

RELATÓRIO TÉCNICO

123582-205/11

USP/COESF

Final

15 de agosto de 2011

Avaliação de Risco à Saúde Humana

Gleba I

EACH-USP

CLIENTE

Universidade de São Paulo USP/COESF

UNIDADE RESPONSÁVEL

Centro de Tecnologias Ambientais e Energéticas

CETAE

Resumo

O presente relatório técnico tem como objetivo apresentar o resultado dos trabalhos de Avaliação de Risco à Saúde Humana, decorrentes da contaminação do solo e da água subterrânea, assim como estabelecer as metas de remediação destes meios na área da Gleba I do campus da EACH/USP, outrora denominada EACH-USP. Os cálculos baseiam-se nas planilhas de “Avaliação de Riscos em Áreas Contaminadas sob Investigação”, elaboradas pela CETESB, e no *RBCA Tool Kit for Chemical Releases*, *software* comercial de modelagem e caracterização de riscos. Os resultados experimentais de análises químicas utilizados nos cálculos estão apresentados em outro relatório do IPT, de número 123530-205/11, de agosto de 2011. Os cálculos não indicaram a existência de riscos atuais acima dos limites aceitáveis para as seguintes populações: Trabalhadores e estudantes da área da EACH – USP; Trabalhadores de equipamentos públicos de áreas externas à EACH-USP (escola estadual, escola infantil e creche); Usuários (crianças) de equipamentos públicos de áreas externas à EACH-USP (escola estadual, escola infantil e creche); Demais trabalhadores e moradores de áreas externas à EACH – USP. Os cálculos indicaram a existência de riscos atuais não carcinogênicos acima dos limites aceitáveis para as seguintes populações, para ingestão acidental de água do subsolo: Trabalhadores de obras civis da área da EACH – USP; Trabalhadores de obras civis nas áreas dos equipamentos públicos externas à EACH-USP (escola estadual, escola infantil e creche). Os cálculos indicaram ainda existência de riscos hipotéticos, carcinogênicos e não carcinogênicos, acima dos limites aceitáveis, caso haja ingestão de água do subsolo, para as seguintes populações: Trabalhadores e estudantes da área da EACH – USP; Trabalhadores de equipamentos públicos de áreas externas à EACH-USP (escola estadual, escola infantil e creche); Usuários (crianças) de equipamentos públicos de áreas externas à EACH-USP (escola estadual, escola infantil e creche. Recomenda-se que sejam implantadas as seguintes medidas institucionais de gerenciamento de riscos atuais e hipotéticos relacionados à área de interesse: impedimento do uso da água subterrânea local para consumo humano; em caso de obras de escavação ou rebaixamento de nível d’água subterrânea, deve ser elaborado um plano de saúde e segurança e gerenciamento de resíduos; devido à existência de riscos de explosividade devido a emanações de gases inflamáveis a partir do subsolo, recomendam-se medidas de engenharia para evitar a ocorrência da intrusão de gases e vapores em ambientes fechados. Medidas desse tipo estão sendo apresentadas em relatório a parte, no âmbito da presente Proposta de Trabalho do IPT. Recomenda-se ainda que eventuais trabalhos em áreas confinadas sejam conduzidos de acordo com as normas de segurança cabíveis em cada caso. Recomenda-se que estudos semelhantes sejam executados para a área contígua ao terreno da EACH – USP, que abriga as instalações das escolas estadual, municipal e creche, e que as instituições responsáveis por essas áreas sejam notificadas acerca dessa necessidade. Recomenda-se por fim, que um programa contínuo e permanente de monitoramento de gases e vapores e explosividade seja implementado nos edifícios e espaços confinados em geral na área da EACH-USP, adotando-se procedimentos especiais de segurança, caso as medidas indiquem índice de explosividade superior a 10% do Limite Inferior de Explosividade.

Palavras-chaves: avaliação de risco, áreas contaminadas, EACH-USP, USP Leste.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
2	IDENTIFICAÇÃO DOS COMPOSTOS DE INTERESSE AMBIENTAL	2
2.1	Avaliação dos Dados Disponíveis	2
2.2	Seleção dos Compostos de Interesse	4
3	AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO	6
3.1	Características do Ambiente de Exposição	6
3.2	Populações Expostas e Cenários de Exposição	8
3.3	Quantificação da Exposição	18
3.3.1	Concentrações nos Pontos de Exposição	18
3.3.2	Parâmetros de Exposição.....	21
3.3.3	Parâmetros Físico-Químicos e do Meio Físico	22
4	AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE	22
5	CARACTERIZAÇÃO DO RISCO	23
5.1	Riscos Atuais	24
5.1.1	Trabalhadores e Estudantes da EACH-USP	24
5.1.2	Trabalhadores de Obras Civas na área da EACH-USP.....	25
5.1.3	Trabalhadores das escolas e creche, vizinhas à EACH-USP.....	26
5.1.4	Crianças usuárias das escolas e creche, vizinhas à EACH-USP	27
5.1.5	Trabalhadores de obras civis nas áreas das escolas e creche, vizinhas à EACH-USP	28
5.2	Riscos Hipotéticos	29
6	DEFINIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS ACEITÁVEIS (CMA).....	31
6.1	Cenários Atuais	31
6.2	Cenário Hipotético	32
7	INCERTEZAS DA AVALIAÇÃO DE RISCO	33
7.1	Caracterização da Área	33
7.2	Estimativas dos Parâmetros de Exposição.....	34
7.3	Informações Toxicológicas	34

8	CONCLUSÕES	35
9	RECOMENDAÇÕES.....	37
	Equipe Técnica	39
	Agradecimentos	40
	Referências Bibliográficas	41
	Anexo A - ANÁLISES QUÍMICAS CONSIDERADAS NA AVALIAÇÃO DE RISCO	44
	Anexo B - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE RISCO – CENÁRIO ATUAL PARA TRABALHADORES E ESTUDANTES DA EACH-USP	46
	Anexo C - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE RISCO – CENÁRIO ATUAL PARA TRABALHADORES DE OBRAS CIVIS NA ÁREA DA EACH-USP	47
	Anexo D - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE RISCO – CENÁRIO ATUAL PARA TRABALHADORES DAS ESCOLAS E CRECHE VIZINHAS À EACH-USP	48
	Anexo E - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE RISCO – CENÁRIO ATUAL PARA CRIANÇAS USUÁRIAS DAS ESCOLAS E CRECHE, VIZINHAS À EACH-USP	49
	Anexo F - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE RISCO – CENÁRIO ATUAL PARA TRABALHADORES DE OBRAS CIVIS NAS ÁREAS DAS ESCOLAS E CRECHE, VIZINHAS À EACH-USP	50
	Anexo G - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE RISCO – CENÁRIO HIPOTÉTICO – INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA POR (1) TRABALHADORES E ESTUDANTES DA EACH-USP, (2) TRABALHADORES DE ESCOLAS E CRECHE OFF-SITE; E (3) CRIANÇAS DE ESCOLAS E CRECHE OFF-SITE.....	51
	Lista de Ilustrações	52

1 INTRODUÇÃO

Esta avaliação de risco visa identificar e quantificar os riscos à saúde humana decorrentes da contaminação do solo e da água subterrânea na área da Gleba 1 do campus da Universidade de São Paulo, na Zona Leste da cidade de São Paulo, EACH – USP, outrora denominada EACH-USP, localizada na Avenida Dr. Arlindo Bettio, 1000, município de São Paulo, SP, assim como estabelecer as metas de remediação destes meios.

Os cálculos realizados para a determinação dos riscos à saúde humana e das metas de remediação baseiam-se nas planilhas de “Avaliação de Riscos em Áreas Contaminadas sob Investigação”, elaboradas pela CETESB a partir da Decisão de Diretoria n° 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007, e no *RBCA Tool Kit for Chemical Releases*, *software* comercial de modelagem e caracterização de riscos, projetado para atender os requisitos da norma *Standard Guide for Risk-Based Corrective Action* (ASTM E-2081), da ASTM (*American Society for Testing and Materials*).

Nestas planilhas, os cálculos de risco e metas de remediação têm como base o procedimento descrito no RAGS - Risk Assessment Guidance for Superfund - Volume I - Human Health Evaluation Manual (Part A) (USEPA, 1989), para quantificação da exposição e do risco, bem como as equações de Domenico (1987), para transporte de contaminantes em meio saturado, o modelo de Jury e Johnson (1991), para transporte de contaminantes em meio não saturado, e o modelo de Johnson e Ettinger (1991) para intrusão de vapores.

Este documento organiza-se de acordo com o procedimento padrão de avaliação de risco, apresentando (1) a definição dos compostos químicos de interesse ambiental; (2) a avaliação de exposição, com a identificação dos receptores, caminhos de exposição, concentrações nos pontos de exposição e quantificação das doses absorvidas pelos receptores; (3) a avaliação de toxicidade; (4) a caracterização dos riscos carcinogênicos e não carcinogênicos para todos os receptores identificados; (5)

o cálculo das metas de remediação baseadas no risco; (6) a definição das ações de gerenciamento dos riscos identificados.

2 IDENTIFICAÇÃO DOS COMPOSTOS DE INTERESSE AMBIENTAL

2.1 Avaliação dos Dados Disponíveis

Os dados nos quais se baseia a tarefa de identificação dos compostos de interesse ambiental são produtos das campanhas de monitoramento de solo superficial, subsuperficial e de água subterrânea, conduzidas de outubro de 2005 a janeiro de 2011. Estes dados foram obtidos nas etapas anteriores de investigação ambiental, estando descritos no Relatório Técnico 123530-205/11 – Final, de agosto de 2011: “Investigação do subsolo da Gleba I do campus da EACH/USP para Avaliação de Risco à Saúde Humana e Complementação da investigação da área onde foi implantado o ginásio de esportes” (IPT, 2011).

A tabela do ANEXO A: “Resultados das análises químicas das amostras de água subterrânea (concentrações em mg/L)”, apresenta os dados considerados nesta avaliação de risco (solo e água subterrânea), somente para os compostos que foram detectados nas referidas investigações.

As análises químicas de água subterrânea, consideradas para a avaliação de risco, são aquelas produzidas na última campanha de amostragem: de dezembro de 2010 a janeiro de 2011. Para os cálculos de risco relacionados com o solo, todas as análises químicas históricas foram consideradas, incluindo as das campanhas anteriores, efetuadas em 2005 para o solo subsuperficial e efetuadas de 2007 a 2010 para o solo superficial. As tabelas completas contendo as informações de todos os compostos analisados encontram-se apresentadas no relatório de investigação citado acima. Os pontos de monitoramento de solo superficial, solo subsuperficial e água subterrânea são apresentados nos Desenhos A5, A6 e A7, Anexo A, do relatório do IPT citado acima (IPT, 2011).

A população de dados de análises químicas foi avaliada com relação aos métodos analíticos, tendo sido somente utilizados os laudos de análises químicas

provenientes dos laboratórios certificados pela ISO 17025 e cujos resultados foram considerados precisos e exatos, a partir da avaliação dos resultados de controle de qualidade das análises (duplicatas, branco de laboratório, “matrix spike” e “surrogate spike”). Foram também avaliados os resultados das análises de brancos de laboratório, de campo e de equipamento. Nenhum dos compostos químicos analisados foi detectado nestas amostras.

Os limites de quantificação dos compostos analisados foram também avaliados, sendo que os compostos da **Tabela 1** apresentaram limites de quantificação com valores mais elevados que o padrão ambiental utilizado. A principal razão para este fato é que o padrão ambiental é bastante restritivo e as técnicas analíticas não são capazes de alcançar tais limites. Como estes compostos não foram detectados em nenhuma das amostras, incluindo historicamente, assim como não foram detectados outros compostos orgânicos de natureza similar, julga-se tecnicamente adequado eliminar os compostos da **Tabela 1** da avaliação de risco.

Tabela 1 - Relação de compostos analisados na água subterrânea com limites de quantificação superiores ao padrão ambiental utilizado

Composto	Limite de quantificação aplicado (µg/L)	PRG USEPA (µg/L)
1,2-dibromoetano	1,00	0,0065
Trans-1,4-dicloro-2-butenos	1,00	0,0012
Cis-1,4-dicloro-2-butenos	1,00	0,0012
1,1,2,2-tetracloroetano	1,00	0,067
1,2,3-tricloropropano	1,00	0,0096
1,2-dibromo-3-cloropropano	1,00	0,00032
Benzo[b]fluoranteno	0,20	0,029
Alfa-BHC	0,20	0,011
Beta-BHC	0,20	0,037
Heptachlor	0,20	0,015
Epoxy Heptachlor	0,20	0,0074
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	0,20	0,0074

Os dados apresentados nas campanhas de amostragem mostraram a presença de alguns compostos de interesse ambiental na água subterrânea em concentrações acima dos padrões específicos de referência adotados (padrões de qualidade de solo e água subterrânea desenvolvidos pela CETESB e os “*Regional Screening Levels (RSLs)*” determinados pela agência ambiental dos EUA – USEPA, além do padrão de potabilidade do Ministério da Saúde – Portaria 518/2004). Por esta razão, esses dados foram considerados durante os cálculos efetuados visando caracterizar os riscos em maiores detalhes.

2.2 Seleção dos Compostos de Interesse

De acordo com os critérios adotados pela USEPA, foram excluídos desta avaliação de risco:

- os compostos químicos de interesse ambiental não detectados em nenhuma das amostras analisadas, e
- os compostos químicos de interesse ambiental que foram detectados em concentrações abaixo dos padrões ambientais adotados.

A **Tabela 2** apresenta os compostos detectados na água subterrânea que foram selecionados para a quantificação de riscos, juntamente com um resumo das informações referentes às populações consideradas na avaliação. Não foram identificadas substâncias químicas no solo em concentrações mais elevadas que os padrões ambientais.

Tabela 2 – Resumo das informações dos compostos detectados na água subterrânea e selecionados para a quantificação dos riscos à saúde humana

Composto	Padrão ambiental (mg/L)	# detectados / # análises	# detectados acima do padrão	Conc. mínima detectada (mg/L)	Conc. máxima detectada (mg/L)	PM Max. Conc.	Máx./ Padrão
Alumínio	0,2 ⁽¹⁾	21/21	20	0,126	47,6	PM-19	238
Arsênio	0,01 ⁽¹⁾	7/21	4	0,007	0,017	PM-19	1,7
Bário	0,7 ⁽¹⁾	6/21	6	0,097	1,89	PM-14	2,7
Chumbo	0,01 ⁽¹⁾	3/21	3	0,016	0,067	PM-19	6,7
Cobalto	0,005 ⁽¹⁾	6/21	6	0,018	0,162	PM-2	32,4
Cromo (t)	0,05 ⁽¹⁾	3/21	1	0,018	0,053	PM-19	1,1
Ferro (t)	0,3 ⁽¹⁾	21/21	21	0,852	86,5	PM-15	288
Manganês	0,4 ⁽¹⁾	21/21	16	0,140	12,1	PM-21	30
Molibdênio	0,07 ⁽¹⁾	2/21	2	0,119	0,205	PM-15	2,9
Níquel	0,02 ⁽¹⁾	5/21	4	0,016	0,712	PM-2	35,6
N amoniacal	1,5 ⁽²⁾	13/21	6	0,15	62,31	PM-18	41,5
Selênio	0,01 ⁽¹⁾	1/21	1	0,01	0,01	PM-18	1
Sulfeto	0,05 ⁽²⁾	17/21	2	0,009	0,195	PM-2	3,9

(1) Padrão CETESB, de 23/11/2005; (2) Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

Os compostos mais frequentemente detectados acima dos padrões ambientais foram o alumínio, ferro e manganês na água subterrânea. No caso do alumínio e ferro, as concentrações máximas detectadas encontram-se mais de duzentas vezes maiores que o padrão ambiental. Vários metais foram detectados com baixa frequência e com concentrações relativamente próximas dos padrões ambientais, caso do arsênio, bário, cromo, molibdênio e selênio. Os parâmetros alumínio, arsênio, chumbo e cromo foram detectados em concentrações máximas no poço de monitoramento PM-19, numa amostra que teve os maiores valores de turbidez (7 NTU). Desta forma, as concentrações mais elevadas destes parâmetros podem estar relacionadas com o material sólido em suspensão na amostra.

Ressalta-se que não foi detectado nenhum dos compostos orgânicos que formam a longa lista de compostos voláteis e semi-voláteis, tanto na água como no solo (IPT, 2011), indicando não haver nenhuma fonte de contaminação de compostos orgânicos sintéticos ou hidrocarbonetos na área da EACH-USP. Os metais detectados

na água subterrânea refletem mais as condições hidroquímicas de ambiente de baixo potencial redox e rico em matéria orgânica, típica dos sedimentos de dragagem do rio Tietê.

3 AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO

A Avaliação de Exposição objetiva estimar o tipo e magnitude da exposição a compostos químicos de interesse que estão presentes ou migrando de uma área contaminada. Como resultado final, esta avaliação define as doses de ingresso de contaminantes para cada receptor e para cada evento de exposição.

As diversas etapas do processo de avaliação de exposição são:

- Caracterização do ambiente de exposição;
- Identificação das populações potencialmente expostas;
- Identificação das vias pelas quais os receptores podem ter contato com os compostos de interesse ambiental (ar, água subterrânea, água superficial e solo);
- Seleção de cenários de exposição atuais, futuros e hipotéticos;
- Estimativa das concentrações dos compostos existentes nos pontos de exposição; e
- Determinação das doses de ingresso para cada população receptora.

Foram examinadas as características físicas da área de interesse, a fim de se identificarem as vias pelas quais receptores humanos poderão ser expostos aos contaminantes detectados na unidade. Os cenários de exposição foram desenvolvidos e as estimativas foram calculadas quanto à dose no ponto de exposição, de acordo com cada via de contaminação atual e futura para cada população receptora.

3.1 Características do Ambiente de Exposição

A área total do terreno da Gleba I da EACH – USP é de aproximadamente 256.482,58 m², sendo que cerca de 47.911,00 m² representam área construída.

O uso e ocupação do solo à distância de até 500 metros do perímetro da área estudada (IPT, 2011, Figura 2) pode ser sumarizado como segue:

- Ao norte, noroeste e sudoeste, o terreno é limítrofe com a área do Parque Ecológico do Tietê, sendo toda a sua lateral sudoeste limitada pela Rodovia Airton Senna, após o córrego sudoeste limite da área;
- A porção mais ao norte da lateral nordeste é fronteira a uma área de ocupação industrial até cerca de 250 metros do seu perímetro, após o córrego nordeste limite da área, após o que se encontra uma região residencial, o Jardim Keralux;
- A lateral sul da área é margeada pela Linha Férrea 12, Safira, da CPTM, após o que se encontra uma grande região de ocupação industrial, por sua vez ladeada por ocupações residenciais, a leste os bairros Belizário Benitez / Jd. Nova Tereza, e a sudoeste a Vila Cisper / Canotto 2;
- A área da Gleba I da EACH – USP é margeada por dois córregos, o aqui chamado córrego 1, em seu limite noroeste, e o aqui chamado córrego 2, que percorre a maior parte de seu limite sul e prossegue margeando parte de seu limite nordeste para se encontrar com o primeiro no vértice norte da área (IPT, 2011, Figura 2);
- Na imediata vizinhança a sudeste do terreno da EACH – USP, Gleba I, entre os limites do terreno e o córrego 2 (IPT, 2011, Figuras 2 e 3), podem ser vistas as edificações ocupadas pela Escola Estadual Irmã Annete M.F. de Melo e pelas municipais de educação infantil EMEI Jardim Keralux e CEI Marta Teresinha Godinho, que são instalações particularmente sensíveis.
- A ocupação interna à área é feita por edifícios integrantes do campus da Universidade de São Paulo, sendo principalmente compostos de auditórios, salas de aula, escritórios, refeitórios e biblioteca.
- Poços de água subterrânea na região do entorno, cadastrados no DAEE, à distância de até 500 m do seu perímetro (ver Figura 2, IPT, 2011), têm seus usos caracterizados como industrial e sanitário.

- Trabalhos anteriores efetuados utilizando-se um Monitor Portátil de Gases Gastech Innova-SV, indicaram presença generalizada de gás inflamável, provavelmente metano, no subsolo da área, além de vapor de substâncias voláteis, em muitos pontos;

A água subterrânea, no interior do terreno da EACH – USP, não é utilizada para nenhum tipo de consumo.

O item 4 do relatório de investigação citado acima (IPT, 2011) apresenta um histórico resumido de ocupação da área.

3.2 Populações Expostas e Cenários de Exposição

Com base nas informações sobre o atual uso e ocupação do solo, bem como nas possibilidades de uso futuro do solo, as seguintes populações foram identificadas como potencialmente expostas à contaminação:

- Trabalhadores e estudantes da área da EACH-USP;
- Trabalhadores de obras civis da área da EACH-USP;
- Trabalhadores de equipamentos públicos de áreas externas à EACH-USP (escola estadual, escola infantil e creche);
- Usuários (crianças) de equipamentos públicos de áreas externas à EACH-USP (escola estadual, escola infantil e creche);
- Trabalhadores de obras civis nas áreas dos equipamentos públicos externas à EACH-USP (escola estadual, escola infantil e creche);
- Demais trabalhadores e moradores de áreas externas à EACH – USP.

Os cenários de exposição considerados são detalhados nas **Tabelas 3 a 8**, contendo uma justificativa para a inclusão ou exclusão dos diferentes cenários de exposição para o cálculo dos riscos.

Tabela 3 - Cenários de Exposição Considerados na Avaliação de Risco para os trabalhadores e estudantes da área da EACH – USP

Cenários	Incluído/ Excluído	Exposição	Justificativas
Água Subterrânea do Aquífero Raso			
Ingestão como água potável	Incluído	Hipotética	Não há risco atual ou futuro pois a água subterrânea proveniente do aquífero raso não é e nem será utilizada no local, uma vez que há outras fontes de abastecimento. Os riscos para ingestão foram calculados de forma hipotética para fins de gerenciamento futuro do uso do solo no local.
Contato dérmico	Excluído	-	O caminho de exposição não se completa.
Inalação de vapores no ar de áreas internas	Incluído	Atual	Este caminho foi incluído devido à possível volatilização de gás amônia e gás sulfídrico a partir da água subterrânea. Compostos orgânicos voláteis não foram detectados. Quanto ao metano, os riscos estão relacionados à explosividade, e não à saúde humana.
Inalação de vapores no ar de áreas externas	Incluído	Atual	
Água Subterrânea do Aquífero Profundo			
Ingestão como água potável	Excluído	-	Não existe poço profundo para captação de água subterrânea do aquífero para consumo humano.
Contato dérmico durante o banho	Excluído	-	
Inalação de vapores durante o banho	Excluído	-	
Águas Superficiais			
Ingestão acidental	Excluído	-	Não há corpos de água superficial exclusivamente nas áreas internas da EACH-USP. As pequenas drenagens existentes recebem aporte de águas e sedimentos de áreas externas à EACH-USP.
Contato dérmico	Excluído	-	
Inalação de vapores	Excluído	-	

Continua...

...Continuação

Cenários	Incluído/ Excluído	Exposição	Justificativas
Solo			
Contato dérmico	Excluído	-	Não foram detectadas substâncias químicas em concentrações mais elevadas que os padrões ambientais.
Inalação de vapores no ar de áreas internas	Excluído	-	
Inalação de vapores no ar de áreas externas	Excluído	-	
Inalação de material particulado	Excluído	-	
Ingestão acidental de contaminantes do solo	Excluído	-	
Sedimentos			
Ingestão acidental	Excluído	-	Não há corpos de água superficial exclusivamente nas áreas internas da EACH-USP. As pequenas drenagens existentes recebem aporte de águas e sedimentos de áreas externas à EACH-USP.
Contato dérmico	Excluído	-	
Alimentos			
Ingestão de vegetais	Excluído	-	Não há hortas ou árvores frutíferas nas áreas internas da EACH-USP
Ingestão de carne, ovos e laticínios	Excluído	-	Não se aplica.
Ingestão de peixes	Excluído	-	

Tabela 4 - Cenários de Exposição Considerados na Avaliação de Risco para os Trabalhadores de Construção Civil da EACH-USP

Cenários	Incluído/ Excluído	Exposição	Justificativas
Água Subterrânea do Aquífero Raso			
Ingestão acidental	<i>Incluído</i>	Atual	No caso de obras na área de estudo, os trabalhadores de Construção Civil poderiam entrar em contato com as águas subterrâneas.
Contato dérmico	<i>Incluído</i>	Atual	

Continua...

...Continuação

Cenários	Incluído/ Excluído	Exposição	Justificativas
Inalação de vapores no ar de áreas internas	<i>Incluído</i>	Atual	Este caminho foi incluído devido a possíveis volatilizações de amônia e gás sulfídrico na água subterrânea. VOCs não foram detectados. O metano gera riscos de explosividade e não foi considerado para o cálculo de riscos toxicológicos.
Inalação de vapores no ar de áreas externas	<i>Incluído</i>	Atual	
Águas Superficiais			
Ingestão acidental	<i>Excluído</i>	-	Não há corpos de água superficial exclusivamente nas áreas internas da EACH-USP. As pequenas drenagens existentes recebem aporte de águas servidas e sedimentos de áreas externas à EACH-USP.
Contato dérmico durante o banho	<i>Excluído</i>	-	
Inalação de vapores durante o banho	<i>Excluído</i>	-	
Solo			
Contato dérmico	<i>Excluído</i>	-	Não foram detectadas substâncias químicas em concentrações mais elevadas que os padrões ambientais.
Inalação de vapores no ar de áreas internas	<i>Excluído</i>	-	
Inalação de vapores no ar de áreas externas	<i>Excluído</i>	-	
Inalação de material particulado	<i>Excluído</i>	-	
Ingestão acidental de contaminantes do solo	<i>Excluído</i>	-	
Sedimentos			
Ingestão acidental	<i>Excluído</i>	-	Não há corpos de água superficial exclusivamente nas áreas internas da EACH-USP. As pequenas drenagens existentes recebem aporte de águas servidas e sedimentos de áreas externas à EACH-USP.
Contato dérmico	<i>Excluído</i>	-	

Tabela 5 - Cenários de Exposição Considerados na Avaliação de Risco para os trabalhadores das escolas estadual, escola infantil e creche, externas à EACH-USP

Cenários	Incluído/ Excluído	Exposição	Justificativas
Água Subterrânea do Aquífero Raso			
Ingestão como água potável	Incluído	Hipotética	Não há risco atual, pois a água subterrânea proveniente do aquífero raso não é utilizada no local, uma vez que há outras fontes de abastecimento. Os riscos para ingestão foram calculados de forma hipotética para fins de gerenciamento futuro do uso do solo no local.
Contato dérmico	Excluído	-	O caminho de exposição não se completa.
Inalação de vapores no ar de áreas internas	Incluído	Atual	Este caminho foi incluído pois a área situa-se num mesmo contexto hidrogeoquímico da área da EACH, sendo possível a volatilização de amônia e gás sulfídrico a partir da água subterrânea. Compostos orgânicos voláteis não foram detectados. Quanto ao metano, os riscos estão relacionados à explosividade, e não à saúde humana.
Inalação de vapores no ar de áreas externas	Incluído	Atual	
Água Subterrânea do Aquífero Profundo			
Ingestão como água potável	Excluído	-	Não existe poço profundo para captação de água subterrânea do aquífero para consumo humano nestas áreas.
Contato dérmico durante o banho	Excluído	-	
Inalação de vapores durante o banho	Excluído	-	
Águas Superficiais			
Ingestão acidental	Excluído	-	As pequenas drenagens existentes nos arredores recebem aporte de águas servidas e sedimentos de outras áreas externas.
Contato dérmico	Excluído	-	
Inalação de vapores	Excluído	-	

Continua...

...Continuação

Cenários	Incluído/ Excluído	Exposição	Justificativas
Solo			
Contato dérmico	Excluído	-	Não foram detectadas substâncias químicas em concentrações mais elevadas que os padrões ambientais.
Inalação de vapores no ar de áreas internas	Excluído	-	
Inalação de vapores no ar de áreas externas	Excluído	-	
Inalação de material particulado	Excluído	-	
Ingestão acidental de contaminantes do solo	Excluído	-	
Sedimentos			
Ingestão acidental	Excluído	-	As pequenas drenagens existentes nos arredores recebem aporte de águas servidas e sedimentos de outras áreas externas.
Contato dérmico	Excluído	-	
Alimentos			
Ingestão de vegetais	Excluído	-	Não há hortas ou árvores frutíferas nestas áreas
Ingestão de carne, ovos e laticínios	Excluído	-	Não se aplica.
Ingestão de peixes	Excluído	-	

Tabela 6 - Cenários de Exposição Considerados na Avaliação de Risco para crianças usuárias das escolas estadual e infantil e creche, externas à EACH – USP

Cenários	Incluído/ Excluído	Exposição	Justificativas
Água Subterrânea do Aquífero Raso			
Ingestão como água potável	<i>Incluído</i>	Hipotética	Não há risco atual ou futuro pois a água subterrânea proveniente do aquífero raso não é e nem será utilizada no local, uma vez que há outras fontes de abastecimento. Os riscos para ingestão foram calculados de forma hipotética para fins de gerenciamento futuro do uso do solo no local.

Continua...

...Continuação

Cenários	Incluído/ Excluído	Exposição	Justificativas
Contato dérmico	<i>Excluído</i>	-	O caminho de exposição não se completa.
Inalação de vapores no ar de áreas internas	<i>Incluído</i>	Atual	Este caminho foi incluído pois a área situa-se num mesmo contexto hidrogeoquímico da área da EACH, sendo possível a volatilização de amônia e gás sulfídrico a partir da água subterrânea. Compostos orgânicos voláteis não foram detectados. Quanto ao metano, os riscos estão relacionados à explosividade, e não à saúde humana.
Inalação de vapores no ar de áreas externas	<i>Incluído</i>	Atual	
Água Subterrânea do Aquífero Profundo			
Ingestão como água potável	<i>Excluído</i>	-	Não existe poço profundo para captação de água subterrânea do aquífero para consumo humano.
Contato dérmico durante o banho	<i>Excluído</i>	-	
Inalação de vapores durante o banho	<i>Excluído</i>	-	
Águas Superficiais			
Ingestão acidental	<i>Excluído</i>	-	As pequenas drenagens existentes nos arredores recebem aporte de águas servidas e sedimentos de outras áreas externas.
Contato dérmico	<i>Excluído</i>	-	
Inalação de vapores	<i>Excluído</i>	-	
Solo			
Contato dérmico	<i>Excluído</i>	-	Não foram detectadas substâncias químicas em concentrações mais elevadas que os padrões ambientais.
Inalação de vapores no ar de áreas internas	<i>Excluído</i>	-	
Inalação de vapores no ar de áreas externas	<i>Excluído</i>	-	
Inalação de material particulado	<i>Excluído</i>	-	

Continua...

...Continuação

Cenários	Incluído/ Excluído	Exposição	Justificativas
Ingestão acidental de contaminantes do solo	<i>Excluído</i>	-	
Sedimentos			
Ingestão acidental	<i>Excluído</i>	-	As pequenas drenagens existentes nos arredores recebem aporte de águas servidas e sedimentos de outras áreas externas.
Contato dérmico	<i>Excluído</i>	-	
Alimentos			
Ingestão de vegetais	<i>Excluído</i>	-	Não há hortas ou árvores frutíferas nas áreas
Ingestão de carne, ovos e laticínios	<i>Excluído</i>	-	Não se aplica.
Ingestão de peixes	<i>Excluído</i>	-	

Tabela 7 - Cenários de Exposição Considerados na Avaliação de Risco para os Trabalhadores de Obras Civas nas áreas das escolas estadual e infantil e creche, externas à EACH-USP

Cenários	Incluído/ Excluído	Exposição	Justificativas
Água Subterrânea do Aquífero Raso			
Ingestão acidental	<i>Incluído</i>	Atual	No caso de obras na área de estudo, os trabalhadores de Construção Civil poderiam entrar em contato com as águas subterrâneas.
Contato dérmico	<i>Incluído</i>	Atual	
Inalação de vapores no ar de áreas internas	<i>Incluído</i>	Atual	Este caminho foi incluído pois a área situa-se num mesmo contexto hidrogeoquímico da área da EACH, sendo possível a volatilização de amônia e gás sulfídrico a partir da água subterrânea. Compostos orgânicos voláteis não foram detectados. Quanto ao metano, os riscos estão relacionados à explosividade, e não à saúde humana.
Inalação de vapores no ar de áreas externas	<i>Incluído</i>	Atual	

Continua...

...Continuação

Cenários	Incluído/ Excluído	Exposição	Justificativas
Águas Superficiais			
Ingestão acidental	Excluído	-	As pequenas drenagens existentes nos arredores recebem aporte de águas servidas e sedimentos de outras áreas externas.
Contato dérmico durante o banho	Excluído	-	
Inalação de vapores durante o banho	Excluído	-	
Solo			
Contato dérmico	Excluído	-	Não foram detectadas substâncias químicas em concentrações mais elevadas que os padrões ambientais.
Inalação de vapores no ar de áreas internas	Excluído	-	
Inalação de vapores no ar de áreas externas	Excluído	-	
Inalação de material particulado	Excluído	-	
Ingestão acidental de contaminantes do solo	Excluído	-	
Sedimentos			
Ingestão acidental	Excluído	-	As pequenas drenagens existentes nos arredores recebem aporte de águas servidas e sedimentos de outras áreas externas.
Contato dérmico	Excluído	-	

Tabela 8 - Cenários de Exposição Considerados na Avaliação de Risco para os todos os demais receptores externos à área da EACH-USP (moradores e trabalhadores)

Cenários	Incluído/ Excluído	Exposição	Justificativas
Água Subterrânea do Aquífero Raso			
Ingestão acidental	Excluído	-	Todos os receptores situam-se em outras bacias hidrogeológicas locais.
Contato dérmico	Excluído	-	
Inalação de vapores no ar de áreas internas	Excluído	-	
Inalação de vapores no ar de áreas externas	Excluído	-	
Água Subterrânea do Aquífero Profundo			

Continua...

...Continuação

Cenários	Incluído/ Excluído	Exposição	Justificativas
Ingestão como água potável	Excluído	-	Poços profundos foram identificados num raio de 500 m entorno da EACH-USP. A qualidade da água destes poços não foi avaliada até o momento. Julga-se, entretanto, que estes poços possuem zona de contribuição complexa em função da heterogeneidade geológica, o que seria melhor avaliado com a execução de uma modelação hidrogeológica numérica. Além disso, espera-se a ocorrência de barreiras geoquímicas verticais que impediriam a migração dos metais dissolvidos identificados na água do aquífero raso para o aquífero profundo.
Contato dérmico durante o banho	Excluído	-	
Inalação de vapores durante o banho	Excluído	-	
Águas Superficiais			
Ingestão acidental	Excluído	-	As pequenas drenagens existentes nos arredores recebem aporte de águas servidas e sedimentos de várias áreas.
Contato dérmico durante o banho	Excluído	-	
Inalação de vapores durante o banho	Excluído	-	
Solo			
Contato dérmico	Excluído	-	Não se espera haver solos impactados em áreas externas à EACH-USP.
Inalação de vapores no ar de áreas internas	Excluído	-	
Inalação de vapores no ar de áreas externas	Excluído	-	
Inalação de material particulado	Excluído	-	
Ingestão acidental de contaminantes do solo	Excluído	-	
Sedimentos			
Ingestão acidental	Excluído	-	As pequenas drenagens existentes nos arredores recebem aporte de águas servidas e sedimentos de várias áreas.
Contato dérmico	Excluído	-	
Alimentos			
Ingestão de vegetais	Excluído	-	Não se aplica.
Ingestão de carne, ovos e laticínios	Excluído	-	
Ingestão de peixes	Excluído	-	

3.3 Quantificação da Exposição

Nesta etapa da avaliação de risco, são quantificadas as concentrações dos compostos químicos de interesse que potencialmente podem ingressar no organismo exposto, considerando uma determinada via de ingresso. Esta fase pode ser denominada como cálculo da dose de ingresso.

3.3.1 Concentrações nos Pontos de Exposição

Neste item serão descritas quais concentrações foram utilizadas em cada um dos meios contaminados para cada receptor de interesse, assim como os modelos matemáticos utilizados para o cálculo das concentrações de algumas espécies químicas específicas.

- **Água Subterrânea**

Para todos os receptores *on-site* e *off-site* identificados foram consideradas as maiores concentrações obtidas dos compostos químicos de interesse na água subterrânea, conforme a **Tabela 9**. Para os receptores localizados *off-site* (trabalhadores, crianças e trabalhadores de obras civis das escolas estadual, escola infantil e creche, vizinhos à EACH-USP), optou-se por utilizar as maiores concentrações obtidas na área da EACH-USP. Esta abordagem conservadora se justifica, pois estas áreas se encontram sob o mesmo contexto hidrogeológico/hidrogeoquímico da área da EACH-USP e espera-se que os mesmos compostos químicos estejam presentes na água subterrânea do local.

Tabela 9 – Concentrações utilizadas para cálculo da exposição com as águas subterrâneas todos os receptores identificados (*on-site* e *off-site*)

Composto	Concentração no ponto de exposição (mg/L)	Poço de Monitoramento
Alumínio	47,6	PM-19
Arsênio	0,017	PM-19
Bário	1,89	PM-14
Chumbo	0,067	PM-19

Continua...

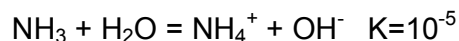
...Continuação

Composto	Concentração no ponto de exposição (mg/L)	Poço de Monitoramento
Cobalto	0,162	PM-2
Cromo (t)	0,053	PM-19
Ferro (t)	86,5	PM-15
Manganês	12,1	PM-21
Molibdênio	0,205	PM-15
Níquel	0,712	PM-2
Selênio	0,01	PM-18

- **Ar**

Para calcular as concentrações no ponto de exposição referentes à inalação de vapores do gás amônia e gás sulfídrico, foram utilizados os modelos matemáticos PhreeqC e Johnson & Ettinger.

O modelo PhreeqC realizou a especiação do nitrogênio amoniacal entre as espécies amônio (NH_4^+), que é um cátion bastante solúvel na água, e o gás amônia (NH_3), que pode sofrer volatilização quando dissolvido em água. A quantidade relativa de cada espécie é função do pH da solução, assim como da sua temperatura. A reação abaixo apresenta a equação de equilíbrio químico (para 25 °C):



$$K = 10^{-5} = [\text{NH}_4^+] * [\text{OH}^-] / [\text{NH}_3]$$

Pela equação, deduz-se que quanto maior for o pH da solução, maior é a possibilidade de formação do gás NH_3 . O modelo PhreeqC, portanto, utiliza esta equação para o cálculo das espécies. A mesma abordagem foi utilizada com relação ao gás sulfeto de hidrogênio, pois o íon analisado (sulfeto) pode ocorrer na água nas formas iônicas S^{2-} e HS^- , além do gás H_2S . Quanto menor o pH da solução, maior a possibilidade do sulfeto ocorrer na forma de H_2S .

A **Tabela 10** apresenta os resultados das concentrações de sulfeto de hidrogênio, amônio e amônia de todos os poços de monitoramento. Quanto à especiação do nitrogênio amoniacal, nota-se que a maior parte se encontra na forma

do íon amônio (NH_4^+), sendo muito pequena a parcela do gás amônia. A maior concentração de amônia na água subterrânea ocorre no poço PM-18 (0,113 mg/L). Já com relação ao sulfeto de hidrogênio, a maior concentração na água subterrânea ocorre no poço PM-2 (0,164 mg/L). Estas concentrações foram consideradas representativas nos pontos de exposição para os receptores *on-site* e *off-site* da EACH-USP, e utilizadas como dados de entrada no modelo Johnson & Ettinger para o cálculo das concentrações no ar de espaços abertos e fechados (**Tabela 11**).

Tabela 10 – Resultados da especiação do Nitrogênio Amoniacal e do Sulfeto utilizando o modelo geoquímico PhreeqC.

Poço	Data	Dados de entrada do modelo				Saída do modelo		
		Temp.	pH	N amoniaco mg/L	Sulfeto mg/L	H ₂ S mg/L	NH ₃ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L
PM1	1/4/2011	21.86	6.46	0.15	0.013	0.011	1.97E-04	0.15
PM2	12/16/2010	20.83	6.4	7.96	0.195	0.164	8.28E-03	7.95
PM3	1/4/2011	22.44	6.5	0.46	0.00	0.001	6.86E-04	0.46
PM4	1/6/2011	29.26	6.7	1.16	0.02	0.013	4.40E-03	1.16
PM5	1/7/2011	25.4	6.82	1.04	0.00	0.001	3.98E-03	1.04
PM6	12/17/2010	23.5	6.87	0.01	0.01	0.006	1.89E-05	4.98E-03
PM7	12/17/2010	23.6	6.87	0.01	0.043	0.025	1.9E-05	4.98E-03
PM8	1/10/2011	26.11	6.55	4.76	0.029	0.022	0.010	4.75
PM9	1/7/2011	24.67	6.12	0.01	0.011	0.010	3.66E-06	4.99E-03
PM10	12/21/2010	23.36	6.53	0.01	0.034	0.026	8.57E-06	4.99E-03
PM11	12/22/2010	22.72	6.64	0.01	0.00	0.001	1.05E-05	4.99E-03
PM12	1/5/2011	24.32	6.81	1.54	0.031	0.019	5.33E-03	1.53
PM13	1/5/2011	23.13	6.77	0.89	0.013	0.008	2.59E-03	0.89
PM14	1/10/2011	24.89	6.61	4.82	0.102	0.074	0.011	4.81
PM15	12/21/2010	24.29	6.04	0.2	0.015	0.014	1.18E-04	0.20
PM16	12/22/2010	22.57	6.39	0.01	0.018	0.015	5.87E-06	4.99E-03
PM17	12/22/2010	22.12	6.46	0.01	0.00	0.001	6.67E-06	4.99E-03
PM18	12/20/2010	23.59	6.57	62.31	0.012	0.009	0.113	62.17
PM19	1/6/2011	22.08	6.63	0.64	0.032	0.023	1.25E-03	0.64
PM20	12/17/2010	24.13	6.82	0.01	0.009	0.005	1.76E-05	4.98E-03
PM21	1/10/2011	24.03	6.6	4.82	0.014	0.010	0.010	4.81

Tabela 11 – Concentrações de gases dissolvidos na água subterrânea, utilizadas para cálculo de riscos de inalação em espaços fechados e abertos

Receptores <i>On-site</i> e <i>Off-site</i>		
Composto	Concentração no ponto de exposição (mg/L)	Poço de Monitoramento
Amônia	0,113	PM18
Sulfeto de hidrogênio	0,164	PM2

Para o cálculo das concentrações dos gases amônia e sulfeto de hidrogênio no ar a partir da água subterrânea, foi utilizado o modelo de Johnson & Ettinger presente na Planilha de Avaliação de Riscos da CETESB e no Tool Kit RBCA. Não foi possível, entretanto, o cálculo de riscos de inalação de vapores para estes gases a partir das planilhas da CETESB, devido ao fato de não haver, nessas planilhas, dados de constante de Henry e de difusividade no ar e na água para essas substâncias. Desta forma, optou-se pela utilização do software RBCA Tool kit para o cálculo destes riscos.

3.3.2 Parâmetros de Exposição

Todos os parâmetros de exposição considerados nesta Avaliação de Risco são aqueles presentes nas planilhas de “Avaliação de Riscos em Áreas Contaminadas sob Investigação”, elaboradas pela CETESB a partir da Decisão de Diretoria n° 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007. Os cálculos de risco através do RBCA Tool kit também consideraram os mesmos parâmetros de exposição. Os dados dos parâmetros de exposição são apresentados nos **ANEXOS B a G**.

Ressalta-se que os valores dos parâmetros de exposição utilizados para o cálculo de riscos para os receptores crianças usuárias das escolas e creche são bastante conservadores, pois estes receptores foram considerados residenciais urbanos (maior tempo de exposição que o real).

3.3.3 Parâmetros Físico-Químicos e do Meio Físico

Os parâmetros físico-químicos e do meio físico considerados nesta Avaliação de Risco são aqueles presentes nas planilhas de “Avaliação de Riscos em Áreas Contaminadas sob Investigação”, elaboradas pela CETESB a partir da Decisão de Diretoria n° 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007.

Complementarmente, foram utilizados os dados *default* do programa RBCA Tool kit para o cálculo dos riscos de inalação do gás amônia. No caso do sulfeto de hidrogênio, valores de difusividade no ar e na água e de constante da Lei de Henry foram obtidos na literatura nos seguintes trabalhos científicos: Tamimi et al. (1994), Chiang et al. (2000) e Sander (1999). Posteriormente, estes valores foram introduzidos no programa RBCA Tool kit para o cálculo dos riscos de inalação do sulfeto de hidrogênio. Os valores destes parâmetros não foram, até o momento, oficialmente reconhecidos pelo grupo responsável pelo desenvolvimento do modelo Johnson & Ettinger da USEPA, razão pela qual os respectivos resultados de riscos podem apresentar incertezas.

4 AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE

A avaliação da toxicidade tem como objetivo analisar a possibilidade dos compostos químicos de interesse causarem efeitos adversos em indivíduos expostos e providenciar, quando possível, uma estimativa da relação entre a extensão da contaminação e a exposição dos receptores, bem como o aumento da possibilidade e/ou nível dos efeitos adversos.

A avaliação da toxicidade é realizada em duas etapas: a identificação dos perigos e a avaliação dose-resposta. A identificação dos perigos é o processo que determina se a exposição a um composto químico pode causar um aumento na incidência do efeito adverso para a saúde humana. A avaliação dose-resposta corresponde à quantificação da análise de informações toxicológicas, caracterização da relação entre a dose do contaminante administrado ou recebido e a incidência dos efeitos adversos na saúde da população exposta.

A partir da relação quantitativa dose-resposta, derivam-se valores de toxicidade que podem ser utilizados para estimar a incidência ou potencial para efeitos adversos como função da exposição humana aos compostos químicos de interesse. Estes valores são utilizados na caracterização de risco para estimar a possibilidade da ocorrência dos efeitos adversos em humanos decorrentes da exposição em diferentes níveis.

Nesta análise de risco foram utilizadas as planilhas para avaliação de risco em áreas contaminadas sob investigação. Com exceção do arsênio, nenhum outro dos compostos detectados acima dos padrões ambientais classifica-se como carcinogênico. Os valores de Doses de Referência utilizados neste estudo foram os apresentados nas planilhas da CETESB. De forma complementar, dados de doses de referência de inalação para amônia e sulfeto de hidrogênio foram obtidos das tabelas de valores toxicológicos da USEPA. Estes valores são apresentados nos **ANEXOS B a G**.

5 CARACTERIZAÇÃO DO RISCO

A caracterização do risco é a integração dos dados de exposição com as informações toxicológicas e carcinogênicas, de forma que se possa avaliar quantitativamente a necessidade de se iniciar ou não uma ação de gerenciamento de riscos e/ou de intervenção em locais contaminados.

Os riscos carcinogênicos calculados são avaliados de acordo com as recomendações do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas e Decisão de Diretoria 103/2007/C/E, de 22/6/2007, ou seja, risco carcinogênico igual a 10^{-5} , que corresponde a 1 caso adicional de câncer em uma população de 100.000 pessoas (1×10^{-5}). Deste modo, caso o risco seja superior a 10^{-5} , pode ser necessária a implantação de medidas de remediação, remoção emergencial da população exposta ou até mesmo a eliminação da rota de exposição. Já nos casos onde o risco se apresenta inferior a 10^{-5} podem ser considerados como dentro de limites gerenciáveis, onde as medidas de médio e longo prazo podem ser tomadas visando reduzir

emissões e exposições, ou a implantação de um monitoramento para verificação da qualidade da área.

Quanto ao risco para compostos não carcinogênicos, ou seja, o Risco de Toxicidade, os valores de risco obtidos são comparados com um Índice de Periculosidade com valor de meta igual a 1. Estes índices devem ser calculados para cada caminho de exposição do modelo conceitual, considerando sempre os tempos de exposição.

5.1 Riscos Atuais

Os subitens a seguir apresentam um resumo dos riscos carcinogênicos e não carcinogênicos para cada receptor identificado e para cada via de exposição considerada. As planilhas originais com os resultados são apresentadas nos ANEXOS B a F.

5.1.1 Trabalhadores e Estudantes da EACH-USP

A **Tabela 12** apresenta os resultados dos riscos não carcinogênicos atuais, dos receptores Trabalhadores e Estudantes da EACH – USP, para as várias vias de exposição identificadas. O **ANEXO B** apresenta as planilhas com os resultados completos (CETESB e RBCA Tool kit). Nos cálculos de riscos, considerou-se que todos os estudantes da EACH-USP são adultos, tendo sido, portanto, utilizados os parâmetros de exposição de adultos para estes receptores.

Os riscos foram determinados apenas para os gases amônia e sulfeto de hidrogênio. Os demais parâmetros químicos não são voláteis, razão pela qual os riscos não foram obtidos. Os resultados obtidos indicam que não existem riscos não carcinogênicos atuais significativos para estes receptores dentro da área da EACH-USP, considerando as vias de exposição identificadas.

Tabela 12 - Riscos Não carcinogênicos – Atuais Trabalhadores e Estudantes da EACH-USP

Compostos de Interesse	Inalação de vapores da água subterrânea do aquífero raso em ambientes abertos	Inalação de vapores da água subterrânea do aquífero raso em ambientes internos
Amônia	2,5E-6	1,0E-5
Sulfeto de Hidrogênio	0,001	0,15
TOTAL	0,011	0,15

5.1.2 Trabalhadores de Obras Civis na área da EACH-USP

As **Tabelas 13 e 14** apresentam os riscos carcinogênicos e não carcinogênicos dos receptores trabalhadores da construção civil da EACH – USP, para as várias vias de exposição identificadas. O **ANEXO C** apresenta as planilhas com os resultados completos (CETESB e RBCA Tool kit).

Foram identificados riscos não carcinogênicos significativos e mais elevados que a meta de risco (igual a 1) para os cenários envolvendo ingestão acidental de água subterrânea, especialmente para os parâmetros químicos cobalto, ferro e manganês, que, juntos, respondem por 85% dos riscos. O risco carcinogênico obtido devido à ingestão acidental de água subterrânea com arsênio encontra-se abaixo da meta de risco.

Tabela 13 - Riscos Carcinogênicos – Atuais Trabalhadores de Obras Civis na área da EACH-USP

Compostos de Interesse	Inalação de material particulado proveniente de solo	Contato dérmico com solo	Ingestão acidental de solo	Ingestão acidental de água subterrânea
Arsênio	-	-	-	8,04E-6

Tabela 14 – Riscos Não carcinogênicos – Atuais Trabalhadores de Obras Civas na área da EACH-USP

Compostos de Interesse	Contato dérmico com água subterrânea proveniente do aquífero raso*	Inalação de vapores da água subterrânea do aquífero raso em ambientes abertos	Ingestão acidental de água subterrânea
Alumínio	-	-	0,54
Arsênio	-	-	0,64
Bário	-	-	0,11
Cromo	-	-	4e-4
Cobalto	-	-	6,13
Ferro	-	-	1,40
Chumbo	-	-	0,21
Manganês	-	-	5,72
Molibdênio	-	-	0,47
Níquel	-	-	0,40
Selênio	-	-	0,02
Amônia	-	3,1E-5	-
Sulfeto de Hidrogênio	-	2,3E-3	-
TOTAL		2,3E-3	15,64

* Riscos para contato dérmico não foram obtidos para os metais em água devido à ausência de valores de permeabilidade dérmica. Não há, também, valores disponíveis de RfDo e RfDd para os gases amônia e sulfeto de hidrogênio.

5.1.3 Trabalhadores das escolas e creche, vizinhas à EACH-USP

A **Tabela 15** apresenta os riscos não carcinogênicos dos receptores trabalhadores das escolas e creche, vizinhas à EACH – USP, para as várias vias de exposição identificadas. O **ANEXO D** apresenta as planilhas com os resultados completos (CETESB e RBCA Tool kit).

Os resultados obtidos são idênticos àqueles apresentados no item 7.1.1, por terem sido considerados os mesmos compostos químicos e as mesmas concentrações nos pontos de exposição. Neste caso, os resultados indicam que não existem riscos não carcinogênicos atuais significativos para estes receptores nas áreas das escolas e creche vizinhas à EACH-USP, considerando as vias de exposição identificadas.

Tabela 15 - Riscos Não carcinogênicos – Atuais Trabalhadores das escolas e creche, vizinhas à EACH-USP

Compostos de Interesse	Inalação de vapores da água subterrânea do aquífero raso em ambientes abertos	Inalação de vapores da água subterrânea do aquífero raso em ambientes internos
Amônia	2,5E-6	1,0E-5
Sulfeto de Hidrogênio	0,001	0,15
TOTAL	0,011	0,15

5.1.4 Crianças usuárias das escolas e creche, vizinhas à EACH-USP

A **Tabela 16** apresenta os riscos não carcinogênicos dos receptores crianças usuárias das escolas e creche, vizinhas à EACH – USP, para as várias vias de exposição identificadas. O **ANEXO E** apresenta as planilhas com os resultados completos (CETESB e RBCA Tool kit).

Os resultados obtidos indicam que não existem riscos não carcinogênicos atuais inaceitáveis para as crianças usuárias das escolas e creche da área vizinha à EACH-USP, considerando as vias de exposição identificadas.

Tabela 16 - Riscos Não carcinogênicos – Crianças* usuárias atuais das escolas e creche, vizinhas à EACH-USP

Compostos de Interesse	Inalação de vapores da água subterrânea do aquífero raso em ambientes abertos	Inalação de vapores da água subterrânea do aquífero raso em ambientes internos
Amônia	1,6E-6	6,3E-6
Sulfeto de Hidrogênio	6,5E-4	0,091
TOTAL	6,6E-4	0,091

* Considerou-se como fatores de exposição específico para crianças (de 0 a 16 anos) o peso corporal de 35 kg e a duração de exposição de 16 anos em horário comercial.

5.1.5 Trabalhadores de obras civis nas áreas das escolas e creche, vizinhas à EACH-USP

As **Tabelas 17 e 18** apresentam, respectivamente, os riscos carcinogênicos e não carcinogênicos para os trabalhadores de obras civis nas áreas das escolas e creche, vizinhas à EACH-USP, para as várias vias de exposição identificadas. O **ANEXO F** apresenta as planilhas com os resultados completos (CETESB e RBCA Tool kit).

Da mesma forma como indicado no item 7.1.2, foram identificados riscos não carcinogênicos mais elevados que a meta de risco (igual a 1) para as vias de exposição envolvendo ingestão acidental de água subterrânea, especialmente para os parâmetros químicos cobalto, ferro e manganês, que, juntos, respondem por 85% dos riscos. O risco carcinogênico obtido devido à ingestão acidental de água subterrânea com arsênio encontra-se abaixo da meta de risco.

Tabela 17 - Riscos Carcinogênicos – Atuais Trabalhadores de obras civis nas áreas das escolas e creche, vizinhas à EACH-USP

Compostos de Interesse	Inalação de material particulado proveniente de solo	Contato dérmico com solo	Ingestão acidental de solo	Ingestão acidental de água subterrânea
Arsênio	-	-	-	8,04E-6

Tabela 18 - Riscos Não carcinogênicos – Trabalhadores de obras civis nas áreas das escolas e creche, vizinhas à EACH-USP

Compostos de Interesse	Contato dérmico com água subterrânea proveniente do aquífero raso	Inalação de vapores da água subterrânea do aquífero raso em ambientes abertos	Ingestão acidental de água subterrânea
Alumínio	-	-	0,54
Arsênio	-	-	0,64
Bário	-	-	0,11
Cromo	-	-	4e-4
Cobalto	-	-	6,13
Ferro	-	-	1,40
Chumbo	-	-	0,21
Manganês	-	-	5,72
Molibdênio	-	-	0,47
Níquel	-	-	0,40
Selênio	-	-	0,02
Amônia	-	3,1E-5	-
Sulfeto de Hidrogênio	-	2,3E-3	-
TOTAL		2,3E-3	15,64

* Riscos para contato dérmico não foram obtidos para os metais em água devido a ausência de valores de permeabilidade dérmica. Não há, também, valores disponíveis de RfDo e RfDd para os gases amônia e sulfeto de hidrogênio.

5.2 Riscos Hipotéticos

Os riscos hipotéticos são aqueles cujo cenário de exposição não se completa no presente, mas que se devem calcular para fins de gerenciamento de riscos. Normalmente, estes riscos estão associados com a via de exposição de ingestão de água subterrânea contaminada do aquífero freático, que pode ser acessada através de poços rasos.

A **Tabela 19** apresenta os resultados dos riscos hipotéticos carcinogênicos e não carcinogênicos associados com a ingestão de água subterrânea para os receptores *on-site* (trabalhadores e estudantes da EACH-USP) e receptores *off-site* (trabalhadores

das escolas e creche vizinhas à EACH-USP, e crianças destas escolas e creche vizinhas à EACH-USP). O **ANEXO G** apresenta as planilhas com os resultados completos.

Riscos carcinogênicos não admissíveis (10^{-4} , contra a meta de 10^{-5}) foram obtidos para todos os receptores, associados com as concentrações de arsênio na água subterrânea. Os riscos não carcinogênicos foram calculados para todos os metais detectados na água subterrânea e os resultados obtidos encontram-se acima da meta admissível (igual a 1). Para os trabalhadores *on-site* e *off-site*, os riscos acumulados somaram 15,6, enquanto que para as crianças *off-site*, os riscos acumulados somaram 88. Em qualquer dos receptores, os riscos mais elevados são associados especialmente com as concentrações de cobalto, manganês e ferro.

Cabe mencionar que não foram calculados riscos hipotéticos para a ingestão de água para os compostos amônia e sulfeto de hidrogênio, pois não há dados toxicológicos disponíveis para ingestão. Além disso, ressalta-se que os riscos calculados para trabalhadores *on-site* e *off-site* são iguais, pois foram consideradas as mesmas concentrações nos pontos de exposição para estes receptores. Já os valores de riscos para crianças encontram-se superdimensionados, pois os parâmetros de exposição considerados são de moradores crianças e não de estudantes.

Tabela 19 – Riscos hipotéticos da ingestão de água subterrânea por receptores *on-site* e *off-site*

	Riscos Carcinogênicos			Riscos Não carcinogênicos		
	Trabalha - dores e estudantes <i>On-site</i>	Trabalha - dores de escolas e creche <i>Off-site</i>	Crianças de escolas e creche <i>Off-site</i>	Trabalha - dores e estudantes <i>On-site</i>	Trabalha - dores de escolas e creche <i>Off-site</i>	Crianças de escolas e creche <i>Off-site</i>
Alumínio				0,54	0,54	3,04

Continua...

Continuação...

	Riscos Carcinogênicos			Riscos Não carcinogênicos		
	Trabalha - dores e estudantes <i>On-site</i>	Trabalha - dores de escolas e creche <i>Off-site</i>	Crianças de escolas e creche <i>Off-site</i>	Trabalha - dores e estudantes <i>On-site</i>	Trabalha - dores de escolas e creche <i>Off-site</i>	Crianças de escolas e creche <i>Off-site</i>
Arsênio	1.00E-4	1.00E-4	1.36E-4	0,64	0,64	3,62
Bário				0,11	0,11	0,60
Cromo				4e-4	4e-4	0,002
Cobalto				6,13	6,13	34,5
Ferro				1,40	1,40	7,90
Chumbo				0,21	0,21	1,19
Manganês				5,72	5,72	32,2
Molibdêni o				0,47	0,47	2,62
Níquel				0,40	0,40	2,28
Selênio				0,02	0,02	0,13
Total	1.00E-4	1.00E-4	1.36E-4	15,64	15,64	88,08

6 DEFINIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS ACEITÁVEIS (CMA)

Os níveis de remediação representam as concentrações máximas (CMAs) que devem ser atingidas para que seja aceitável o risco de exposição dos receptores aos contaminantes. Em outras palavras, constituem, para cada via de exposição considerada, os índices totais (toxicidade e carcinogenicidade) inferiores ao critério de risco adotado.

6.1 Cenários Atuais

A **Tabela 20** apresenta as concentrações máximas aceitáveis para a área (CMA – *Concentração Máxima Aceitável*), para o solo e água subterrânea, calculadas com base nos riscos obtidos para os cenários atuais. Esta tabela apresenta a menor meta de remediação para a água subterrânea para vários metais, cujos maiores riscos atuais estão associados com a ingestão acidental por trabalhadores de obras civis. Para os

gases sulfeto de hidrogênio e amônia, as metas de remediação estão associadas com a inalação de vapores em espaços fechados pelos receptores crianças das escolas e creche *off-site*. As metas de remediação calculadas são menores que as medidas somente no caso do cobalto, manganês e ferro.

Tabela 20 – Concentração máxima aceitável de contaminantes na água subterrânea

Composto	Concentração aceitável (mg/L)	Cenário	Receptor
Alumínio	88,1	Ingestão acidental de água subterrânea	Trabalhadores de obras civis (<i>on-site</i> e <i>off-site</i>)
Arsênio	0,021		
Bário	17,6		
Cromo	132		
Cobalto*	0,026		
Ferro*	61,7		
Chumbo	0,317		
Manganês*	2,11		
Molibdênio	0,44		
Níquel	1,76		
Selênio	0,44		
Amônia	17000	Inalação em espaços fechados	Crianças das escolas e creche <i>off-site</i>
Sulfeto de Hidrogênio	1,8		

* Concentrações medidas são superiores às metas de remediação calculadas.

6.2 Cenário Hipotético

As concentrações máximas admissíveis para o cenário hipotético de ingestão de água subterrânea do aquífero freático são apresentadas na **Tabela 21**. Estas concentrações estão associadas com o cenário de ingestão de água por crianças das escolas e creche vizinhas à EACH-USP. Nota-se que a maior parte dos compostos apresentou concentrações medidas mais elevadas que as concentrações toleráveis para o cenário hipotético de risco considerado.

Tabela 21 – Concentração máxima aceitável de contaminantes na água subterrânea considerando o cenário hipotético de ingestão

Composto	Concentração aceitável (mg/L)
Alumínio*	15,6
Arsênio*	0,0013
Bário	3,13
Cromo	23,5
Cobalto*	0,0047
Ferro*	11,0
Chumbo*	0,056
Manganês*	0,38
Molibdênio*	0,078
Níquel*	0,31
Selênio	0,078

* Concentrações medidas são superiores às metas de remediação calculadas.

7 INCERTEZAS DA AVALIAÇÃO DE RISCO

O objetivo principal da apresentação das incertezas é relacionar as diversas etapas do processo de quantificação dos riscos nos quais foram usadas informações insuficientes ou superestimadas para a elaboração da análise de risco.

No geral, os parâmetros de exposição usados na avaliação de risco são considerados conservadores e tendem a gerar valores superestimados de riscos e índices de periculosidade.

As fontes de fatores de incerteza na avaliação de risco estão relacionadas a diversas etapas do processo de quantificação dos riscos. Abaixo são apresentados os comentários e justificativas sobre os fatores de incertezas específicos nesta análise de risco.

7.1 Caracterização da Área

Devido à heterogeneidade das áreas, às vezes fica impossível a caracterização completa dos meios em questão. Muitas vezes a quantidade de dados coletados para

um determinado meio foi insuficiente, sendo utilizada em alguns casos uma ou duas amostras para caracterização da fonte de contaminação. Deste modo, muitas vezes as amostras podem não representar a condição da área e assim não ser representativa para determinação da contaminação.

7.2 Estimativas dos Parâmetros de Exposição

Como a avaliação dos parâmetros de exposição requer uma determinada quantidade de dados de entrada e também depende de muitas pressuposições, como por exemplo, tempo de vida médio, tempo de permanência dentro dos ambientes industriais, residenciais e trabalhando em obras, atualmente o órgão ambiental (CETESB) e a agência ambiental dos EUA (EPA) apresentam muitos dos parâmetros tabelados para diminuir as variações nas considerações dentro de uma análise de risco. Porém, alguns valores são muito conservadores, resultando na superestimação dos riscos na maioria dos casos. Nesta avaliação de risco foram utilizados os valores *default* apresentados nas planilhas da CETESB.

7.3 Informações Toxicológicas

Como os dados toxicológicos muitas vezes são derivados de estudos realizados em animais, os mesmos podem gerar incertezas e limitações para seres humanos, pois em alguns casos os resultados obtidos em animais são extrapolados para os seres humanos.

Também há o problema de utilização de estudos de exposição realizados a curto prazo e que são utilizados para estimar os efeitos de exposições a longo prazo.

Outra incerteza considerada na avaliação toxicológica pode ser relacionada aos estudos envolvendo altas doses de um determinado contaminante para estimar efeitos de doses baixas.

Nesta avaliação de risco foram utilizados os valores toxicológicos “*default*” apresentados nas planilhas da CETESB.

8 CONCLUSÕES

Os trabalhos de Avaliação de Riscos à Saúde Humana, realizados para a área da EACH – USP, considerando-se cenários atuais e hipotéticos, utilizando-se as planilhas da CETESB e do programa RBCA Tool kit, indicaram as seguintes populações como receptores potenciais:

- Trabalhadores e estudantes da área da EACH–USP
- Trabalhadores de obras civis da área da EACH-USP
- Trabalhadores de equipamentos públicos de áreas externas à EACH-USP (escola estadual, escola infantil e creche)
- Usuários (crianças) de equipamentos públicos de áreas externas à EACH-USP (escola estadual, escola infantil e creche)
- Trabalhadores de obras civis nas áreas dos equipamentos públicos externas à EACH-USP (escola estadual, escola infantil e creche)
- Demais trabalhadores e moradores de áreas externas à EACH–USP

Os cálculos indicaram a existência de riscos atuais não carcinogênicos acima dos limites aceitáveis para as seguintes populações, para ingestão acidental de água do subsolo:

- Trabalhadores de obras civis da área da EACH–USP
- Trabalhadores de obras civis nas áreas dos equipamentos públicos externas à EACH-USP (escola estadual, escola infantil e creche)

Os cálculos não indicaram a existência de riscos atuais acima dos limites aceitáveis para as seguintes populações:

- Trabalhadores e estudantes da área da EACH–USP
- Trabalhadores de equipamentos públicos de áreas externas à EACH-USP (escola estadual, escola infantil e creche)

- Usuários (crianças) de equipamentos públicos de áreas externas à EACH-USP (escola estadual, escola infantil e creche)
- Demais trabalhadores e moradores de áreas externas à EACH-USP

Os cálculos indicaram ainda existência de riscos hipotéticos carcinogênicos e não carcinogênicos, acima dos limites aceitáveis, caso haja ingestão de água do subsolo, para as seguintes populações:

- Trabalhadores e estudantes da área da EACH – USP
- Trabalhadores de equipamentos públicos de áreas externas à EACH-USP (escola estadual, escola infantil e creche)
- Usuários (crianças) de equipamentos públicos de áreas externas à EACH-USP (escola estadual, escola infantil e creche)

9 RECOMENDAÇÕES

De acordo com os resultados da avaliação de risco, devem ser implantadas as seguintes medidas institucionais de gerenciamento de riscos atuais e hipotéticos relacionados à área de interesse:

- Em caso de obras civis que envolvam escavação e/ou rebaixamento de nível d'água subterrânea, deve ser elaborado um plano de saúde e segurança e gerenciamento de resíduos que contemple o uso dos devidos equipamentos de proteção individual e/ou coletivos para que seja impedido o contacto com a água do subsolo pelos trabalhadores das obras; e
- Impedimento do uso da água subterrânea local para consumo humano.

Com base apenas nos riscos toxicológicos atuais calculados, não haveria necessidade de se implementarem medidas de engenharia para controle ou remediação.

Entretanto, devido à existência de riscos de explosividade devido a emissões de gases inflamáveis a partir do subsolo, provavelmente metano e gás sulfídrico (IPT, 2011), recomendam-se medidas de engenharia para evitar a ocorrência da intrusão de gases e vapores em ambientes fechados.

Medidas desse tipo, para implantação nos edifícios na área da EACH – USP, estão sendo apresentadas em relatório a parte, no âmbito da presente Proposta de Trabalho do IPT.

Recomenda-se que estudos para verificação da necessidade e posterior implantação de medidas semelhantes, sejam executados para a área contígua ao terreno da EACH – USP, que abriga as instalações das escolas estadual, municipal e creche. Recomenda-se, portanto, que as instituições responsáveis por essas áreas sejam notificadas acerca disso.

Recomenda-se ainda que eventuais trabalhos em áreas confinadas, tais como caixas de visita, solos de edifícios, poços de elevadores, etc., sejam conduzidos de acordo com as normas de segurança cabíveis em cada caso.

Recomenda-se por fim, que um programa contínuo e permanente de monitoramento de gases e vapores seja implementado nos edifícios e espaços confinados em geral na área da EACH–USP, com emprego de equipamentos de campo especialmente dedicados à detecção do gás metano e à medidas de explosividade, com registros efetuados pelo menos a cada três meses. Caso as medidas indiquem índice de explosividade superior a 10% do Limite Inferior de Explosividade, procedimentos especiais de segurança devem ser adotadas.

São Paulo, 15 de agosto de 2011.

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

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

Geolº Dr. Nestor Kenji Yoshikawa
Responsável pelo Laboratório
CREA SP N° 0600796380 – RE N° 05066

Engº Dr. Scandar Gasperazzo Ignatius
Gerente do Projeto
CREA SP N° 52820/D– RE N° 02607

CENTRO DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS E ENERGÉTICAS

Geólº Mestre Antonio Gimenez Filho
Diretor do Centro
CREA SP 0600693084 – RE 04765

Equipe Técnica

Centro de Tecnologias Ambientais e Energéticas

Laboratório de Resíduos e Áreas Contaminadas

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

- Renato Del Bel – Técnico
- Paulo Mendes da Silva - Estagiário

Apoio Administrativo

- Elma Moura Coelho Oliveira - Secretária

Consultoria Externa

R&C GEOLOGIA E MEIO AMBIENTE

Agradecimentos

Agradecemos especialmente ao Professor Doutor Reginaldo Antonio Bertolo, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo por sua inestimável colaboração ao longo de todo o trabalho.

Referências Bibliográficas

ABNT, 2007a. NBR15.495 – Parte 1 - Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares - Projeto e Construção. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT.

ABNT, 2007b. NBR15.495 – Parte 2 - Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares - Desenvolvimento. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT.

ABNT, 2007c. NBR15.492 – Sondagem de Reconhecimento para Fins de Qualidade Ambiental – Procedimento. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT.

ASTM, 1998. Standard D-6282-98 - Standard Guide for Direct Push Soil Sampling for Environmental Site Characterizations. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009, DOI: 10.1520/D6771-02. Disponível em: <www.astm.org>.

ASTM, 2007. Standard D4448-01 – Standard Guide for Sampling Ground-Water Monitoring Wells. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007, DOI: 10.1520/D4448-01R07. Disponível em: <www.astm.org>.

ASTM, 2009. Standard D6771-02 – “Practice for Low-Flow Purging and Sampling for Wells and Devices Used for Ground-Water Quality Investigations”. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009, DOI: 10.1520/D6771-02. Disponível em: <www.astm.org>.

CETESB, 2001. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/manual.asp> (acesso em março/2010).

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

<<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/legislacao/6-valores-orientadores>>. (acesso em março/2010).

CETESB, 2006. Ações Corretivas Baseadas em Risco (ACBR) aplicadas a áreas contaminadas com hidrocarbonetos derivados de petróleo e outros combustíveis, procedimentos.

CETESB, 2007. Procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas. Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/proced_gerenciamento_ac.pdf>

CETESB, 2009. Planilhas para Avaliação de Riscos em Área Contaminadas sob Investigação, http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/planilhas2009.asp.

Chiang, H., Tsai, J., Chang, D., Jeng, F., 2000. Difusion of hydrogen sulfide and methyl mercaptan onto microporous alkaline activated carbon. Chemosphere 41 (2000) 1227-1232

Domenico, P.A., 1987. An analytical model for multidimensional transport of a decaying contaminant species. Journal of Hydrology 91, 49–58.

IPT, 2011. Relatório Técnico 123530-205/11 – Final. Investigação do subsolo da Gleba I do campus da EACH/USP para Avaliação de Risco à Saúde Humana e Complementação da investigação da área onde foi implantado o ginásio de esportes, Agosto de 2011.

Johnson, P.C., Ettlinger, R.A., 1991. Heuristic Model for Predicting the Intrusion Rate of Contaminant Vapors into Buildings. Environ. Sci. Technol. 1991, 25, 1445-1452.

NIELSEN, D. M., 1991, Practical handbook of ground-water monitoring, Chelsea, Lewis Publisher, 717p.

PHREEQC, 1995. Software de uso livre para cálculos geoquímicos em água de baixas temperaturas. US Geological Survey.

RBCA Tool Kit, 2003. Risk-Based Corrective Action (RBCA) Tool Kit for Chemical Releases. *Software* comercializado pela empresa Groundwater Services, Inc., 2211 Norfolk, Suite 1000, Houston, Texas 77098-4044, USA.

Sander, R., 1999. Compilation of Henry's Law Constants for Inorganic and Organic Species of Potential Importance in Environmental Chemistry (Version 3) <http://www.henrys-law.org>.

Tamimi, A., Rinker, E. B, Sandall, O.C., 1994. Diffusion Coefficients for Hydrogen Sulfide, Carbon Dioxide, and Nitrous Oxide in Water over the Temperature Range 293-368 K. J. Chem. Eng. Data 199439, 330-332

U.S. EPA, 1988. Superfund Exposure Assessment Manual, EPA/640/1-88/001

U.S. EPA, 2011. Regional Screening Levels (RSL) for Chemical Contaminants at Superfund Sites. Disponível em <<http://www.epa.gov/region9/superfund/prg/>>.

Anexo A

ANÁLISES QUÍMICAS CONSIDERADAS NA AVALIAÇÃO DE RISCO

Resultados das análises químicas das amostras de água subterrânea (concentrações em mg/L)

Substância	LD	LQ	AA-01	AA-02	AA-03	AA-04	AA-05	AA-06	AA-07	AA-08	AA-09	AA-10	AA-11	AA-12	AA-13	AA-14	AA-15	AA-16	AA-17	AA-18	AA-19	AA-20	AA-21	VI
Alumínio	0,010	0,050	7,889	0,319	0,230	2,262	0,554	0,623	0,363	0,273	0,404	2,092	0,422	0,592	1,812	12,510	4,452	4,013	0,126	2,145	47,593	1,632	2,081	0,2
Arsênio	0,002	0,005	0,009	ND	ND	0,012	ND	ND	ND	0,013	ND	ND	0,008	ND	ND	ND	ND	0,011	ND	ND	0,017	0,007	ND	0,01
Bário	0,002	0,010	0,489	0,221	0,413	0,303	0,363	0,097	0,137	0,237	0,289	0,984	0,355	0,971	1,516	1,888	1,301	0,513	0,982	0,546	0,434	0,288	0,469	0,7
Chumbo	0,002	0,010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,066	ND	ND	ND	ND	0,067	ND	0,016	0,01
Cobalto	0,001	0,005	0,018	0,162	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,025	0,045	0,075	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,074	0,005
Cromo Total	0,005	0,010	ND	ND	ND	0,026	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,018	ND	ND	ND	ND	0,053	ND	ND	0,05
Ferro Total	0,010	0,050	55,404	25,068	39,024	7,092	15,122	0,852	3,598	19,588	37,334	47,267	26,312	2,050	7,456	57,670	86,520	42,336	36,223	39,325	47,235	16,167	21,136	0,3
Manganês	0,005	0,010	0,539	1,913	0,686	0,140	0,273	0,168	0,297	0,825	1,037	1,223	0,301	5,173	7,701	8,705	6,174	0,797	2,844	0,554	0,473	0,412	12,139	0,4
Molibdênio	0,002	0,010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,119	0,205	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,07
Níquel	0,005	0,010	0,016	0,712	ND	0,048	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,033	ND	ND	ND	ND	0,035	ND	ND	0,02
N amoniacal	0,01	0,05	0,15	7,96	0,46	1,16	1,04	ND	ND	4,76	ND	ND	ND	1,54	0,89	4,82	0,20	ND	ND	62,31	0,64	ND	4,82	1,5*
Selênio	0,002	0,005	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,010	ND	ND	ND	0,01
Sulfeto	0,002	0,005	0,013	0,195	ND	0,020	ND	0,010	0,043	0,029	0,011	0,034	ND	0,031	0,013	0,102	0,015	0,018	ND	0,012	0,032	0,009	0,014	0,05*

LD: Limite de Detecção do ensaio

LQ: Limite de Quantificação do ensaio

ND: Não Detectado em concentrações iguais ou maiores que o LD

VI: Valor de Intervenção (Cetesh, 2005)

VI*: Portaria 518 / 2004 do ministério da saúde

Células em vermelho: valores de concentração maiores que o VI

Anexo B

RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE RISCO – CENÁRIO ATUAL PARA TRABALHADORES E ESTUDANTES DA EACH-USP

Anexo C

RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE RISCO – CENÁRIO ATUAL PARA TRABALHADORES DE OBRAS CIVIS NA ÁREA DA EACH-USP

Anexo D

**RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE RISCO – CENÁRIO ATUAL PARA
TRABALHADORES DAS ESCOLAS E CRECHE VIZINHAS À EACH-USP**

Anexo E

RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE RISCO – CENÁRIO ATUAL PARA CRIANÇAS USUÁRIAS DAS ESCOLAS E CRECHE, VIZINHAS À EACH-USP

Anexo F

**RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE RISCO – CENÁRIO ATUAL PARA
TRABALHADORES DE OBRAS CIVIS NAS ÁREAS DAS ESCOLAS E CRECHE,
VIZINHAS À EACH-USP**

Anexo G

RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE RISCO – CENÁRIO HIPOTÉTICO – INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA POR (1) TRABALHADORES E ESTUDANTES DA EACH-USP, (2) TRABALHADORES DE ESCOLAS E CRECHE *OFF-SITE*; E (3) CRIANÇAS DE ESCOLAS E CRECHE *OFF-SITE*

Lista de Ilustrações

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Relação de compostos analisados na água subterrânea com limites de quantificação superiores ao padrão ambiental utilizado	3
Tabela 2 – Resumo das informações dos compostos detectados na água subterrânea e selecionados para a quantificação dos riscos à saúde humana	5
Tabela 3 - Cenários de Exposição Considerados na Avaliação de Risco para os trabalhadores e estudantes da área da EACH – USP	9
Tabela 4 - Cenários de Exposição Considerados na Avaliação de Risco para os Trabalhadores de Construção Civil da EACH-USP	10
Tabela 5 - Cenários de Exposição Considerados na Avaliação de Risco para os trabalhadores das escolas estadual, escola infantil e creche, externas à EACH-USP	12
Tabela 6 - Cenários de Exposição Considerados na Avaliação de Risco para crianças usuárias das escolas estadual e infantil e creche, externas à EACH – USP	13
Tabela 7 - Cenários de Exposição Considerados na Avaliação de Risco para os Trabalhadores de Obras Civas nas áreas das escolas estadual e infantil e creche, externas à EACH-USP	15
Tabela 8 - Cenários de Exposição Considerados na Avaliação de Risco para os todos os demais receptores externos à área da EACH-USP (moradores e trabalhadores)	16
Tabela 9 – Concentrações utilizadas para cálculo da exposição com as águas subterrâneas todos os receptores identificados (<i>on-site</i> e <i>off-site</i>)	18
Tabela 10 – Resultados da especiação do Nitrogênio Amoniacal e do Sulfeto utilizando o modelo geoquímico PhreeqC.	20
Tabela 11 – Concentrações de gases dissolvidos na água subterrânea, utilizadas para cálculo de riscos de inalação em espaços fechados e abertos	21
Tabela 12 - Riscos Não carcinogênicos – Atuais Trabalhadores e Estudantes da EACH-USP	25
Tabela 13 - Riscos Carcinogênicos – Atuais Trabalhadores de Obras Civas na área da EACH-USP	25
Tabela 14 – Riscos Não carcinogênicos – Atuais Trabalhadores de Obras Civas na área da EACH-USP	26

Tabela 15 - Riscos Não carcinogênicos – Atuais Trabalhadores das escolas e creche, vizinhas à EACH-USP	27
Tabela 16 - Riscos Não carcinogênicos – Crianças* usuárias atuais das escolas e creche, vizinhas à EACH-USP.....	27
Tabela 17 - Riscos Carcinogênicos – Atuais Trabalhadores de obras civis nas áreas das escolas e creche, vizinhas à EACH-USP	28
Tabela 18 - Riscos Não carcinogênicos – Trabalhadores de obras civis nas áreas das escolas e creche, vizinhas à EACH-USP.....	29
Tabela 19 – Riscos hipotéticos da ingestão de água subterrânea por receptores <i>on-site</i> e <i>off-site</i>	30
Tabela 20 – Concentração máxima aceitável de contaminantes na água subterrânea ...	32