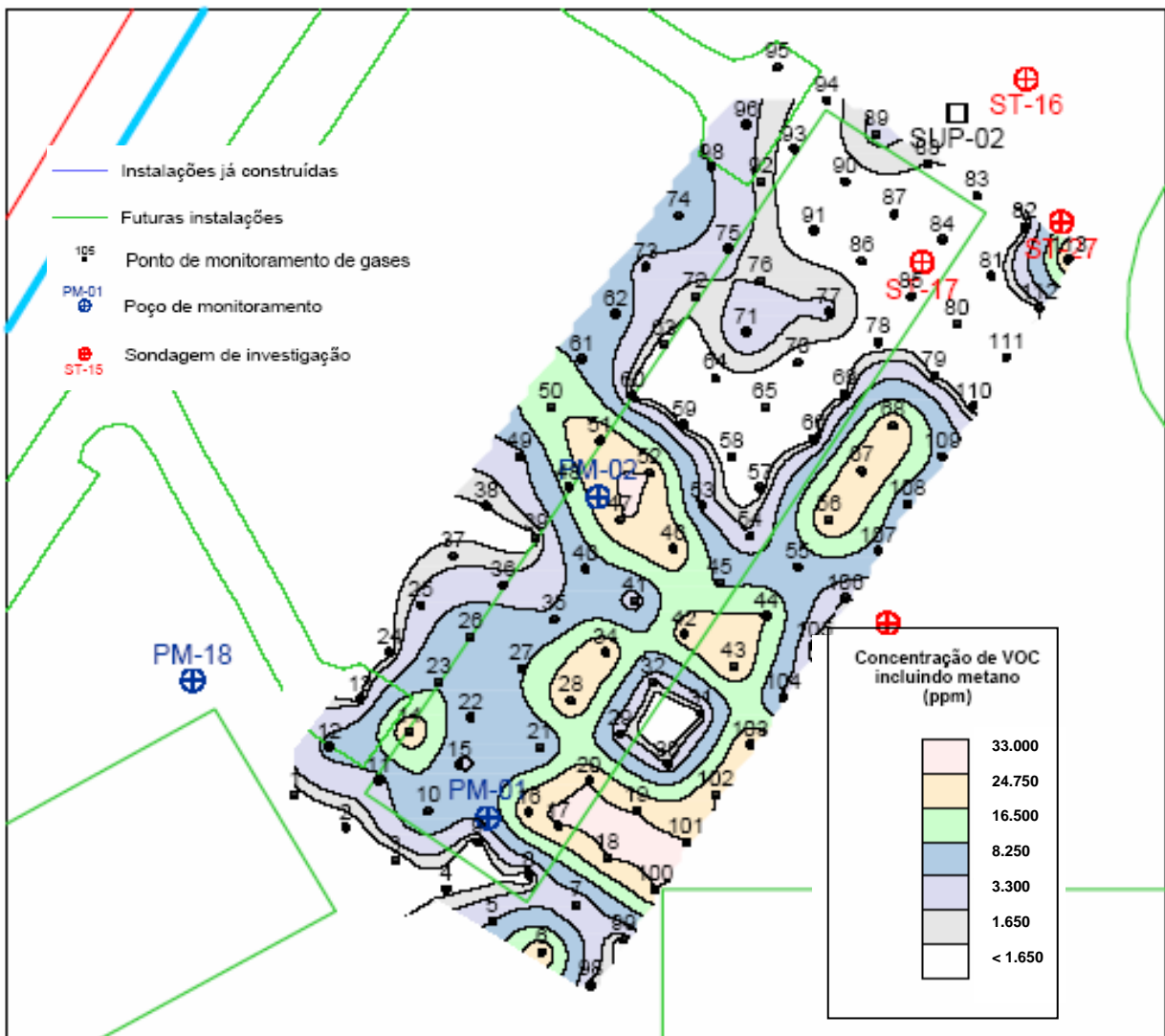


Ilustração 4-6 - Resultado da investigação de gases a 1,0 m incluindo o metano (Galante; Hurtado; Klein - 2005).

4.1.4.3. Resultados do monitoramento de gases excluindo o metano

Na Ilustração 4-7 é apresentada uma interpretação gráfica, elaborada a partir dos dados obtidos na investigação de gases a 0,5 m de profundidade, onde as concentrações de VOC, excluindo metano, são apresentadas na escala de cor lilás, conforme legenda no canto inferior direito da figura.

Do gráfico observamos a existência de três pontos com concentrações diferentes de zero, entre os quais, um ponto externo à edificação com 340 ppm, sinalizada pela cor lilás. Leituras positivas de VOC comprovam a existência de outros gases ou vapores, que devem ser investigados por merecer atenção.

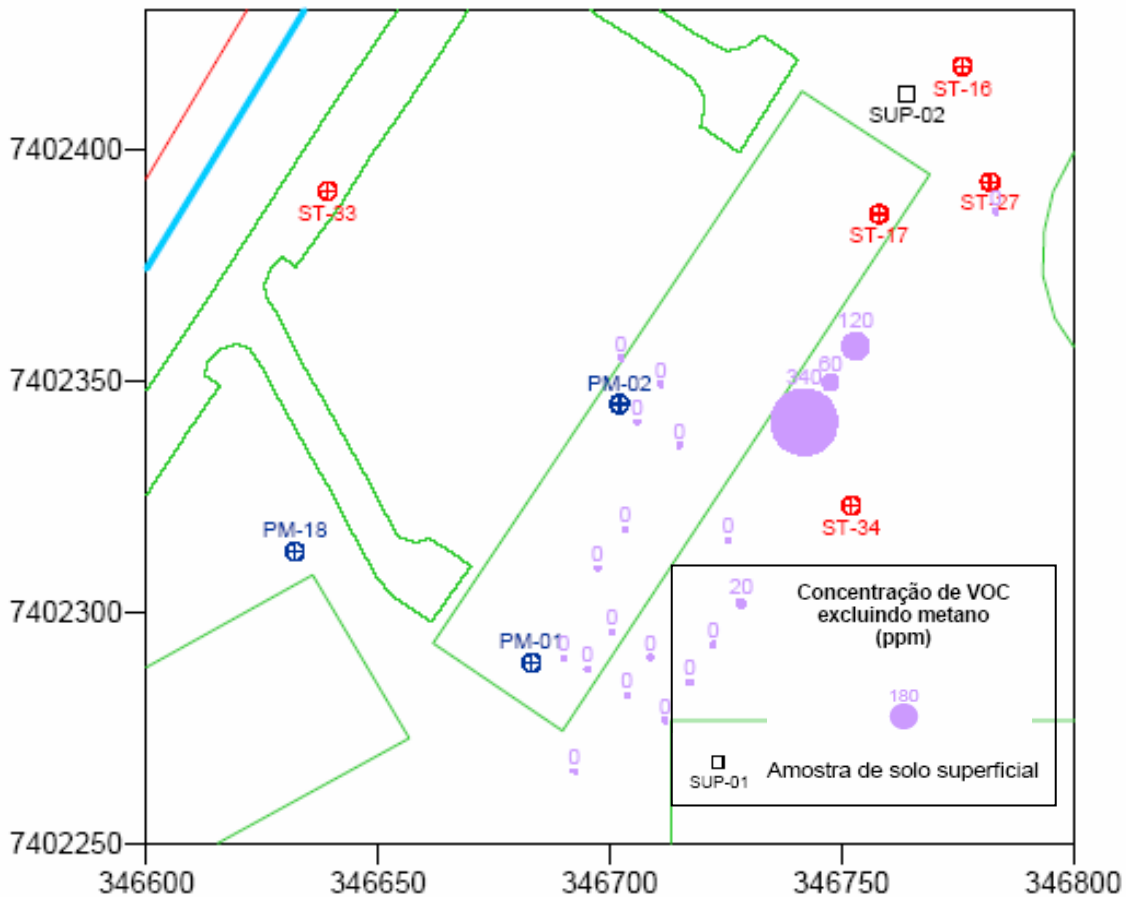


Ilustração 4-7 - Resultado da investigação de gases a 0,5 m excluindo o metano (Galante; Hurtado; Klein - 2005).

Na Ilustração 4-8 é apresentada uma interpretação gráfica, elaborada a partir dos dados obtidos na investigação de gases a 1,0 m de profundidade, onde as concentrações de VOC, excluindo metano, são apresentadas na escala de cor lilás, conforme legenda no canto inferior direito da figura.

Do gráfico observamos a existência de três pontos com concentrações diferentes de zero, pontos já detectados anteriormente, entre os quais, um ponto externo à edificação, com 180 ppm, sinalizada pela cor lilás. Estas concentrações merecem atenção.

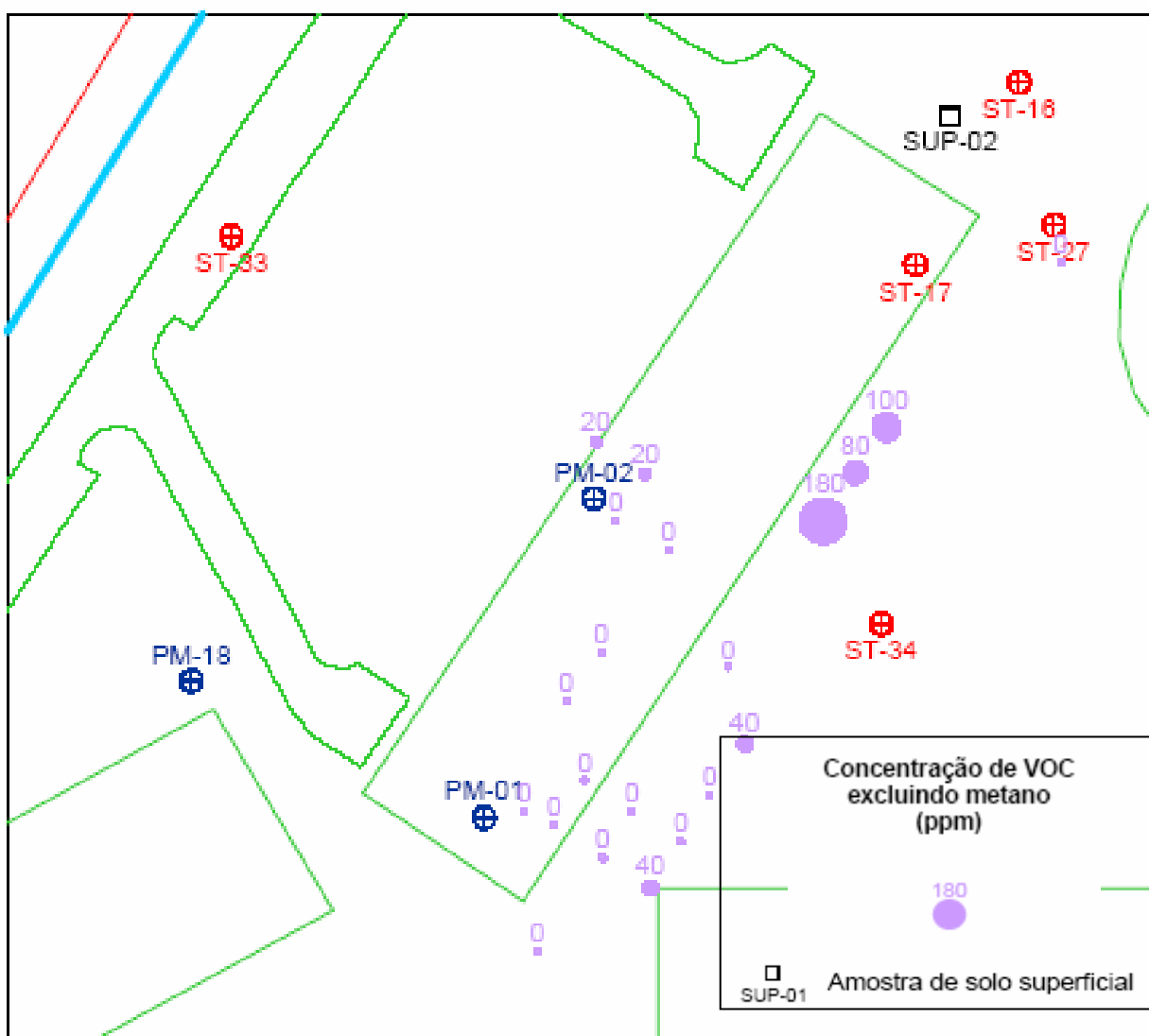


Ilustração 4-8 - Resultado da investigação de gases a 1,0 m excluindo o metano (Galante; Hurtado; Klein - 2005).

4.2. Poços de monitoramento e sondagens de reconhecimento

Foram instalados poços de monitoramento e realizadas sondagens de reconhecimento seguindo o mapeamento de anomalias de VOC, abordados no item 4.1.4, assim como por anomalias na condutividade elétrica detectados no levantamento geofísico, tratados no item 4.3.4.1.

Foram ao todo executadas 45 sondagens de reconhecimento das quais 25 foram aprofundadas até 2 metros abaixo do lençol freático, instando os poços de monitoramento.

A adoção destas medidas possibilitou o conhecimento das litologias do local, assim como pelo fornecimento de amostras de águas subterrâneas, a determinação de mapas com o sentido do fluxo subterrâneo, conforme apresentados na Ilustração 4-10 .

4.2.1. Objetivos

Os objetivos da instalação de poços de monitoramento, como medida adicional de investigação ambiental, consistem na obtenção de informações específicas como as relacionadas às medidas da pressão piezométrica, assim como, da obtenção de amostras de águas subterrâneas, representativas para análises químicas em laboratório (para avaliação de propriedades químicas, pH e condutividade), condutividade hidráulica e de bombeamento, podendo ser acompanhadas durante toda a vida útil da edificação, assim como também em tempo real.

4.2.2. Metodologia

As sondagens foram executadas com a utilização de trado manual de 4” de diâmetro, até se atingir o nível de água. As amostras retiradas foram analisadas, tendo seu laudo apresentado no item 3.1.2.

Os poços de monitoramento foram construídos com tubos geomecânicos de 2” de diâmetro seguindo as recomendações da ABNT / NBR 13.895 (construção de poços de monitoramento e amostragem), e denominados de PM-01 a PM-25.

No caso específico do edifício I-1 o estudo será focado apenas nos resultados obtidos nos poços de monitoramento PM-1 e PM-2 assim como as sondagens ST-16, ST-17, ST-27 e ST-34, por se encontrar na área da edificação. Na Ilustração 4-9 é apresentado detalhe para instalação de um poço de monitoramento.

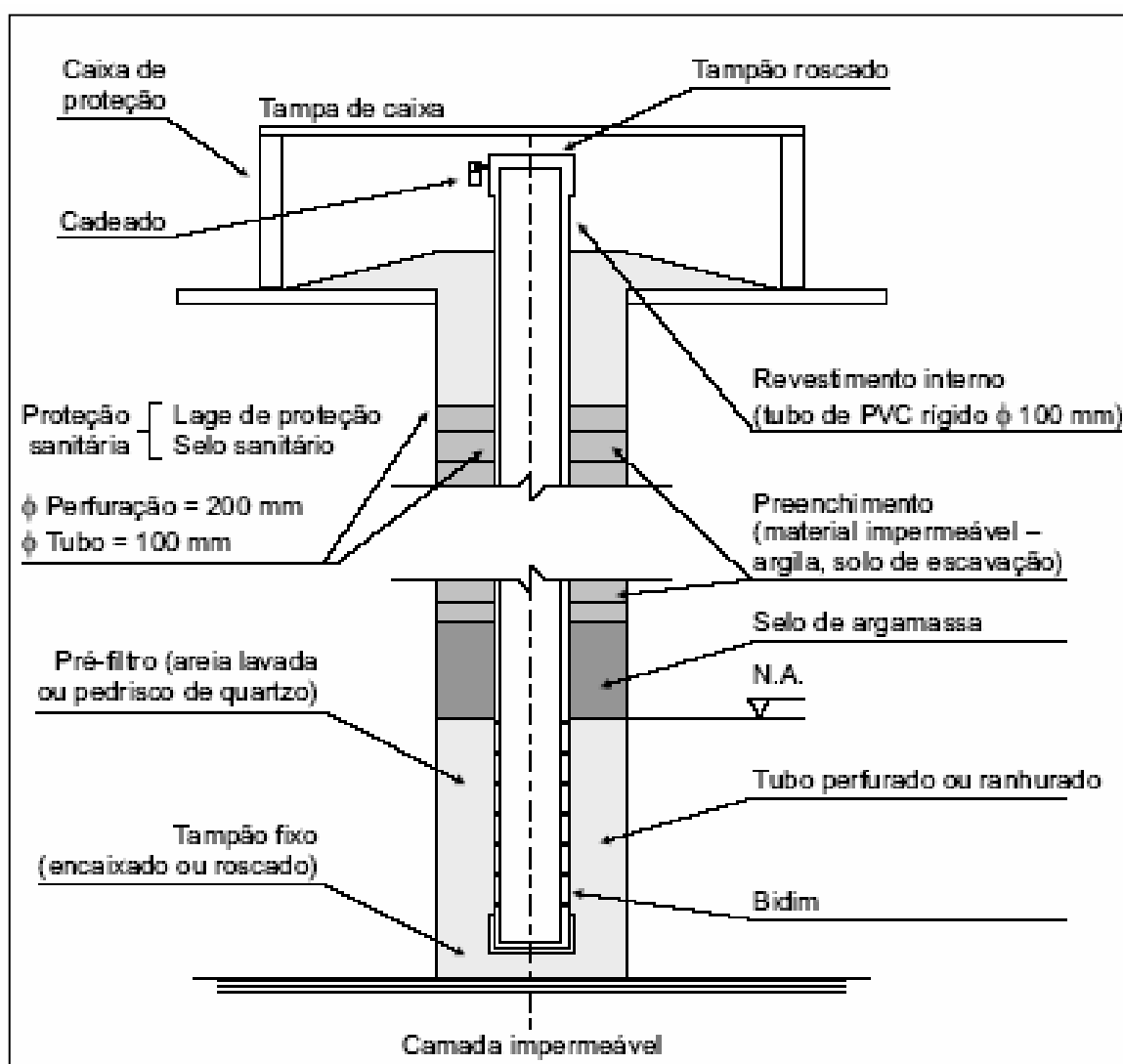


Ilustração 4-9 - Detalhe genérico de poço de monitoramento segundo a NBR 13.895

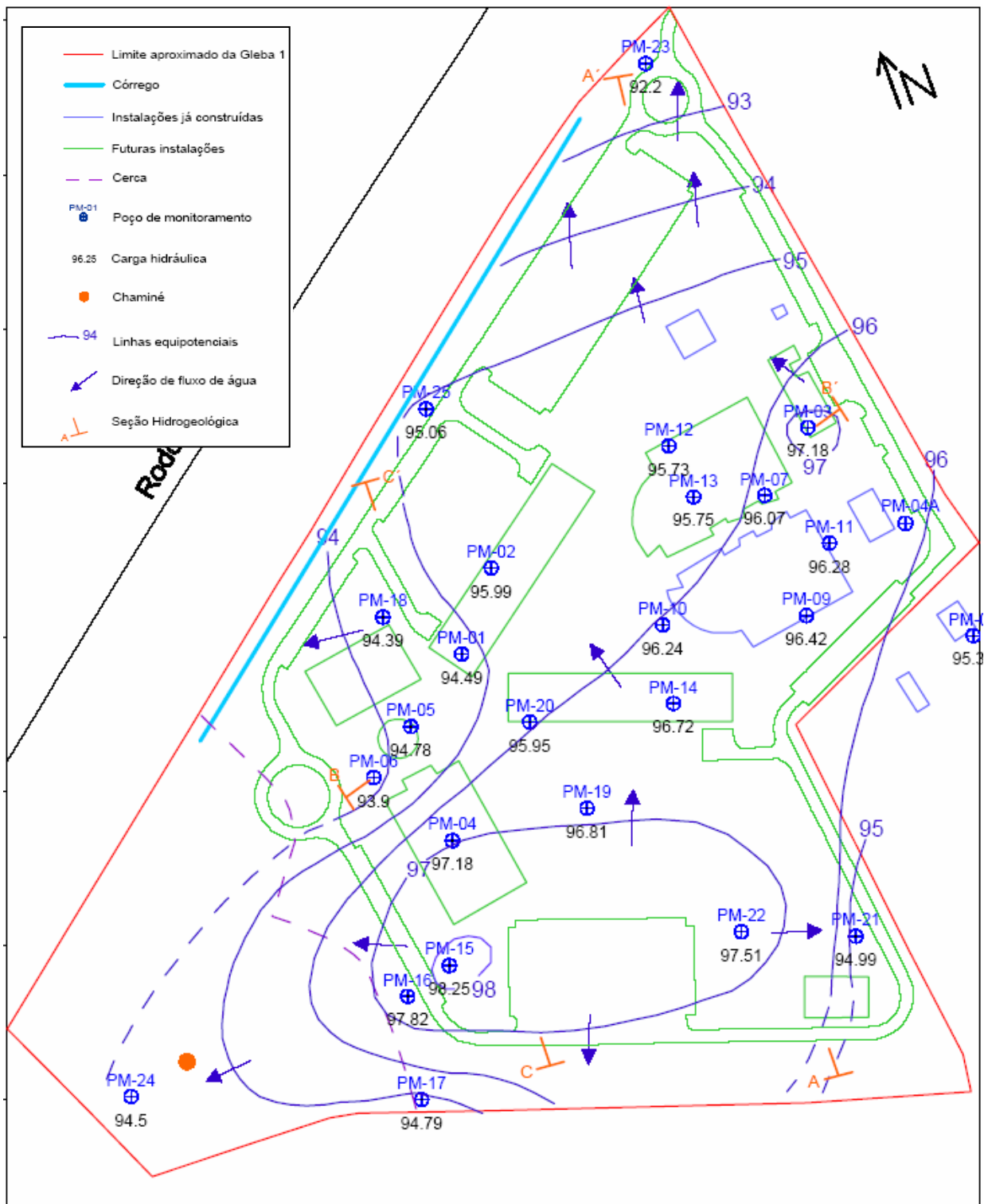


Ilustração 4-10 - Localização de poços de monitoramento e potenciometria local (Galante; Hurtado; Klein - 2005).

4.2.3. Locação

Foram baseadas na avaliação das anomalias encontradas tanto nos resultados da investigação superficial de gases, como nas anomalias detectadas na condutibilidade elétrica, observadas durante a investigação geofísica.

A locação dos poços de monitoramento implantados é apresentada na Ilustração 4-10 e a das sondagens na Ilustração 4-8.



Ilustração 4-11 - Poço de monitoramento instalado conforme recomendações da NBR. (Foto: Guedes B. P)



Ilustração 4-12 - Execução de poço de monitoramento (escavação) (Foto: Guedes B. P)

4.2.4. Resultados obtidos no campo.

Característica das sondagens de investigação			
Sondagens	Perfuração		
	Diâmetro	Prof. (m)	NA (m)
ST-16	4"	3,20	2,10
ST-17	4"	2,00	1,50
ST-27	4"	2,30	2,00
ST-34	4"	2,00	1,80

Tabela 9 - Resultado dos poços de investigação(Galante; Hurtado; Klein 2005)

Características dos poços de monitoramento instalados						
Poço	Perfuração			Instalação		
	Diâmetro	Prof. (m)	NA (m)	Diâmetro	Prof. (m)	Filtro
ST-01 / PM-01	4"	5,30	3,00	2"	5,30	4,00
ST-02 / PM-02	4"	4,70	2,50	2"	4,70	4,00

Tabela 10 - Resultado dos poços de monitoramento instalados (Galante; Hurtado; Klein 2005)

4.3. Investigação do solo

4.3.1. Objetivos

Os objetivos da coleta de amostras visa a verificação da qualidade do solo, uma vez que deve ser descartada a possibilidade da presença de contaminantes na superfície, como compostos orgânicos, semi-voláteis e outros. Foram coletadas 21 amostras nos pontos de sondagem e mais 2 amostras em solo superficial distribuídas ao longo das edificações da unidade EACH.

4.3.2. Metodologia

Inicialmente todos os equipamentos foram esterilizados e lavados com água potável e sabão neutro, seguidamente foram coletadas duas amostras e numeradas de AS-01 a AS-21. As amostras superficiais foram identificadas com SUP-01 e SUP-02. A coleta foi executada segundo os procedimentos e recomendações de amostragem de solo superficial da USEPA (1989 e 1991) e CETESB.

4.3.3. Locação

A localização dos 23 pontos de amostragem ocorreu conforme o exposto no item 4.2.3. Apenas as amostragens superficiais foram locadas próximas das duas maiores edificações, em nosso caso uma amostra foi colhida nas proximidades do edifício I-1.

Como medida auxiliar na determinação da locação dos pontos de amostragem, foi utilizado o resultado dos pontos de anomalias apontados no resultado de ensaio geofísico apresentado na Ilustração 4-16.

A locação das sondagens assim como dos pontos de amostragem são apresentados na Ilustração 4-13.

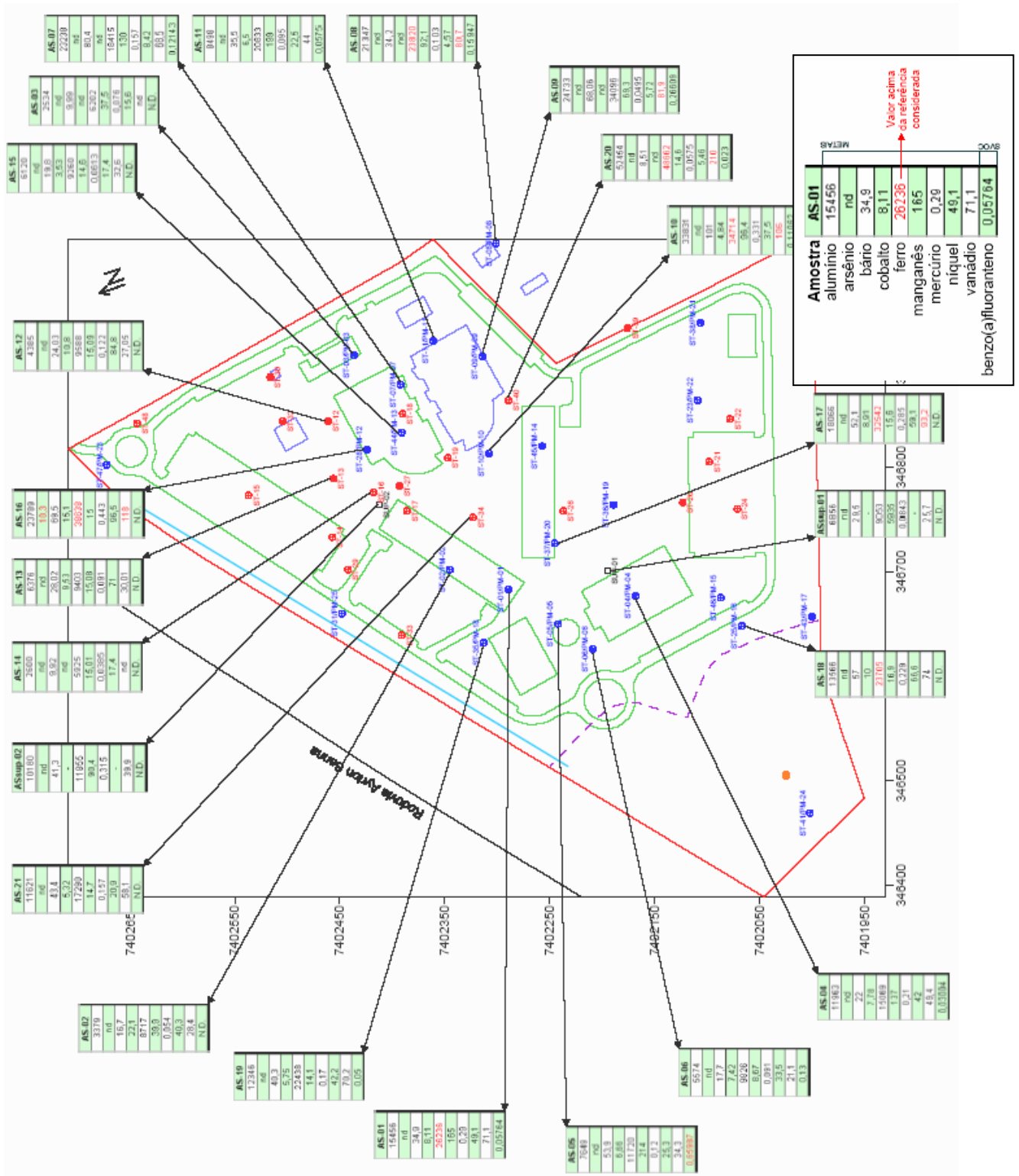


Ilustração 4-13 - Locação de sondagens e pontos de amostragem de solo e os resultados químicos obtidos apresentados para simples referência. (Galante; Hurtado; Klein 2005).



Ilustração 4-14 - Coleta de amostras superficiais de solo (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)



Ilustração 4-15 - Coleta de amostras superficiais de solo (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)

4.3.4. Resultados obtidos no campo

4.3.4.1. Levantamento Geofísico

O levantamento geofísico mostrou-se como um importante mecanismo auxiliar na determinação dos pontos de amostragem, uma vez que antecipa pontos com presença de anomalias que devem ser avaliados.

Realizados com métodos eletromagnéticos de multifrequência, as áreas na cor vermelha representam zonas com anomalias, enquanto as áreas na cor azul, representam áreas sem anomalias na condutibilidade elétrica. Anomalias são alterações pontuais na condutividade elétrica dos solos, típicas de pontos com plumas de contaminação.

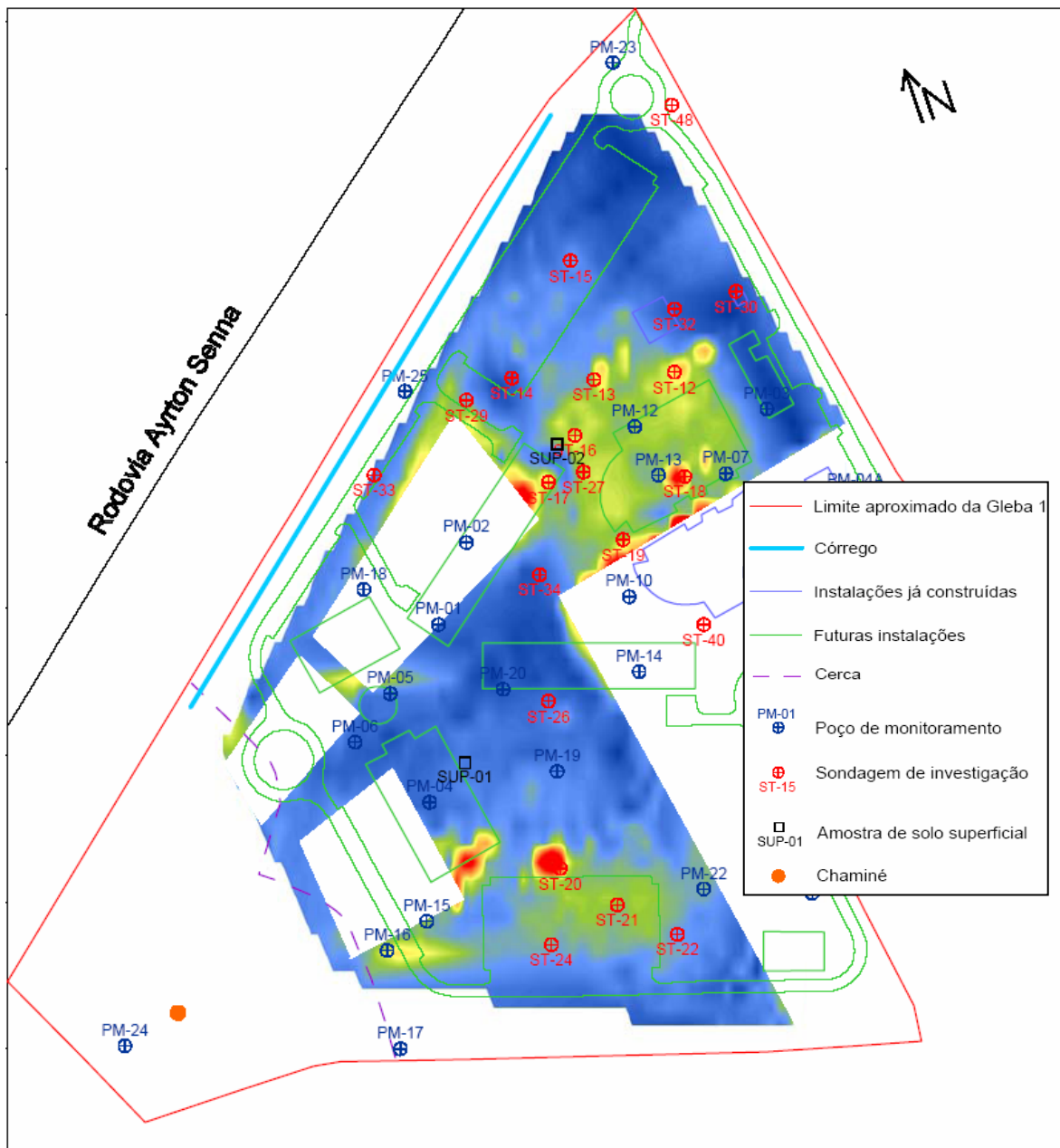


Ilustração 4-16 - Anomalias geofísicas para a frequência de 8.910 Hz (Galante G., Hurtado S., Klein D. - 2005).

4.3.4.2. Análise química

As investigações químicas revelaram grande quantidade de informações e de resultados, no entanto, serão apresentados apenas os resultados referentes ao edifício estudado.

Na Tabela 11 abaixo, são apresentados resultados da análise química com foco na determinação de compostos orgânicos voláteis VOC.

Sondagens	Amostra	Profundidade (M)	VOCs (ppm) Com presença do gás metano	VOCs (ppm) Com exclusão do gás metano
ST-01	AS-01	1,00	360	0
ST-13	AS-13	1,00	720	0
ST-28	AS-16	1,00	920	0

Tabela 11 - Características das amostras de solo analisados em laboratório (Galante; Hurtado; Klein 2005).

4.4. Resultados finais da investigação ambiental em relação a VOC na área do edifício estudado.

4.4.1. Conclusões e resultados das amostras de água subterrânea

Segundo GALANTE; HURTADO; KLEIN (2005), não foram detectadas concentrações de VOC nas amostras acima dos limites recomendados pelos organismos normativos. Outras concentrações encontradas de gases semi-voláteis SVOC (exemplo; fenol, fluoranteno, criseno, benzo[b]fluoratenos, benzo[a]pireno), foram abandonadas por não serem foco deste trabalho.

4.4.2. Conclusões e resultados das amostras de solo

Verificado que a área investigada esta sob ação de anomalias positivas de gases, sem que tenha sido detectado um padrão predominante, assim enquanto num ponto foi detectada uma grande anomalia de gases, numa área contígua, a 10 metros de distância, a anomalia desaparece por completo.

Os ensaios identificaram que o responsável principal pelas anomalias é o gás metano (CH₄), com provável origem conforme tratado nos itens 2.1.2 e 3.1.1.

Segundo GALANTE; HURTADO; KLEIN (2005), estas manifestações de comportamento, são típicas de terrenos com baixa compactação e principalmente por composição heterogênea, uma vez que em terrenos homogêneos, onde a taxa de compactação é elevada, os gases tendem a se acumular, comportamento não observado na área.

As maiores anomalias foram associadas a terrenos impermeáveis uma vez que a área toda tem composição de solo heterogênea.

4.4.3. Ações preventivas recomendadas

Segundo GALANTE; HURTADO; KLEIN (2005), as concentrações de gás metano no terreno, foram consideradas inofensivas ao ser humano, além de não apresentarem risco de explosão. O risco de explosão não ocorre desde que emanações não fiquem confinadas em ambiente fechado, o que normalmente ocorre nos solos das edificações.

Visando evitar o provável acúmulo de gases, foram propostas no relatório ambiental, as recomendações abaixo, destinadas ao projeto e implantação de drenos de gás.

Implantação de trincheiras enterradas no solo com 1 metro de profundidade e preenchidas com brita 2.

Implantação de tubos geomecânicos (em polietileno de alta densidade), tipo dreno (serrados), com diâmetro de 100 mm (4”), instalados dentro das trincheiras de brita.

Implantação de drenos nas áreas onde as concentrações de gases forem relevantes, medida visando capturar estes gases, seguindo as orientações contidas na Ilustração 4-17.

Implantação de rede coletora e sistema bomba a vácuo para remoção de gases e tratamento, caso seja necessário, antes de liberados na atmosfera, conforme item 2.1.5.

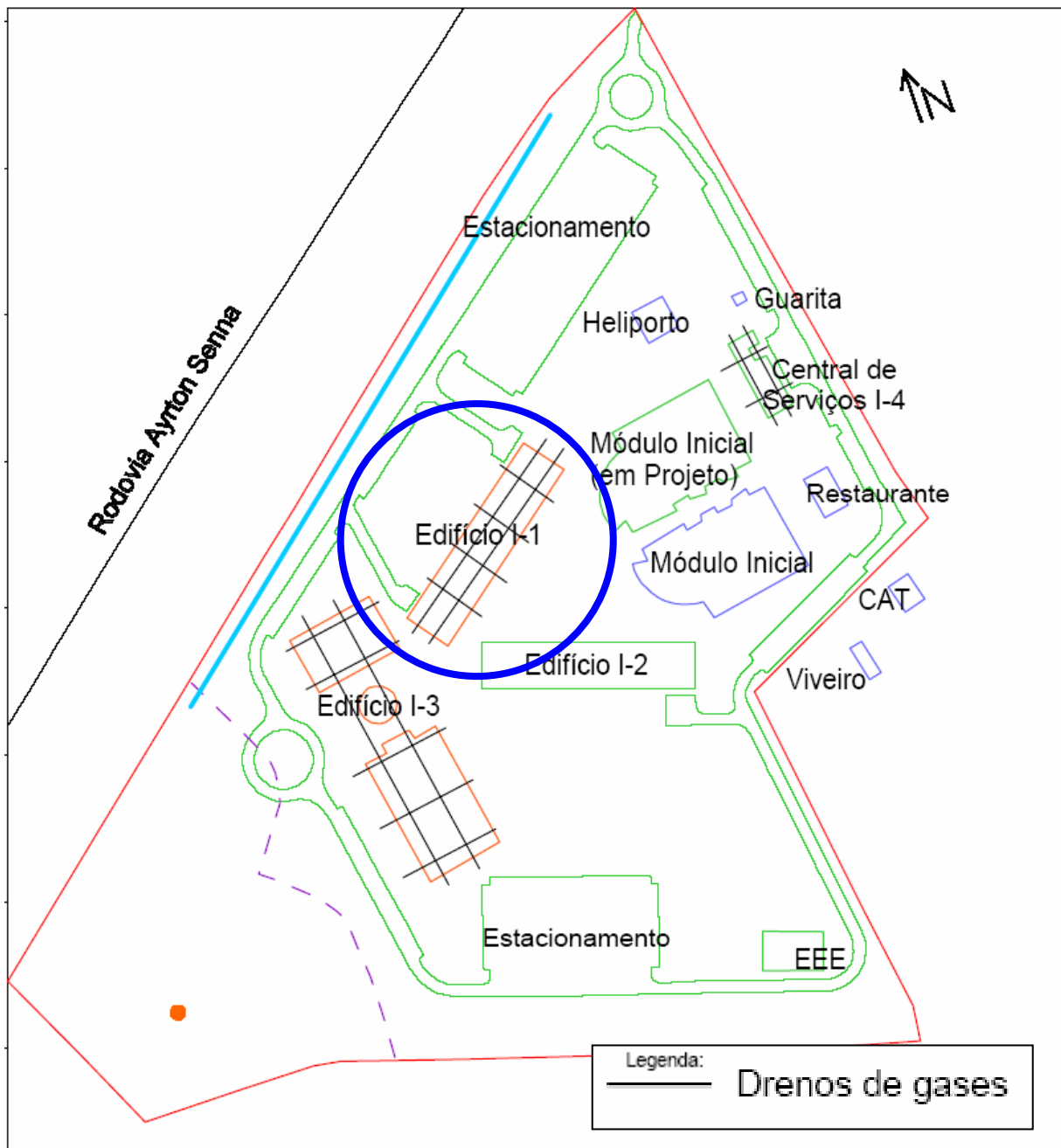


Ilustração 4-17 - Localização dos drenos horizontais de gás (Galante; Hurtado; Klein - 2005).

5. PROJETO DE DRENAGEM DE GÁS (EXTRAÇÃO DE VAPORES DO SOLO)

5.1. Métodos mais usados no Brasil

Conforme CAMPOS (2003) existem atualmente três métodos utilizados no Brasil para a extração de vapores de solo em terrenos contaminados por compostos voláteis, estes são; Soil vapor Extration (SVE), In-situ Air Sparging (IAS), Multiphase Extraction (MPE).

5.1.1. Soil Vapor Extraction (SVE)

Método de remediação indicado para solos com alta permeabilidade, conhecido como “ventilação do solo”. Esta técnica propõe a remediação pela aplicação de vácuo, aplicado em poços de extração instalados em zonas não saturadas do solo, permitindo assim que o vácuo gerado force a migração de ar através dos poros do solo, promovendo a volatilização dos compostos orgânicos presentes, tanto na sua fase livre, assim como absorvida no solo. Uma região não saturada de solo corresponde à camada localizada entre a superfície e o lençol freático. No meio técnico é também conhecida como “Zona Vadosa”, região onde os gases se encontram absorvidos. A partir deste ponto a camada é denominada de “Zona Saturada”, pela presença do lençol freático.

Fase livre de um elemento corresponde, à camada que dependendo de sua densidade, flutua sobre o lençol freático ou abaixo deste, formando uma película ou camada, geralmente em forma líquida.

Finalmente o ar extraído por este método é descartado na atmosfera.

Neste estudo de caso, o método SVE, dentre as possibilidades existentes no Brasil, foi adotado como método de proteção e não como solução de remediação, e será descrita de forma detalhada posteriormente.

Uma vez que os dados resultantes na investigação ambiental, não justificam a necessidade de remediação de solo, apenas foram adotadas medidas no sentido de se proteger os usuários assim como as edificações.

5.1.2. In-situ Air Sparging (IAS)

Método de remediação que utiliza uma técnica resultante da junção de um conjunto de sistemas, constituídos basicamente pela injeção forçada de ar na porção saturada do subsolo contaminado, injeção que promove a oxigenação do meio e o arraste dos compostos orgânicos voláteis, empurrando assim os gases da fase dissolvida em direção da zona não saturada, sendo removidos finalmente com um sistema SVE.

5.1.3. Multiphase Extraction (MPE)

Método de remediação que consiste na aplicação de um elevado vácuo, simultaneamente nas zonas; saturada, não saturada e na fase livre, quando esta existir.

É constituído por um sistema de bomba de alto poder, instalado num tanque, que ao produzir vácuo, extrai tanto os líquidos do subsolo, como os vapores presentes. Os gases resultantes são posteriormente descartados na atmosfera. A parte líquida é injetada no solo após resfriamento e ajuste do seu PH. Este método é bastante eficiente.

5.2. Diretrizes para o projeto de drenos de gás

5.2.1. Generalidades

Foram projetados drenos em conformidade com as recomendações do laudo de investigação ambiental, assim como considerados os detalhes apresentados no item 4.4.3.

O projeto prevê a implantação de trincheiras drenantes em malhas ortogonais, conectadas entre si nos seus cruzamentos. A posição destes drenos foi projetada em conformidade com as orientações da Ilustração 4-17.

5.2.2. Dimensionamento de drenos

Devido o pequeno volume de gás envolvido no sistema, não se aplica a elaboração de um modelo de cálculo matemático, para o dimensionamento de drenos. A vazão de gás será função do arraste provocado pela ventilação, que acabará percolando e surgindo de forma gradual. A vazão final do sistema como um todo, será efetivamente medida na etapa denominada, teste piloto no capítulo 7.

5.2.3. Detalhamento dos drenos e trincheiras drenantes

Foi adotado o uso de tubos dreno, tipo filtro, com bitolas de 100 mm ou 4”, conforme foi exposto no item 4.4.3.

Uma alternativa estudada, foi a da utilização de tubos drenos tipo filtro, em bitolas de 50 mm ou 2”, solução que acabou sendo descartada, em função do solo apresentar elevadas anomalias sem correlação lógica, mas com características e localização conhecidas.

Por outro lado a solução alternativa, demandaria uso de redes com malhas espaçadas de 7 em 7 metros, para atender às diretrizes recomendadas no laudo do consultor, onde são apresentados resultados de ensaio de permeabilidade do solo, realizados no local, e que definem como raio de influência dos drenos, o valor de 7 metros.

Outro aspecto negativo da solução alternativa na época, era o elevado número de drenos resultante, se consideradas as dimensões da edificação, 31,00 m x 144,00 m, o que provocaria uma elevada densidade de caixas de passagem.

As tubulações para drenagem de gás, foram então projetadas em tubos de polietileno de alta densidade, providos de elevada resistência mecânica e

durabilidade, propriedades que lhe concederam no mercado o nome de tubos geomecânicos.

Os tubos geomecânicos são fornecidos em barras de 1 ou 2 metros, com ponta e bolsa rosqueáveis. No caso específico para drenos, foram fornecidos com as laterais serradas, permitindo a passagem dos gases (filtro).

As trincheiras foram projetadas em pedra brita 2, sem a utilização manta tipo geo-têxtil, como ocorre no caso de drenos de água, uma vez que estes, podem provocar a perda gradual de permeabilidade para os gases em curto prazo.

As dimensões das valas dos drenos foram definidas em função de sua construtibilidade, a largura recomendada é módulo da largura da concha de uma escavadeira, em torno de 90 cm. A profundidade mínima, foi determinada em função da altura dos tubos de drenagem, instalados no fundo das vigas baldrame, a 90 cm da laje, com uma folga de 60 cm, totalizando um mínimo de 150 cm e máximo em função do caimento dos fundos de valas.

As valas foram providas de fundo em caimento, uma vez que, por serem vulneráveis aos efeitos da água do lençol freático, devem ser cuidadosamente planejadas, pois materiais carregados pela água do lençol, podem entupir os vazios, impedindo a drenagem do gás. Esta vulnerabilidade foi contornada pela implantação de trincheiras com fundo variável, ou seja, com caimento no sentido de dentro para fora da edificação, assim como pela implantação de drenos de água subterrâneos externos à edificação, localizados a 1 metro da rede externa de gás.

As trincheiras devem ser estendidas até aproximadamente 1 metro fora da edificação, porém, o tubo dreno deve ser interrompido antes, preferencialmente no alinhamento da edificação, ponto a partir do qual, devem ser utilizados tubos lisos, prolongados até as caixas de passagem. Deve existir uma tubulação disposta em anel, interligando todos os drenos e passando por todas as caixas de passagem. Nas intersecções, devem ser

implantadas caixas de passagem, com 1 m³ de volume interno, tampa e as tubulações devem atender o disposto na Ilustração 5-9.

5.2.4. Descrição do funcionamento do sistema.

O sistema funciona pela produção de vácuo, gerado por equipamento mecânico instalado fora do edifício, que transfere a sucção aos drenos de gás e estes por sua vez às trincheiras drenantes do subsolo, compostos por pedra brita. O objetivo é o de capturar compostos voláteis e em nosso caso o gás metano, presente nos vazios. Desta forma o gás acaba sendo arrastado para o sistema drenante e a partir deste até um exaustor, com descarte final na atmosfera.

A vazão resultante desta operação é composta por diversos gases de subsolo, que devem ser avaliados para efeito do dimensionamento do sistema de exaustão, e tratamento prévio ao descarte na atmosfera.

Como premissa de projeto o sistema não deve captar ar externo, ou seja, a vazão resultante deve ser 100% originária da evaporação dos gases do subsolo. A eventual entrada de ar externo em excesso, neste tipo de solução, pode ser considerada como falha grave no sistema, situação que deve ser evitada ao máximo. Situação contrária ocorre quando o ar externo pode ser utilizado para lavar os drenos, removendo os voláteis, solução não implantada neste edifício.

As perfurações nas vigas externas devem ser fechadas, devido ao risco de trazerem ar externo. Deve ser assegurada a existência de perfurações nas vigas internas, assunto que será abordado a seguir.

5.2.5. Drenagem contínua por baixo da laje de piso (tapete drenante).

As características do terreno do edifício I-1, indicaram a necessidade de se especificar a execução de uma laje de piso armada, no nível térreo, uma vez de tratar-se de aterro típico de bota fora, sem compactação. Foi projetada laje de piso sobre colchão de pedra brita 1, com espessura de 10 cm, conforme

Ilustração 5-1, com a utilização de lona plástica de alta densidade sobre a brita.

O objetivo da lona plástica é de servir como limitador para o concreto, evitando a perda de nata para o lastro em brita, que deve funcionar como dreno, perda que pode ocorrer durante a concretagem. Esta ação garante a continuidade dos vazios no berço de brita, após o término da concretagem. Este berço sob a laje que foi tecnicamente denominada de tapete drenante.

Complementarmente foram previstas aberturas de 10 cm x 10 cm, nas vigas baldrame internas, posicionadas a um terço de distância entre apoios ou conforme determinação do calculista.

A cota superior desta abertura coincide com o a cota de fundo da laje, conforme mostrado na Ilustração 5-8, com a finalidade de interligar as células dos tabuleiros contíguos, equilibrando a pressão negativa e propiciando a circulação de correntes de sucção.

O fluxo dos gases assim como seu caminho preferencial deve ser estudado criteriosamente.



Ilustração 5-1 - Lastro de brita usado como tapete drenante (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)

5.2.6. Poços de monitoramento.

Os poços devem ser preservados e devidamente lacrados, possibilitando no futuro inspeção, monitoramento e controle de amostragem de águas subterrâneas assim como medição do nível piezométrico.

5.3. Elementos gráficos do projeto.

O projeto está naturalmente dividido em duas etapas, a primeira elaborada a partir dos dados da investigação ambiental e a segunda a partir dos dados do teste piloto.

5.3.1. Primeira etapa de Projeto.

A primeira etapa de projeto ocorre após a divulgação dos resultados da investigação ambiental. Geralmente composta por um conjunto de elementos gráficos, destinados a apresentar a locação dos drenos em relação aos eixos da estrutura, assim como os demais detalhes executivos das trincheiras, como pode ser visto nas ilustrações seguintes.

Nesta etapa são também definidos os detalhes referentes à extração dos gases, locação da cabine, pré-tratamento e disposição final, conforme esquema apresentado na Ilustração 5-2.

Na Ilustração 5-3, é apresentado elemento gráfico mostrando os drenos horizontais e verticais, locados em função dos eixos estruturais e sua disposição.

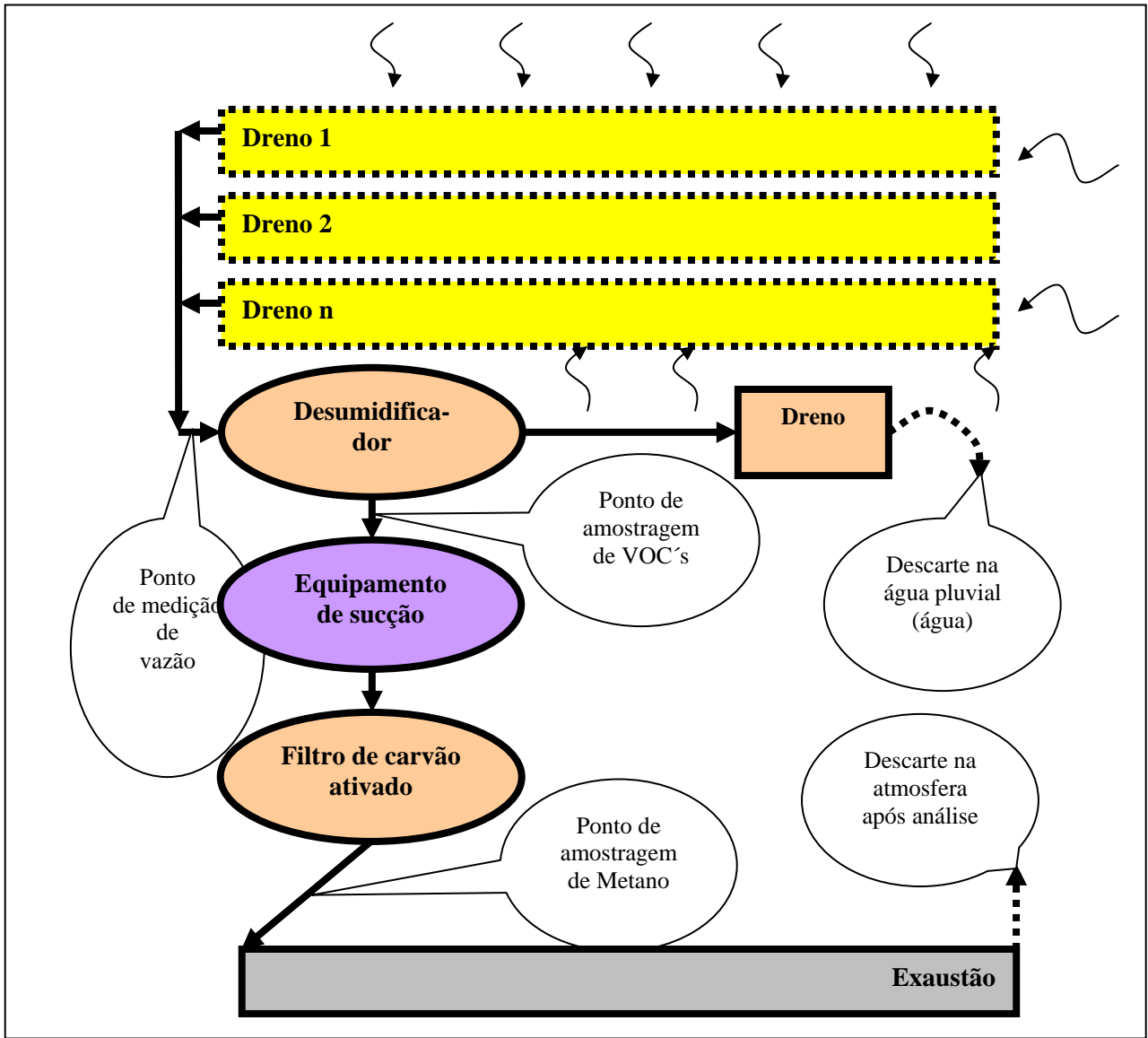


Ilustração 5-2 - Esquema de funcionamento do sistema

Na Ilustração 5-2 é apresentado esquema do modelo de funcionamento do sistema de drenagem de gás, onde podem ser observados, três pontos de coleta de informações; vazão, amostras de VOC e Metano. Também é apresentada a disposição dos gases drenados e a água residual do processo.

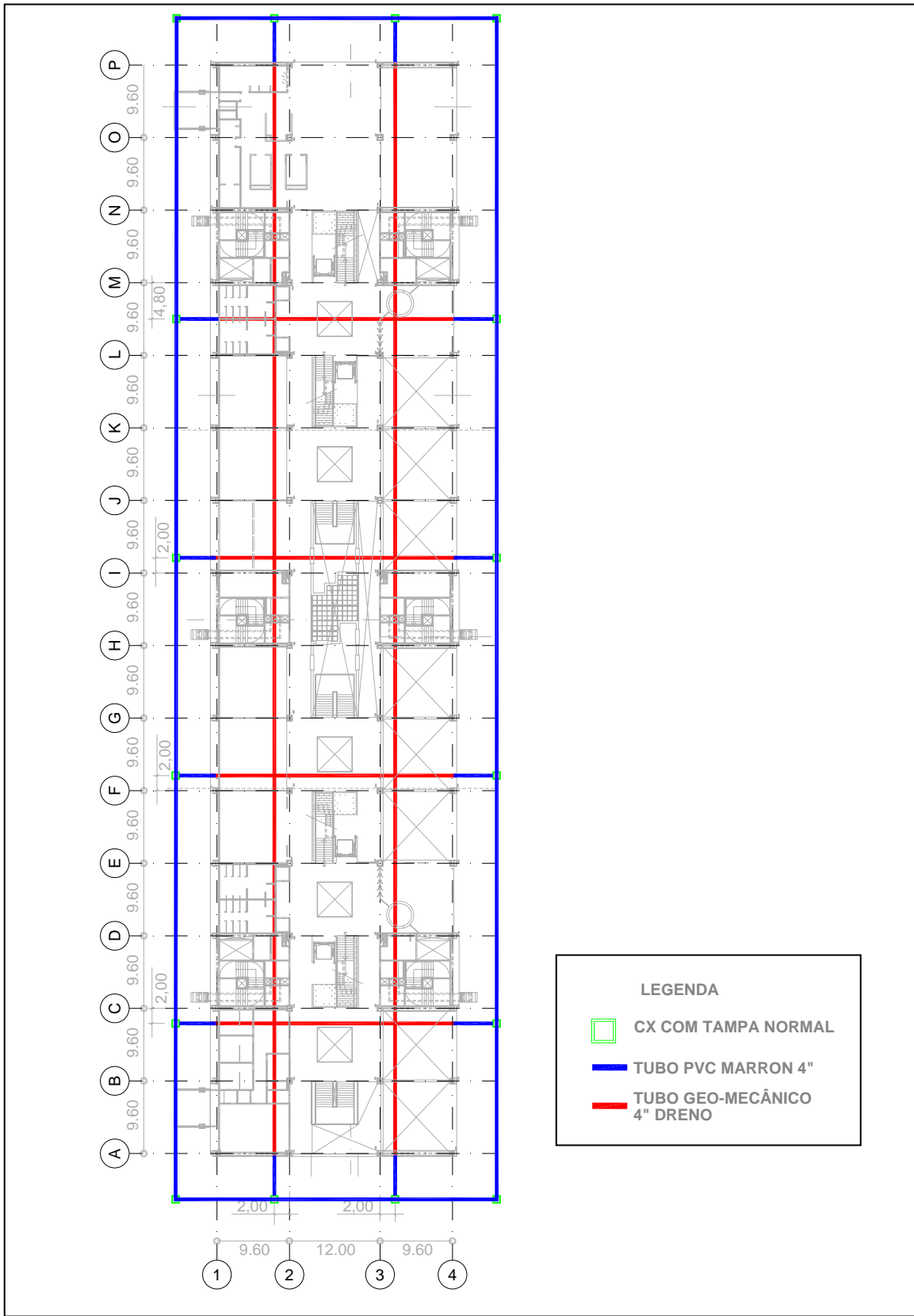


Ilustração 5-3 – Planta de drenos horizontais do edifício I-1 (vista geral)

O princípio da utilização dos materiais em PVC e tubos geomecânicos é o seguinte; trecho onde é necessária captação de gás, como os trechos dentro dos drenos, são utilizados tubos geomecânicos tipo dreno (em vermelho na figura seguinte), já nos trechos onde o gás deve ser apenas transportado, como os trechos fora da edificação, são utilizados tubos lisos de PVC marrom (em azul na figura seguinte).

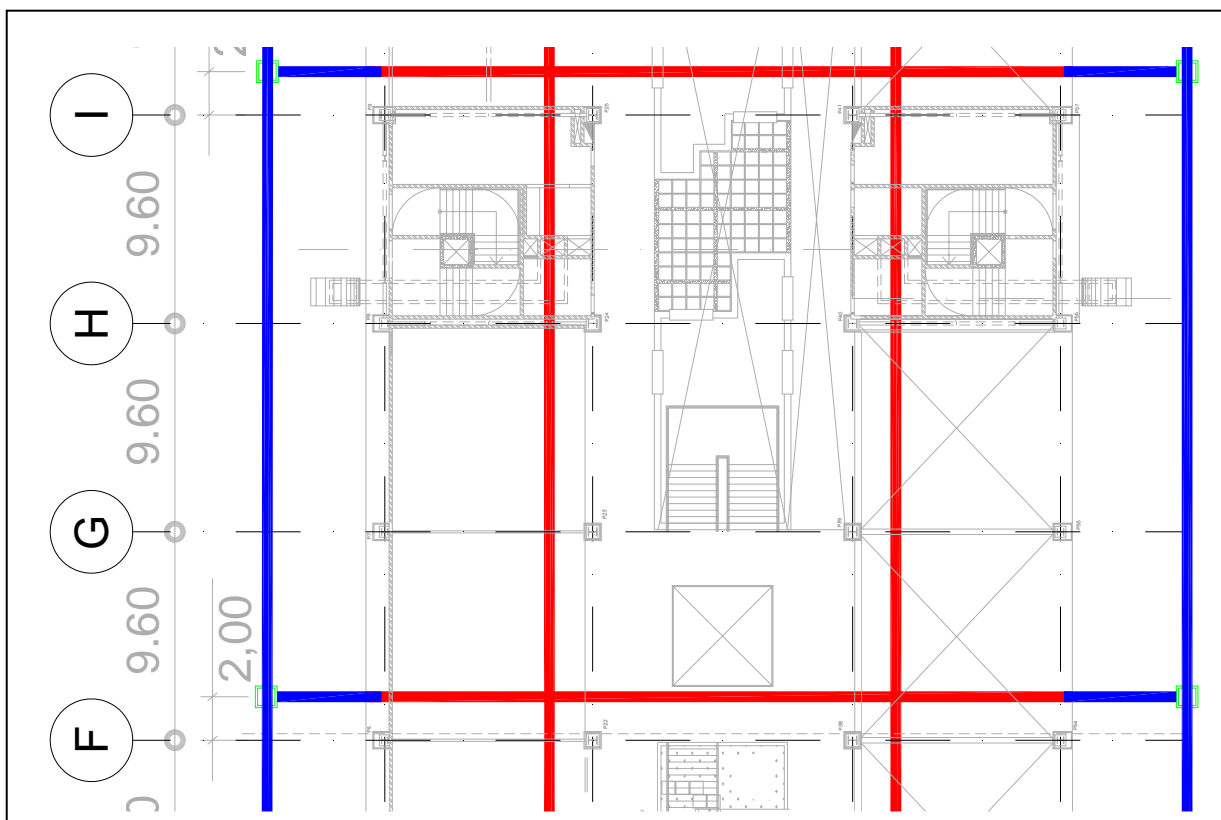


Ilustração 5-4- Detalhe da planta de drenos horizontais

Na Ilustração 5-6, é apresentado corte genérico dos drenos e seus detalhes geométricos executivos. Em relação à seqüência construtiva dos drenos, observar que serão necessários alguns elementos estruturais concluídos (estacas, blocos), outros parcialmente executados (vigas baldrame no nível da laje) e outros sem executar (lajes de piso), antes da implantação dos drenos, uma vez que as trincheiras devem ser executadas e mantidas limpas.

Na Ilustração 5-5, é apresentado detalhe mostrando as fases executivas da implantação dos drenos. A seqüência apresentada mostra seis etapas, descritas a seguir; 1) cravação de estacas, 2) execução de blocos de fundação, 3) execução parcial das vigas baldrames, 4) execução de trincheiras drenantes, 5) execução de lastro de brita (tapete drenante), 6) execução da laje de piso.

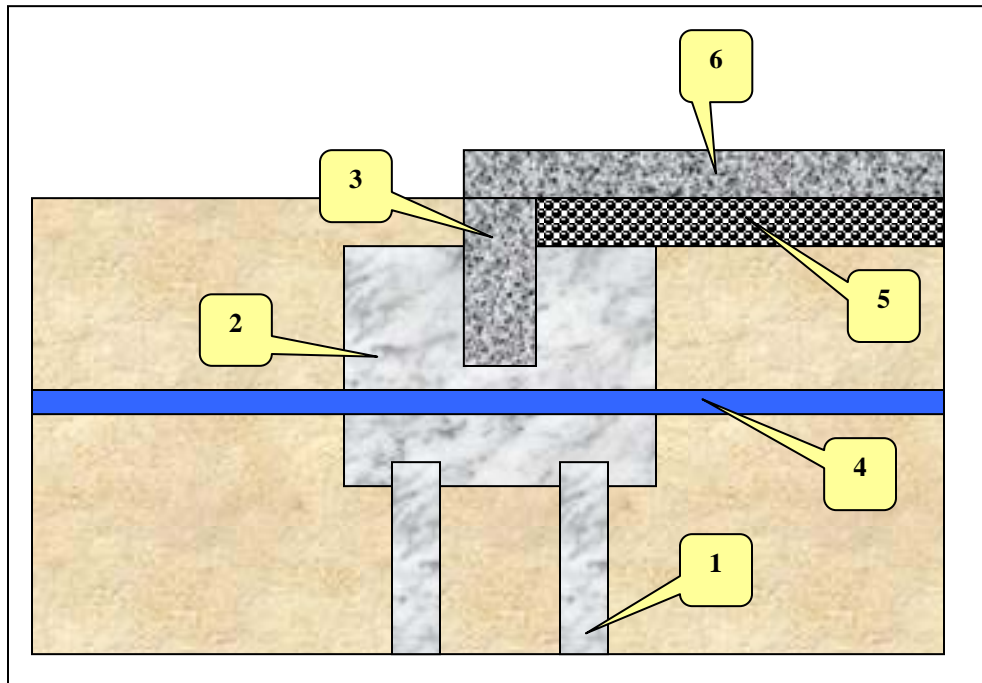


Ilustração 5-5 - Detalhe da seqüência executiva da implantação de drenos

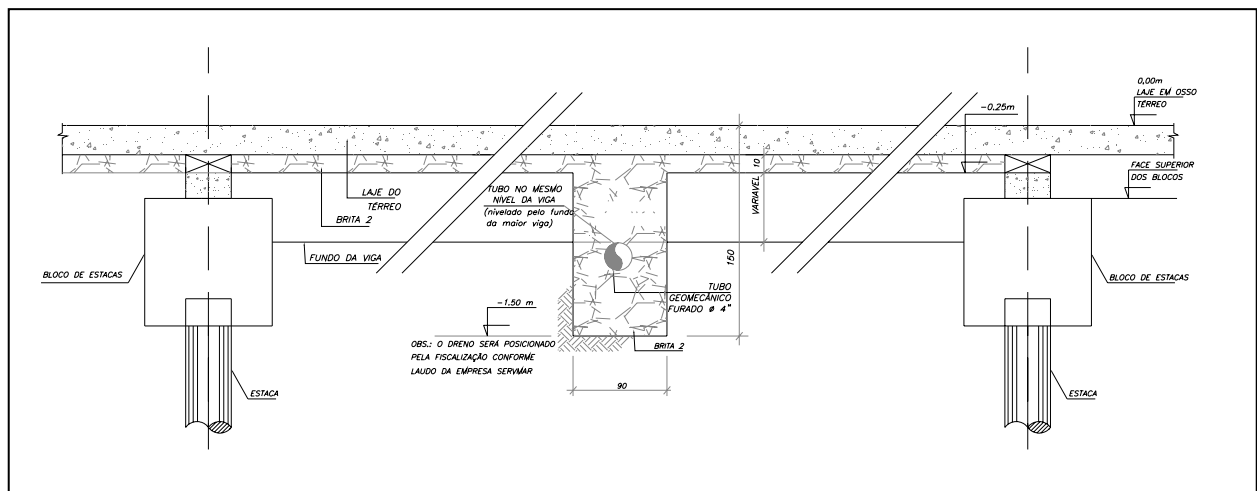


Ilustração 5-6 - Corte transversal dos drenos horizontais de gás (trincheiras)

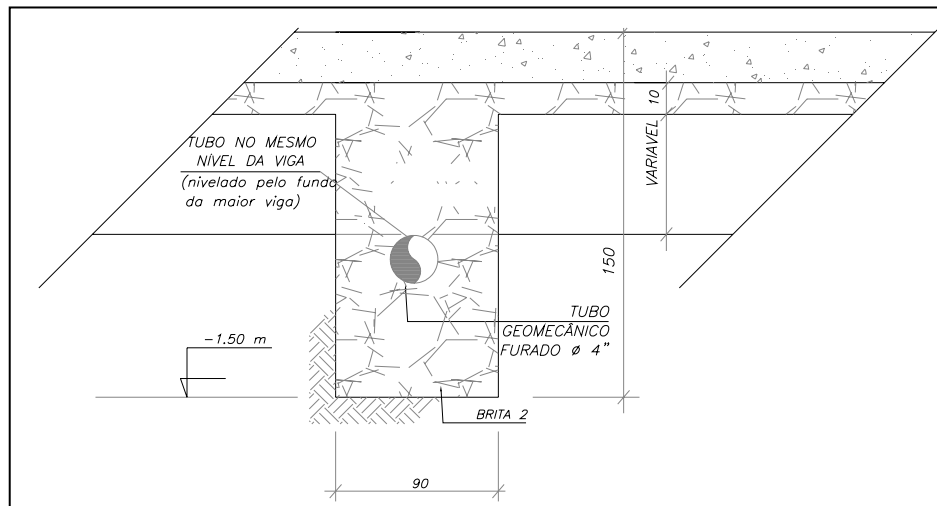


Ilustração 5-7 - Detalhe do dreno horizontal (trincheira)

Na , é apresentado um detalhe de furação existente nas vigas baldrame (dois por vão, a um terço do vão), sua existência é desejável em função do auxílio na ventilação cruzada das células inferiores dos tabuleiros, definidos pelas vigas baldrame e a laje de piso. Este dispositivo pode eventualmente também ser utilizado para extração direta de gases por ação do tapete drenante, que vai gerar pressões de arraste.

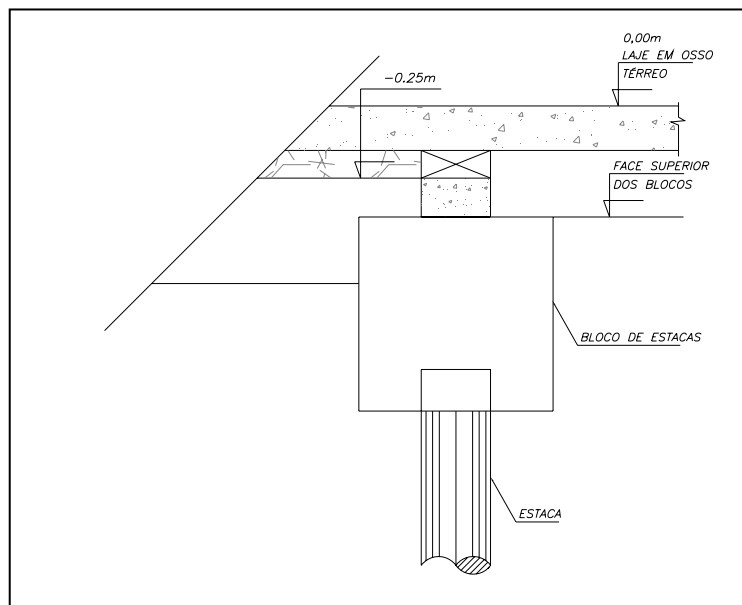


Ilustração 5-8 - Detalhe de furo na viga para ventilação de gases

Na Ilustração 5-9, é apresentado detalhe isométrico das tubulações drenantes, na chegada nas caixas de passagem, sendo em vermelho a representação do trecho em dreno e verde a rede coletora de gás, assim como mostrada a geometria de sua disposição. As caixas de passagem devem ter volume adequado para o trabalho de um ser humano.

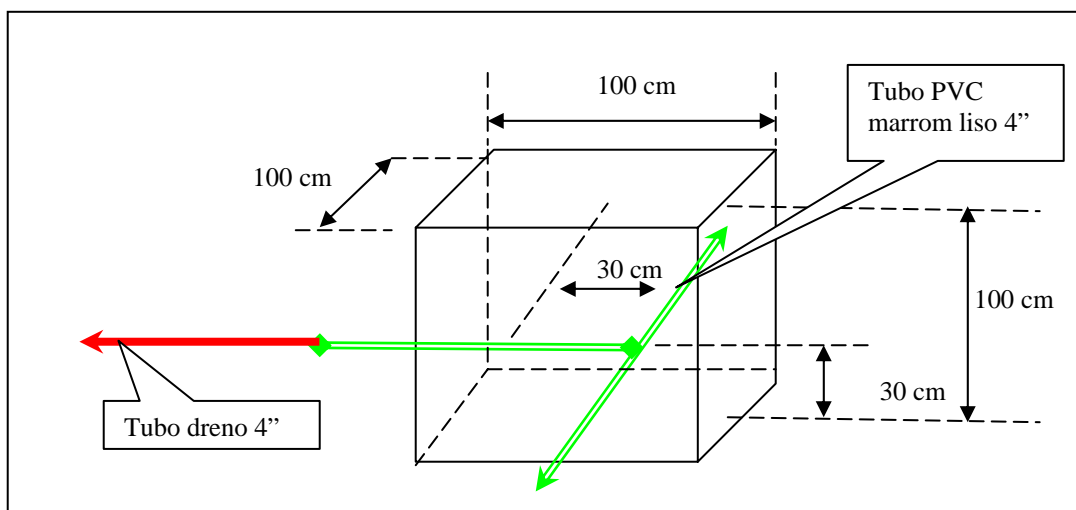


Ilustração 5-9 - Detalhe das caixas de passagem de tubos (tubos dreno em vermelho e tubos lisos em verde).

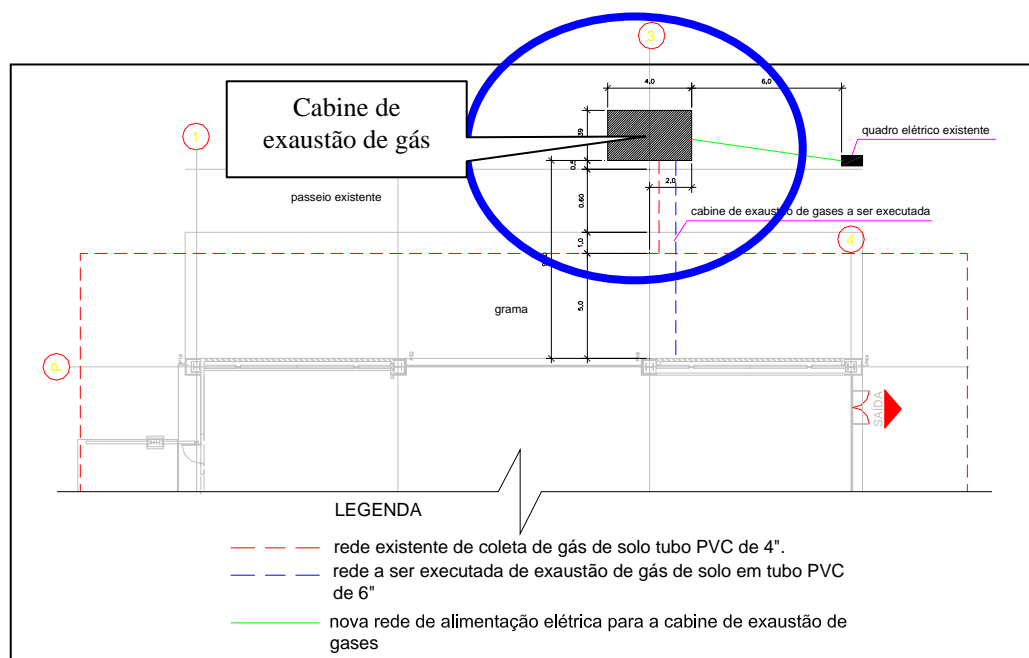


Ilustração 5-10 - Locação da cabine de exaustão de gás e redes (Fonte: Coesf⁷)

⁷ COESF, Coordenadoria do Espaço Físico da Universidade de São Paulo.

A Ilustração 5-10 mostra a locação da cabine de exaustão de gás, em relação ao edifício I-1, assim como a rede de alimentação antes da sucção (em vermelho), e o pré-tratamento e a rede de exaustão antes de descarregar os gases na atmosfera (em azul).

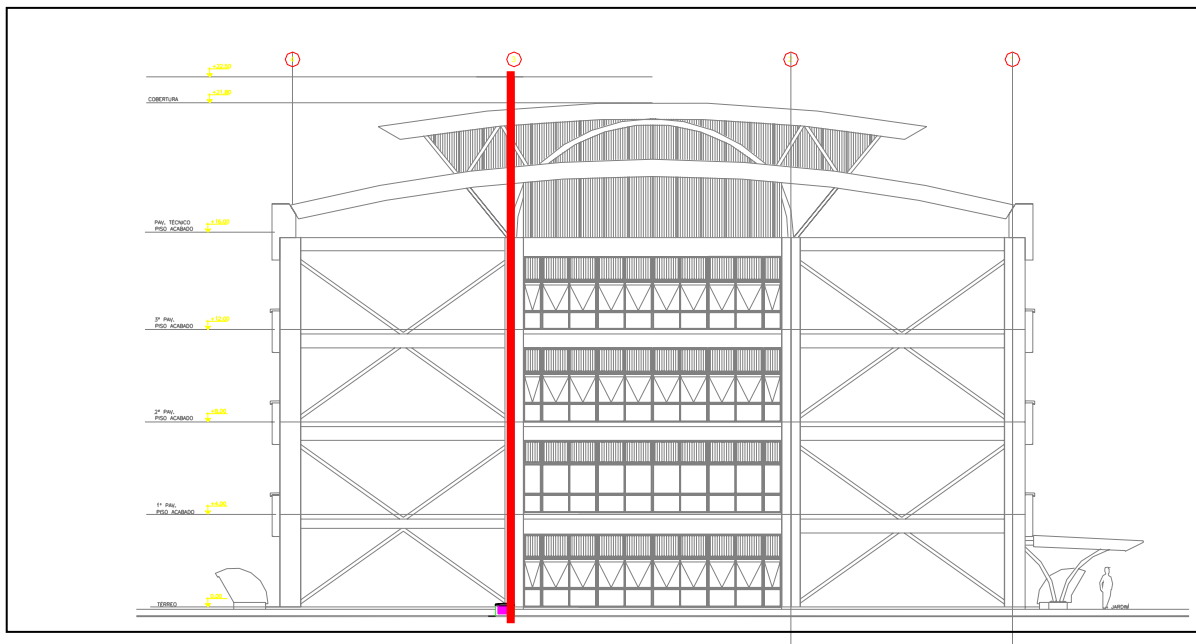


Ilustração 5-11 - Vista lateral do duto de disposição de gás na atmosfera (Fonte: Coesf).

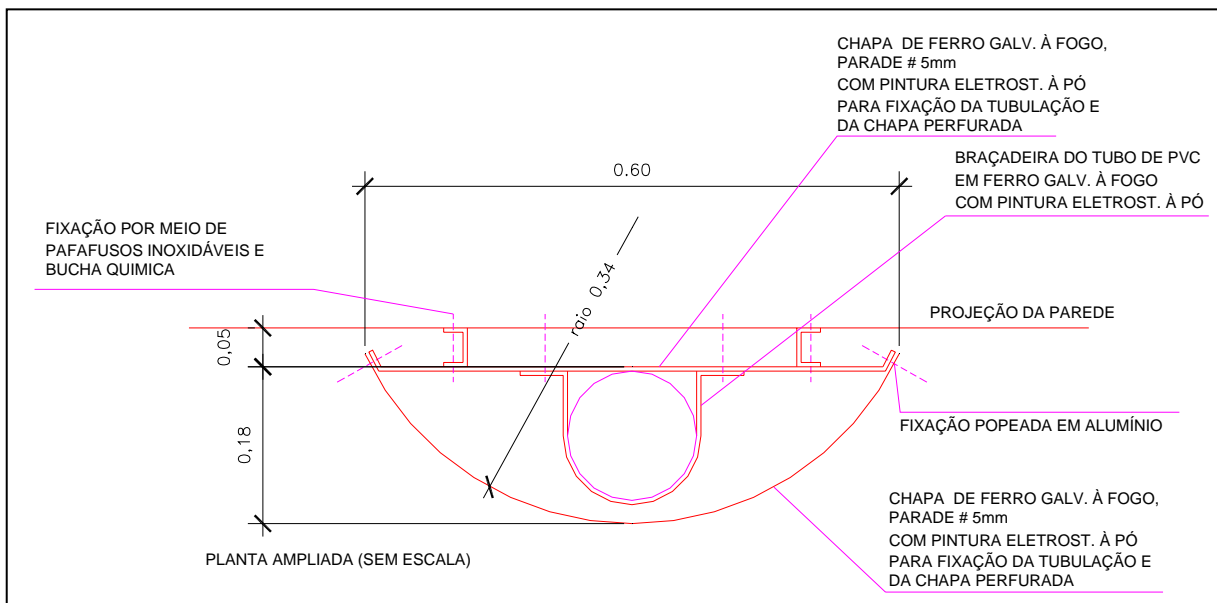


Ilustração 5-12 - Seção da estrutura ascendente na fachada para exaustão de gases (Fonte Coesf).

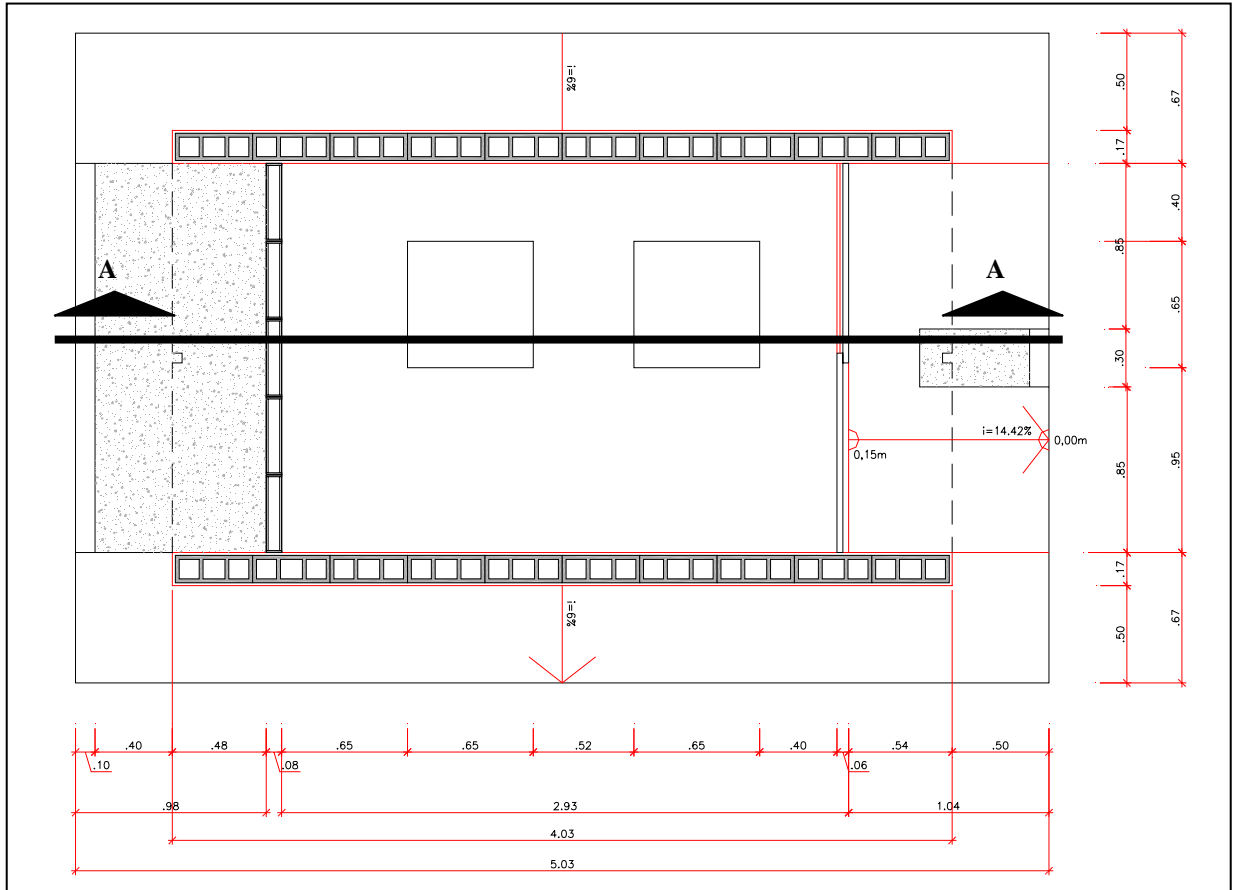


Ilustração 5-13 - Planta da cabine de exaustão de gases (Fonte: Coesf)

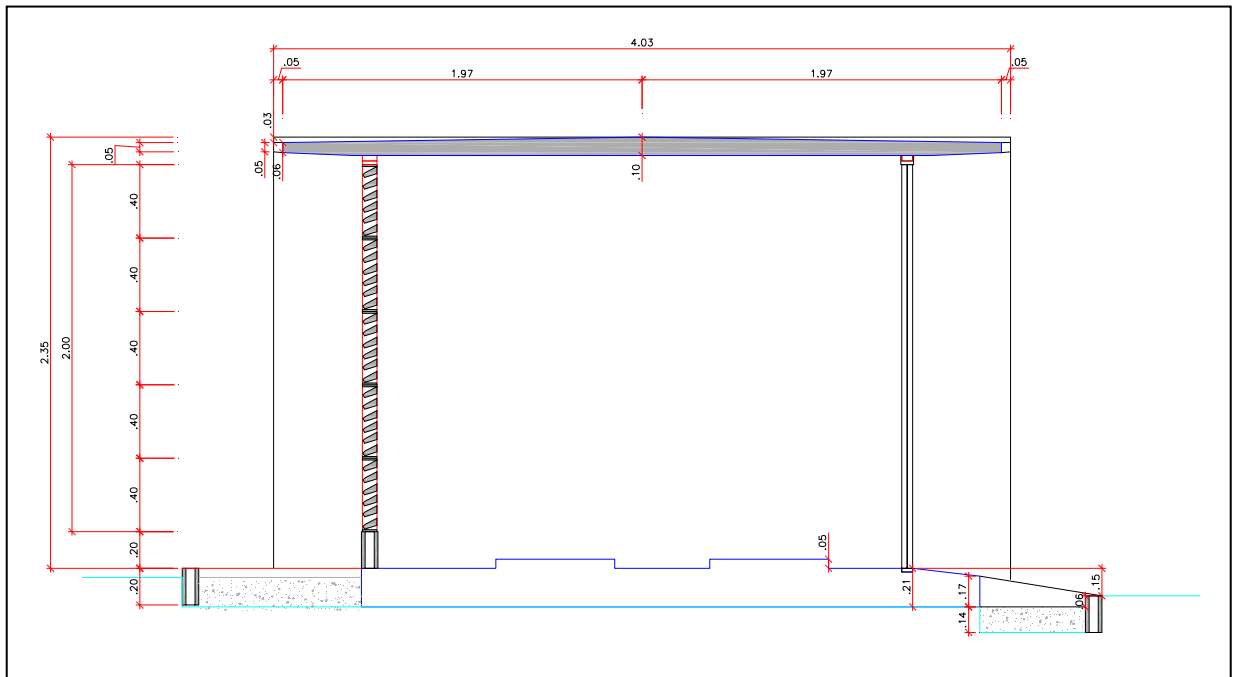


Ilustração 5-14 – Corte A-A transversal da cabine da ilustração anterior (Fonte: Coesf)

5.3.2. Segunda etapa de Projeto.

A segunda etapa de projeto ocorre após a divulgação dos resultados do teste piloto, que será estudado no capítulo 7.

Geralmente nesta etapa são definidos: a vazão de projeto do sistema, o dimensionamento do sistema de exaustão, composição dos gases, necessidade de tratamento e forma de descarte na atmosfera.

A Vazão de projeto será um dado colhido em campo, ou seja, será uma grandeza experimental de forma a atender eficazmente a ventilação dos drenos, assim como, a um número de acionamentos satisfatório.

Este dimensionamento foi apenas comentado e não será abordado, uma vez que não se encontra no foco do trabalho. Em relação a esta metodologia de dimensionamento, existe pouca literatura disponível, estando as técnicas empregadas diretamente relacionadas à experiência de profissionais ou consultores de gases.

6. IMPLANTAÇÃO DE DRENOS

A implantação foi iniciada com a locação dos elementos sempre a partir dos eixos estruturais; por este motivo, a locação das trincheiras, conforme mostrado na Ilustração 5-4, foi projetada a partir destes eixos.

O momento da implantação dos drenos deve ser criteriosamente planejado, pois deve ser compatível com o cronograma executivo da infra-estrutura da obra. Nesse caso, a implantação iniciou logo após a concretagem das vigas baldrame e antes da execução da laje de piso. Observa-se que, durante a implantação dos drenos, todos os serviços de infra-estrutura foram paralisados, evidenciando o grande impacto na implantação dos drenos, nas frentes possíveis de produção. Desta forma, o cronograma da obra, deve obrigatoriamente levar em conta os prazos de implantação dos drenos, pois torna-se caminho crítico da obra, ou seja, o impacto da implantação dos drenos é uma interferência relevante em qualquer obra.

A implantação ocorreu pelos drenos de gás e trincheiras drenantes, seguindo as redes coletoras e de interligação, terminando pelas caixas de passagem do sistema. A seguir as etapas são mais detalhadas.

6.1. Implantação de drenos horizontais

Conforme será apresentado nas ilustrações seguintes, a implantação das trincheiras iniciou-se pela escavação mecânica de valas (Ilustração 6-1). A largura da vala foi igualada ao da largura da concha de uma escavadeira, garantindo assim produtividade na sua execução.

Seguidamente ao apiloamento do fundo de valas foi criado um lastro de 40 cm em pedra brita 2, sobre o qual foram instalados os tubos drenantes, fabricados em pvc de alta densidade e rosqueados (Ilustração 6-3). Após cuidadoso preenchimento da trincheira em camadas de pedra brita 2, (Ilustração 6-4), a trincheira pode ser dada como concluída.

Observa-se que os cruzamentos dos drenos, tratam-se de pontos muito delicados, assim sendo, foi instalada uma base em concreto para receber a conexão apresentada na Ilustração 6-16, garantindo o acoplamento de suas conexões. A base de concreto serve como ancoragem para o possível aparecimento de esforços decorrentes do transporte de gases.

Após o término das trincheiras (Ilustração 6-10), foi executada camada drenante adicional sobre a laje, executado lastro de pedra brita 1, garantindo que os vazios fiquem interligados aos da trincheira, (Ilustração 6-13).

Finalmente foi executada proteção do dreno, executado em lona de pvc (Ilustração 6-15), com o objetivo de assegurar que a nata de concreto proveniente da concretagem do piso armado, não preencha os vazios do lastro de pedra brita 1.

A seguir são apresentadas fotografias que registram a implantação de drenos em seus diversos momentos.



Ilustração 6-1 - Escavação de trincheiras para instalação de drenos de gás. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)



Ilustração 6-2 - Instalação de tubos geomecânicos nas trincheiras drenantes. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)



Ilustração 6-3 - Detalhe de travessia de tubos e trincheiras nas vigas baldrame. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)



Ilustração 6-4 - Detalhe do preenchimento das trincheiras com pedra brita n.º 2. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)



Ilustração 6-5 - Vista da trincheira e do cruzamento de drenos interligados. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)



Ilustração 6-6 - Detalhe do cruzamento de tubos drenos e trincheiras. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)



Ilustração 6-7 - Detalhe do final do tubo dreno, antes de ser acoplado o tubo liso. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)



Ilustração 6-8 - Detalhe da finalização das trincheiras em pedra brita n.º 2. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)



Ilustração 6-9 - Vista geral das interferências. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)



Ilustração 6-10 - Trincheira aguardando a execução de camada drenante sob a laje de piso armada.

(Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)



Ilustração 6-11 - Trinceiras drenantes. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)



Ilustração 6-12 - Detalhe de interferência dos drenos com o sistema de aterramento. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)



Ilustração 6-13 - Vista da execução de camada drenante sob a laje de piso armada. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)



Ilustração 6-14 - Detalhe do dreno ou trincheira (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)



Ilustração 6-15 - Detalhe da proteção do dreno sob a laje armada. (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)

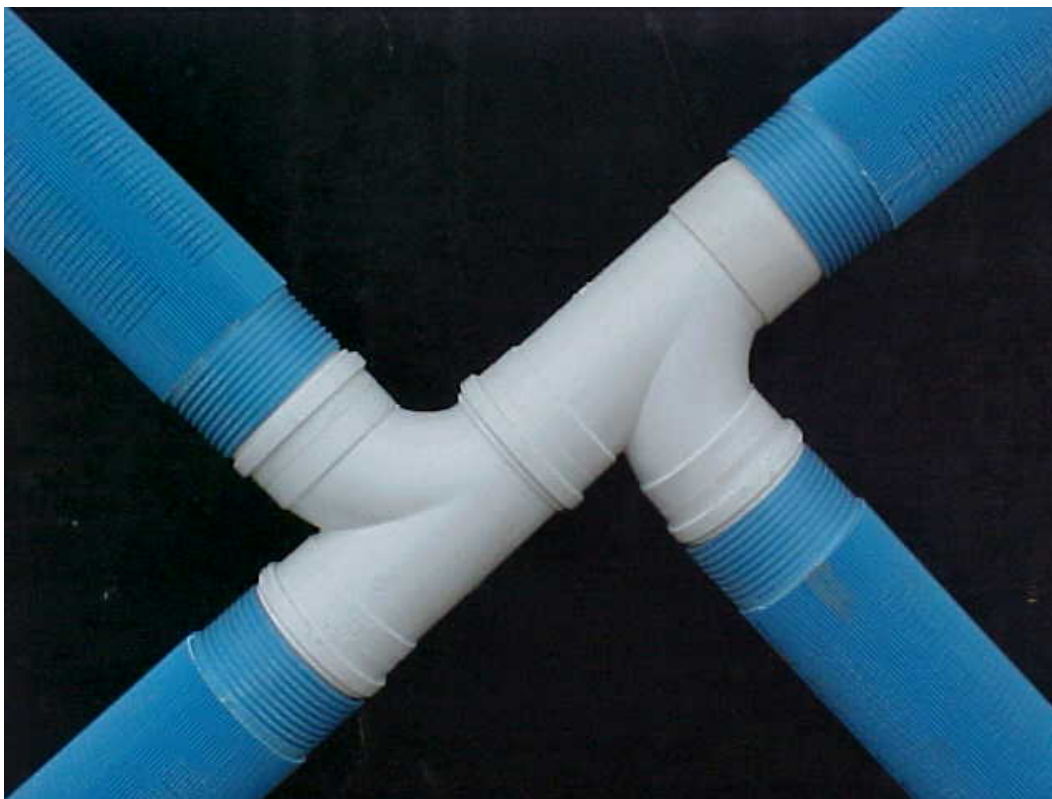


Ilustração 6-16 - Detalhe executivo de cruzamento de drenos (Foto: Joaquin E. F. A. Oviedo)

6.2. Implantação de redes externas de interligação de drenos

Consiste na implantação de uma rede, disposta em anel pelo lado externo ao edifício, rede que vem complementar o sistema de drenos, constituída por tubos em pvc marrom de 100 mm (4”), lisos.

Dispostos em forma a interceptar todos os drenos, nesta fase, ainda não se define o tipo de ligação que existira entre os drenos e a rede externa, ou seja, os detalhes de interligação entre eles, dependera da lógica decorrente de modelo a ser testado durante o teste piloto, que será apresentado no capítulo 7.

6.3. Caixas de passagem

Devem ser implantadas em todos os cruzamentos externos, entre os drenos e as redes de interligação, assim como nas deflexões e mudanças de direção das tubulações.

É importante que todas as tubulações transitem no mesmo nível para facilitar a implantação de conexões, que por enquanto se encontram indefinidas, conforme já foi exposto, nesta fase da implantação dos drenos.

A trabalhabilidade no interior das caixas deve ser garantida, desta forma foram implantadas caixas com um volume de 1 m³, (1,0 x 1,0 x 1,0 m), conforme recomendações apresentadas na Ilustração 5-9.

Na Ilustração 6-17, é apresentada vista interna de uma caixa de passagem, com as conexões já definidas.



Ilustração 6-17 - Caixa de passagem em alvenaria. (Foto: Guedes B. P.)

7. TESTE PILOTO (PILOT-SCALE TESTS)

7.1. Conceito do teste piloto

A instalação de drenos e trincheiras drenantes para a extração de vapores e concentrações de VOC, tem apenas significado restrito, devendo ser entendido como sendo apenas a simples implantação da infra-estrutura para a remediação de áreas contaminadas ou como em nosso caso, para a proteção de edifícios.

Conceitualmente o Teste Piloto, segundo o US Army Corps of Engineers, sobre o ponto de vista da massa removida, vem a ser a certificação de que o sistema, ao longo do tempo, é tecnicamente um efetivo método de remediação ou proteção. Em relação ao raio de influência dos drenos, o teste piloto comprova a área de influência pela utilização de fórmulas empíricas. Entre outras informações, o teste piloto auxilia também na determinação dos custos de funcionamento do sistema.

No caso da edificação estudada, o teste piloto foi dado como concluído após a realização de duas tentativas. A primeira tentativa correspondia a uma configuração que acabou não funcionando a contento, a configuração previa o fechamento de todas as extremidades dos drenos, além de ser aplicando vácuo em apenas um único ponto, o modelo não funcionou, pois foi verificado em campo que enquanto algumas extremidades eram ventiladas (presença de fluxo de ar), outras não, prevalecendo a segunda configuração, que apresentou melhor distribuição do vácuo, comprovada pela ventilação de todas as extremidades.

7.2. Definição do modelo de extração

7.2.1. Primeiro modelo proposto

No teste piloto, o vácuo gerado externamente é aplicado no sistema a través da rede de interligação externa e por sua vez transportado aos drenos.

Inicialmente uma das terminações das extremidades dos drenos foi vedada, enquanto a outra extremidade, interligada na rede coletora externa, sendo

responsável pela ventilação do dreno. Nas extremidades vedadas foram instalados manômetros, denominados PT-01 a PT-11. A função dos manômetros é a medição da pressão resultante pela aplicação da pressão negativa no sistema.

Encerrada a primeira tentativa de monitoramento, os resultados apresentaram dados desfavoráveis, pois não chegaram a ser constatadas pressões negativas nas extremidades, ou seja, não alcançaram as pressões previstas.

Este resultado negativo não caracteriza falha do sistema e sim um mau funcionamento dos drenos, pois a pressão aplicada não chegou às extremidades de alguns drenos. Na Ilustração 7-1, é apresentado o esquema utilizado na primeira tentativa do teste piloto.

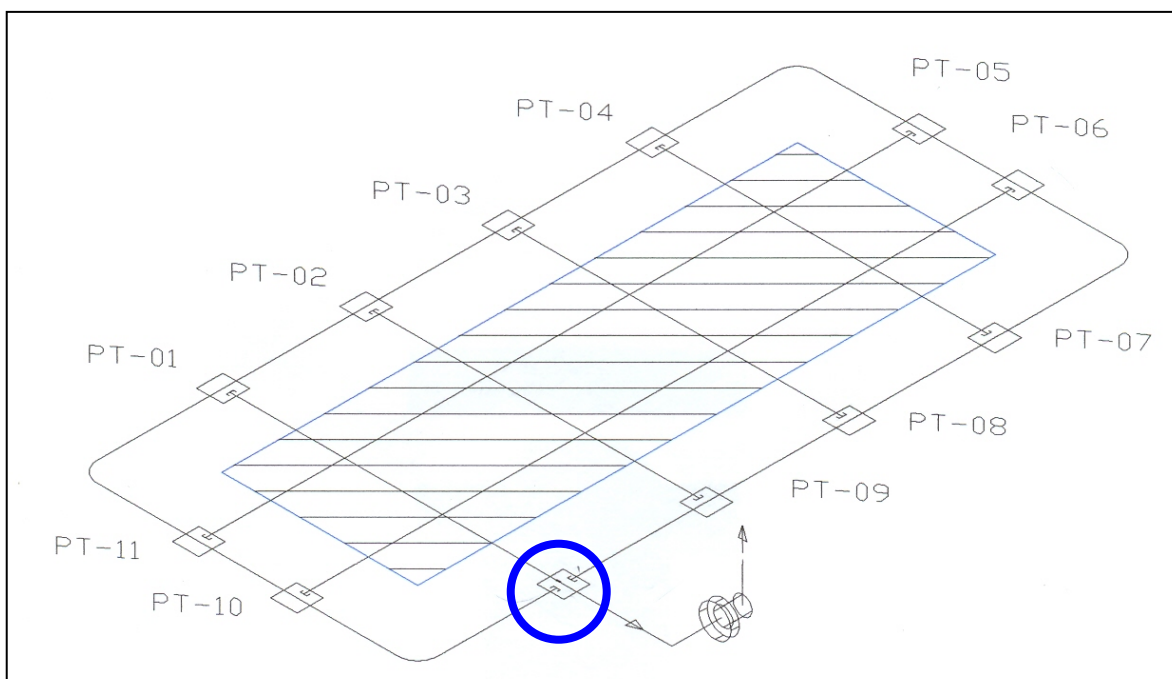


Ilustração 7-1 - Esquema utilizado na medição de VOC na primeira tentativa. (Kurozawa; Castro; Guedes – 2006)

7.2.2. Modelo final adotado

Depois do fracasso da primeira tentativa, algumas ligações dos drenos junto à rede externa foram revistas. Foram conectadas conforme modelo em “L”, visto da semelhança do sistema com essa letra.

Após análise dos resultados obtidos na segunda tentativa do teste piloto, os resultados são apresentados na Tabela 12 página 91, o modelo pode ser visto na Ilustração 7-2, o estudo deste modelo é apresentado no item 7.3.

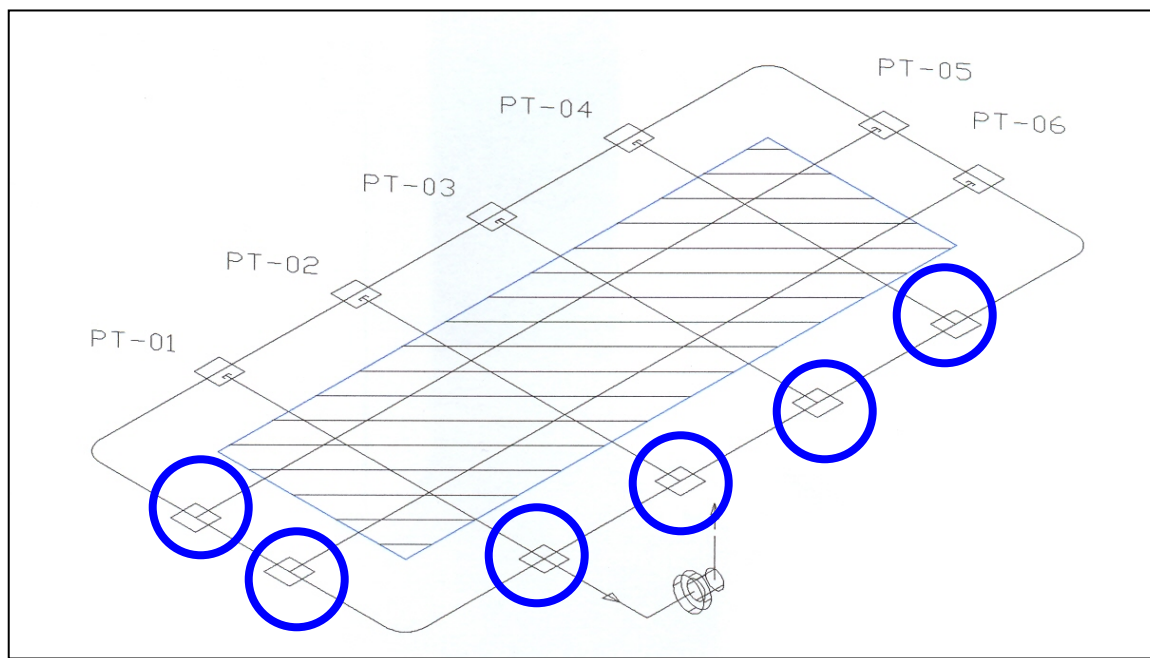


Ilustração 7-2 - Montagem final do sistema em “L” (Kurozawa; Castro; Guedes – 2006).

7.3. Testes de extração

Os testes de extração de gases foram realizados conforme descrito no item 7.2.2, não tendo sido encontradas concentrações de VOCs com valores próximos ou superiores aos limites de explosividade.

Os valores obtidos no segundo teste de extração, foram transformados em informações gráficas, sendo apresentados na Ilustração 7-3 e Ilustração 7-4.

Foi também executada avaliação do sistema para o esquema apresentado na Ilustração 7-2, os resultados são apresentados na Tabela 13 página 92.

Observa-se considerável redução de pressão a partir unidade geradora de vácuo até todos os PTs. A mesma é explicada pela sucção dos vazios contíguos aos drenos conforme modelo idealizado, ou seja, é comprovada a contribuição das trincheiras drenantes dentro de um determinado raio de ação. Infelizmente esta

não é a única contribuição ao sistema, pois existe uma parcela decorrente de perdas no sistema. Estas perdas de eficiência devem ser evitadas a todo custo, pois podem chegar a comprometer o mesmo.

As leituras de oxigênio (O₂), são de grande importância no monitoramento de VOC, uma vez que anomalias nestas leituras estão associadas a riscos à saúde humana, pela presença de outros gases, ou seja, uma leitura da ordem de 21% de (O₂) é compatível com o ar do meio ambiente, enquanto uma leitura de 18% de (O₂) indica que o oxigênio perdeu espaço para outro gás, merecendo atenção.

<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Data :</td> <td colspan="4">2/3/2006</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Hora :</td> <td colspan="4">13:30</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Clima :</td> <td colspan="4">Bom / nublado</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Temperatura :</td> <td colspan="4">28,7 °C</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Local :</td> <td colspan="4">Edifício I-1</td> </tr> </table>						Data :		2/3/2006				Hora :		13:30				Clima :		Bom / nublado				Temperatura :		28,7 °C				Local :		Edifício I-1			
Data :		2/3/2006																																	
Hora :		13:30																																	
Clima :		Bom / nublado																																	
Temperatura :		28,7 °C																																	
Local :		Edifício I-1																																	
Data	Hora (H:M)	Hora Teste (H)	VOC (ppm)	LEL (%)	O2 (%)																														
11/4/2006	14:30	0,0	660	0	19,3																														
11/4/2006	15:00	0,5	660	0	19,5																														
11/4/2006	15:30	1,0	858	0	19,7																														
11/4/2006	16:00	1,5	858	0	19,8																														
11/4/2006	16:30	2,0	924	0	19,9																														
11/4/2006	17:00	2,5	924	0	20,1																														
12/4/2006	09:30	19,0	330	0	19,3																														
12/4/2006	10:00	19,5	330	0	19,4																														
12/4/2006	10:30	20,0	396	0	19,5																														
12/4/2006	11:00	20,5	462	0	19,5																														
12/4/2006	11:30	21,0	594	0	19,7																														
12/4/2006	12:00	21,5	792	0	19,9																														
12/4/2006	12:30	22,0	792	0	20																														
12/4/2006	13:00	22,5	594	0	19,9																														
12/4/2006	13:30	23,0	660	0	20																														
12/4/2006	14:00	23,5	792	0	20																														
12/4/2006	14:30	24,0	726	0	20,1																														
12/4/2006	15:00	24,5	726	0	20,1																														
12/4/2006	15:30	25,0	792	0	20,1																														
12/4/2006	16:00	25,5	792	0	20,1																														
12/4/2006	16:30	26,0	726	0	20																														
12/4/2006	17:00	26,5	792	0	20,1																														

Tabela 12 - Resultado analítico para teste de extração de vapores VOC. (Kurozawa; Castro; Guedes – 2006)⁸

⁸ Valores transformados com base original em hexano para metano pela multiplicação com o fator 3,3

	Vazão (m3/h)	Pressão (mmH2O)	VOC (ppm)	LEL (%)	CO2 (%)	O2 (%)
Sistema	378	-40,0	40	0	0,8	19,5
PT-01		-4,3				
PT-02		-2,1				
PT-03		-1,5				
PT-04		-1,3				
PT-05		-1,4				
PT-06		-1,4				

Tabela 13 – Resultado da pressão no sistema apresentado na Ilustração 7-1 (Kurozawa; Castro; Guedes – 2006)

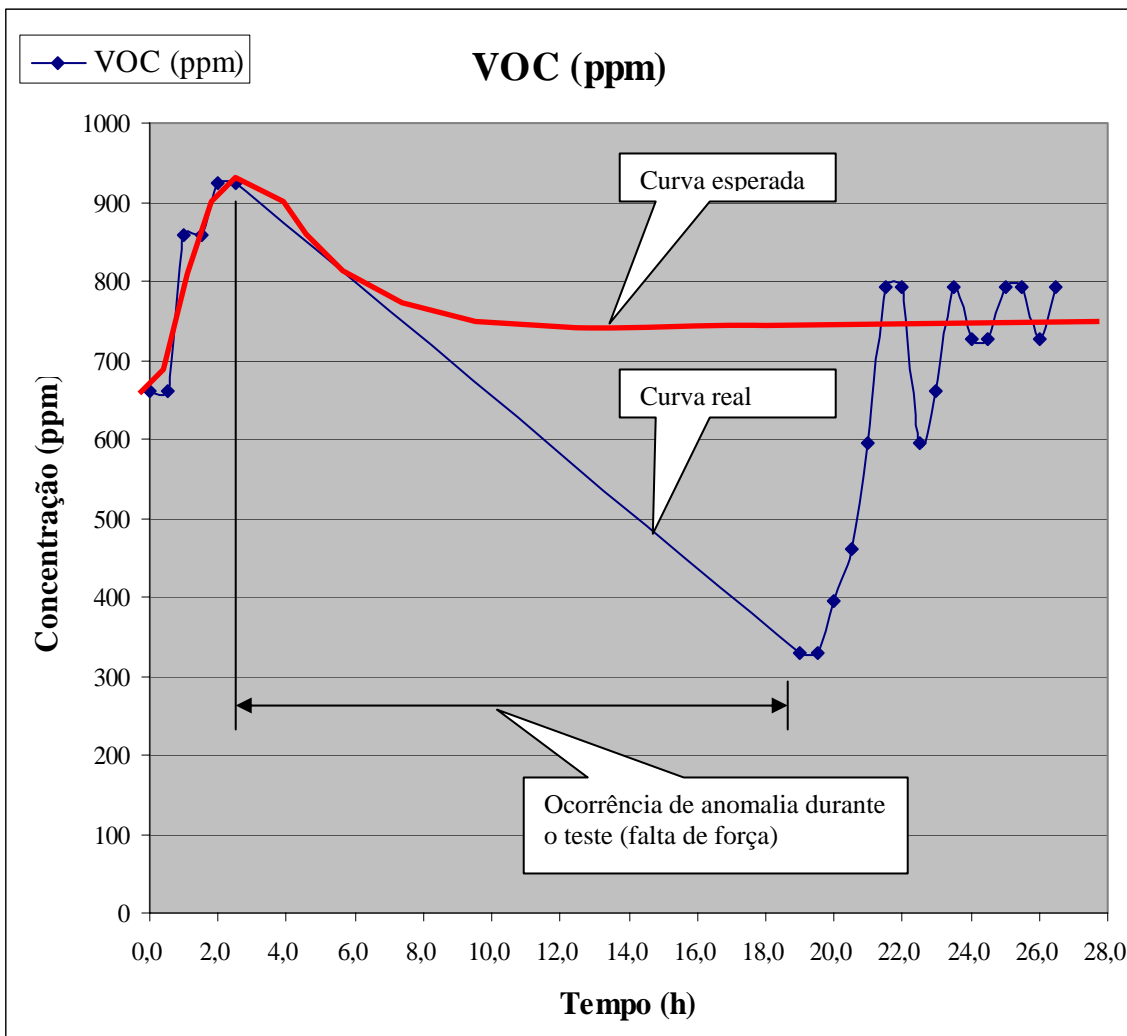


Ilustração 7-3 - Gráfico de VOC medidos durante o teste piloto (Kurozawa; Castro; Guedes - 2006)

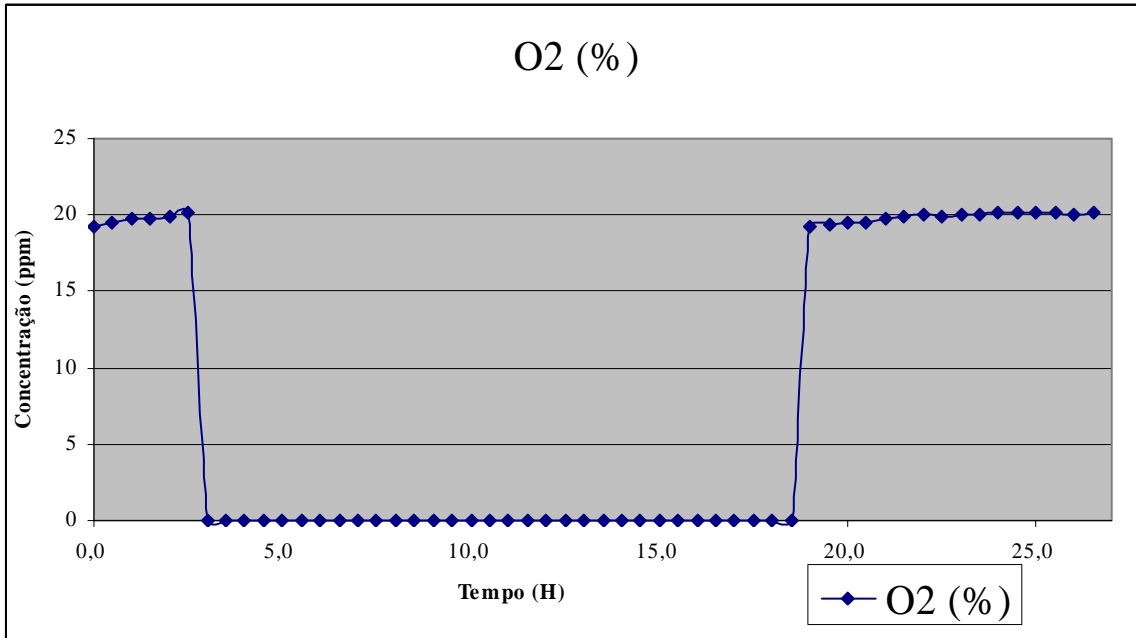


Ilustração 7-4 - Gráfico de O₂ medidos durante o teste piloto (Kurozawa; Castro; Guedes - 2006)

Em relação à bomba geradora de vácuo, esta foi instalada para gerar pressão negativa de forma temporária, apenas visando o teste, tendo sido estacionada próxima ao ponto de conexão da rede de distribuição.

Os drenos foram conectados em todas suas terminações, algumas vezes sendo plugados e outras interligados com a rede, o resultado deste trabalho é mostrado na Ilustração 7-5 e Ilustração 7-6.

Os patamares da figura anterior indicam;

0 a 3 – início da ventilação do sistema, uma vez que a concentração de O₂ se aproxima das do ar ambiente.

3 a 19 – sem leituras, ou seja, teste interrompido.

19 a 27 – Ventilação até a estabilização do sistema.



Ilustração 7-5 - Medição de velocidade de fluxo de gases (Kurozawa; Castro; Guedes - 2006)



Ilustração 7-6 - Detalhe interno da montagem da caixa de passagem do sistema de exaustão (Kurozawa; Castro; Guedes - 2006)



Ilustração 7-7 - Bomba utilizada na extração de VOC do teste piloto (Kurozawa; Castro; Guedes - 2006)

7.4. Zona de captura (Zone of Influence)

A zona de captura determina a efetiva zona de influência do vácuo que é aplicado na extração de vapores, para este caso é utilizado modelo matemático propostos pela US Army Corps of Engineers e EPA (Environmental Protection Agency), pela fórmula apresentada na Equação 1.

$$Q_v = \frac{\pi r^2 b n_a}{t_{xc}}$$

Equação 1

Onde,⁹

Q_v ¹⁰ vazão volumétrica de fluxo, em pressão atmosférica [$L^3 T^{-1}$]

r raio da zona de tratamento [L]

b espessura da camada não saturada [L]

n_a porosidade de preenchimento do ar no solo [$L^3 T^{-3}$]

t_{xc} tempo necessário à troca volumétrica em um poro ($1/pver$ ¹¹) [T]

Raio de influência dos drenos					
Parâmetro	Unidade	Valores			
n_a	%	30,00	40,00	50,00	60,00
Q_v	M ³ /ano	262.800	262.800	262.800	262.800
b	m	4,00	4,00	4,00	4,00
t_{xc}	1/ano	0,001	0,001	0,001	0,001
r	m	8,35	7,23	6,47	5,90

Tabela 14- Determinação da influência dos drenos (usando a equação 1)

⁹ As grandezas envolvidas na fórmula são expressas em L (distancia) e T (tempo).

¹⁰ A vazão foi adotada como sendo 30m³/h para 365 dias com 24 horas, ou seja, 262.800 m³/ano.

¹¹ PVER (taxa de troca volumétrica do poro) variando de 300 a 1000 trocas por ano, adotado 1000 para SVE.

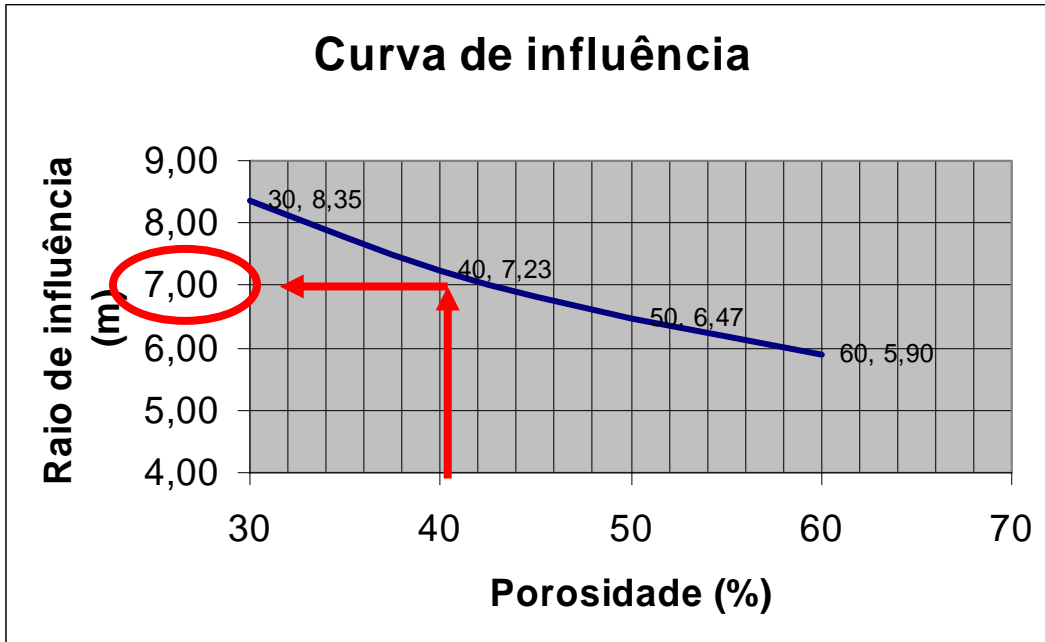


Ilustração 7-8 - Curva do raio de influência x porosidade (usando a equação 1)

Dos cálculos anteriores podemos concluir que para os parâmetros locais, assim como, para uma porosidade de 40%, porosidade próxima da brita usada em nosso estudo de caso, o raio de influência para ação dos drenos, é de aproximadamente 7 metros.

8. CONCLUSÕES

8.1. Recomendações

Aplicando-se as recomendações e diretrizes propostas neste capítulo, podem ser esperadas melhoras no sistema de extração de gases, para a utilização do sistema proposto no estudo de caso, proteção com drenos profundos em tubos de 100 mm .

Torna-se oportuno esclarecer que, durante a tomada de decisão na implantação dos drenos, devem ser evitadas a todo custo improvisações e decisões sem o devido cuidado técnico, uma vez que elas podem ter reflexo desfavorável e imprevisível no futuro.

É recomendado também que em terrenos com suspeitas ou confirmação da existência de poluentes ou quando existirem condições favoráveis à existência de gases, seja providenciado um estudo de análise de risco da área, conclusão que auxiliará e definirá as providências apropriadas assim como sua prioridade na implantação uma remediação e ou proteção eficaz.

Diâmetro dos tubos drenos:

Apesar do estudo de caso ter abordado um modelo que utiliza tubos de 4” polegadas (100 mm), também podem ser utilizados tubos de 2” polegadas (50 mm), a opção entre as bitolas apresentadas é de responsabilidade do executor da investigação ambiental; porém, cabe ao incorporador ou proprietário da edificação, o devido questionamento, pois esta opção, traz um impacto considerável no custo da solução. Uso de diâmetros maiores, implicam em um conhecimento profundo do terreno, assim como a ocorrência de concentrações pontuais de voláteis, pouca variabilidade nas anomalias, espaçamento maior entre drenos, drenos mais profundos, trincheiras maiores, baixa quantidade de caixas de passagem. Já a utilização de bitolas menores, para esta solução, implicam em concentrações de voláteis dispersas e terrenos com elevada variabilidade de ocorrência de anomalias, espaçamento menor entre drenos,

drenos superficiais, trincheiras simples, altas concentrações de caixas de passagem. Neste caso a título de pré-dimensionamento, pode ser aplicado o conceito de drenos em malhas de 7 metros.

Furações nas vigas baldrame:

Estas perfurações são usualmente implantadas nas dimensões de 4” polegadas ou 10x10 cm, a um terço dos apoios, em todos os vão das vigas internas.

É denominado neste trabalho como sendo “célula de tabuleiro”, à parte inferior das lajes de piso, confinadas entre as vigas baldrame. Desta forma a laje como um todo esta composta por diversas células de tabuleiros.

A comunicação entre as células dos tabuleiros ocorre por meio das furações nas vigas baldrame, local onde podem ser instaladas tubulações de extração de drenos. Estas aberturas funcionam como auxiliares na drenagem de gás metano. Conceitualmente as vigas de borda do edifício não devem ter estas aberturas.

Observa-se que o tapete drenante também se encontra interligado na altura das aberturas na vigas baldrame. Desta forma é esperada uma contribuição das mesmas na drenagem dos gases.

Interferências elétricas e hidráulicas:

As interferências devem ser detectadas e compatibilizadas previamente na etapa de projeto dos drenos, uma vez que improvisações podem trazer resultados inesperados e de custosa correção.

Cuidados adicionais devem ser adotados para o caso de eletrodutos e outras tubulações enterradas, devendo guardar uma distância mínima em relação às trincheiras drenantes, horizontalmente de no mínimo 1 m e verticalmente em nível inferior, além de serem estanques.

Para o caso de travessia de eletrodutos no interior das trincheiras drenantes, estas tubulações devem obrigatoriamente ser envelopadas com concreto, até 1 metro da trincheira.

Mesmo procedimento deve ser adotado nos casos de existência de cordoalhas ou cabos de sistemas de aterramento, normalmente em cobre, uma vez que estes

últimos estão sujeitos ao surgimento de micro faíscas que podem funcionar como fonte de ignição para a queima dos gases.

As redes hidráulicas também apresentam risco, tanto no caso de entrada de ar no sistema, assim como, para o caso do gás invadir as tubulações, podendo conseqüentemente chegar aos usuários.

Tapete drenante (lastro de brita):

É recomendada a adoção de colchão de pedra brita 1, com espessura de 10 cm, utilizando-se lona plástica de alta densidade como limitador para a perda da nata do concreto da laje de piso, para garantir a drenagem.

Este dispositivo como auxiliar na drenagem, exerce um papel relevante na drenagem dos gases, uma vez que por estar logo na camada inferior à laje de piso, posição onde o gás poderá se acumular, caso não seja extraído.

Drenos de rebaixamento e proteção da água subterrânea:

É importante a existência de drenos para rebaixamento do lençol, uma vez que sua falta, na existência de um lençol freático elevado, inviabiliza a exaustão de gás pela ocupação dos vazios e pelo entupimento dos mesmos. Os drenos nunca devem ser executados muito próximos das trincheiras drenantes de gás pois podem influenciar no seu funcionamento.

8.2. Críticas ao sistema

Teste piloto:

O teste piloto apresentado no item 7 teve uma duração muito curta, iniciou as 14:30 do dia 11/4/06 e foi encerrado as 17:00 do dia 12/04/06, ou seja, durou 26,5 horas. O intervalo ainda contou com uma interrupção de 16,6 horas.

Como apresentado na Ilustração 8-1, os valores acumulados de *voc* encontram-se ascendentes, ou seja, o teste foi interrompido antes mesmo de estas leituras estabilizarem, o que não certifica o sistema como um método efetivo de proteção, o ensaio deve ser repetido.

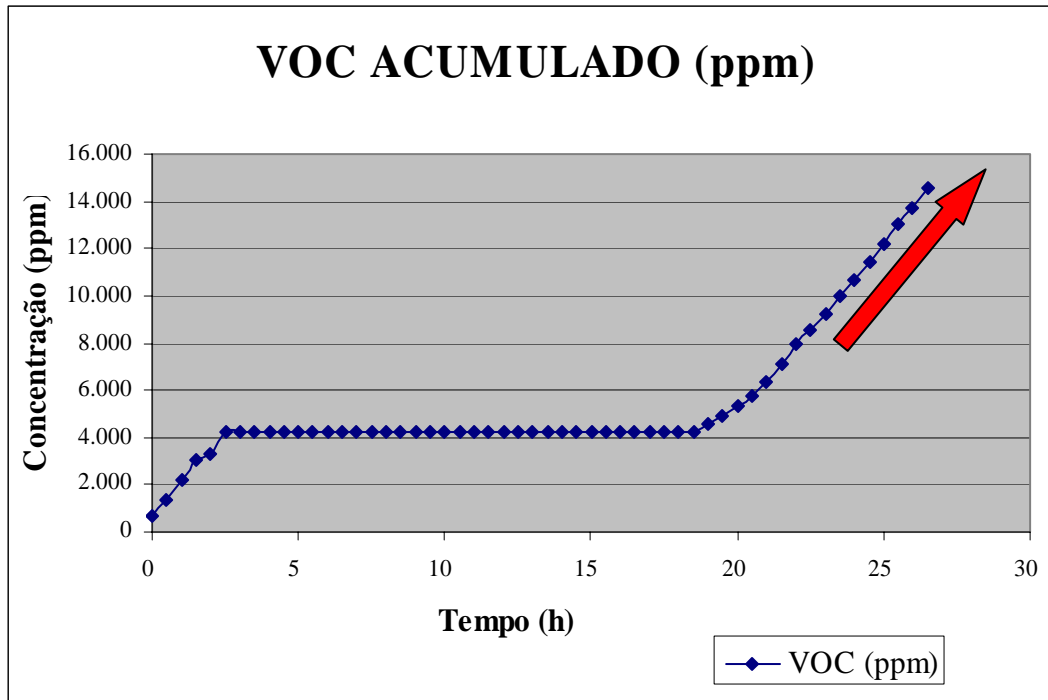


Ilustração 8-1 - Gráfico com concentrações de VOC acumuladas, com tendência ascendente.

A demora na estabilização das concentrações de metano observadas no teste piloto, pode ser explicada em função do modelo apresentado na figura seguinte, onde o fluxo apresentado das moléculas de metano, dentro do tapete sob a laje, não pode ser comprovado, o que torna este modelo ineficiente.

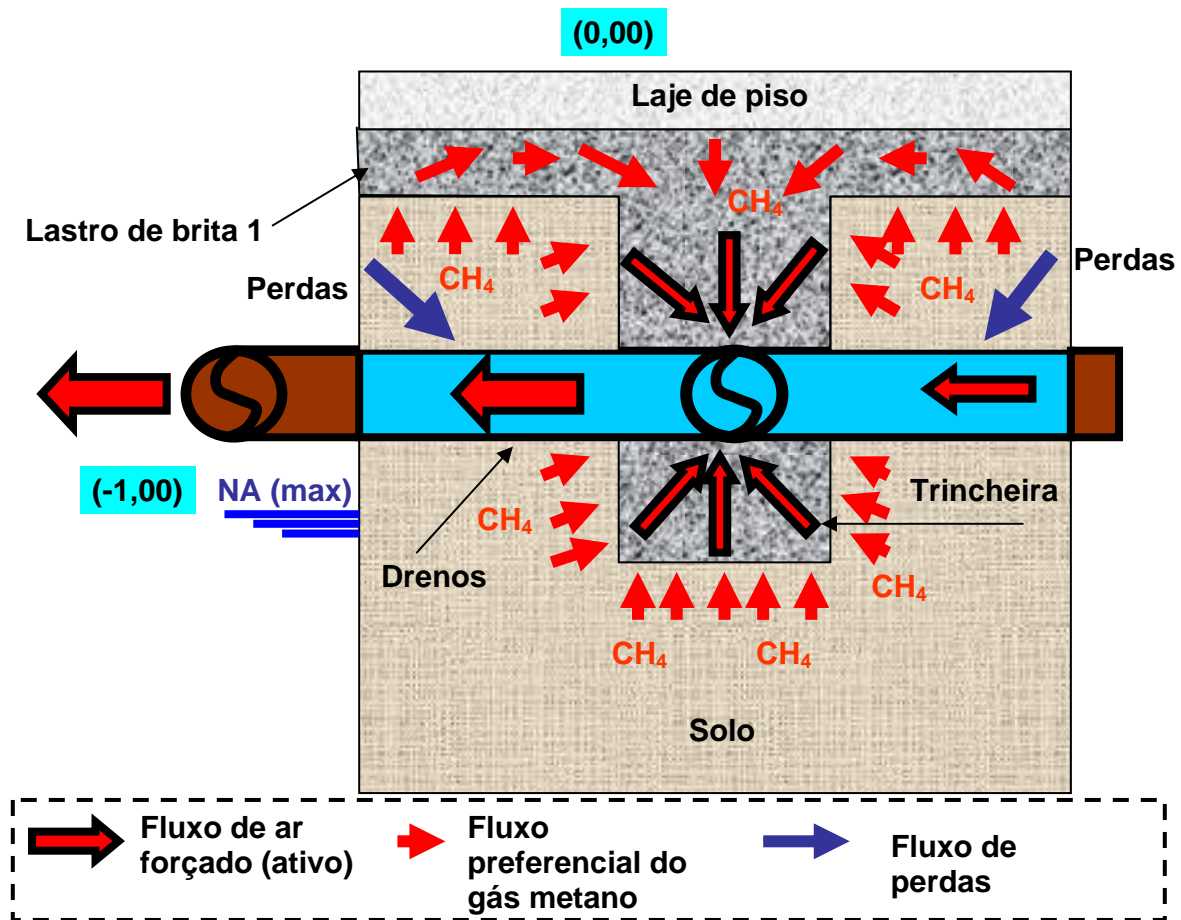


Ilustração 8-2 - Modelo de extração utilizado no estudo de caso

Por outro lado durante a elaboração deste trabalho, tendo foco no estudo de caso do edifício I-1, foram propostos outros modelos de extração de vapores, que acabaram sendo implementados em outros edifícios.

A evolução natural e gradual dos conceitos de extração de vapores, além de muito desejáveis, são saudáveis, devendo prosseguir e ser abordados em trabalhos futuros.

O modelo mais recente em fase de implantação pode ser visto na ilustração seguinte, projetando um custo de implantação da ordem de R\$17,00, base Janeiro 2007, custo e eficiência de funcionamento superiores aos apresentados na Tabela 15, página 104.

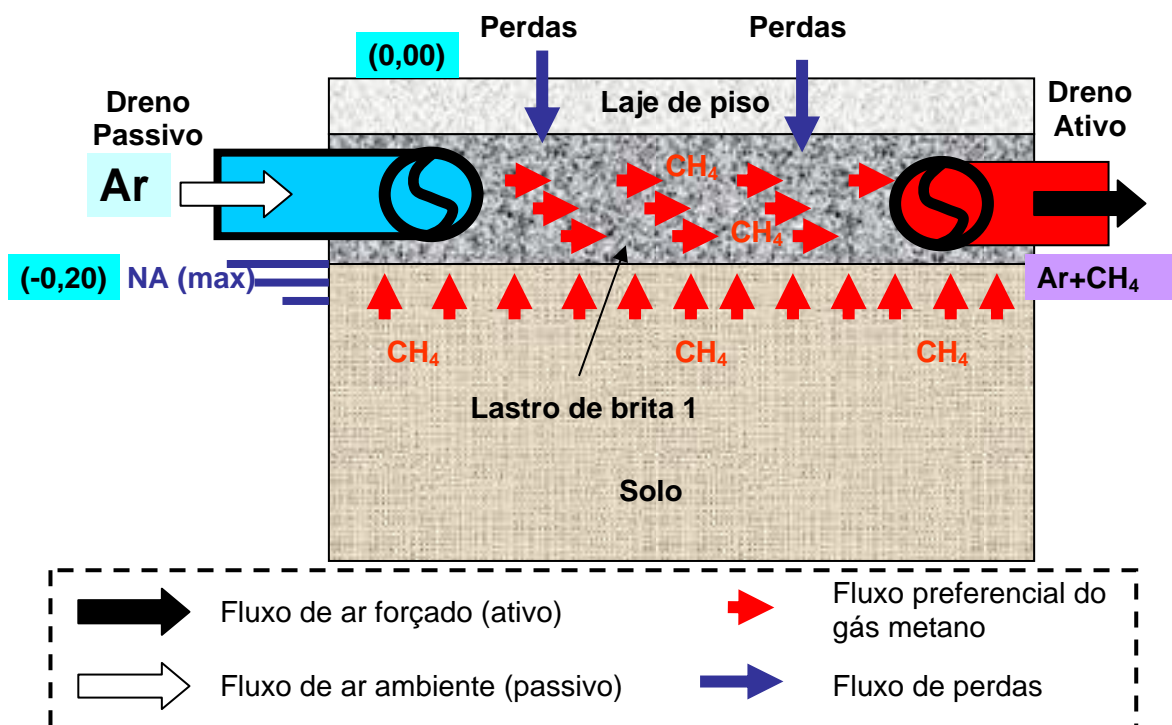


Ilustração 8-3 - Modelo aprimorado, em implantação em outras edificações da USP Leste.

Drenos:

A grande profundidade dos drenos e o elevado nível freático são conflitantes, o que pode prejudicar o funcionamento do sistema.

Segundo o Engenheiro Scandar Gasperazzo Ignátius, técnico do IPT, os drenos localizados na altura do tapete drenante, ou seja, logo abaixo da laje de piso, tendem a ser mais efetivos, isto em função do tapete ser um elemento de drenagem extenso e mais homogêneo.

Custos:

A utilização de tubos de diâmetro elevado, 4" polegadas (100 mm), também pode ser questionada uma vez que tubos de diâmetro inferior, 2" polegadas (50 mm), podem ser utilizados sem perda de suas propriedades, além de serem de mais fácil aquisição (fornecimento e custo). Porém contrariamente ao sugerido anteriormente, o custo final do sistema para tubos menores, acaba sendo mais

elevado, como é apresentado na Tabela 15, página 104, onde as diversas soluções utilizadas na USP Leste foi comparada em termos de custo unitário por m² de implantação.

Desta forma o custo de implantação por metro quadrado de área de projeção de obra, para soluções similares a este trabalho, estará na faixa de 23,00 a 25,00 R\$/ m² (janeiro/2007). Este valor remunera custos de material e mão de obra na execução dos drenos.

Solução adotada	Custo por m ² de área de projeção (R\$/m ²) (*) (**)		
	Drenos em tubos Ø 4" (100 mm) em trincheiras	Drenos em tubos Ø 2" (50 mm) em trincheiras	Drenos em tubos Ø 2" (50 mm) sem trincheiras
Edifício estudado	24,28	-	-
Obra A	-	75,07	-
Obra B	-	-	64,12
Obra C	23,59	-	-
(*) custos referentes à implantação de drenos, tapete drenante, redes externas e caixas de passagem. Custos atualizados para Janeiro / 2007.			
(**) não foram considerados custos referentes à implantação da cabine de exaustão de gás, investigação ambiental, teste piloto, assim como, custos de operação.			

Tabela 15 - Quadro comparativo entre outras soluções utilizadas na USP Leste

Redes de interligação externas:

As redes de interligação externa geralmente ficam ociosas, uma vez que são implantadas antes de se verificada sua necessidade, ou seja, muitas vezes não são utilizadas e poderiam não existir, economia que seria revertida para o sistema. Esta economia vem sendo implementada recentemente na USP Leste.

Raio de influência dos drenos:

Por outro lado existem indícios de que a Equação 1 utilizada para determinação do raio de influência, tem aplicação restrita a poços verticais profundos e que sua utilização em nosso caso não teriam muito valor, sendo pouco confiável.

Legislação:

Infelizmente o rigor da legislação em vigor (anexo IV da decisão da diretoria 010/2006 - CETESB), falha ao enquadrar o terreno da Universidade de São Paulo na USP Leste, como equivalente ao terreno de um posto de gasolina. Impondo o mesmo rigor na análise dos dados e ensaios realizados, custos que apenas enfraquecem as reduzidas verbas públicas destinadas à expansão de vagas.

O presente trabalho conseguiu cumprir com os principais objetivos propostos, visto de além de apresentar recomendações para implantação de drenos de gás, rascunhou bases, úteis como ponto de partida para a administração se casos semelhantes.

A utilidade dos dados apresentados é evidente, uma vez que poderão servir na comparação junto a outros resultados, decorrentes de aperfeiçoamento, além de obtidos em casos semelhantes.

Melhoras ao sistema apresentado são possíveis, devendo ser propostos, documentados e divulgados, assim como pretendeu este trabalho.

Mais informações podem ser solicitadas por meio do e-mail; engojoca@terra.com.br ou oviedo@usp.br.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATSDR, Lanfill gas primer, **Relatório preparado pela Agency of Toxic Substances and Desesase Registry** (2001). <http://www.atsdr.cdc.gov> (Jun/2006)

SECRETARIA Nacional de Saneamento Ambiental PMSS ,**Boletim da Escola Nacional de Serviços Urbanos do Ibam e Ministério das Cidades** – disponível no site; www.ibam.org.br/publique/media/Boletim2a.pdf (Jun/2006)

CAMPOS, M. M. R. **Utilização de drenos horizontais profundos (DHP) em projetos de recuperação ambiental.** Dissertação e mestrado - EPUSP. 167 São Paulo. 2003.

CARVALHO, M. F. **Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos.** São Carlos. 300p Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, (1999)

CASTILHOS JR. A. **Resíduos sólidos urbanos: Aterro sustentável para Municípios de pequeno porte.** 1º edição ABES. 280 f. Rio de Janeiro. 2003.

CETESB 2005. **Procedimentos para identificação de passivo ambiental em postos de combustíveis.** CETESB, São Paulo. Disponível no site; http://www.cetesb.sp.gov.br/Servicos/licenciamento/postos/roteiros_procedimentos.asp (Jul/2006)

CETESB 2005b. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. CETESB, São Paulo. disponível no site; <http://www.cetesb.sp.gov.br> (Jul/2006)

CETESB. **Legislação** disponível no site; <http://www.cetesb.sp.gov.br> (Jul/2006)

COELHO, M. G. **Comportamento de Piezômetros em Aterro Sanitário São Paulo**. 150p Tese (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Paulo, Universidade de São Paulo, (2005)

ESSENCIS Soluções Ambientais S.A. **Redução das emissões de gases de aterro – Caieiras – SP** (Documento de Concepção de Projeto – DCP) versão 2. 33 p. UN. FCCC

GALANTE G.; HURTADO S.; KLEIN D., **Relatório de diagnóstico Ambiental** – NP (2005).

IGNATIUS, SCANDAR GASPERAZZO. **Fluxo unidirecional de gás através de um solo compactado**. São Paulo. 337p Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, (1999)

IZOLAN, E.; Alban, C.; Cesari M., disponível no site; <http://www.net11.com.br/eccc/biogas/biogas.html> (Jun/2006).

KUROZAWA S. S.; CASTRO A.; GUEDES B. P., **Sistema de Extração de Vapores** – Ensaio Piloto –NP (2006).

LANG, R. J.; Stallard, W. M.; Stiegler., L. C.; Herrera T. A.; Chang C. P.; Tchobanoglous G., **Movement of gases in municipal solid waste landfills**, report prepared for the California Waste Management Board, USA. (1989)

MASSOLA, A. M. et al. **Implantação e Realização**. in (USP Leste: A expansão da universidade do Oeste para o Leste). 1º edição Edusp. p 177-196. São Paulo. 2006.

MONDELLI, G. **Investigação geoambiental em áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos utilizando a tecnologia do piezocone**. Tese (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, (2004)

MUNHOZ, J. A **Apostilha de riscos de toxicidade e de explosividade**. joao_munhoz@farbene.com.br Disponível no site; <http://www.saudeetrabalho.com.br/download/riscos-explosividade.pdf> (Jul/2006)

ONYX – SASA – Brasil. **Projeto Onyx de recuperação de gás de aterro – Tremembé – SP** (Documento de Concepção de Projeto – DCP) versão 2. 339p. 2004.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS - Engineering And Design – **Soil Vapor and Bioventing, Environmental Protection Agency EM 1110-1-4001**, USA (2002).

US ARMY CORPS OF ENGINEERS - Engineering And Design – **Soil Vapor and Bioventing, Environmental Protection Agency EM 1110-1-4010**, USA (2002).

SCS ENGINEERS - **Estudo de pré-viabilidade para recuperação de biogás no aterro de Muribeca, Pernambuco, Brasil.** Disponível no site; http://www.bancomundial.org.ar/lfg/archivos/PrefeasibilityStudies/SpanishPortuguese/Muribeca_Prefeasibility_Study_Portuguese.pdf (Jul/2006)

VARNIER, C. & HIRATA, R. 2002. **Contaminação da água subterrânea por nitrato no Parque Ecológico de Tietê SP.** Revista Águas Subterrâneas, p 77-80. ISSN_0101-004

VROM 1999. **Lista holandesa de valores de qualidade do solo e da água subterrânea** – valores STI. Site: http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/areas_contaminadas/anexos/download/6530.pdf (Jul/2006)