

**RELATÓRIO TÉCNICO N° 92 353-205**

**- Parcial -**

**AVALIAÇÃO E SUGESTÕES DE APERFEIÇOAMENTO PARA ALGUNS  
DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO DE GÁS E VAPOR DO SUBSOLO  
DE EDIFÍCIOS DO CAMPUS DA USP LESTE - RESULTADOS  
PRELIMINARES**

**RELATÓRIO DE ANDAMENTO IV**

**Centro de Tecnologias Ambientais e Energéticas  
Laboratório de Resíduos e Áreas Contaminadas**

**Cliente: Universidade de São Paulo USP/COESF**

**Abril/2007**

**Resumo:**

São apresentados os resultados preliminares de avaliação e sugestões de aperfeiçoamento para alguns dos sistemas de ventilação de gás e vapor do subsolo de edifícios do campus da USP Leste, região de comprovada ocorrência de gases e vapores no subsolo. É resumidamente apresentada a situação atual dos sistemas de ventilação para 6 edifícios existentes, relatada a inexistência de sistema de ventilação para 7 edifícios existentes, desenvolvida qualitativamente proposta de sistema de ventilação para 1 edifício e 1 conjunto de prédios em fase de construção. Um último edifício ainda se encontra em fase de contratação para construção. Avaliação crítica e sugestão de aperfeiçoamento do sistema para o edifício I-1 também foi apresentada. Verificou-se, de maneira geral, que os sistemas de ventilação implantados careciam de conceituação precisa de projeto que garantissem seu funcionamento. Elaborou-se no decorrer dos trabalhos o conceito de “proteção dos edifícios por ventilação de sua base”, em regiões de ocorrência de gases e vapores no subsolo, que norteou as proposições efetivadas, contra o mais tradicional de “ventilação do subsolo”, que é um método de remediação do solo. Sistemas de proteção dos edifícios por ventilação de sua base foram propostos, associando-se drenos de extração ativa por bomba de sucção, com tubos perfurados de injeção passiva de ar atmosférico, instalados no interior de tapetes drenantes de brita sob a laje de piso dos edifícios.

**Palavras Chave:** ventilação de solos; extração de gás de solos; extração de vapor de solos; USP Zona Leste.

## Sumário

		p.
1	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	01
2	<b>CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SUBSOLO DOS EDIFÍCIOS.....</b>	02
	2.1 Solos e nível d'água natural da área.....	02
	2.2 Ocorrência de gases e vapores no subsolo da área.....	04
3	<b>CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO DO SUBSOLO DOS EDIFÍCIOS.....</b>	05
	3.1 Edifício I-1 (edifício 1).....	05
	3.2 Reservatório de água (edifício 2).....	08
	3.3 Edifício I-3 (edifício 3).....	09
	3.4 Edifício I-4 (edifício 4).....	10
	3.5 Guarita (edifício 5).....	11
	3.6 Conjunto Laboratorial (fase 1) (edifício 6).....	11
	3.7 Cabine de alta tensão (edifício 7).....	11
	3.8 Bloco Inicial (edifício 8).....	11
	3.9 Refeitório (edifício 9).....	12
	3.10 Posto de enfermagem (edifício 10).....	12
	3.11 Viveiro (edifício 11).....	12
	3.12 CAT (edifício 12).....	13
	3.13 Posto Policial (edifício 13).....	13
	3.14 Portaria CPTM (P3) (edifício 14).....	13
	3.15 Ginásio (edifício 15).....	13
	3.16 Estação elevatória de esgoto (edifício 16).....	13
4	<b>RECOMENDAÇÕES DE PROJETO DE SISTEMAS DE VENTILAÇÃO DO SUBSOLO DE EDIFÍCIOS DA USP LESTE.....</b>	14
	4.1 Conjunto Laboratorial (fase 1) - (edifício 6).....	16
	4.2 Portaria CPTM (P3) - (edifício 14).....	21
5	<b>PROPOSTA DE MODIFICAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SISTEMA IMPLANTADO PARA VENTILAÇÃO DO SUBSOLO DO EDIFÍCIO I-1 (edifício 1).....</b>	22
6	<b>COMENTÁRIOS FINAIS.....</b>	25
	<b>EQUIPE TÉCNICA.....</b>	28
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	29
	<b>ANEXO A – DESENHOS.....</b>	30

## 1 INTRODUÇÃO

O presente Relatório de Atividades refere-se ao contrato N<sup>o</sup> 67/2006 celebrado entre a Universidade de São Paulo - USP por meio da Coordenadoria do Espaço Físico e o IPT-CETAE, para trabalhos de mapeamento de gases e vapores, prospecção de contaminação superficial de solos e análises de sistemas de exaustão de gases e vapores do subsolo sob os edifícios da USP Leste - Gleba 1.

Apresenta-se neste Relatório de Atividades, os resultados preliminares da avaliação, bem como sugestões de aperfeiçoamento, dos sistemas de ventilação de gás e vapor do subsolo, para alguns dos edifícios da Gleba 1 do campus da Universidade de São Paulo situado na Zona Leste da cidade de São Paulo (USP Leste).

Apresentam-se ainda diretrizes de projeto e recomendações de construção para os sistemas de ventilação de gás e vapor do subsolo dos edifícios a serem ainda construídos: Conjunto Laboratorial – Blocos A1, A2, A3 e Corredor de Serviços, e Portaria CPTM (P3).

Trata-se de conclusões preliminares a partir de análise de documentos, desenhos e informações prestadas por técnicos de escritório e de campo da COESF/USP.

Os documentos analisados foram basicamente os seguintes relatórios produzidos para a USP pela empresa Servmar Serviços Técnicos Ambientais Ltda: “Relatório de Diagnóstico Ambiental – USP Campus Zona Leste (Rua Arlindo Betio n<sup>o</sup> 1000, Ermelino Matarazzo), de 26 de outubro de 2005 (MA/3134/05/SNH); “Dimensionamento do Sistema de Extração de Vapores – Conjunto Didático Inicial”, de 26/Abril/2006 (MA/4447/06/ACP), e “Sistema de Extração de Vapores – Ensaio Piloto – Edifício I-1 e Edifício I-3”, de 09/Junho/2006 (MA/4668/06/BPG), e pela empresa EMES Engenharia e Mecânica dos Solos S/C Ltda: Relatório N<sup>o</sup> 1849/04 (RG. COESF N<sup>o</sup> 47441).

Apresenta-se esquematicamente no Desenho A1, Anexo A, a disposição dos edifícios construídos e dos a serem construídos (edifícios de números 6 e 15 na figura), na Gleba 1 do terreno da USP Leste.

## 2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SUBSOLO DOS EDIFÍCIOS

## 2.1 Solos e nível d'água natural da área

Os solos encontrados na área pertencem aos depósitos aluviais quaternários associados ao Rio Tietê, sobrepostos aos sedimentos da Bacia de São Paulo, com espessura total média podendo superar os 100 metros (Relatório Servmar MA/3134/05/SNH).

Até a profundidade investigada pela empresa Servmar, 6,5 metros, “são comuns indícios de depósitos antropizados, como as camadas de aterro com escombros de construção e grandes quantidades de plástico, borracha, etc., provavelmente oriundos da dragagem do rio Tietê”.

Foram efetuadas sondagens de simples reconhecimento com ensaios SPT pela empresa Emes Engenharia e Mecânica dos Solos a profundidades variáveis, sendo a máxima de 20,45 metros no ensaio SP-DI12 com valor de SPT de 28 nessa profundidade. As posições dessas sondagens no terreno estão indicadas no desenho A1, Anexo A.

Essas sondagens indicaram, em todos os pontos, uma camada de aterro da superfície do terreno até profundidades variáveis de 0,80 metros (SP-7) até 7,50 metros (SP-DI11), constituída geralmente de camadas fofas de areia fina ou areia média pouco argilosa de cor amarela a marrom ou cinza, intercaladas com camadas moles e muito moles de argila orgânica de cor cinza escura. A sondagem SP-DI10 indicou a presença de uma camada de turfa preta muito mole no interior da camada de aterro.

Abaixo dessa camada, ocorrem camadas aluvionares alternadas de argilas orgânicas silto-arenosas moles e muito moles, e areias médias e finas argilo-siltosas fofas, a maioria de cor cinza escura, e amarela em alguns pontos.

Camadas de turfa preta muito moles, ocorrem a profundidades e com espessuras variáveis.

As sondagens encontraram material “impenetrável” a profundidades que variaram de cerca de 2,50 metros (entulho - SP-DI5A) a cerca de 8 a 12 metros (solo residual, rocha ou matacão - SP-8 a SP-12) ou mais. A sondagem SP-DI12 parou à profundidade de 20,45 metros sem encontrar material “impenetrável”.

Solos de cor cinza ou preta, de maneira geral são solos que contem matéria orgânica em maior ou menor grau, e portanto são potencialmente produtores de gás metano formado pela decomposição anaeróbia da matéria orgânica.

É de se esperar portanto a ocorrência de gás metano na área, proveniente da matéria orgânica presente tanto nas camadas de origem antrópica oriundas da dragagem do rio Tietê quanto nas camadas naturais pertencentes aos depósitos aluviais quaternários associados ao Rio Tietê.

É provável também a ocorrência de vapores orgânicos liberados por materiais voláteis depositados na área juntamente com os resíduos da dragagem do Rio Tietê.

Alguns desses vapores podem ser tóxicos.

As cotas em metros, em relação ao nível do mar, do nível d'água natural do subsolo (NA) medidas no período de 07 a 17/01/2004 (EMES Engenharia - documento MA/4668/06/BPG), período de chuvas, onde determinadas, estão apresentadas no desenho A1, Anexo A, entre parênteses ao lado de cada símbolo indicativo de sondagem.

A interpolação dessas cotas devem ser comparadas com as cotas de instalação dos sistemas de ventilação do subsolo de cada edifício da área, para que se evite afogamento dos drenos de gás e vapor.

Por ocasião dos trabalhos de campo efetuados pela empresa Servmar para elaboração do relatório MA/3134/05/SNH de outubro de 2005, foram instalados poços de monitoramento do NA, cuja localização não foi colocada no desenho A1, por não se dispor de suas coordenadas georreferenciadas. Medidas atuais efetuadas indicaram NA a profundidades entre 3,70 metros (01/02/07) a 3,50 metros (16/02/07) no poço PM-01, correspondentes às cotas absolutas 726,30 metros e 726,50 metros, e profundidades entre 2,05 metros (06/02/07) a 1,70 metros (16/02/07) no poço PM-02, correspondentes às cotas absolutas 727,95 metros e 728,30 metros.

## 2.2 Ocorrência de gases e vapores no subsolo da área

Foi efetuada pela empresa Servmar uma campanha de ensaios de campo utilizando um equipamento ThermoGastech marca INNOVA, em malha regular de 10x10 metros, nas profundidades de 0,1 a 0,5 metro e 0,6 a 1,0 metro, em um total de 954 pontos distintos.

Os ensaios foram executados nas áreas de construção futura dos edifícios: Bloco Inicial (nº 08, Desenho A1) e entorno (incluindo as regiões dos edifícios de nºs 12 – CAT – e 13 – Posto Policial, Desenho A1), edifício I-1 (nº 01, Desenho A1), edifício I-3 (nº 03, Desenho A1) e edifício I-4 (nº 04, Desenho A1).

“Foram efetuadas leituras de “VOC total”, e nos casos em foi ultrapassada a capacidade do equipamento (10.000 ppm em volume), foi realizada nova perfuração e nova medição de VOC, agora com exclusão do gás metano” (MA/3134/05/SNH).

Os resultados indicaram ocorrência principalmente de gás metano na atmosfera gasosa do subsolo. “A grande maioria dos valores acima de 10.000 ppm foi obtida sem a exclusão do metano, enquanto que medidas com a exclusão deste gás alcançaram concentrações maiores que 1.000 ppm somente em dois pontos (MA/3134/05/SNH)”.

Esses resultados levam a crer que o composto químico preponderante na atmosfera gasosa dos poros do solo na área é o gás metano, com ocorrência menos freqüente de vapores orgânicos voláteis.

A atmosfera gasosa natural torna-se inflamável se contiver gás metano na faixa de concentrações de 5 a 15 % em volume, ou 50.000 a 150.000 ppm em volume. De uma atmosfera gasosa natural com gás metano na concentração de 5 % em volume, diz-se que se encontra a 100 %LIE (Limite Inferior de Explosividade).

Não foram observados nos ensaios efetuados, valores de VOC (compostos orgânicos voláteis) excluindo metano, superiores a 1700 ppm.

Entretanto, alguns desses vapores podem ser tóxicos em concentrações bem inferiores que essa.

### **3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO DO SUBSOLO DOS EDIFÍCIOS**

#### **3.1 Edifício I-1 (edifício 1)**

O Edifício I-1 está representado como edifício 1 no Desenho A1 do Anexo A.

##### **Solos**

Foram efetuadas as seguintes sondagens de simples reconhecimento com ensaios SPT nas proximidades do edifício I-1, pela empresa Emes Engenharia e Mecânica dos Solos: SP-26, SP-27 e SP-29 (Relatório Emes Eng. e Mec. dos Solos Nº 1849/04), até as profundidades de 18,45 metros, 14,45 metros e 15,45 metros respectivamente. As posições dessas sondagens no terreno estão indicadas no Desenho A1, Anexo A.

Essas sondagens indicaram uma camada de aterro da superfície do terreno até cerca de 1,0 m de profundidade, constituída de areia fina pouco argilosa de cor amarela a marrom.

Abaixo dessa camada, ocorrem camadas alternadas de argilas orgânicas silto-arenosas moles, e areias médias e finas argilo-siltosas fofas, a maioria de cor cinza escura, e amarela em alguns pontos. Na SP-27 ocorre uma camada de turfa preta mole, de 8,0 a 9,0 metros de profundidade. Por volta dos 10,0 metros de profundidade, as areias passam a ser mais compactas e as argilas mais duras, com SPT entre 10 e 20, crescendo com a profundidade até valores maiores que 40 no final da sondagem.

##### **Posição do lençol freático**

A profundidade do nível d'água natural do subsolo (NA) medido nos dias 14 e 15/01/2004 foi de 2,26 metros na SP-26, 4,01 metros na SP-27 e 2,60 metros na SP-29, correspondentes às cotas 729,09, 725,89 e 726,20 metros em relação ao nível do mar, respectivamente.

Por ocasião dos trabalhos de campo efetuados pela empresa Servmar para elaboração do relatório MA/3134/05/SNH de outubro de 2005, foram instalados poços de monitoramento do NA, dois deles, o PM-01 e o PM-02 na região do futuro edifício I-1, com localização aproximada indicada no desenho A1. Medidas efetuadas na ocasião,



indicaram NA às profundidades de 4,19 metros e 2,27 metros, respectivamente nos poços PM-01 e PM-02, informação de utilização restrita pois as cotas informadas (98,68 metros e 98,73 metros respectivamente) são relativas à cota de boca do PM-04, instalado na mesma ocasião, tomada como cota 100.

Medidas atuais efetuadas indicaram NA a profundidades entre 3,70 metros (01/02/07) a 3,50 metros (16/02/07) no poço PM-01, correspondentes às cotas absolutas 726,30 metros e 726,50 metros, e profundidades entre 2,05 metros (06/02/07) a 1,70 metros (16/02/07) no poço PM-02, correspondentes às cotas absolutas 727,95 metros e 728,30 metros.

### **Gases e vapores**

Na área da projeção em planta do futuro edifício em questão, I-1, foram avaliados 113 pontos, em malha regular de 10x10 metros, no período de 6/5/2005 a 5/6/2005, relativamente à ocorrência de gases e vapores no subsolo.

Os resultados indicaram que ocorre apenas gás metano na maioria dos pontos da área, em 106 pontos do total de 113 (94 %), e maiores concentrações de gás para as maiores profundidades. Em 7 dos pontos, entretanto, foi detectada presença de outro(s) gás(es) ou vapor(es) além do metano, em concentrações que variaram de 20 a 340 ppm em volume.

Em 24 dos 113 pontos (cerca de 21 %), em uma ou outra das profundidades ensaiadas, as concentrações de gás metano ou VOC total estiveram abaixo da sensibilidade do equipamento (20 ppm em volume).

Em 9 dos 113 pontos (cerca de 8 %), nas profundidades de 0,1 a 0,5 metro, as concentrações de gás metano foram maiores que 10.000 ppm em volume.

Em 22 dos 113 pontos (cerca de 20 %), nas profundidades de 0,6 a 1,0 metro, as concentrações de gás metano estiveram acima de 10.000 ppm em volume.

### **Sistema de ventilação do subsolo**

O edifício I-1 mede 144,00 por 31,00 metros em planta, com laje de piso acabado na cota de 730,00 metros em relação ao nível do mar.

O sistema de extração de gás e vapor do subsolo já construído compõe-se de 4 tubos drenantes transversais e 2 longitudinais, dispostos horizontalmente, interligados nos cruzamentos, instalados no interior de trincheiras drenantes de brita 2.

Os tubos drenantes são tubos geomecânicos (polietileno de alta densidade), tipo dreno (serrados), com diâmetro de 100 mm (4”), colocados a uma profundidade constante de 0,90 metro em relação à laje acabada do piso, sob as vigas baldrames do edifício.

As trincheiras que acomodam os tubos drenantes têm largura de 0,90 metro e profundidade mínima de 1,50 metro com caimento de dentro para fora da projeção em planta do edifício. Essas trincheiras são capeadas superiormente por um tapete drenante de brita 1, com espessura de 0,10 metro, que se estende por toda a área da projeção em planta do edifício.

O tapete drenante é separado da laje armada de piso do edifício por uma lona plástica de alta densidade, cuja função foi limitar a perda de nata de cimento da laje de piso por ocasião de sua concretagem, o que poderia prejudicar a laje e o funcionamento drenante do tapete.

Os tubos drenantes perfurados foram interrompidos no alinhamento do edifício, prosseguindo por tubos lisos não perfurados até caixas de passagem, uma em cada extremidade de tubo, onde uma tubulação lisa não perfurada disposta em anel no entorno do edifício interliga todos os tubos drenantes.

A tubulação lisa em anel possui um tramo em uma das suas laterais, na extremidade do edifício e externamente a ele, também em tubo liso não perfurado, para ligação com a bomba de sucção a ser instalada.

As trincheiras de brita que acomodam os tubos, foram estendidas até as caixas de passagem.

Os tubos drenantes, bem como a porção inferior das trincheiras, passam sob as vigas baldrames do interior do edifício.

O tapete drenante é limitado ao longo do perímetro da base do edifício por vigas baldrames externas, e encontra, no interior da base do edifício, várias vigas baldrames internas, providas de furos cilíndricos de cerca de 10 cm de diâmetro (4 polegadas) na altura do tapete, posicionados a um terço de distância dos apoios, segundo informação do Engenheiro Joaquim Oviedo, da COESF (Oviedo, 2007). A finalidade das aberturas é interligar as células contíguas do tapete drenante, permitindo comunicação entre elas, apesar da existência das vigas baldrames internas.

Uma das trincheiras drenantes transversais passa por trecho de solo descoberto no interior do edifício, constituído por um jardim interno, onde foram protegidas superiormente por seção de lona plástica de cerca de 1 metro de largura.

O edifício I-1 possui no seu interior 4 poços de elevador, para os quais não está construída nenhuma estrutura específica de drenagem de gases e vapores.

No Desenho A2, Anexo A, apresenta-se planta esquemática do piso do edifício I-1, com as posições dos tubos drenantes.

No Desenho A3, Anexo A, apresenta-se corte transversal esquemático do sistema de ventilação do subsolo do edifício I-1.

### **3.2 Reservatório de água (edifício 2)**

O Reservatório de água está representado como edifício 2 no Desenho A1 do Anexo A.

O edifício é composto por duas estruturas, uma enterrada e outra elevada.

Na estrutura enterrada, que se encontra quase totalmente abaixo do lençol freático natural do subsolo, não foi implantado nenhum sistema de drenagem de gases e vapores.

Nessa estrutura enterrada existe uma sala de bombas e células de isolamento das caixas d'água, que foram construídas em parede dupla, que devem ser ventiladas, devido à possibilidade de ocorrência de atmosfera inflamável na sala de bombas, e de contaminação da água armazenada por compostos voláteis.

Na estrutura elevada também não foi implantado nenhum sistema de drenagem de gases e vapores uma vez que o pavimento térreo é naturalmente ventilado.

### 3.3 Edifício I-3 (edifício 3)

O Edifício I-3 está representado como edifício 3 no Desenho A1 do Anexo A.

O edifício I-3 é na realidade constituído por duas estruturas independentes separadas por uma área externa descoberta, medindo ao todo 189,00 por 54,00 metros em planta.

O sistema de extração de gás e vapor do subsolo já construído compõe-se de 6 tubos drenantes transversais e 2 longitudinais, dispostos horizontalmente, interligados nos cruzamentos, instalados no interior de trincheiras drenantes de brita 2.

Os tubos drenantes são tubos geomecânicos (polietileno de alta densidade), tipo dreno (serrados), com diâmetro de 100 mm (4”), colocados a uma profundidade constante de 0,90 metro em relação à laje acabada do piso, sob as vigas baldrame do edifício.

As trincheiras que acomodam os tubos drenantes têm largura de 0,90 metro e profundidade mínima de 1,50 metro com caimento de dentro para fora da projeção em planta do edifício. Essas trincheiras são capeadas superiormente por um tapete drenante de brita 1, com espessura de 0,10 metro, que se estende por toda a área da projeção em planta do edifício.

Os dois tubos drenantes longitudinais, bem como as trincheiras que os acomodam, interligam o subsolo das duas estruturas independentes do edifício I-3 e a área externa descoberta, apresentando comprimento de cerca de 189,00 metros cada um.

Os drenos longitudinais foram protegidos superiormente por seção de lona plástica de cerca de 1 metro de largura no trecho em que passam sob a área externa descoberta.

As demais características do sistema drenante construído sob o edifício I-3 são em tudo semelhantes às do edifício I-1, descritas no item 3.1 acima.

No Desenho A4, Anexo A, apresenta-se planta esquemática do piso do edifício I-3, com as posições dos tubos drenantes.

No Desenho A5, Anexo A, apresenta-se corte transversal esquemático do sistema de ventilação do subsolo do edifício I-3.

### **3.4 Edifício I-4 (edifício 4)**

O Edifício I-4 está representado como edifício 4 no Desenho A1 do Anexo A.

O sistema de ventilação do subsolo do edifício I-4 compõe-se de 7 tubos geomecânicos drenantes transversais e 3 longitudinais, com 2 polegadas (5,08cm) de diâmetro interno, localizados no interior do tapete drenante de brita de 0,10 metro de espessura, sob a laje de piso do edifício, ao invés de localizados no interior de trincheiras drenantes como nos sistemas descritos anteriormente.

Os tubos drenantes não estão conectados nos cruzamentos, mas passam um sobre o outro a pequena distância, o que, na prática faz com que as pressões aplicadas a um se transmita igualmente ao outro, como se estivessem conectados.

O tapete drenante é limitado ao longo do perímetro da base do edifício por vigas baldrame externas.

As vigas baldrame internas possuem furos cilíndricos com cerca de 10 cm de diâmetro (4 polegadas) na altura do tapete, posicionadas a um terço de distância dos apoios, com a finalidade de interligar as células contíguas do tapete drenante separadas pelas vigas, permitindo comunicação entre elas, segundo informação do Engenheiro Joaquim Oviedo, da COESF (Oviedo, 2007).

Os tubos drenantes perfurados foram interrompidos no alinhamento do edifício, prosseguindo por tubos lisos não perfurados até caixas de passagem, uma em cada extremidade de tubo, onde uma tubulação lisa não perfurada disposta em anel no entorno do edifício interliga todos os tubos drenantes.

No Desenho A6, Anexo A, apresenta-se planta esquemática do sistema drenante de gases e vapores do edifício I-4.

### **3.5 Guarita (edifício 5)**

A Guarita está representada como edifício 5 no Desenho A1 do Anexo A.

Neste edifício não foi implantado nenhum sistema de drenagem de gases e vapores do subsolo.

### **3.6 Conjunto Laboratorial (fase 1) - (edifício 6)**

O Conjunto Laboratorial (fase 1) está representado como edifício 6 no Desenho A1 do Anexo A.

Edifício em fase de implantação. Compõe-se de três blocos principais (prédios A1, A2, e A3), praticamente iguais entre si, e o bloco que os interliga, chamado “bloco de circulação”.

Foi possível elaborar recomendações de projeto para o sistema de ventilação do subsolo, no âmbito dos atuais trabalhos.

As principais diretrizes dessas recomendações são descritas no item 4.1, a seguir, de forma resumida. Essas diretrizes serviram também para orientar as sugestões feitas em itens posteriores deste relatório, visando a tornar eficazes os sistemas de drenagem de gases e vapores do subsolo já construídos.

### **3.7 Cabine de alta tensão (edifício 7)**

A Cabine de Alta Tensão está representada como edifício 7 no Desenho A1 do Anexo A.

Neste edifício não foi implantado nenhum sistema de drenagem de gases e vapores do subsolo.

A maior parte da laje de piso do edifício é ventilada inferiormente, uma vez que foi implantado em um talude, sobre pilotis.

### **3.8 Bloco Inicial (edifício 8)**

O Bloco Inicial está representado como edifício 8 no Desenho A1 do Anexo A.

Neste edifício não foram implantados tubos drenantes. Foi construído tapete drenante de brita 1 com 5 cm de espessura sob a laje de piso. Foram executados dois furos cilíndricos de cerca de 1,9 cm de diâmetro (3/4 de polegada) em cada viga

baldrame interna, localizados a 1 metro dos apoios, com a finalidade de interligar as células contíguas do tapete drenante separadas pelas vigas, permitindo comunicação entre elas, segundo informação do Engenheiro Joaquim Oviedo, da COESF (Oviedo, 2007).

### **3.9 Refeitório (edifício 9)**

O Refeitório está representado como edifício 9 no Desenho A1 do Anexo A.

Neste edifício não foi implantado nenhum sistema de drenagem de gases e vapores do subsolo.

O edifício foi executado sobre fundações em radier.

### **3.10 Posto de enfermagem (edifício 10)**

O Posto de Enfermagem está representado como edifício 10 no Desenho A1 do Anexo A.

Neste edifício foram implantados tubos geomecânicos de cerca de 5 centímetros de diâmetro (2 polegadas) drenantes, no interior de trincheiras drenantes, a 0,6 metro abaixo das fundações em radier, associados a tapete drenante de brita com 0,10 metros de espessura, instalado sob a laje de piso.

Foram instalados dois tubos numa direção e três em direção perpendicular.

Uma linha de tubos lisos (não perfurados) externa disposta em anel no entorno do edifício, interliga os tubos drenantes.

O sistema implantado é mostrado esquematicamente no Desenho A7, Anexo A.

### **3.11 Viveiro (edifício 11)**

O Viveiro está representado como edifício 11 no Desenho A1 do Anexo A.

Neste edifício não foi implantado nenhum sistema de ventilação de gases e vapores do subsolo.

### **3.12 CAT (edifício 12)**

O CAT está representado como edifício 12 no Desenho A1 do Anexo A.

Neste edifício não foi implantado nenhum sistema de drenagem de gases e vapores do subsolo.

### **3.13 Posto Policial (edifício 13)**

O Posto Policial está representado como edifício 13 no Desenho A1 do Anexo A.

Neste edifício não foi implantado nenhum sistema de drenagem de gases e vapores do subsolo.

### **3.14 Portaria CPTM (P3) (edifício 14)**

A Portaria CPTM (P3) está representado como edifício 14 no Desenho A1 do Anexo A.

Edifício em fase de implantação.

Foi possível elaborar recomendações de projeto de sistema de ventilação do subsolo, no âmbito dos atuais trabalhos.

O sistema proposto é descrito no item 4.2 a seguir, neste texto, de forma resumida.

### **3.15 Ginásio (edifício 14)**

O Ginásio está representado como edifício 14 no Desenho A1 do Anexo A.

Edifício em fase de contratação para construção.

### **3.16 Estação elevatória de esgoto (edifício 16)**

Neste edifício foram implantados dois tubos geomecânicos drenantes, de cerca de 5 centímetros de diâmetro (2 polegadas), transversalmente ao edifício, no interior de trincheiras drenantes, a 0,6 metro abaixo da laje de piso, associados a tapete drenante de brita com 0,10 metro de espessura, instalado sob a laje de piso.

Uma linha de tubos lisos (não perfurados) externa, disposta em anel no entorno do edifício, interliga os tubos drenantes.

O sistema implantado é mostrado esquematicamente no Desenho A8, Anexo A.



## **4 RECOMENDAÇÕES DE PROJETO DE SISTEMAS DE VENTILAÇÃO DO SUBSOLO DE EDIFÍCIOS DA USP LESTE**

Utilizando-se informações da bibliografia, principalmente as contidas no manual “Soil Vapor Extraction and Bioventing – Engineering and Design – manual No. EM1110-1-4001” (USACE, 2002), adaptadas para o caso em questão, foi possível elaborar algumas recomendações de projeto de sistemas de ventilação do subsolo de alguns dos edifícios a serem ainda construídos na Gleba 1 do campus da USP Leste, no âmbito dos atuais trabalhos.

Foram elaboradas recomendações de projeto para os sistemas de ventilação do subsolo dos edifícios:

- Conjunto Laboratorial (fase 1) (edifício de número 6, Desenho A1, Anexo A) - prédios A1, A2, e A3, praticamente iguais entre si, e o bloco que os interliga, chamado “bloco de circulação”; e
- Portaria CPTM (P3) (edifício de número 14, Desenho A1, Anexo A).

As principais diretrizes desse estudo são descritas a seguir, de forma resumida. Essas diretrizes serviram também para orientar as sugestões feitas no item 5, neste texto, visando a tornar eficaz o sistema de ventilação do subsolo do edifício I-1, (edifício de número 1, Desenho A1, Anexo A), já construído.

### **Conceituação inicial**

A idéia orientadora, nessa etapa dos trabalhos, é implantar um sistema de ventilação, ou de circulação de ar, para o tapete drenante de brita sob a laje de piso, com o intuito de proteger os edifícios contra eventual aporte de gases e vapores provenientes do subsolo, e não propriamente ventilar o subsolo visando à sua remediação.

Os gases e vapores que eventualmente adentrem o tapete drenante de brita serão coletados em um fluxo contínuo de ar limpo da atmosfera e conduzidos a sistema adequado de tratamento na superfície.

Mantendo-se ventilado o tapete de brita, garante-se que os gases e vapores que eventualmente emanem do subsolo não atingirão o edifício pela sua base.

Tal sistema de ventilação deve prever em seu projeto, vias de saída e vias de entrada para o fluxo, fisicamente bem definidas, para que se possa determinar com clareza qual o volume ou estrutura que será ventilada.

Para tanto, recomenda-se implantar tapete drenante de brita 1 com 0,10 metro de espessura, sob a laje de piso dos edifícios, separado da laje por uma lona plástica de alta densidade.

A função da lona plástica é limitar a perda de nata de cimento da laje de piso por ocasião de sua concretagem, o que poderia prejudicar a laje e o funcionamento drenante do tapete.

No interior do tapete, deverão ser instalados tubos de sucção ativa, os “tubos de extração”, succionados por intermédio de bomba de sucção, e tubos de injeção passiva de ar atmosférico, os “tubos de injeção”, em conexão com a atmosfera, esses últimos com a finalidade de providenciar o aporte de ar “limpo” da atmosfera exterior.

Tanto os tubos de extração ativa quanto os tubos de injeção passiva deverão ser tubos geomecânicos drenantes perfurados com cerca de 5,08 cm (2 polegadas) de diâmetro interno.

O aporte de ar atmosférico pode ser garantido, em alguns casos, por aberturas em locais escolhidos da estrutura, ao invés de por tubos perfurados de injeção, como pontos da viga baldrame no perímetro, ou pontos da laje de piso que estejam em conexão com o ar atmosférico externo.

A vazão da bomba de sucção deve ser suficiente para substituir o ar dos poros do tapete numa velocidade superior à do aporte de gases e vapores do subsolo. Como essa velocidade não é conhecida, estima-se que seja suficiente que essa substituição ocorra uma vez a cada duas horas, ou 12 vezes a cada dia de 24 horas. A vazão da menor bomba de sucção disponível é de 3,2 m<sup>3</sup>/min. Serão efetuados abaixo alguns cálculos, utilizando-se como exemplo o prédio A1 do Conjunto Laboratorial (fase 1) (edifício de número 6, Desenho A1, Anexo A), para verificar se essa vazão de bomba é adequada para ser utilizada no nosso caso.

Os tubos perfurados devem ser instalados à menor profundidade possível, de preferência no interior do tapete drenante de brita, para evitar afogamento pela água do lençol freático do subsolo, bastante elevado em alguns pontos da área.

Os efluentes da bomba de sucção devem passar por colunas de carvão ativado para absorção de vapores que podem ser tóxicos, e a seguir queimados para a eliminação de gases inflamáveis, antes de serem liberados para a atmosfera.

Explicita-se a seguir, de forma resumida, os cálculos feitos para o prédio A1, à guisa de verificação. Os prédios A2 e A3 são iguais ao A1.

Esses cálculos devem ser detalhados no futuro, com a continuação dos trabalhos, para esse prédio e para os outros. As conclusões obtidas a partir deles serviram de orientação para a proposição do sistema de ventilação do subsolo para a Portaria CPTM (P3) (edifício de número 14, Desenho A1, Anexo A) e para a proposta de modificação nas características gerais do sistema implantado para ventilação do subsolo do Edifício I-1 (edifício de número 1, Desenho A1, anexo A).

#### **4.1 Conjunto Laboratorial (fase 1) - (edifício 6)**

O Conjunto Laboratorial (fase 1) está representado como edifício 6 no Desenho A1 do Anexo A.

### **CONJUNTO LABORATORIAL – PRÉDIOS A1, A2 E A3**

No Desenho A9, Anexo A, apresenta-se desenho esquemático em planta do sistema de drenagem proposto para o prédio A1. Os prédios A2 e A3 são idênticos.

### **CÁLCULOS EFETUADOS PARA O PRÉDIO A1**

#### **Brita 1 (tapete)**

Porosidade adotada:  $n = 0,5$  (Lambe, T.W, Whitman, R.V., pg. 43)

Diâmetro mínimo de partículas  $d_{\min}$ : 0,95cm;

Diâmetro máximo de partículas  $d_{\max}$ : 1,9cm

Da curva granulométrica estimada:  $d_{10}$ : 1,0cm e coeficiente de não uniformidade  $C_U = d_{60}/d_{10} = 1,4/1,0 = 1,4 < 2$

Portanto, a brita 1 é material uniforme (Lambe, T.W, Whitman, R.V., pg. 44).

Pode-se então empregar a equação de Hazen para estimativa do coeficiente de permeabilidade à água da brita 1:

$$k_w = 100(d_{\text{efet}})^2, \text{ (com } d_{\text{eff}} \text{ em cm) e } d_{\text{efet}} = d_{10} \text{ (Pinto, C.S., 2000, pg 75)}$$

Donde:  $k_w = 1 \text{ m/s}$  (saturação de água de 100%)

Os valores dos coeficientes de viscosidade dinâmicos da água e do ar nas condições normais de pressão e temperatura são respectivamente:  $u_w = 1E^{-3} \text{ N.s.m}^{-2}$  e  $u_a = 1,83E^{-5} \text{ N.s.m}^{-2}$ .

O coeficiente de permeabilidade ao ar da brita 1 ( $k_a$ ) é:

$$k_a = k_w(u_w / u_a) = 55 \text{ m/s (saturação de ar de 100 \%)}$$

Volume dos poros do tapete (ver desenho A9, Anexo A):

$$V = (48,60 \times 12,05 \times 0,10) 0,5 = 29,28 \text{ m}^3$$

Vazão da menor bomba de sucção disponível:  $Q_{\text{bomba}}: 3,2 \text{ m}^3/\text{min}$

Intervalo de tempo para uma renovação de ar no tapete:

$$t = V/Q_{\text{bomba}} = 29,28/3,2 = 9 \text{ min}$$

### **Cálculo da velocidade do ar no tapete**

De acordo com o Desenho A9, Anexo A, os dois caminhos de percolação para o gás no interior do tapete, compondo duas vazões que se somarão na vazão da bomba, são de cerca de 7,96 metros e 4,09 metros. Assumindo-se a condição de fluxo incompressível, pode-se aplicar diretamente a lei de Darcy a esses fluxos, obtendo-se os valores de vazão de  $3,5E^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$  e  $1,8E^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$  associados respectivamente ao menor e ao maior caminho de percolação.

A área de percolação é a área da seção transversal do tapete, que é:

$$A = 48,6 \times 0,10 = 4,86 \text{ m}^2.$$

As velocidades de percolação médias do ar pelos poros do tapete, associados às vazões acima são:

$$q_{p1} = 1,8E^{-2} / (0,5 \times 4,86) = 7,4E^{-3} \text{ m/s}; \text{ e}$$

$$q_{p2} = 3,5E^{-2} / (0,5 \times 4,86) = 1,4E^{-2} \text{ m/s}.$$

### **Verificação da condição de incompressibilidade do fluxo**

Pela Lei de Darcy, para o maior caminho de percolação (7,96 m, nesse caso), para o qual se espera o maior desenvolvimento de pressões, tem-se:

$$q_p = (k/n)(H/L), \text{ ou } 7,4E^{-3} = (55/0,5)(H/7,96),$$

onde a diminuição de pressão em relação à atmosférica desenvolvida, na saída do fluxo, expressa em altura de coluna d'água é:

$$H = 5,3E^{-4} \text{ mca (mca: metros de coluna d'água), ou } H = 0,53 \text{ mmH}_2\text{O};$$

ou ainda  $H = 5,2 \text{ Pa}$ , expressa em unidades de pressão.

Na entrada do fluxo a pressão é a atmosférica, estimada como sendo aproximadamente  $P_e = 101325 \text{ Pa}$ .

Na saída do fluxo a pressão é  $P_s = 101325,0 - 5,2 = 101319,8 \text{ Pa}$

Porém sabe-se que a relação entre o coeficiente de permeabilidade ao ar  $k_a$ , calculado considerando-se o fluido como compressível, e o coeficiente de permeabilidade ao ar  $k_{ia}$  calculado considerando-se o fluido como incompressível,  $k_{ia}$ , é (Ignatius, S.G., 1999):

$K_a / k_{ia} = 1 - 0,5(H/p_m)$ , onde  $p_m$  é a pressão média, ou a média das pressões aplicadas ao fluxo, ou  $p_m = (P_e + P_s)/2$ . No nosso caso fica:

$$p_m = (101325 + 101319,8)/2 = 101322,4 \text{ Pa}$$

$$\text{Portanto, } k_a / k_{ia} = 1 - 0,5(20,6/101322,4) \cong 1$$

Donde  $k_a \cong k_{ia}$ , ou seja, o fluxo pode ser considerado como incompressível, o que justifica sua determinação, como foi feito acima, pela Lei de Darcy.

### **Verificação da possibilidade de ocorrência de fluxo turbulento**

Fluxo turbulento ocorrerá se o número de Reynolds, definido como abaixo, for maior que algum valor entre 1 e 10, no caso de fluxo em meio poroso (Ignatius, 2006):

$$Re = q(K/n)^{0,5}/u_a,$$

onde  $q$  é a velocidade de Darcy ( $nq_p$ ),  $K$  é o coeficiente de permeabilidade intrínseco do material,  $n$  é a porosidade e  $u_a$  é a viscosidade do fluido. O valor de  $K$  pode ser calculado a partir do valor de  $k$  pela expressão:

$$K = ku_a/\gamma_w g = (55 \times 1,83 \times 10^{-5}) / (1000 \times 10) = 1 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

onde,  $\gamma_w$  é a densidade da água e g a aceleração da gravidade.

Portanto  $Re$  fica, no nosso caso, calculado para o maior valor de velocidade de Darcy:

$Re = ((0,5 \times 1,4E^{-2})(1E^{-7}/0,5)^{0,5})/1,83E^{-5} = 0,17 < 1$ , o que mostra que o fluxo não é turbulento, o que justifica sua determinação, como foi feito acima, pela Lei de Darcy.

Os cálculos aproximados descritos acima mostraram que a bomba de sucção com vazão de 3,2 m<sup>3</sup>/min é adequada para utilização no sistema de ventilação de gases e vapores do subsolo para o prédio A1, e para os prédios A2 e A3, similares, como proposto no Desenho A9, Anexo A.

Ressalte-se que esses cálculos, embora possam ser considerados suficientes para nossos propósitos no momento, devem ser melhor explicitados e detalhados em futuros relatórios, bem como cálculos similares serem efetuados para o caso dos outros edifícios.

### **CORREDOR DE SERVIÇOS DO CONJUNTO LABORATORIAL**

Para o prédio do corredor de serviços do conjunto laboratorial, que interliga os edifícios A1, A2 e A3, foi proposto um sistema de ventilação de gases e vapores do subsolo, segundo a conceituação explicitada no início do item 4 deste texto.

No Desenho A10, Anexo A, apresenta-se esquematicamente, em planta, o sistema proposto.

Não foram efetuados cálculos para esse caso.

A proposição apresentada no desenho A10 é qualitativa, procurando-se seguir os princípios conceituais apresentados acima. Com a continuação dos trabalhos devem ser efetuados cálculos justificativos, e, se necessário, elaboradas correções no projeto.

### **Poços de elevador no prédio do corredor de serviços**

Nesse prédio existem três poços de elevador, que devem ser permanentemente ventilados por meio de ventiladores instalados no seu interior, junto à laje de piso, com capacidade de substituir o ar no interior dos poços numa velocidade superior à do aporte de gases e vapores do subsolo. Como essa velocidade não é conhecida, estima-se que seja suficiente que essa substituição ocorra uma vez a cada duas horas, ou 12 vezes a cada dia de 24 horas.

Um cálculo aproximado inicial poderia ser o seguinte:

Cada poço tem base de 2,08 por 1,60 metros e altura total de 15,60 metros, apresentando portanto volume interno de 51,92 m<sup>3</sup>.

Para substituir o ar no interior desse poço a cada duas horas (120 minutos), o ventilador instalado no poço deve ser capaz de produzir uma vazão de 51,92/120 ou 0,43 m<sup>3</sup>/min no poço.

#### **4.2 Portaria CPTM (P3) - (edifício 14)**

A Portaria CPTM (P3) está representado como edifício 14 no Desenho A1 do Anexo A.

Para o prédio da Portaria CPTM (P3), foi proposto um sistema de ventilação de gases e vapores do subsolo, segundo a conceituação explicitada no início do item 4 deste texto.

Nos Desenhos A11 e A12, Anexo A, apresentam-se o sistema proposto e detalhes genéricos, respectivamente.

Não foram efetuados cálculos para esse caso.

A proposição apresentada no desenho A11 é qualitativa, procurando-se seguir os princípios conceituais apresentados acima. Com a continuação dos trabalhos devem ser efetuados cálculos justificativos, e, se necessário, elaboradas correções no projeto.

O sistema compõe-se de uma linha de tubo geomecânico de cerca de 5 centímetros de diâmetro interno (2 polegadas), perfurado, de extração ativa por bomba de sucção, e duas linhas de tubo geomecânico perfurado, de mesmo diâmetro, de injeção passiva de ar atmosférico. As duas linhas de tubo de injeção passiva devem estar conectados à atmosfera em suas extremidades.



Os tubos devem ser colocados no interior de tapete drenante de brita 1, abaixo da laje de piso do edifício, com proteção superior de manta plástica para evitar contaminação do tapete por nata de cimento por ocasião da concretagem da laje.

Nas extremidades do tapete não limitadas por viga baldrame, a manta plástica deve dobrar-se e mergulhar no solo até a profundidade de 0,5 metro.

## **5 PROPOSTA DE MODIFICAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SISTEMA IMPLANTADO PARA VENTILAÇÃO DO SUBSOLO DO EDIFÍCIO I-1 (edifício 1)**

O Edifício I-1 está representado como edifício 1 no Desenho A1 do Anexo A.

### **Avaliação crítica do sistema construído**

O sistema construído está descrito no item 3.1 deste texto.

Nos desenhos A2 e A3 mostram-se planta e corte transversal esquemáticos do sistema construído.

Como visto acima, um sistema de extração de gás e vapor do subsolo, deve prever em seu projeto, e ser construído de acordo, garantindo uma ou mais vias de saída e uma ou mais vias de entrada para o fluxo, fisicamente bem definidas, para que se possa determinar com clareza qual o volume ou estrutura que será drenada.

A característica principal do sistema de drenagem de gases e vapores implementado para o edifício I-1, como descrito, é a aparente inexistência de uma concepção de projeto que o oriente, não ficando claramente definido, nos documentos analisados, o campo de atuação física do sistema, ou seja, qual a rede de fluxo de gases e vapores que se pretenderia impor com sua instalação e funcionamento.

O assim chamado “ensaio piloto” executado (MA/4668/06/BPG), que seria mais apropriadamente denominado “ensaio de verificação” do sistema, já que foi efetuado “em verdadeira grandeza” no sistema de drenagem já construído, imprimiu uma sucção a 6 das 12 extremidades de tubos drenantes, provocando alta vazão de drenagem, 378 m<sup>3</sup>/h (6,3 m<sup>3</sup>/min), e baixas pressões “negativas” (abaixo da pressão atmosférica) na saída, de 40 mmH<sub>2</sub>O, situação compatível com um sistema de alta permeabilidade aos gases e vapores e conseqüente baixa perda de carga. As outras 6 extremidades de tubos

drenantes foram tamponadas, onde também se mediram pressões durante o ensaio, que se mostraram baixas – de 4,3 a 1,4 mmH<sub>2</sub>O.

Nesse ensaio foi medida a concentração de VOC (compostos orgânicos voláteis) mais gás metano na saída do sistema, que se manteve praticamente constante, entre 200 e 250 ppm, das 14:30 horas do dia 11/04/2006, quando se iniciou o ensaio, até as 17:00 horas do mesmo dia, quando o ensaio foi interrompido, para ser retomado as 9:30 horas do dia 12/04/06 e finalizado as 17:00 horas do mesmo dia 12/04/2006.

A constância obtida nas leituras de VOC indica que o tempo de ensaio foi insuficiente para testar a eficiência do sistema.

Isso, aliado à indefinição quanto à rede de fluxo imposta, torna o ensaio de difícil interpretação.

Uma questão não resolvida com relação à rede de fluxo imposta no ensaio, é qual parcela do fluxo estaria efetivamente ocorrendo pelo tapete, que é a que nos interessa para o objetivo de manter o tapete ventilado, e qual a parcela que estaria ocorrendo diretamente pelos tubos, interligados entre si e diretamente ligados à bomba de sucção.

Pode-se supor, para o sistema da forma como está construído, a existência de muitos pontos de “vazamento” ou de alimentação de ar atmosférico por locais desconhecidos, como encontros de estruturas, trincas eventuais, além do solo sobre os prolongamentos das trincheiras drenantes.

Um aspecto importante a ser considerado é a possibilidade de entrada de água do subsolo nos tubos drenantes.

A laje de piso acabado encontra-se na cota 730,00 metros em relação ao nível do mar, e os tubos drenantes na cota de 729,10 metros, praticamente coincidente com a cota do NA do subsolo medido na sondagem SP-26, 729,09 metros.

As outras sondagens relevantes para esse edifício, SP-27 e SP-29, localizadas mais ao norte, indicam NA mais profundo (cotas 725,89 e 726,20 metros, respectivamente).

Leituras atuais (fevereiro de 2007) efetuadas nos poços PM-01 e PM-02 indicaram cotas máximas de 726,50 metros, 2,60 metros abaixo dos tubos, e 728,30 metros, 0,80 metro abaixo dos tubos drenantes, respectivamente, o que mostra que o NA do subsolo

pode estar excessivamente próximo dos tubos drenantes na porção mais ao sul do edifício.

Pode-se considerar desprezível o levantamento do NA devido à aplicação da pressão “negativa” de operação do sistema, já que se espera desenvolvimento de baixas pressões, como mostrou o “ensaio piloto” realizado.

Os prolongamentos das trincheiras drenantes para além do perímetro da laje de piso, até encontrar as caixas de passagem dos tubos, podem ser pontos importantes para eventual entrada indesejada de água de chuva infiltrante pelo solo superficial, e devem ser tratados.

### **Proposta de modificação do sistema construído**

Para o sistema de ventilação de gases e vapores do subsolo do edifício I-1, foi proposta uma modificação, descrita abaixo nas suas linhas gerais, segundo a conceituação explicitada no início do item 4 deste texto, procurando resolver os problemas atuais do seu funcionamento, levantados no item acima de avaliação crítica.

Não foram efetuados cálculos para esse caso.

A proposição apresentada é qualitativa, procurando-se seguir os princípios conceituais apresentados acima. Com a continuação dos trabalhos devem ser efetuados cálculos justificativos, e, se necessário, elaboradas correções no projeto.

A idéia orientadora da proposição é garantir que o tapete de brita sob a laje de piso seja ventilado. Para tanto, propõe-se:

- Interligar todas as 12 extremidades dos tubos drenantes à bomba de sucção, por meio do anel externo de tubo liso, mantendo todo o sistema de tubos sob sucção;
- Promover ventilação do tapete, executando aberturas laterais para entrada de ar atmosférico externo, nas vigas baldrame ao longo de todo o perímetro da laje de piso do edifício, que podem ser furos cilíndricos de cerca de 10 cm de diâmetro (4 polegadas) na altura do tapete, posicionados a um terço de distancia dos apoios das vigas. Essas aberturas podem alternativamente ser executadas na laje de piso, próximo ao seu perímetro, onde o piso estiver em boa comunicação com o ar atmosférico exterior ao edifício. Esses furos devem ser executados com extremo cuidado, impedindo-se a ocorrência de faíscas pelo contato da ferramenta de abertura dos furos com o concreto ou com a armação das vigas e da laje de piso;

- Seccionar e retirar o trecho da trincheira drenante e do tubo dreno, transversais, sob o jardim interno do edifício;
- Retirar os trechos das trincheiras drenantes que se estendem para além do perímetro da laje de piso do edifício, para minimizar entrada de ar atmosférico por ali, minimizando também a possível entrada de água de chuva;
- Ventilar os 4 poços de elevador existentes no interior do edifício, por meio de ventiladores internos adequadamente dimensionados. No final do item 4.1, apresenta-se cálculo aproximado inicial para os poços de elevador no prédio do corredor de serviços do Conjunto Laboratorial (fase 1), que pode ser utilizado como exemplo.

## 6 COMENTÁRIOS FINAIS

O trabalho de avaliação dos sistemas de ventilação de gás e vapor do subsolo para alguns dos edifícios do campus da USP Leste e sugestões de aperfeiçoamento, devem ser aprofundados para os edifícios tratados neste relatório, e efetivados para os outros edifícios relacionados no item 3.

Projetos de sistemas de ventilação de tapetes drenantes do subsolo de edifícios como os propostos neste relatório, devem incluir considerações especiais a respeito das interferências hidráulicas e elétricas, que usualmente atravessam o tapete, no interior de tubulações, adentrando o edifício.

Essas tubulações podem se constituir eventualmente em caminhos preferenciais para os gases e vapores do subsolo ou que estejam em trânsito pelo próprio tapete drenante.

O gases e vapores que poderiam percolar externamente, pelo contacto entre a parede da tubulação e o material do entorno, serão naturalmente coletados pelo fluxo de ar induzido no tapete drenante e conduzidos à bomba de sucção externa.

Para que se evite que os gases e vapores percolem internamente, as tubulações devem ser estanques nos trechos em que atravessam o subsolo ou o tapete drenante, regiões possivelmente contendo gases ou vapores contaminantes.

Esse cuidado é particularmente importante no caso das tubulações elétricas e sistemas de aterramento do edifício, que devem ser envelopadas em material isolante,

para prevenir que faíscas elétricas possam alcançar o meio poroso circundante eventualmente saturado por gases ou vapores inflamáveis.

Todos os sistemas projetados e construídos devem passar por ensaios de verificação do seu funcionamento, com medidas de vazão, pressão, concentração e explosividade de gases e vapores na saída, além de vazões nas entradas, pelo tempo que se fizer necessário para que se possa garantir seu adequado funcionamento, ou promover modificações necessárias para isso.

É importante elaborar projetos de monitoramento permanente dos sistemas de ventilação do subsolo para todos os edifícios do campus, os quais devem incluir medidas periódicas de vazão, pressão, concentração e explosividade de gases e vapores na saída e vazões nas entradas dos sistemas, além de medidas de explosividade em pontos sensíveis no interior dos edifícios.

As equipes de monitoramento devem passar por treinamento inicial e reciclagem contínua.

É bom lembrar que gases e vapores emanando da área do campus como um todo podem se constituir em risco, tanto de inflamabilidade quanto de intoxicação aos usuários.

É, portanto, recomendável que se efetuem estudos para verificação desse aspecto, incluindo análises químicas de amostras dos gases e vapores que ocorrem no subsolo local e eventuais sistemas de coleta e tratamento, se necessário.

As avaliações prévias utilizando o equipamento de campo Gastech INNOVA indicaram presença preponderante de gás metano, ocorrendo em alguns locais da área, associado, entretanto, a vapores orgânicos de composição desconhecida.

Isso faz com que o monitoramento recomendado deva ser feito com o equipamento Gastech, com o objetivo principal de detectar vapores orgânicos e com explosímetro calibrado com gás metano, com o objetivo de detectar presença deste gás em concentrações até 50.000 ppm, equivalente a 100 %LIE (Limite Inferior de Explosividade) para esse gás.

São Paulo, 02 de abril de 2007.

**CENTRO DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS E ENERGÉTICAS  
LABORATÓRIO DE RESÍDUOS E ÁREAS CONTAMINADAS**

---

**Eng<sup>a</sup> Química Mestre Sandra Lúcia de Moraes**  
Responsável pelo Laboratório em Exercício  
CREASP Nº 50600299050/D – RE Nº 08174

**CENTRO DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS E ENERGÉTICAS  
LABORATÓRIO DE RESÍDUOS E ÁREAS CONTAMINADAS**

---

**Eng<sup>o</sup> Dr. Scandar Gasperazzo Ignatius**  
Responsável Técnico  
CREASP Nº 52820/D– RE Nº 02607

**CENTRO DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS E ENERGÉTICAS**

---

**Geól<sup>o</sup> Dr. Eduardo Soares de Macedo**  
Diretor do Centro  
CREASP Nº 0601145629 – RE Nº 06167

## **EQUIPE TÉCNICA:**

**Gerente do Projeto:** Scandar Gasperazzo Ignatius - Engenheiro Civil, Dr.

**Consultor:** Carlos de Sousa Pinto – Engenheiro Civil, Dr.

- Vicente Luiz Galli – Físico
- Geraldo Antunes - Técnico Nível Médio
- Mauro Martins Ferreira - Técnico Nível Médio
- Sebastião Fernandes Junior - Técnico Nível Médio
- Valter Domingos da Silva - Técnico Nível Médio

## **Apoio Administrativo:**

- Elma Moura Coelho Oliveira - Secretaria

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IGNATIUS, S.G. *Fluxo Unidirecional de Gás Através de Um Solo Compactado - Determinação Laboratorial dos Parâmetros*, 1999, 337p. Tese (Doutorado) EPUSP.

IGNATIUS, S.G. Fluxo advectivo de gás em solos - determinação dos parâmetros em laboratório. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 13, 2006, Curitiba.

LAMBE, T. W., WHITMAN, R.V. *Soil Mechanics*. New York: John Wiley, 1969.

OVIEDO, J.E.F.A. Comunicação pessoal, 2007.

PINTO C.S. *Curso Básico de Mecânica dos Solos*, São Paulo: Oficina de Textos, 2000, 247 p.

USACE. Soil Vapor Extraction and Bioventing – Engineering and Design – manual nº EM1110-1-4001, 2002.



**ANEXO A**  
**DESENHOS**

1	TIPO DE PROJETO DE C.A.T.A. RESISTENTE	6	TIPO DE BLOCO DE ALVENARIA PARA O TUBO DE VENTILACAO
2	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO	7	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
3	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO	8	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
4	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO	9	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
5	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO	10	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO

ESPECIFICACOES	
1	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
2	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
3	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
4	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
5	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
6	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
7	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
8	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
9	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
10	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO

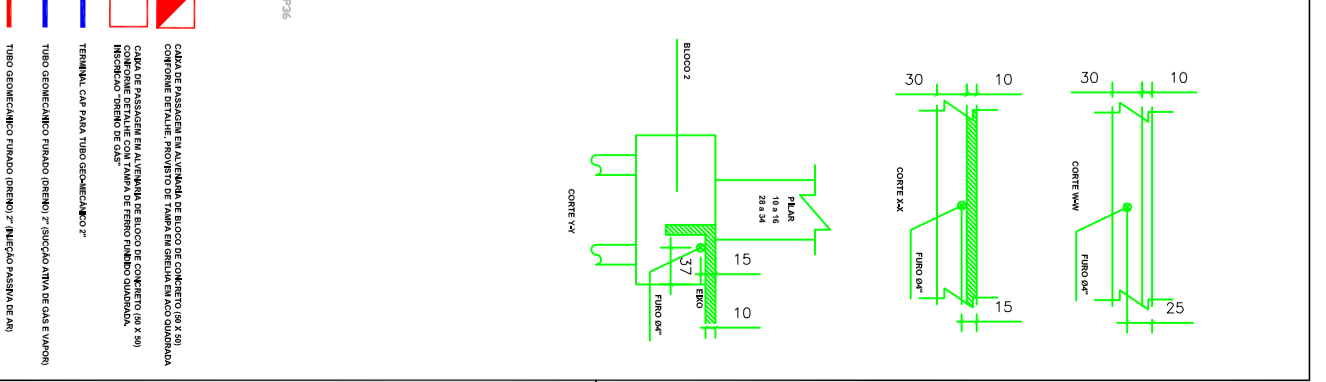
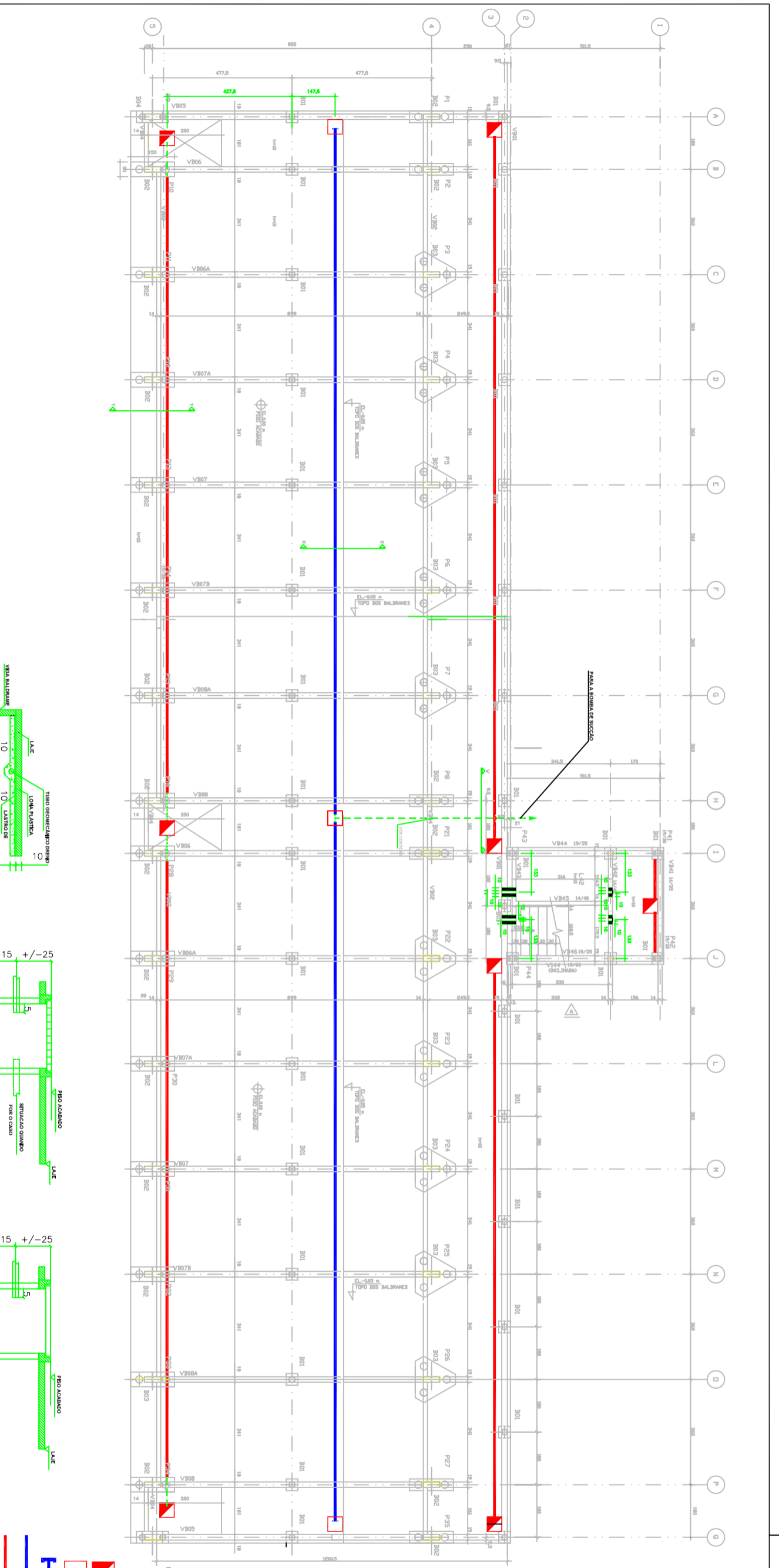
NOTAS	
1	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
2	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
3	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
4	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
5	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
6	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
7	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
8	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
9	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
10	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO

NOTAS	
1	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
2	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
3	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
4	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
5	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
6	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
7	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
8	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
9	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
10	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO

NOTAS	
1	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
2	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
3	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
4	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
5	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
6	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
7	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
8	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
9	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
10	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO

NOTAS	
1	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
2	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
3	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
4	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
5	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
6	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
7	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
8	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
9	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
10	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO

NOTAS	
1	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
2	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
3	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
4	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
5	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
6	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
7	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
8	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
9	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO
10	TIPO DE TUBO DE VENTILACAO



**CAIXA DE PASSAGEM EM ALVENARIA DE BLOCO DE CONCRETO (8 X 8)**  
 CONFORME DETALHE. PROVEDO DE TABUA EM GRESIA EM ACO QUADRO  
 CAIXA DE PASSAGEM EM ALVENARIA DE BLOCO DE CONCRETO (8 X 8)  
 CONFORME DETALHE COM TAMPA DE FERRO TUBADO QUADRADO  
 RECORRIDO INTERNO DE GÁS

**TERMINAL CAP PARA TUBO GEOMETRICO 2"**

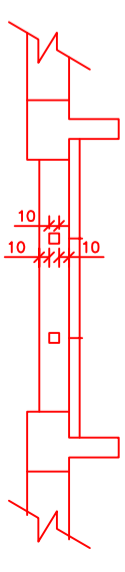
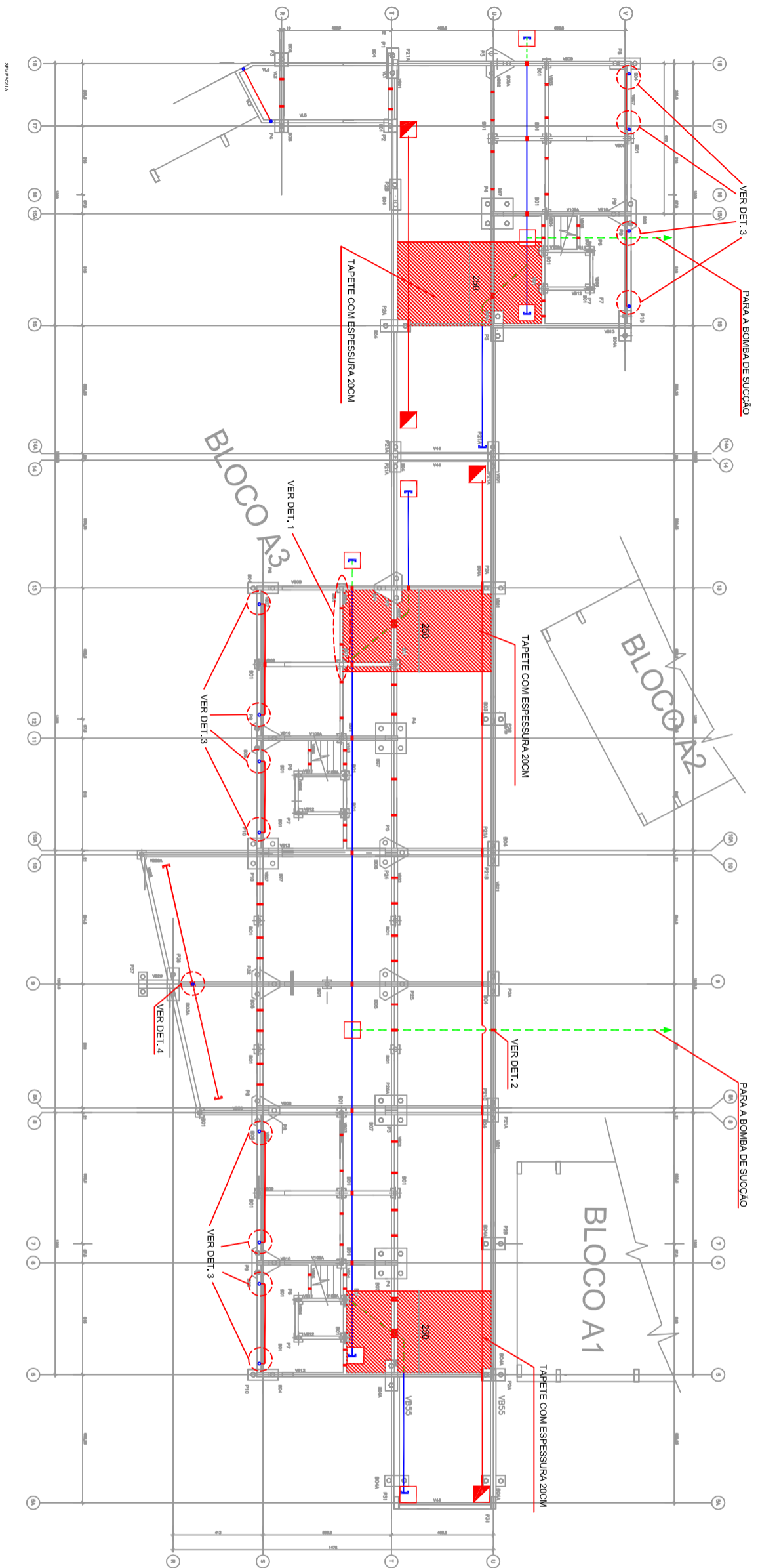
**TUBO GEOMETRICO TUBADO (DRENTO) 2" (SECCAO ATIVA DE GÁS E VAPORES)**

**TUBO GEOMETRICO TUBADO (DRENTO) 2" INICIAÇÃO PASSIVA DE AR**

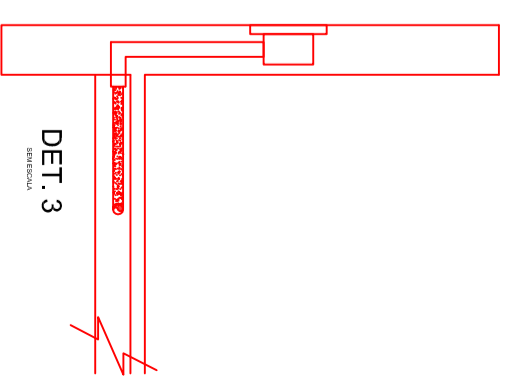
**TUBO PVC MARIANO 2" L80**

Desenho A8 - Planta sequencial do piso do prédio A1 do Conjunto Laboratorial (fase 1), com as posições dos tubos do sistema de ventilação de gás e vapor proposto.

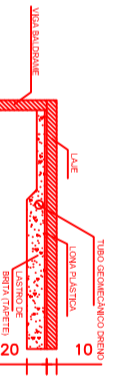
Prof.: Gustavo Henrique dos Santos - Coordenador de Engenharia de Edifícios - UNIFAP



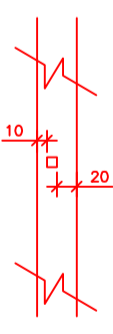
DET. 1  
SECCAO A-A



DET. 3  
SECCAO A-A



DET. 4  
SECCAO A-A



DET. 2  
SECCAO A-A

- CANAL DE PASSAGEM EM ALVENARIA DE BLOCO DE CONCRETO 60 X 60
- CONCRETO DETALHE INVENTO DE TAMPA EM GELERA EM ACO QUADRA
- CANAL DE PASSAGEM EM ALVENARIA DE BLOCO DE CONCRETO 60 X 60
- CONCRETO DETALHE COM TAMPA DE FERRO TUBO QUADRADO INCONDICIONADO TUBO DE CAU
- TERMINAL CAP PARA TUBO DESECHAMICO 2"
- TUBO DESECHAMICO PARADO GRENHO 2" SAO PAULO ATUA DE CAU E VAPOR
- TUBO DESECHAMICO PARADO GRENHO 2" SAO PAULO PASSIVA DE APO
- TUBO PVC MARBROW 2" USO
- 10 x 10 out 4"
- 10 x 20
- SINALIZ. DE TUBO

Desenho A/10 - Planta arquitetônica do piso do "Corredor do Serviço" do Complexo Laboratorial, com as posições dos tubos do sistema drenante de gás e vapor propostos.

Projeto Arquitetônico: Engenharia de Arquitetura - Universidade de São Paulo - USP