

ANGÉLICA S. GUTIERREZ CUTRIM

**AVALIAÇÃO DE RISCO A SAÚDE HUMANA PARA POTENCIAIS  
RECEPTORES EXPOSTOS A IMPACTO DE SOLVENTES  
CLORADOS NA ÁGUA SUBTERRÂENA**

SÃO PAULO

2012

ANGÉLICA S. GUTIERREZ CUTRIM

**AVALIAÇÃO DE RISCO A SAÚDE HUMANA PARA POTENCIAIS  
RECEPTORES EXPOSTOS A IMPACTO DE SOLVENTES  
CLORADOS NA ÁGUA SUBTERRÂENA**

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de  
Engenheiro de Segurança do Trabalho

SÃO PAULO

2012

Ao meu filho Matheus, ao meu esposo  
Carlos e aos meus pais André e  
Sebastiana.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a empresa foco do presente estudo por gentilmente ter cedido os dados para a execução da monografia.

Aos meus colegas de turma pela companhia durante os dois anos de curso.

Ao meu esposo Carlos pelas noites e finais de semana que ficou sozinho com o nosso filho Matheus após um longo dia ou semana de trabalho.

Ao meu filho Matheus por ter se comportado como um verdadeiro mocinho e ter entendido que a mamãe tinha que ir para a escola e ele teria que se contentar em ficar com o papai.

Aos meus pais André e Sebastiana, a minha prima Débora e a babá Ronaldá por servirem de apoio e estarem sempre dispostos a cuidar do Matheus na minha ausência.

Ao desenhista Eduardo que me auxiliou na configuração dos desenhos da presente monografia.

Aos amigos de trabalho da CGAgeo que me ajudaram direta e indiretamente nos momentos de ausência no trabalho.

A toda equipe do PECE pela disponibilidade, bom atendimento e excelente trabalho.

Escolhe um trabalho de que gostes, e não  
terás que trabalhar nem um dia na tua vida.

(Confúcio)

## **RESUMO**

A utilização de solventes clorados pelas indústrias em diferentes processos industriais, sem os devidos cuidados para se evitar o impacto do solo e da água subterrânea, ocasionam alterações da qualidade desses meios capazes de gerarem riscos à saúde humana de receptores expostos, mesmo após a paralização do uso dessas substâncias. O presente estudo teve como objetivo identificar os riscos à saúde humana devido à exposição dos receptores de uma área industrial, cujo aquífero foi impactado por PCE, cis e trans DCE e CV, com proposição de medidas para seu gerenciamento, minimizando, ou mesmo eliminando os riscos identificados. Por meio da metodologia de avaliação de risco à saúde humana proposta pela CETESB (CETESB, 2009) foi identificado risco para ingestão e contato dérmico de água subterrânea rasa e profunda, por trabalhadores da indústria em estudo, não sendo identificado risco para a inalação desses compostos. Foram propostas medidas para o gerenciamento do risco envolvendo o estabelecimento de restrição de consumo da água subterrânea rasa e profunda no interior da indústria em estudo; a comunicação aos órgãos competentes sobre as zonas de restrição de consumo de água subterrânea; a verificação da qualidade da água subterrânea profunda captada pelos poços de abastecimento identificados nos arredores da área da indústria em questão dentro do raio de 500m; a remediação do aquífero profundo para redução das concentrações dos compostos químicos de interesse; e a investigação ambiental do aquífero profundo em conjunto com as demais indústrias vizinhas que possam ter impactado o aquífero fraturado.

Palavras-chave – Avaliação de risco à saúde humana. Área contaminada. Contaminação de aquífero. Gerenciamento de risco.

## **ABSTRACT**

The use of chlorinated solvents by industries in different industrial processes, without controls to avoid the impact of soil and groundwater, cause changes in the quality of these medias that can generate risks to human health of exposed receptors, even after the use of these substances are interrupted. This study aimed to identify the human health risks and propose risk management measures for the exposure of receptors of an industrial area, whose aquifer has been impacted by PCE, cis and trans DCE and CV. Through the human health risk assessment methodology proposed by CETESB (CETESB, 2009) this study has identified risks related to the ingestion and dermal contact with shallow and deep groundwater by industrial workers but no risk was identify related to the inhalation of the chemicals of concern. Risk measures have been proposed involving the establishment of restricted area related to the groundwater consumption inside the industrial area; communication of the restricted areas of groundwater consumption to the competent government department; checking the quality of groundwater captured by deep supply wells identified in the vicinity of industrial area of concern within the radius of 500m; the remediation of the deep aquifer to reduce concentrations of chemicals of concern, and environmental assessment of deep aquifer in conjunction with other neighboring industries that may have impacted the fractured aquifer.

**Keywords** - Human health risk Assessment. Contaminated area. Aquifer contamination. Risk management.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1 – Perfil de migração do DNAPL no solo e a formação da fase residual, fase livre, DNAPL Pool e a fase vapor.....	21
Figura 2 – Série de degradação do PCE.....	23
Figura 3 – Seções geológicas e hidrogeológicas da área industrial em estudo.....	25
Figura 4 – Mapa potenciométrico e direção de fluxo da água subterrânea rasa.....	27
Figura 5 – <i>Layout</i> da indústria com a identificação de suas instalações .....	31
Figura 6 – Identificação das áreas onde era executada a operação de lavagem de peças.....	33
Figura 7 – Pluma de isoconcentração de PCE no aquífero raso.....	37
Figura 8 – Pluma de isoconcentração de TCE no aquífero raso .....	38
Figura 9 – Pluma de isoconcentração da somatória de cis e trans DCE no aquífero raso .....	39
Figura 10 – Pluma de isoconcentração de CV no aquífero raso .....	40
Figura 11 – Seções hidrogeológicas e pluma de isoconcentração de PCE .....	41
Figura 12 – Seções hidrogeológicas e pluma de isoconcentração de TCE .....	42
Figura 13 – Seções hidrogeológicas e pluma de isoconcentração da somatória de cis e trans DCE.....	43
Figura 14 – Seções hidrogeológicas e pluma de isoconcentração de CV.....	44
Figura 15 – Interação entre as etapas da avaliação de risco .....	60
Figura 16 – Passos da avaliação de exposição .....	63
Figura 17 – Parâmetros de exposição para receptores industriais.....	91
Figura 18 – Modelo conceitual de exposição para receptores industriais .....	101

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Relação dos poços de monitoramento e potenciometria.....	28
Tabela 2 – Dados de porosidade, gradiente e velocidade da água subterrânea .....	28
Tabela 3 – Resultados analíticos das amostras de água subterrânea coletada em novembro de 2011 ( $\mu\text{g/L}$ ) .....	35
Tabela 4 – Compostos químicos de interesse e sua classificação segundo o potencial de carcinogenicidade para seres humanos.....	51

Tabela 5 – Compilação dos limites de tolerância do Quadro 1 do Anexo 11 da NR 15 para os compostos químicos de interesse do presente estudo.....	54
Tabela 6 – Fator de desvio compilados do Quadro 2 do Anexo 11 da NR 15.....	54
Tabela 7 – Compilação dos limites de tolerância da ACGIH, 2009 para os compostos químicos de interesse do presente estudo.....	56
Tabela 8 – Concentrações dos compostos químicos de interesse utilizada na avaliação de risco e os respectivos poços de monitoramento onde as concentrações foram detectadas (mg/L) .....	94
Tabela 9 – Dados do meio físico utilizado na avaliação de risco .....	95
Tabela 10 – Principais dados físico-químicos dos compostos químicos de interesse .....	97
Tabela 11 – Informações toxicológicas específicas para os compostos químicos de interesse conforme banco de dados das planilhas de avaliação de risco da CETESB .....	98
Tabela 12 - Concentração no ponto de exposição para o ar a partir da volatilização da água subterrânea rasa na fonte de contaminação e fora da fonte a uma distância de 1,0m .....	102
Tabela 13 – Comparação das concentrações calculadas para os pontos de exposição com os limites de tolerância da NR 15 e limites de exposição da ACGIH, 2009. ....	102
Tabela 14 - Concentração no ponto de exposição, localizado a 35m da fonte, para a água subterrânea rasa .....	103
Tabela 15 - Concentração no ponto de exposição, localizado a 83m da fonte, para a água subterrânea profunda .....	104
Tabela 16 – Risco carcinogênico e não carcinogênico para o cenário de inalação dos compostos químicos de interesse a partir da volatilização da água subterrânea rasa na fonte de contaminação e fora da fonte a uma distância de 1,0m, para receptores industriais de área de interesse.....	106
Tabela 17 – Risco carcinogênico e não carcinogênico para o cenário de ingestão de água subterrânea rasa na fonte de contaminação e fora da fonte a uma distância de 35m, para receptores industriais .....	107
Tabela 18 – Risco carcinogênico e não carcinogênico para o cenário de ingestão de água subterrânea profunda na fonte de contaminação e fora da fonte a uma distância de 83m, para receptores industriais .....	108

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>ABS</i>	Fator de absorção
ACGHI	American Conference of Industrial Hygienist
<i>AF</i>	Fator de aderência do solo na pele
<i>AT</i>	Período da exposição
BE	Branco de equipamento
BT	Branco de transporte
<i>BW</i>	Massa corpórea
C	Carcinogênico
<i>C</i>	Concentração do composto químico no meio de interesse
<i>C<sub>A</sub></i>	Concentração do composto químico no ar
<i>C<sub>S</sub></i>	Concentração do composto químico no solo
<i>C<sub>w</sub></i>	Concentração do composto químico na água
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
<i>CF</i>	Fator de conversão
CH	Carga hidráulica
cis DCE	cis -1,2-Dicloroeteno
CMA	Concentrações máximas aceitáveis
COC	Cadeia de custódia
<i>CR</i>	Taxa de contato
CV	Cloreto e vinila
<i>CR</i>	Taxa de contato
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DNAPL	Fase líquida densa não aquosa ( <i>dense non-aqueous phase liquids</i> )
<i>ED</i>	Duração da exposição

<i>EF</i>	Frequência da exposição
EPI	Equipamento de Proteção Individual
<i>ET</i>	Tempo de exposição
<i>FA</i>	Fator de absorção relativa
<i>FC</i>	Fator de correção diário ou semanal
<i>FI</i>	Fração ingerida da fonte
<i>FI</i>	Fator de incerteza
<i>FM</i>	Fator de modificação
<i>FR</i>	Fator de retenção de partículas no pulmão
<i>Hd</i>	Duração da jornada de trabalho diária real, em horas
<i>Hpd</i>	Duração da jornada de trabalho diário padrão, em horas para o qual foi estabelecido o limite de tolerância
<i>Hps</i>	Duração da jornada de trabalho semanal padrão, em horas para o qual foi estabelecido o limite de tolerância
<i>Hs</i>	Duração da jornada de trabalho semanal real, em horas
<i>HQ</i>	Quociente de perigo carcinogênico
<i>I</i>	Gradiente hidráulico
<i>I</i>	Ingresso ou quantidade de contaminante que ingressa no organismo humano por um caminho de exposição
IARC	International Agency for Research on Cancer
<i>IP</i>	Superfície da pele disponível para contato
IPT	Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo
<i>IR</i>	Taxa de contato para a via de exposição com o meio de interesse
IRIS	<i>Integrated Risk Information System</i>
<i>K</i>	Condutividade hidráulica
Kd	Coeficiente de distribuição
Koc	Coeficiente adsorção

Kow	Coeficiente ocanol-água
MNEN	Maior nível efeito não observado
MNEO	Menor nível efeito adverso observado
MVU	Macrozoneamento de vocação urbana
NA	Nível d'água
NC	Não carcinogênico
ND	Não disponível
$n_e$	Porosidade efetiva
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NPT	National Toxicity Program
PC	Constante e permeabilidade dérmica
PCE	Tetracloroeteno
PCMSO	Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional
PM	Poço de monitoramento
PPRA	Programa de Prevenção dos Riscos Ambientais
RAGS	<i>Risk Assessment Guidance for Superfund</i>
RfD	Dose referência
RfD <sub>d</sub>	Dose referência para contato dérmico
RfD <sub>i</sub>	Dose referência para inalação
RfD <sub>o</sub>	Dose referência para ingestão
SA	Superfície de pele disponível para contato
Sf	Fator de carcinogenicidade
Sfo	Fator de carcinogenicidade para ingestão
Sfi	Fator de carcinogenicidade para inalação
Sfd	Fator de carcinogenicidade para contato dérmico
TCE	Tricloroeteno
trans DCE	trans-1,2-Dicloroeteno
UR	Unidade de risco

US EPA	US Environmental Protection Agency
<i>V</i>	Velocidade de migração da água subterrânea
VOC	Compostos orgânicos voláteis

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	16
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	16
1.2	OBJETIVO.....	17
1.3	JUSTIFICATIVA .....	18
2	REVISÃO DA LITERATURA .....	19
2.1	COMPORTAMENTO DO PCE E SEUS PRODUTOS DE DEGRADAÇÃO NO SOLO E NA ÁGUA SUBTERRÂNEA .....	19
2.2	CONHECIMENTO AMBIENTAL DA ÁREA EM ESTUDO E ARREDORES ..	24
2.2.1	Geologia, hidrogeologia e hidrografia .....	24
2.2.2	Uso e ocupação do solo.....	29
2.2.2.1	Descrição dos arredores .....	29
2.2.2.2	Descrição da área investigada .....	30
2.2.3	Histórico da operação do processo industrial que gerou a alteração da qualidade da água subterrânea.....	32
2.2.3.1	Avaliação da qualidade do solo e da água subterrânea .....	34
2.3	RISCO E AGENTES QUÍMICOS.....	45
2.3.1	Toxicologia dos compostos químicos de interesse .....	46
2.3.1.1	Tetracloroeteno (PCE).....	48
2.3.1.2	Tricloroeteno (TCE) .....	49
2.3.1.3	cis e trans-1,2-Dicloroeteno (DCE).....	49
2.3.1.4	Cloreto de Vinila (CV).....	50
2.3.2	Limites de exposição ocupacional .....	51
2.3.2.1	Limites de exposição ocupacional da NR-15 – Atividades e Operações Insalubres .....	52
2.3.2.2	Limites de exposição ocupacional da ACGIH.....	55
2.4	METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA .....	57
2.4.1	Fundamentos básicos da análise de risco toxicológica à saúde humana.	58
2.4.1.1	Coleta e avaliação de dados .....	61
2.4.1.2	Avaliação da exposição .....	62
2.4.1.3	Avaliação da toxicidade .....	70
2.4.1.4	Caracterização do risco .....	73

2.4.2	Metodologia de avaliação de risco conforme procedimento da CETESB	76
2.5	GERENCIAMENTO DO RISCO .....	78
2.5.1	Normas Regulamentadoras .....	78
2.5.2	Alternativas do controle do risco .....	84
3	METODOLOGIA.....	87
3.1	COLETA E AVALIAÇÃO DE DADOS.....	87
3.1.1	Dados obtidos nos estudos de investigação ambiental realizados na área de interesse.....	87
3.1.2	Identificação dos compostos químicos de interesse a serem avaliados na análise de risco .....	88
3.1.3	Caracterização físico-química dos compostos químicos de interesse .....	89
3.2	AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE .....	89
3.3	AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO .....	89
3.4	CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DO RISCO .....	91
3.5	GERENCIAMENTO DO RISCO .....	92
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	93
4.1	COLETA E AVALIAÇÃO DE DADOS.....	93
4.1.1	Dados da indústria em estudo .....	93
4.1.2	Identificação dos compostos químicos de interesse .....	94
4.1.3	Dados do meio físico utilizados na avaliação de risco .....	94
4.1.4	Caracterização físico-química dos compostos químicos de interesse .....	96
4.2	AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE .....	97
4.3	AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO .....	98
4.3.1	Modelo conceitual .....	98
4.3.2	Quantificação da exposição .....	101
4.4	CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DO RISCO .....	105
4.5	GERENCIAMENTO DO RISCO .....	109
5	CONCLUSÃO.....	111
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	113

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os solventes clorados são utilizados pela indústria desde o fim do século 19, tendo o seu principal uso associado aos processos de tratamento de superfícies metálicas, como o desengraxe (Rasmussen, 1996). As propriedades dos solventes clorados, tais como o fato de serem pouco inflamáveis, possuírem alto poder de solubilidade para muitas substâncias e uma rápida evaporação, fizeram com que o seu consumo na indústria aumentasse ao longo dos anos até atingir um pico de produção no início da década de 80 (Jaffé, 2008).

Apesar de serem de grande utilidade na indústria, os solventes clorados também possuem propriedades que exigem um manuseio cuidadoso no que diz respeito à proteção ambiental, devido a sua capacidade de alterar a qualidade da água subterrânea e superficial, do solo e do ar, e no que diz respeito à segurança dos trabalhadores que estão expostos, devido ao fato de serem substâncias tóxicas e em alguns casos carcinogênicas.

Desde o pico de produção de solventes clorados registrado no início da década de 80, seu consumo na indústria vem reduzindo ou se mantendo estável em países da Europa, Estados Unidos e Japão. Essa mudança de cenário ocorreu devido ao surgimento de problemas de impactos ambientais e de saúde e segurança dos trabalhadores, além do surgimento de mudanças na legislação e aplicação de normas como a ISO 14000 (Jaffé, 2008).

Até o final da década de 70 e início dos nos 80 os cuidados aplicados nas indústrias para a estocagem e manipulação de produtos químicos, incluído os solventes clorados, eram insuficientes para se prevenir vazamentos que pudessem impactar o solo e a água subterrânea. Uma vez em contato com esses meios o solvente clorado pode perdurar por décadas dependendo da quantidade de produto vazado e das características geológicas e hidrogeológicas do local.

De forma a atender legislações ambientais e de saúde e segurança dos trabalhadores, além de reduzir custos com tratamento de efluentes e descarte adequado de resíduos, atualmente existe uma preocupação das indústrias para a substituição de produtos químicos tóxicos e que alteram a qualidade do meio ambiente por produtos biodegradáveis e atóxicos. Frente a esse cenário as indústrias estão substituindo os solventes clorados por solventes ecológicos (biodegradáveis e atóxicos), já disponíveis para compra no mercado.

No entanto, a simples substituição dos solventes clorados por solventes ecológicos pode não ser efetiva para eliminar o risco de exposição dos trabalhadores e demais receptores a esses produtos, uma vez que muitas áreas onde os solventes clorados foram manipulados e armazenados, o solo e a água subterrânea tiveram a sua qualidade alterada em função de vazamentos desses produtos. A presença de solventes clorados no subsolo pode gerar uma exposição crônica dos receptores a essas substâncias gerando danos à sua saúde humana.

Para a verificação da presença de solventes clorados no solo e na água subterrânea é necessária à realização de estudos de investigação ambiental para avaliar quais solventes estão presentes, as suas concentrações e a extensão da área impactada, seguido por uma avaliação de risco à saúde humana, que irá quantificar o risco dos receptores expostos se intoxicarem ou adquirem câncer, no caso de solventes carcinogênicos. Uma vez identificado risco aos receptores, medidas de gerenciamento são adotadas para eliminar ou reduzir a níveis aceitáveis a exposição desses receptores aos solventes.

## 1.2 OBJETIVO

O presente estudo tem como finalidade a realização de uma avaliação de risco à saúde humana para os trabalhadores de uma indústria de autopeças, que exercem suas atividades em área cuja água subterrânea está impactada por solventes clorados provenientes da operação do processo de desengraxe de peças metálicas por solvente clorado (Tetracloroeteno - PCE), realizado entre os anos de 1992 e 2005. Também é objetivo desse estudo o estabelecimento de medidas de gerenciamento dos riscos identificados na avaliação de risco.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Existem hoje normas e procedimentos para prevenção, identificação e mitigação de riscos a agentes químicos industriais para os processos em operação, sendo esse assunto amplamente discutido e aplicado nos ambientes industriais pelos profissionais da área de saúde e segurança.

No entanto as áreas industriais, principalmente as inseridas em antigos polos industriais, possuíram processos que no passado impactaram o solo e a água subterrânea local. Mesmo a substância química não fazendo mais parte do processo produtivo da indústria em operação, uma vez presente no solo e na água subterrânea podem colocar em exposição os trabalhadores da indústria sem que as devidas medidas de eliminação aos riscos causados por tal exposição sejam implantadas, pois em muitos casos as indústrias não possuem conhecimento da presença dessas substâncias no local.

Uma vez que a indústria foco do presente estudo possui uma alteração da qualidade da água subterrânea por solventes clorados (PCE e sua produtos de degradação) é necessário verificar se a presença dessas substâncias químicas está gerando riscos para os trabalhadores presentes no local e no caso da presença de risco estabelecer medidas de gerenciamento do mesmo.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão bibliográfica da presente monografia foi focada nos temas relacionados ao comportamento dos solventes clorados no solo e na água subterrânea, à compilação dos dados dos estudos de investigação ambiental, aos limites de tolerância ocupacionais, à metodologia de avaliação de risco à saúde humana utilizada e no gerenciamento de riscos. Também foram compiladas das normas orientadoras as diretrizes relacionadas ao gerenciamento de risco.

### 2.1 COMPORTAMENTO DO PCE E SEUS PRODUTOS DE DEGRADAÇÃO NO SOLO E NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

O solvente clorado PCE utilizado na área de interesse no processo de desengraxe de peças metálicas trata-se de uma fase líquida densa não aquosa denominada DNAPL (*dense non-aqueous phase liquids*). Em geral os DNAPL são definidos como líquidos orgânicos mais densos e pouco solúveis em água (Kueper *et al.*, 2003).

Os DNAPL quando liberados em superfícies permeáveis migram pelo solo não saturado deixando um rastro de produto adsorvido nas partículas do solo e aprisionados nos poros em função de forças capilares presentes. Esse rastro de produto é denominado de fase residual (Fetter, 2001).

Segundo Deutsch, 1997, por ser mais denso que água, o DNAPL que atinge a água subterrânea migra para porções mais profundas do aquífero até encontrar uma superfície impermeável onde se acumula formando piscinas denominadas de DNAPL Pools. A fase de produto acumulada é denominada de fase livre.

As superfícies impermeáveis podem ser compostas por camadas de sedimentos pouco permeáveis, tais como argila ou rochas duras (ígneas ou metamórficas) (Freeze e Cherry, 1979). As rochas duras podem conter fraturas por onde percola a água e por onde o DNAPL pode também penetrar. Desta forma, ao encontrar uma rocha dura o DNAPL se acumula formando os DNAPL Pools e/ou se infiltram pelas

fraturas da rocha (Wisconsin Department of Natural Resources, 2003). As rochas duras fraturadas formam o que se chama de aquífero fraturado, sendo essas fraturas originadas a partir de movimentos e esforço tectônicos sobre essas rochas gerando fraturamentos em diferentes direções e sentido (Freeze e Cherry, 1979). Desta forma, o fluxo de migração da água subterrânea, e consequentemente de contaminantes, em aquíferos fraturados ocorre nas direções das fraturas existentes, sendo necessário saber o posicionamento das mesmas e suas ligações para se entender a direção da migração da água subterrânea nesse meio.

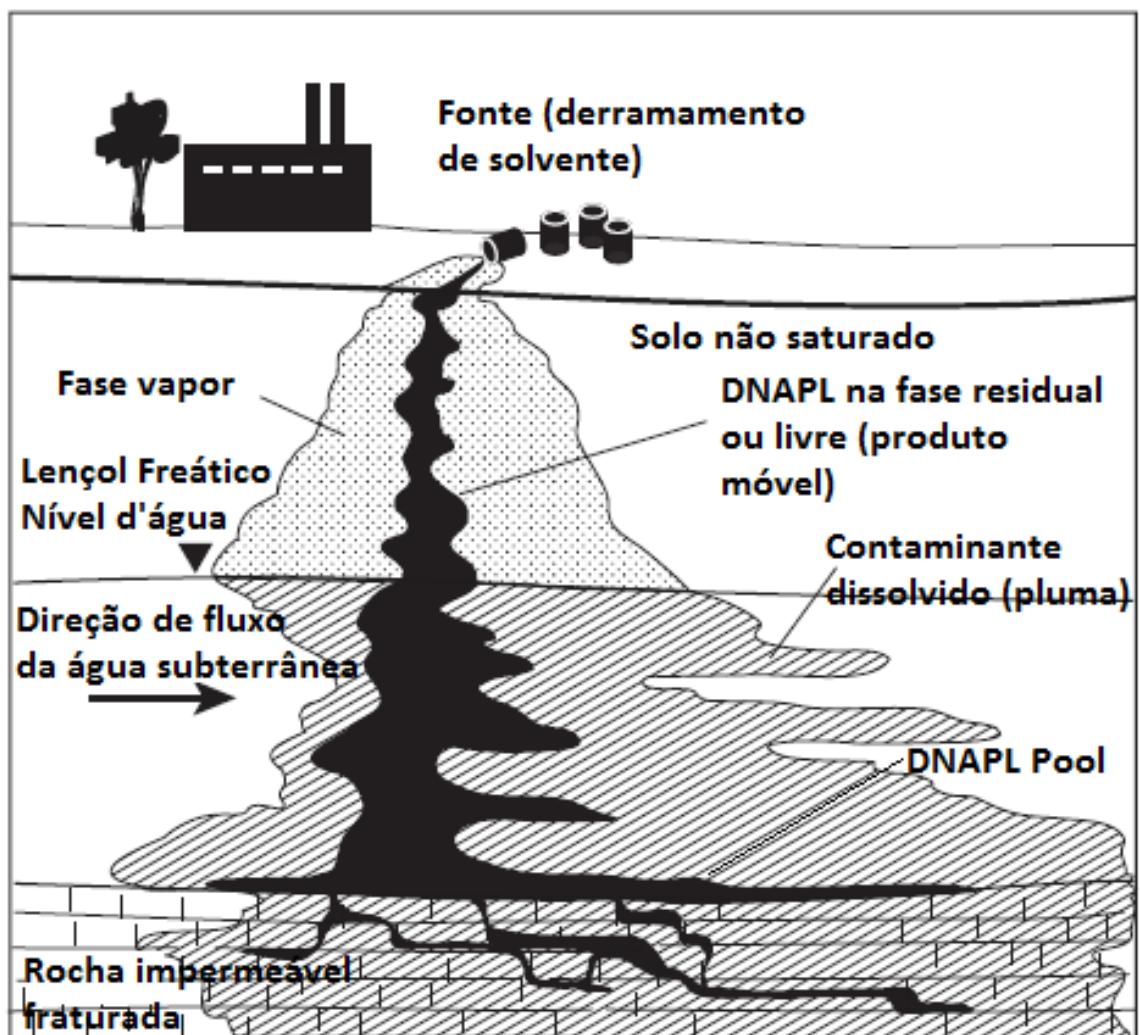
Quando em contato com a água subterrânea de aquíferos granulares ou fraturados ou com a água que infiltra no solo não saturado em direção ao aquífero, o DNAPL se dissolve na água alterando a qualidade da mesma. Quando a água do aquífero entra em contato com o DNAPL e a sua qualidade é alterada são formadas as plumas de contaminação de fase dissolvida do DNAPL presente, denominadas de pluma de fase dissolvida (Fetter, 2001). As plumas de fase dissolvidas nos aquíferos granulares se movem na direção do fluxo da água subterrânea e nos aquíferos fraturados conforme o posicionamento das fraturas, sendo, em ambos os casos, a sua extensão relacionada à quantidade e disponibilidade de DNAPL presente na fase livre e residual (Wisconsin Department of Natural Resources, 2003). A concentração do DNAPL dissolvido na água subterrânea também está relacionada à quantidade de produto presente no solo não saturado e no aquífero, além de outras propriedades físicas e químicas do meio e do DNAPL (Deutsch, 1997).

Além de impactar a água, o DNAPL presente na porção não saturada do solo e na porção rasa do aquífero é volatilizado e seu vapor migra para a superfície (Fetter, 2001).

A **Figura 1** mostra o perfil de migração do DNAPL no solo e a formação da fase residual, fase livre, DNAPL Pool e a fase vapor.

Segundo a ITRC (1999), os principais processos químicos e físicos pelos quais os DNAPL estão expostos quando em contato com o material presente no subsolo são descritos abaixo. Esses processos são os principais parâmetros que determinam o comportamento dos DNAPL no subsolo.

- Advecção, dispersão e diluição – advecção é o transporte de moléculas dissolvidas em água. Durante a advecção as moléculas se espalham tanto na direção de migração da água subterrânea como nas demais direções. Esse processo é chamado de dispersão e resulta na mistura da água subterrânea com as moléculas do contaminante. A combinação dos processos de advecção e dispersão resultam na redução da concentração das moléculas de contaminantes na água subterrânea, que é chamando de diluição.

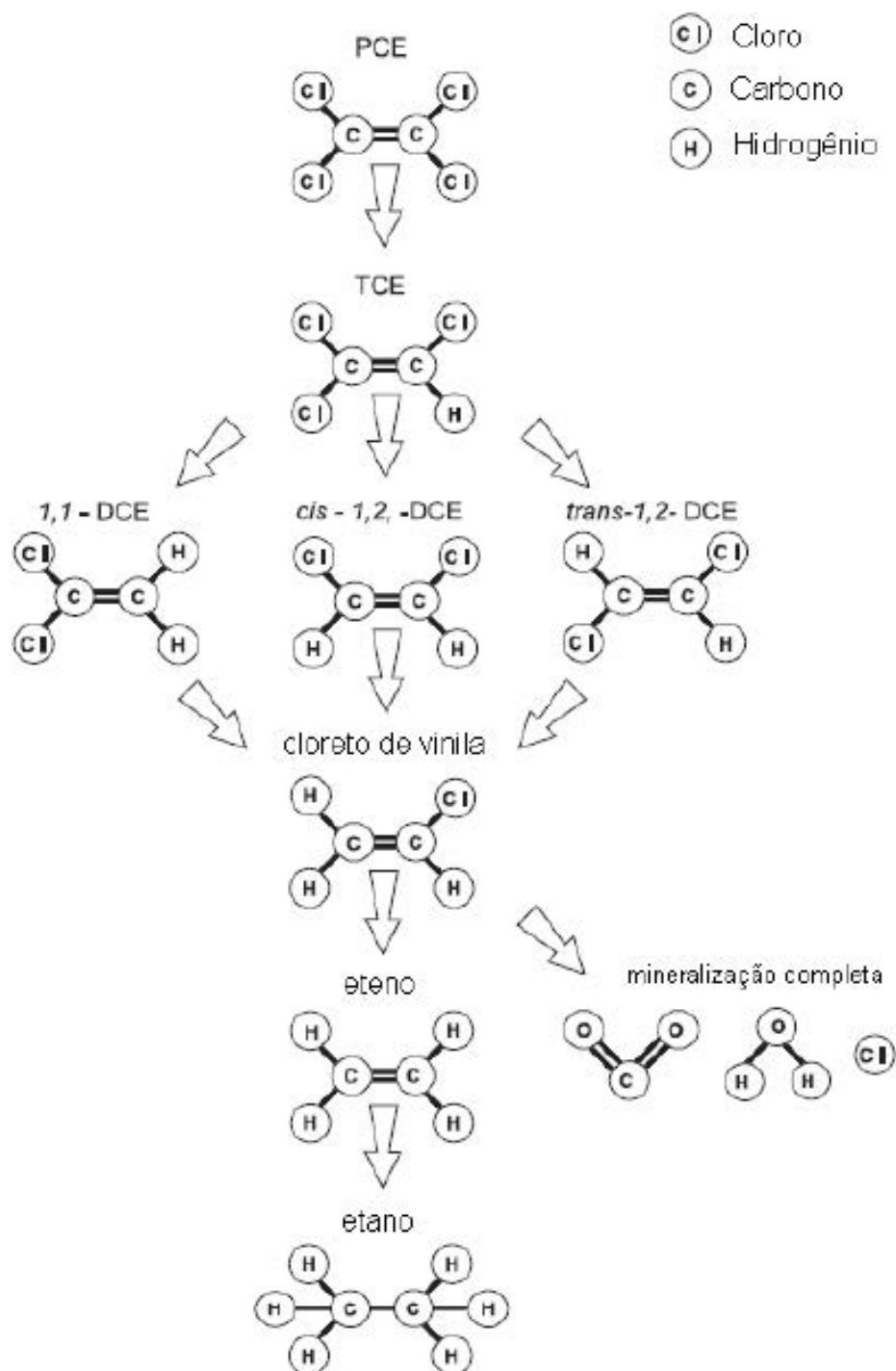


**Figura 1 – Perfil de migração do DNAPL no solo e a formação da fase residual, fase livre, DNAPL Pool e a fase vapor.**

Fonte: Modificado de Wisconsin Department of Natural Resources (2003)

- Difusão – é um processo que resulta no movimento de moléculas de contaminantes ao longo de um gradiente de concentração. As moléculas se movem de área com maior concentração para área com menor concentração.
- Sorção / dessorção – as moléculas de contaminantes podem ser adsorvidas e, em alguns casos, absorvidas pelo material geológico. Com o tempo, essas moléculas são dessorvidas do material geológico em resposta do gradiente de concentração. A sorção afeta a taxa de advecção das moléculas de contaminante dissolvidas em água.
- Volatilização – a transferência de moléculas de contaminantes da fase líquida ou da solução aquosa para a fase vapor (transferência de fase) é denominada volatilização. Solventes clorados são compostos orgânicos voláteis (VOC) que possuem alta capacidade de volatilizar. A volatilização pode contribuir na redução das concentrações do contaminante por meio da transferência de massa da fase líquida para a fase vapor na zona de solo não saturado e na atmosfera.
- Estabilização – é um processo onde as moléculas de contaminantes se ligam ou se transformam por meio de um agente estabilizante (ex.: argila, matéria orgânica), reduzindo a mobilidade das moléculas na água subterrânea. Esse processo normalmente é mais irreversível que a adsorção.
- Degradação – a degradação da maior parte dos solventes clorados na água subterrânea ocorre por meio de reações de oxidação-redução que são predominantemente realizadas pelas bactérias presentes no subsolo. Essas são as chamadas reações de biodegradação. Porém, alguns solventes clorados podem ser degradados por meio de reações químicas com metais, como o ferro, e água por meio de reações de hidrólises.

A **Figura 2** apresenta a degradação que ocorre para os principais solventes clorados no subsolo. Nessa figura pode-se observar que o PCE por meio da oxidação se transforma em TCE, cis e trans DCE e CV, que são os compostos de interesse para o presente estudo.



**Figura 2 – Série de degradação do PCE.**

Fonte: US EPA (1998)

## 2.2 CONHECIMENTO AMBIENTAL DA ÁREA EM ESTUDO E ARREDORES

Toda a informação ambiental, da área da indústria em questão, descrita nesse capítulo foi compilada dos estudos ambientais realizados na referida área entre os anos de 2002 e 2011.

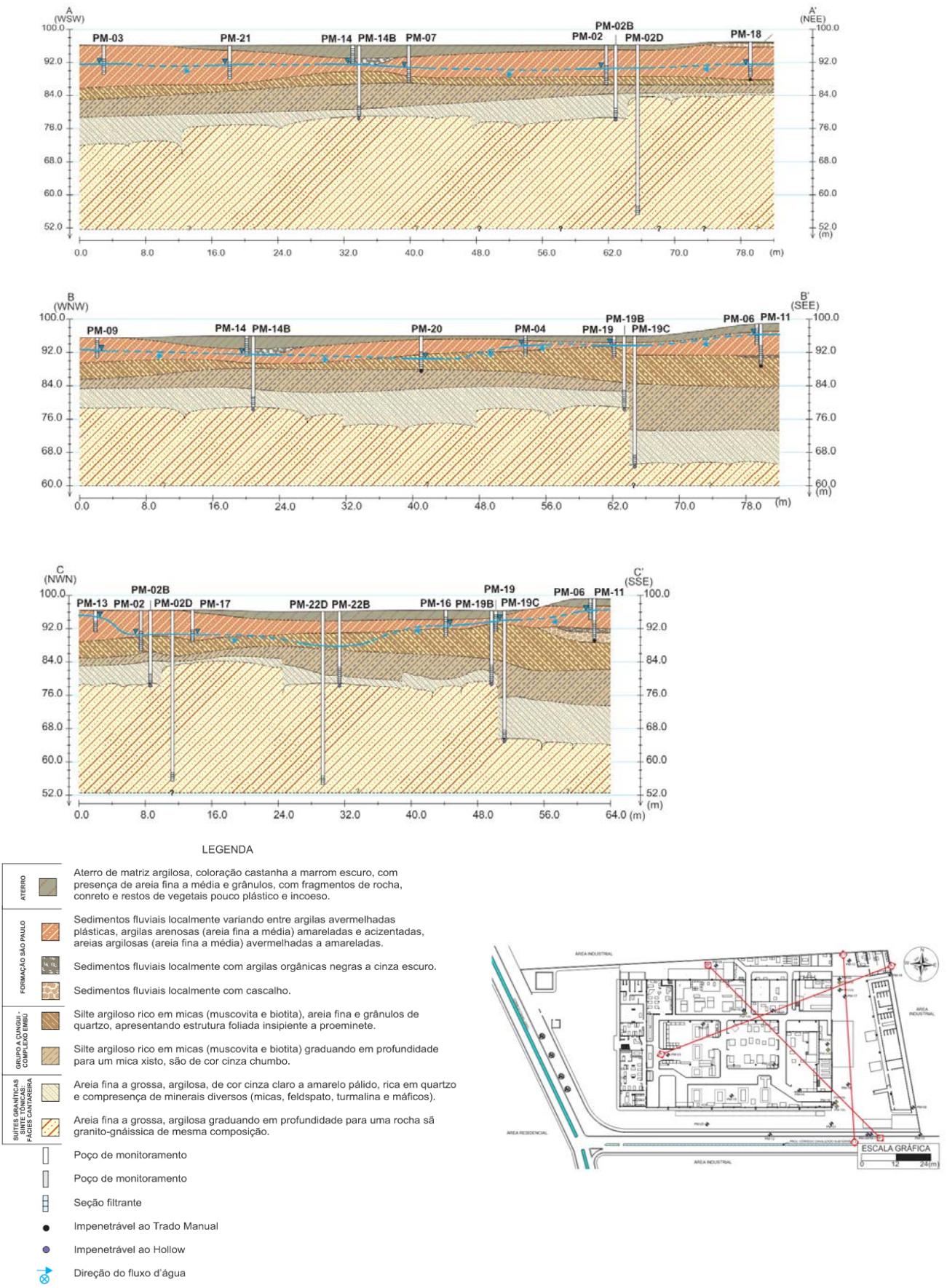
### 2.2.1 Geologia, hidrogeologia e hidrografia

De acordo com Mapa Geológico do Estado de São Paulo (PERROTTA, 2005), a região onde a indústria em estudo está localizada encontra-se sobre sedimentos pertencentes ao complexo Embu. Sobre esta unidade assentam-se sedimentos correlatos à Bacia de São Paulo, representados por conglomerados, arenitos e argilitos. Próximas às drenagens podem ocorrer coberturas de aluviões recentes.

Segundo as descrições das sondagens perfuradas na área da indústria em estudo o subsolo é composto por um aterro de matriz argilosos, acima de um solo argiloso com intercalações mais arenosas de cor predominantemente castanha (marrom avermelhada) pertencentes à Formação São Paulo. Nas porções inferiores foi possível observar um sedimento siltoso variando de arenoso a argiloso de cor cinza chumbo a marrom avermelhado rico em micas (muscovita e biotita) que pertencem ao Complexo Embu. Abaixo do Complexo Embu na área foi identificado material areno argilosos pertencentes a suítes graníticas sintectônicas da Fácies Cantareira.

O solo local foi investigado, por meio de sondagens, até a profundidade máxima de 40 metros onde o material geológico fica impenetrável ao equipamento de perfuração mecanizado utilizado. Segundo consulta realizada ao DAEE os poços de abastecimento outorgados e localizados dentro do raio de 500m a partir da indústria em estudo possuem profundidade do topo rochoso a aproximadamente 60,00 metros de profundidade. Desta forma, o material geológico impenetrável identificado a 40m pode-se tratar da presença do topo rochoso impermeável e fraturado.

A **Figura 3** apresenta seções geológicas locais com os sedimentos encontrados até 40 metros de profundidade.



**Figura 3 – Seções geológicas e hidrogeológicas da área industrial em estudo.**

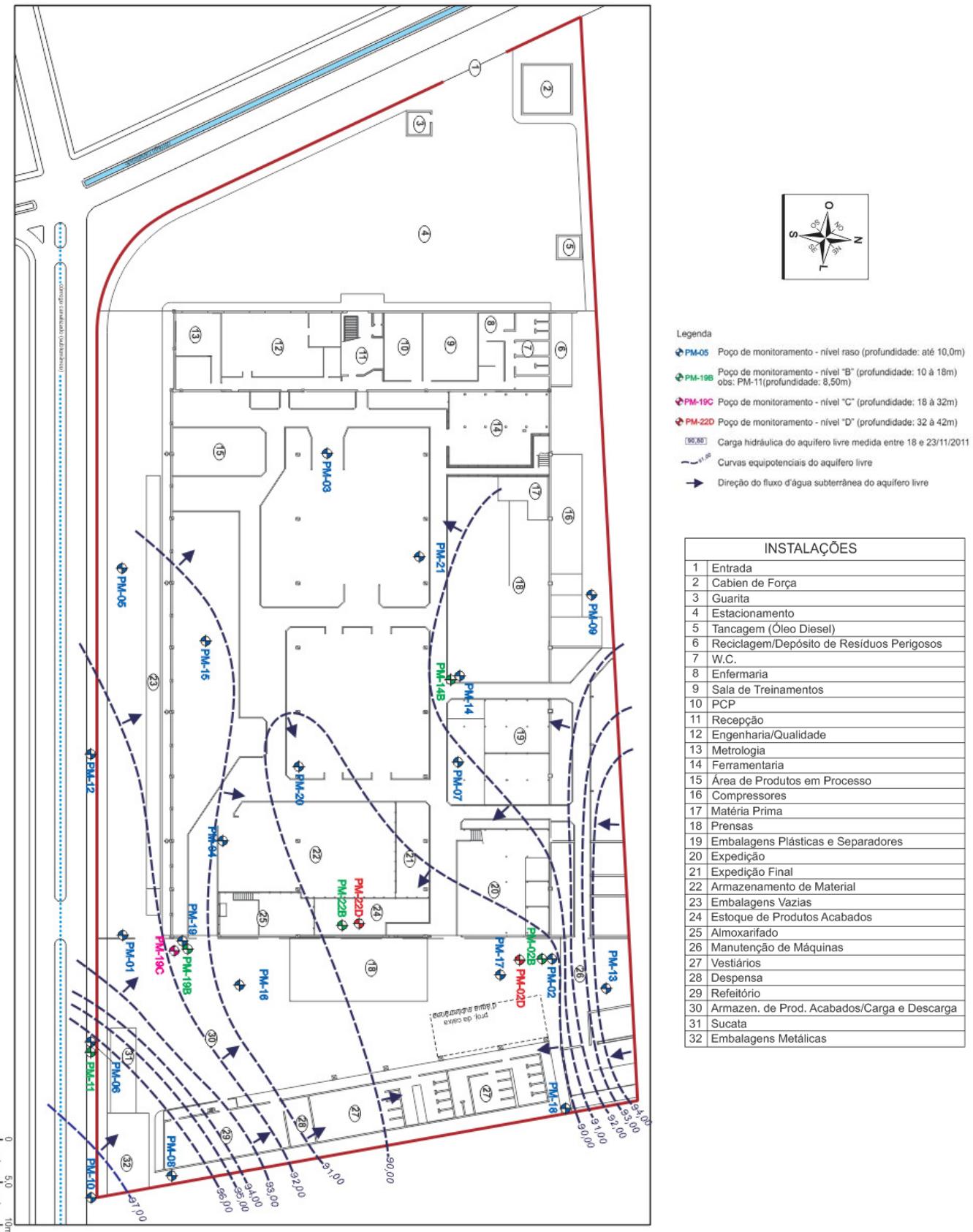
O aquífero em estudo tem caráter livre, sendo constituído na sua porção superior por uma camada silte arenoso argilosa e na sua porção inferior por alteração da rocha impermeável. Segundo os dados de monitoramento ambiental de estudo realizado em novembro de 2011, o nível d'água médio do aquífero raso é de 4,03m de profundidade em relação à superfície.

O nível d'água estático dos poços de abastecimento cadastrados no DAEE até 500,00 metros da área da indústria está aproximadamente a 50,00 metros de profundidade em relação à superfície, caracterizando o nível d'água do aquífero presente na rocha impermeável e fraturada local (áquifero fraturado profundo).

A carga hidráulica dos poços de monitoramento instalados na área em estudo foi calculada através da subtração entre a cota topográfica relativa e o nível d'água dos poços. As cotas relativas foram obtidas durante o nivelamento topográfico realizado ao longo da execução dos estudos de investigação ambiental. Os valores de carga hidráulica foram interpolados em curvas equipotenciais e o traçado de linhas de fluxo subterrâneo perpendicular às mesmas, permitindo a confecção de um mapa potenciométrico do aquífero raso (**Figura 4**). As cargas hidráulicas obtidas nos poços profundos PM-02B, PM-02D, PM-14B, PM-19B, PM-19C, PM-22B, PM-22D não foram considerados neste mapa, pois tratam-se de cargas hidráulicas referentes a uma cota determinada e não ao nível freático (áquifero raso).

Os dados utilizados para o cálculo da carga hidráulica e os valores de carga hidráulica para todos os poços estão apresentados na **Tabela 1**.

A análise do mapa potenciométrico evidencia que o fluxo da água subterrânea na área da indústria segue regionalmente em direção ao córrego a oeste da área, convergindo internamente, na área industrial, em direção à área da manutenção.



**Figura 4 – Mapa potenciométrico e direção de fluxo da água subterrânea rasa.**

Salienta-se que os valores experimentais que originaram as curvas equipotenciais do mapa potenciométrico da **Figura 4** são instantâneos, estando desta maneira, restritos às condições climáticas e hidrogeológicas em que foram medidos.

Tabela 1 – Relação dos poços de monitoramento e potenciometria

Nome do Poço	Cota da boca do tubo (m)	NA (m)	CH (m)	Nome do Poço	Cota da boca do tubo (m)	NA (m)	CH (m)
PM-01	97,05	3,54	93,51	PM-15	96,00	3,19	92,81
PM-02	96,23	5,40	90,83	PM-16	96,26	4,45	91,81
PM-03	96,10	4,68	91,42	PM-17	96,40	5,60	90,80
PM-04	96,08	-	-	PM-18	97,00	6,83	90,17
PM-05	96,77	4,57	92,20	PM-19	96,12	3,69	92,43
PM-06	98,93	2,60	96,33	PM-20	96,01	5,69	90,32
PM-07	96,02	4,55	91,47	PM-21	96,05	4,60	91,45
PM-08	97,04	0,60	96,44	PM-02B	96,23	8,33	<b>87,90</b>
PM-09	95,70	2,93	92,77	PM-02D	96,16	12,40	<b>83,76</b>
PM-10	99,77	2,33	97,44	PM-14B	96,06	5,75	<b>90,31</b>
PM-11	99,00	5,73	<b>93,27</b>	PM-19B	96,12	5,49	<b>90,63</b>
PM-12	97,20	4,18	93,02	PM-19C	96,08	11,50	<b>84,58</b>
PM-13	96,31	1,51	94,80	PM-22B	96,00	-	-
PM-14	96,06	3,95	92,11	PM-22D	96,13	12,75	<b>83,38</b>

Legenda: NA – Nível d’água medido entre 18 e 23 de novembro de 2011 (nível d’água estabilizado); CH – Carga Hidráulica; (negrito) - carga hidráulica não representativa do aquífero livre (raso); (-) – nível d’água não medido e CH não calculada.

Foi calculada a velocidade de migração das águas subterrâneas em função do padrão de fluxo e dos parâmetros hidrogeológicos do aquífero identificado, de acordo com a equação da Lei de Darcy. A **Tabela 2** apresenta a relação dos poços e dos parâmetros considerados para o cálculo da velocidade.

Tabela 2 – Dados de porosidade, gradiente e velocidade da água subterrânea

Poço	Material geológico no ponto de ensaio	Porosidade	Gradiente	Condutividade hidráulica (cm/s)	Velocidade da água subterrânea (m/ano)
PM-16	Sedimentos quaternários	0,053	0,02 <sup>(1)</sup>	$8,6 \times 10^{-6}$	1,1
PM-14B	Sedimentos Complexo Embu	0,21	0,09 <sup>(2)</sup>	$2,7 \times 10^{-4}$	38,2

Legenda: (1) gradiente calculado entre PM-16 e PM-14; (2) gradiente calculado entre PM-14B e PM-02B.

Os poços de monitoramento PM-16 e PM-14 possuem profundidade máxima de 6,3m, representando a porção mais rasa do aquífero, enquanto os poços PM-14B e PM-19B representam o aquífero na profundidade de 17m em relação à superfície.

Como é possível observar, a velocidade da água subterrânea na área é bastante variável entre os diferentes pacotes litológicos, na porção rasa do aquífero a velocidade da água subterrânea é menor que nas porções mais profundas.

No raio de 500m dos limites da área da indústria em estudo os únicos corpos d'água superficiais identificados foram dois córregos. Um dos córregos está localizado a sul da área e encontra-se canalizado. Esse córrego dista cerca de 20m da área de indústria e deságua no córrego localizado a oeste. Esse segundo córrego também dista cerca de 20m da área da indústria.

A região onde se situa a indústria em estudo tem caimento de leste para oeste em direção à calha do segundo córrego (córrego a oeste).

## **2.2.2 Uso e ocupação do solo**

### **2.2.2.1 Descrição dos arredores**

A área da indústria em estudo fica localizada em município da Grande São Paulo. Segundo o plano diretor da cidade na qual a indústria está inserida, a área em estudo esta localizada no Macrozoneamento de Vocação Urbana (MVU), não estando em local de proteção ambiental ou zona especial de interesse ambiental ou social. O entorno da área industrial possui ocupação mista com presença de indústrias a norte, sul e leste e residências e comércios a oeste.

Segundo relatado nos estudos ambientais realizados, consultas realizadas no DAEE permitiram identificar 6 poços de abastecimento ao redor da área da industrial. Segundo cadastro do DAEE, os poços de abastecimento de água possuem profundidade de aproximadamente 250 m, o topo rochoso foi identificado a aproximadamente 60m de profundidade e o nível d'água estático está aproximadamente a 50m.

Os poços tubulares profundos existentes no entorno da indústria em estudo, localizam-se a montante da área, em relação á direção de fluxo da água subterrânea local, ou separados por uma barreira hidráulica natural, córregos existentes no local. Também foi verificado que esses córregos captam água preferencialmente do aquífero fraturado posicionado a 60m de profundidade.

#### 2.2.2.2 Descrição da área investigada

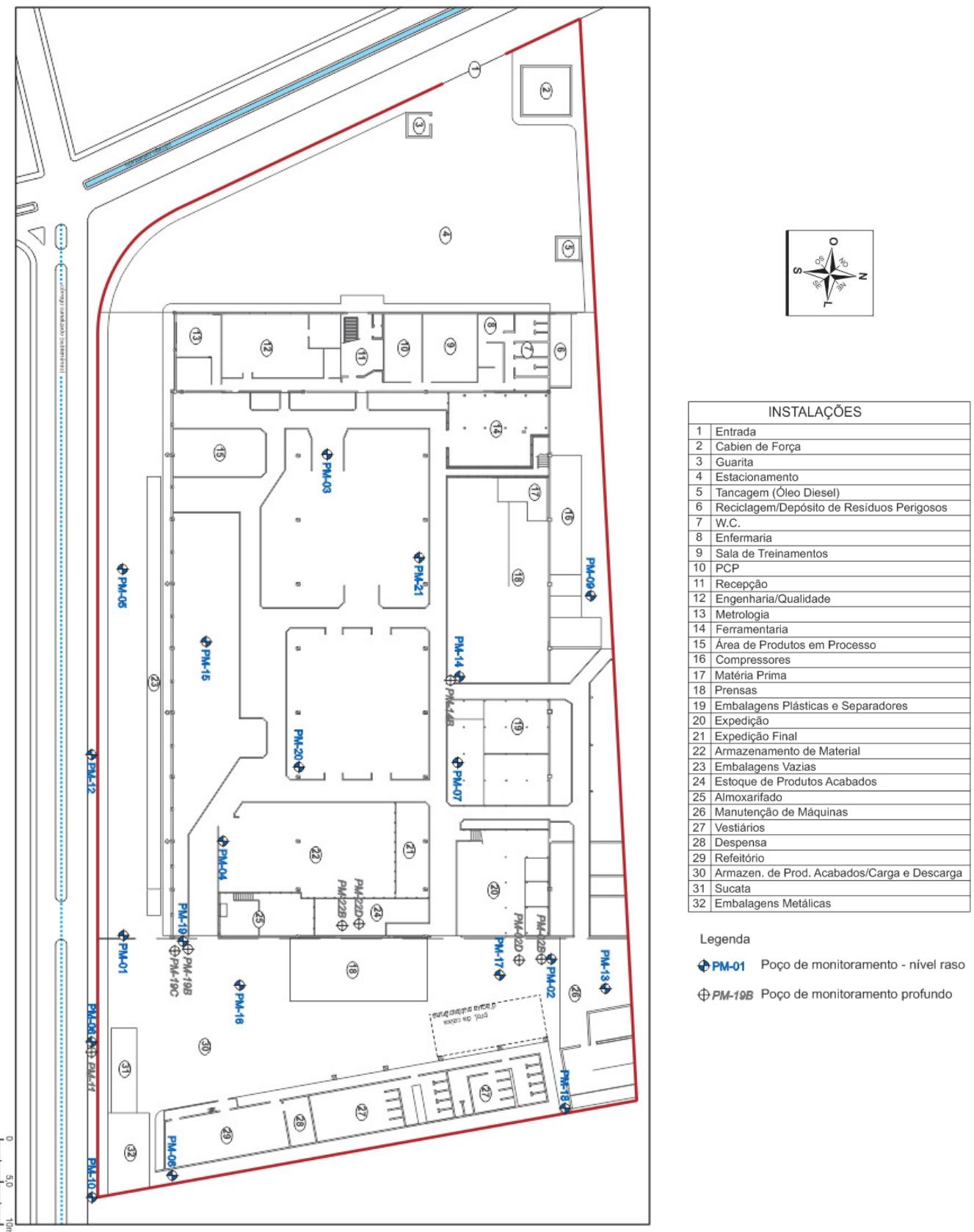
A unidade industrial em estudo opera no atual terreno desde 1992 ocupando uma área de aproximadamente 8.000m<sup>2</sup>. As principais edificações presente no terreno são: prédio com um galpão industrial, portaria e uma edificação que comporta principalmente os vestiários e restaurante.

A entrada da fábrica fica na avenida dividida por córrego, onde está presente a portaria e o estacionamento de veículos e caminhões com pavimentação de paralelepípedo. Após o estacionamento encontra-se a edificação que comporta os escritório e recepção. Anexo aos escritórios encontra-se o galpão industrial e em seguida a edificação dos vestiários e restaurantes. Todo o galpão industrial é pavimentado com concreto industrial com capacidade de suportar a passagem de empilhadeiras e equipamentos como prensas. A rua lateral que faz o acesso aos fundos da fábrica possui asfalto sobre o antigo piso de paralelepípedo.

Na **Figura 5** pode ser observado o layout da indústria com a identificação de suas instalações.

A indústria em estudo atua no segmento metal-mecânico na fabricação de peças metálicas. Para elaboração dos produtos comercializados são utilizados equipamento tais como, prensas, equipamentos de solda, perfiladeiras, máquinas para conformação por estiramento e equipamento contínuo de pintura a pó.

Segundo informações contidas nos estudos ambientais, não foram identificados poços de captação de água subterrânea na área industrial. Foi verificado no local: caixas d'água subterrâneas para incêndio e dreno para retenção de águas pluviais.



**Figura 5 – Layout da indústria com a identificação de suas instalações.**

### **2.2.3 Histórico da operação do processo industrial que gerou a alteração da qualidade da água subterrânea**

As áreas identificadas como 4, 2, 3 e 4, na **Figura 6**, desde o início das atividades em 1992 até a presente data (2011), são utilizadas para os mesmos fins, sendo respectivamente: estacionamento, escritórios, processo fabril (prensas) e manutenção. Nesta figura, observa-se a planta atual da fábrica com a localização dos pontos de armazenamento e manipulação de produtos, utilizados no processo industrial. A Tabela de Utilização Passada da **Figura 6**, demonstra que apenas na parte leste da área industrial, ao fundo da fábrica, ocorreram tais atividades.

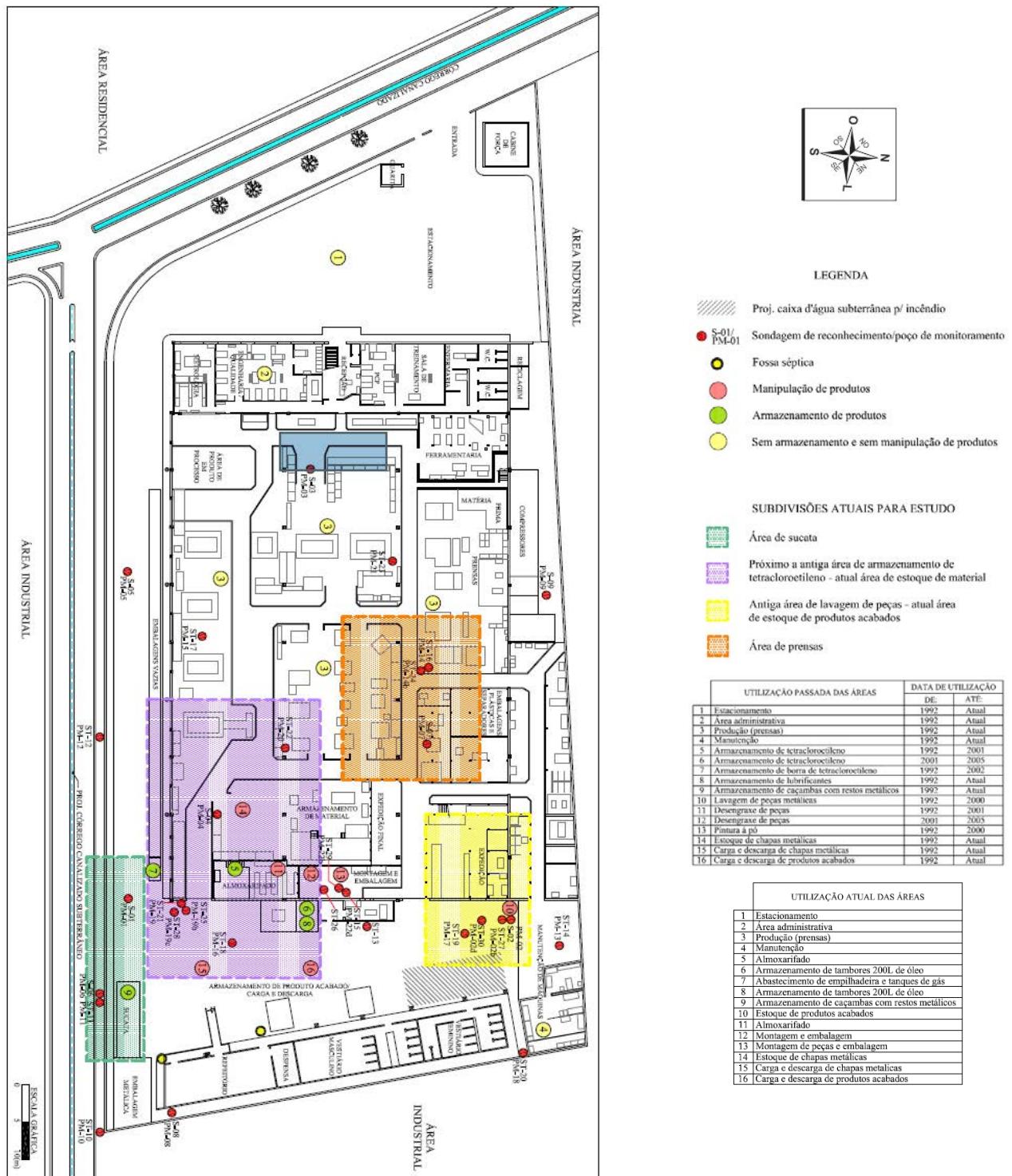
O principal produto químico utilizado na área industrial foi o PCE, usado no processo industrial de 1992 a 2005, para desengraxe de peças metálicas. O processo de desengraxe de peças era realizado a quente, onde o produto era reutilizado (dentro da própria máquina), remanescendo apenas uma borra de PCE. Atualmente, o PCE não é mais utilizado na área e o processo de desengraxe de peças foi desativado no início de 2005. A borra de PCE foi armazenada de 1992 a 2002, em tambores de 200L, ao lado da atual área de armazenamento de embalagens vazias. De 2002 a 2005, os tambores com borra eram retirados em curto prazo de tempo por uma empresa terceirizada, não ficando mais dispostos nesta área. Atualmente, como consequência da desativação do processo, não mais é gerada a borra de PCE.

A lavagem de peças metálicas era realizada a frio, com PCE, próxima da área da manutenção, no período de 1992 a 2000. Ressalta-se que a lavagem era realizada apenas em pequena escala e que atualmente este processo inexiste dentro da área da indústria.

Quanto ao histórico de utilização dos prédios, é possível resumir-lo da seguinte forma:

- A atual área do almoxarifado foi utilizada de 1992 a 2001 para armazenamento de PCE e desengraxe de peças;
- A atual área de montagem e embalagem foi utilizada de 2001 a 2005 para desengraxe de peças;

- A porção norte do pátio, próxima da área de manutenção, usada para estoque de produtos acabados, foi utilizada como área de lavagem de peças de 1992 a 2000.



**Figura 6 – Identificação das áreas onde era executada a operação de lavagem de peças**

### 2.2.3.1 Avaliação da qualidade do solo e da água subterrânea

Investigações ambientais de solo e água subterrânea na área da indústria em estudo tiveram início em 2002, sendo realizados estudos sobre o histórico de operação, perfuradas sondagens e instalados poços de monitoramento com seção filtrante na profundidade do lençol freático e a aproximadamente 17m (poços identificados com a letra B), 24m (poços identificados com a letra C) e 40m (poços identificados com a letra D). Foram coletadas amostras de solo e de água subterrânea para análise química em laboratório elaborada a interpretação dos dados obtidos fechando um modelo conceitual de contaminação da área em estudo.

As amostras de solo foram coletadas entre os anos de 2002 e 2008 não indicaram concentrações de solventes clorados e demais parâmetros acima dos valores de referência adotados no presente estudo, indicando a não existência de risco para a ocupação da área industrial em estudo e receptores do entorno. Desta forma, conforme a metodologia adotada não é necessária à inclusão dos resultados de solo no estudo de avaliação de risco.

No entanto, os estudos realizados apontaram a existência de alteração da qualidade da água subterrânea para os compostos orgânicos voláteis clorados (VOC) da série de degradação do PCE, sendo detectado além do PCE, o TCE, cis e trans DCE e CV, todos acima dos valores orientadores da CETESB.

Para a realização da avaliação de risco do presente estudo foram considerados os dados mais recentes coletados que foram os da campanha de amostragem de coleta de água subterrânea de novembro de 2011. A **Tabela 3** apresenta os resultados das amostras de água subterrânea coletadas em novembro de 2011 e a sua comparação com os valores de referências adotados.

Na **Figura 7** pode ser observada a localização dos poços de monitoramento.

Tabela 3 – Resultados analíticos das amostras de água subterrânea coletada em novembro de 2011 ( $\mu\text{g/L}$ )

Poço	PCE	TCE	cis DCE	trans DCE	Somatória de cis e trans DCE	CV
PM-01	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
PM-02	<b>115</b>	15	144	6,2	<b>150,2</b>	< 5,0
PM-03	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	<b>9</b>
PM-05	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
PM-06	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
PM-07	<b>87</b>	6,2	86	< 5,0	< 5,0	< 5,0
PM-08	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
PM-09	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
PM-10	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
PM-11	< 5,0	< 5,0	40	< 5,0	< 5,0	< 5,0
PM-12	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
PM-13	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
PM-14	< 5,0	< 5,0	17	< 5,0	< 5,0	< 5,0
PM-15	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
PM-16	6,1	< 5,0	12	< 5,0	< 5,0	< 5,0
PM-17	<b>119</b>	6,1	49	< 5,0	< 5,0	< 5,0
PM-18	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
PM-19	<b>645</b>	<b>135</b>	4380	11	<b>4391</b>	<b>74</b>
PM-20	<b>56</b>	38	466	6,2	<b>472,2</b>	<b>61</b>
PM-21	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	<b>9</b>
PM-02B	<b>594</b>	63	558	7,4	<b>565,4</b>	<b>29</b>
PM-02D	<b>913</b>	55	460	6,6	<b>466,6</b>	<b>55</b>
PM-14B	< 5,0	9,2	262	< 5,0	< 5,0	<b>92</b>
PM-19B	<b>271</b>	<b>190</b>	586	6,2	<b>592,2</b>	<b>12</b>
PM-19C	<b>92</b>	61	943	< 5,0	< 5,0	<b>25</b>
PM-22B	<b>51</b>	28	1404	7,3	<b>1411,3</b>	<b>27</b>
PM-22D	< 5,0	< 5,0	25	< 5,0	< 5,0	<b>1776</b>
BE-01	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
BT-01	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
BT-02	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
<b>CETESB (2005)</b>	40	70	-	-	50	5

Legenda: CETESB (2005) – Valor de intervenção para água subterrânea adotado pela CETESB (2005); (NA) - Não analisado; (azul) - Valores acima do padrão de referência.; <5,0 – limite de detecção do laboratório (valor não detectado).

Os resultados analíticos das amostras de agua subterrânea forma interpretados, sendo observado que as maiores concentrações de PCE e seus produtos de degradação, acima dos valores de referência adotados, foram detectadas na porção leste da área, onde atualmente estão presentes as áreas de expedição, manutenção, estoque de produtos acabados e almoxarifado, cuja localização pode ser observada na **Figura 6**. Segundo o histórico de ocupação levantado para a área da indústria, esses locais eram utilizados para o processo de desengraxe de peças

metálicas com PCE (na manipulação ou armazenamento), realizado entre os anos de 1992 e 2005. Na **Figura 6** é possível verificar a localização das antigas fontes de PCE existentes na área: antiga área de lavagem de peças (em pequena escala); antiga área de armazenamento e manipulação de PCE (lavagem de peças: em maior escala); e antiga área de armazenamento de borra da borra da lavagem de peças.

Nas **Figuras 7 a 10** são representadas as plumas de PCE, TCE, cis e trans DCE e CV na água subterrânea, sendo observado um deslocamento da fase dissolvida de leste para oeste, em direção à porção central do galpão industrial, coincidindo com o deslocamento da água subterrânea local. Nos locais com as maiores concentrações desses compostos foi observado um deslocamento vertical até profundidades de aproximadamente 40m. Nas **Figuras 11 a 14** são apresentadas nas seções hidrogeológicas as plumas de PCE, TCE, cis e trans DCE e CV na água subterrânea.

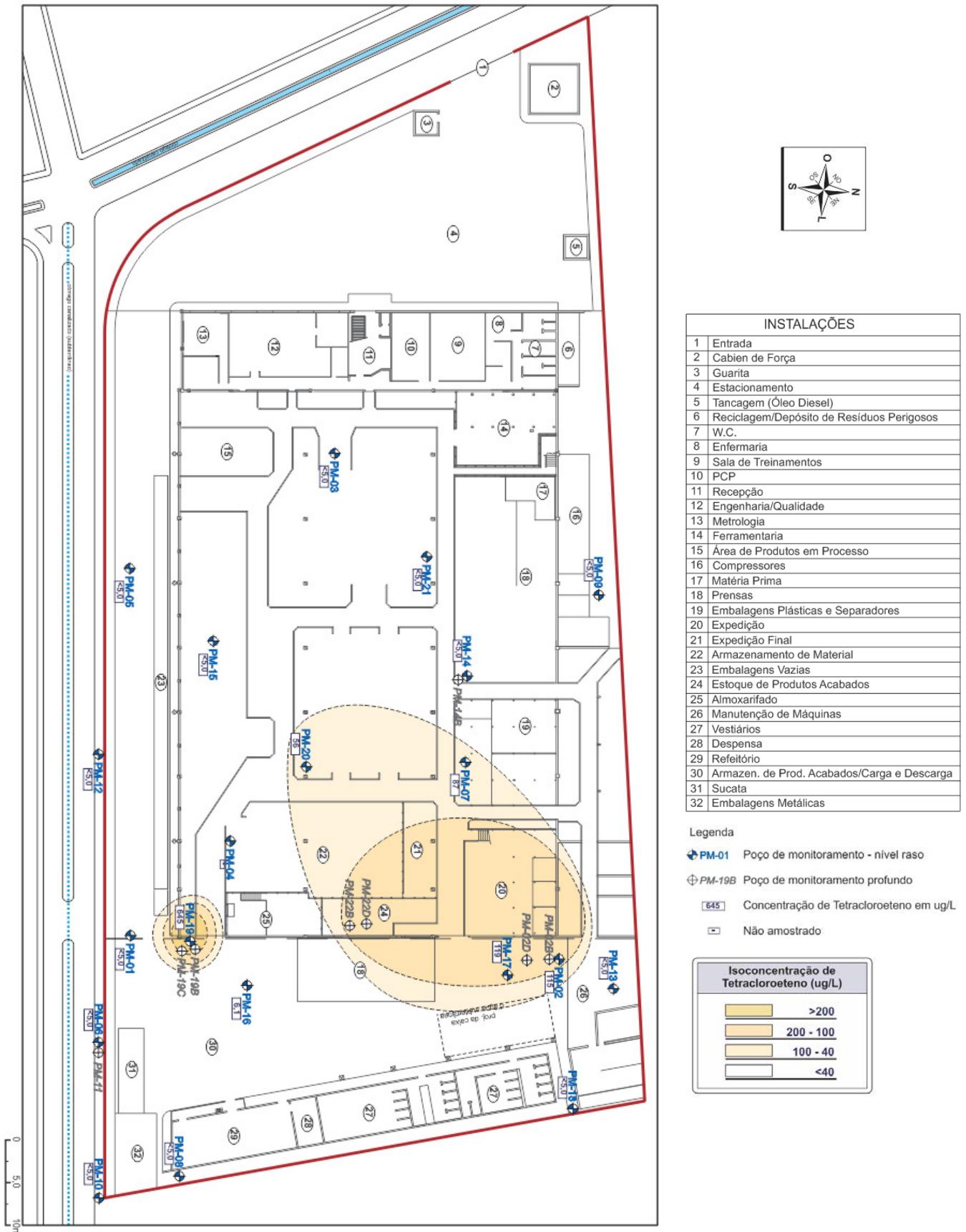


Figura 7 – Pluma de isoconcentração de PCE no aquífero raso

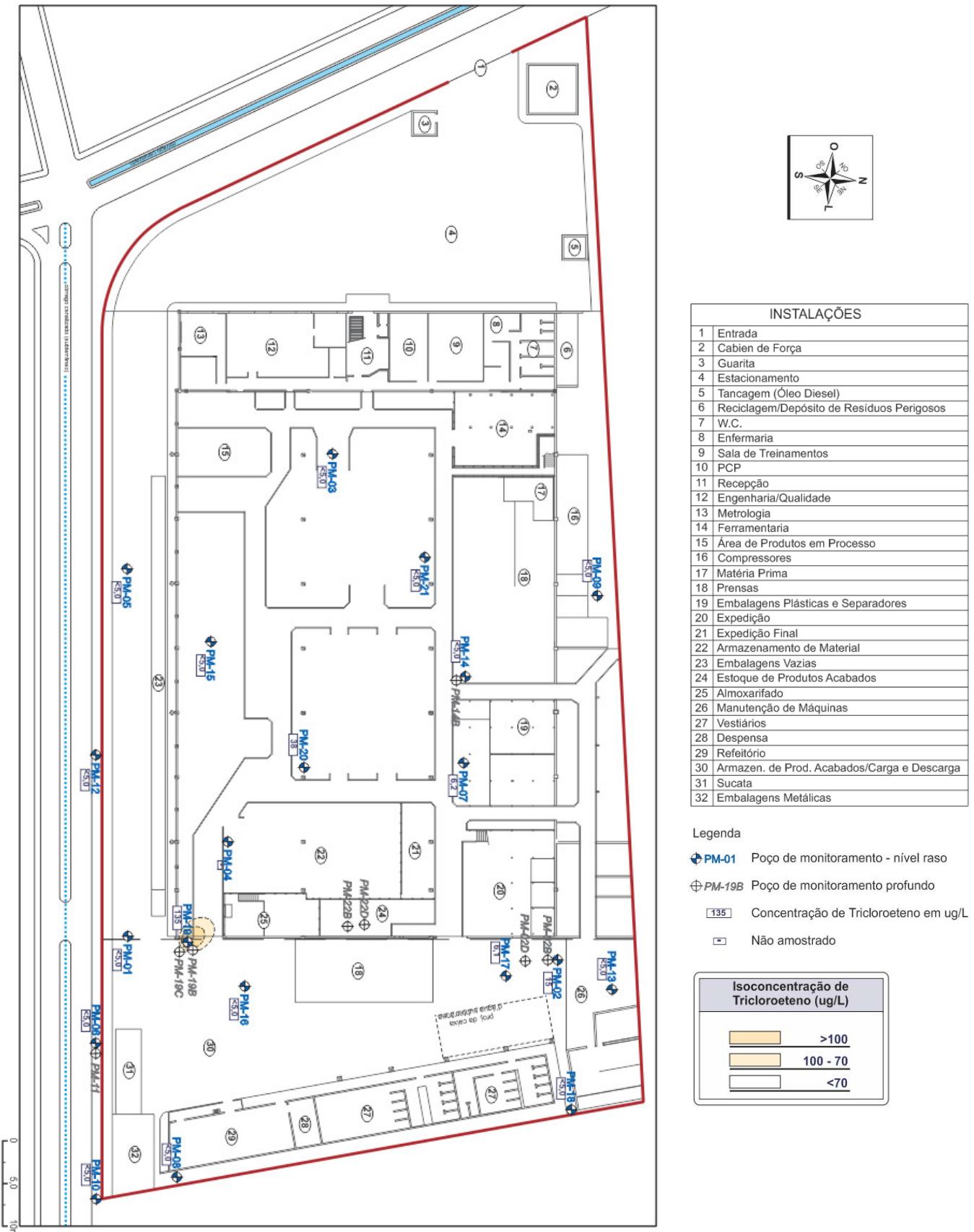
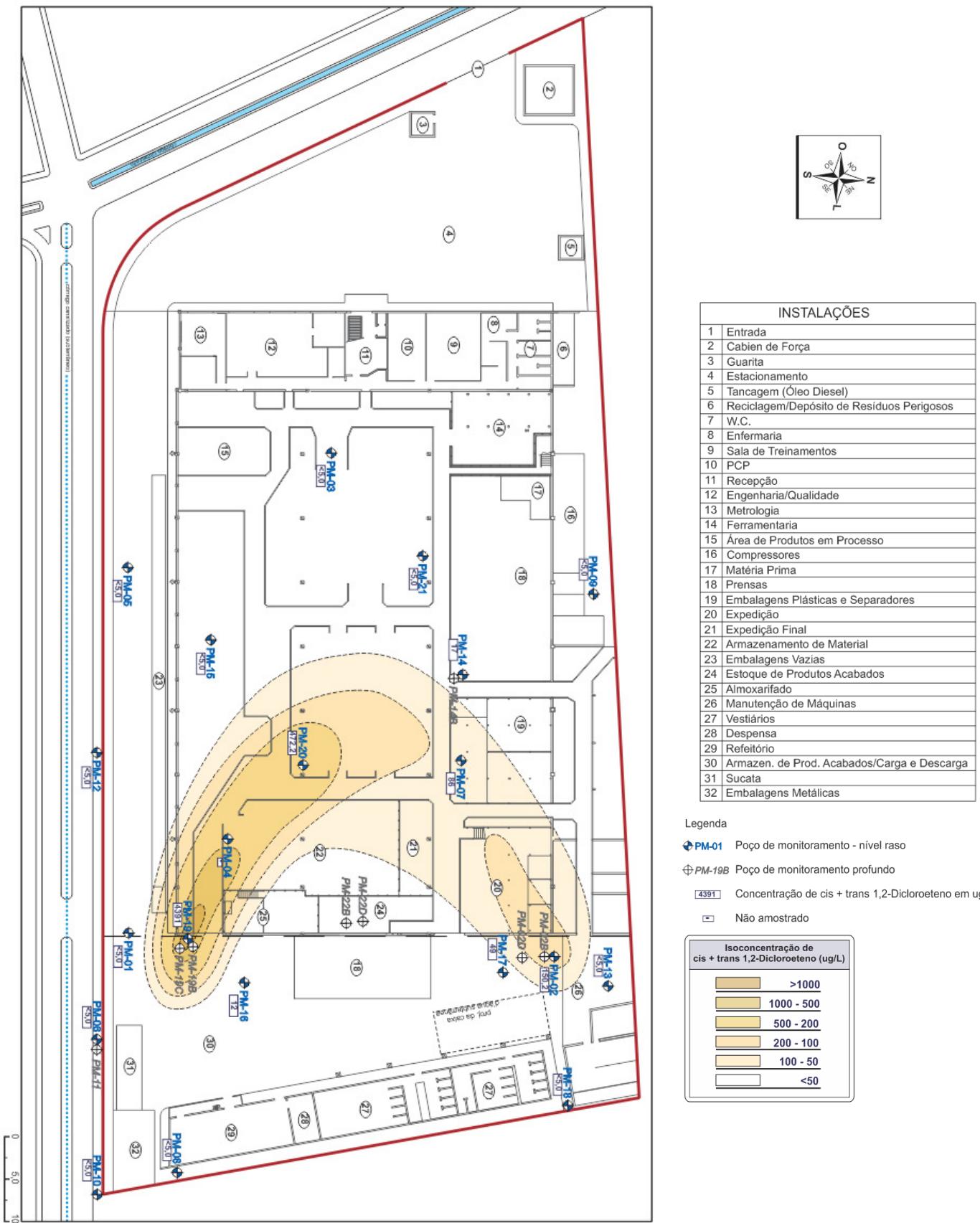


Figura 8 – Pluma de isoconcentração de TCE no aquífero raso



**Figura 9 – Pluma de isoconcentração da somatória de cis e trans DCE no aquífero raso**

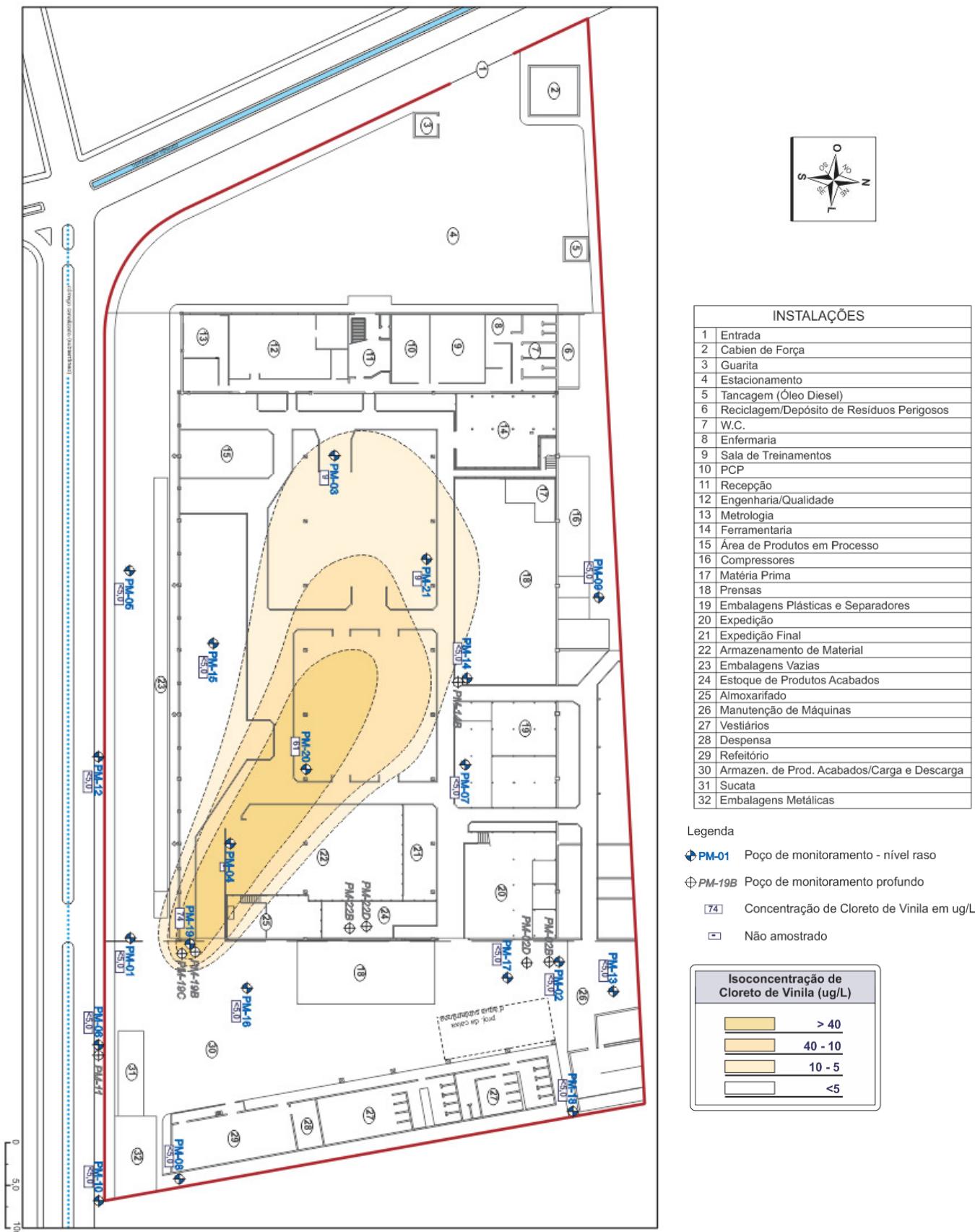


Figura 10 – Pluma de isoconcentração de CV no aquífero raso

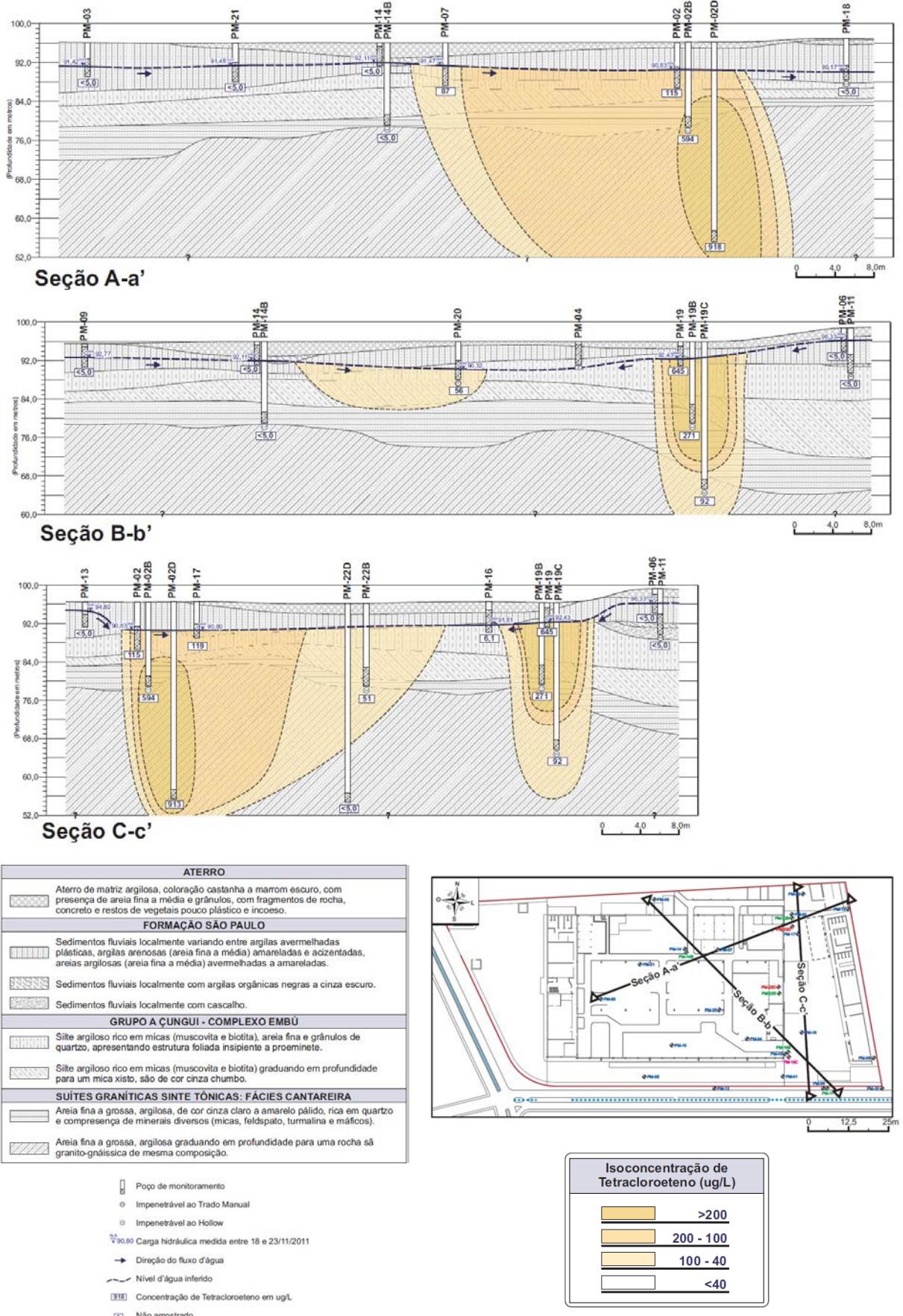


Figura 11 – Seções hidrogeológicas e pluma de isoconcentração de PCE

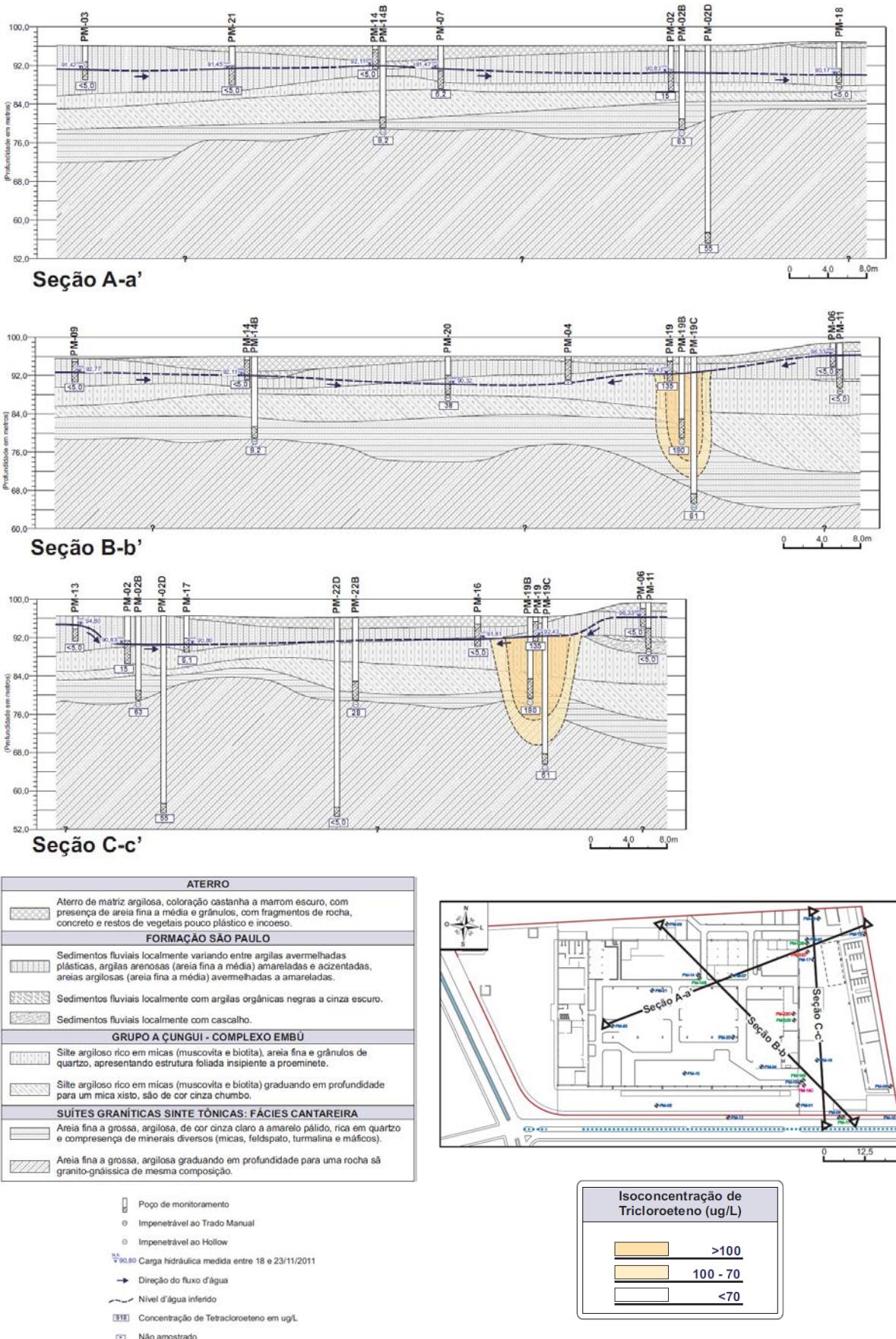
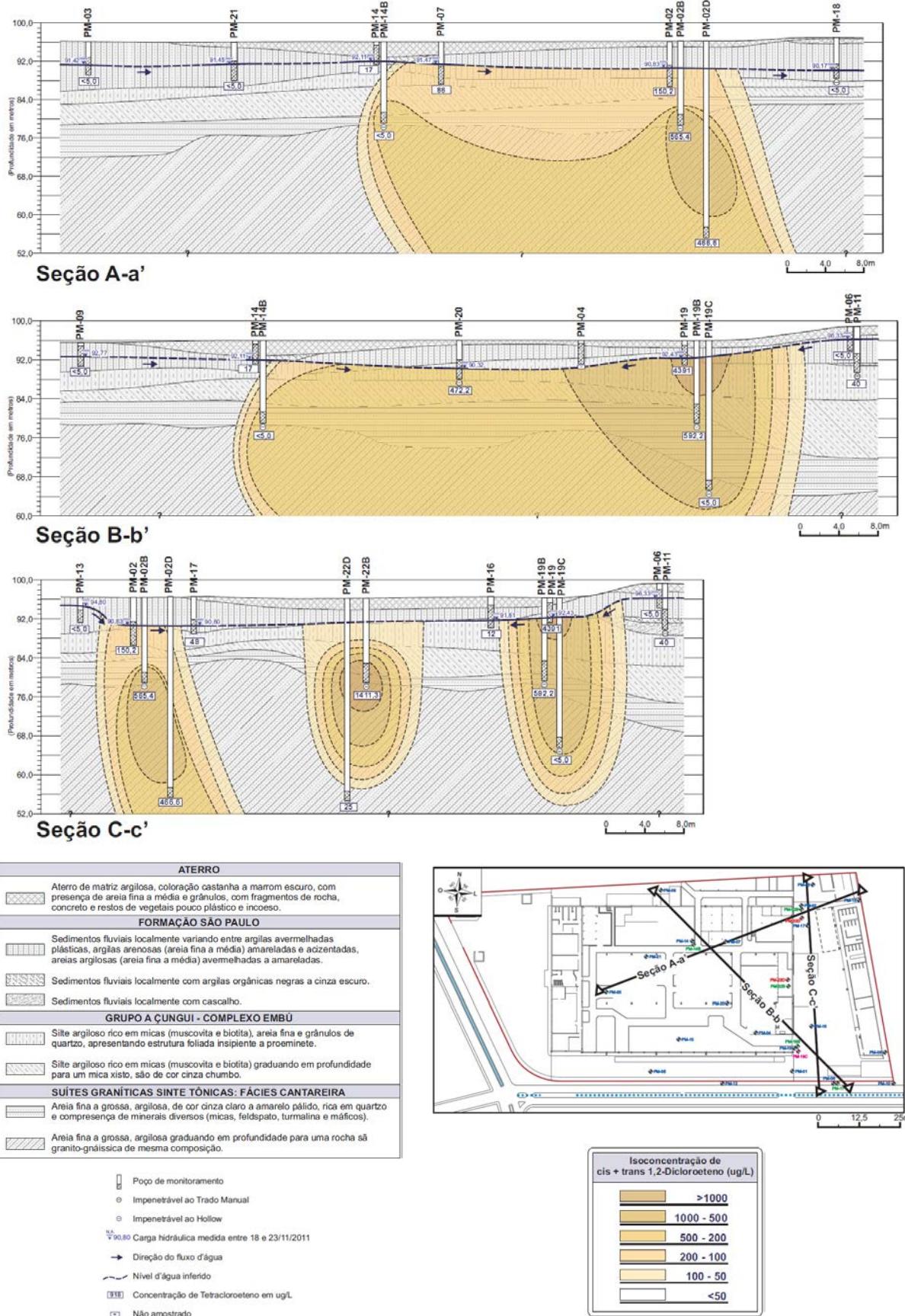


Figura 12 – Seções hidrogeológicas e pluma de isoconcentração de TCE



**Figura 13 – Seções hidrogeológicas e pluma de isoconcentração da somatória de cis e trans DCE**

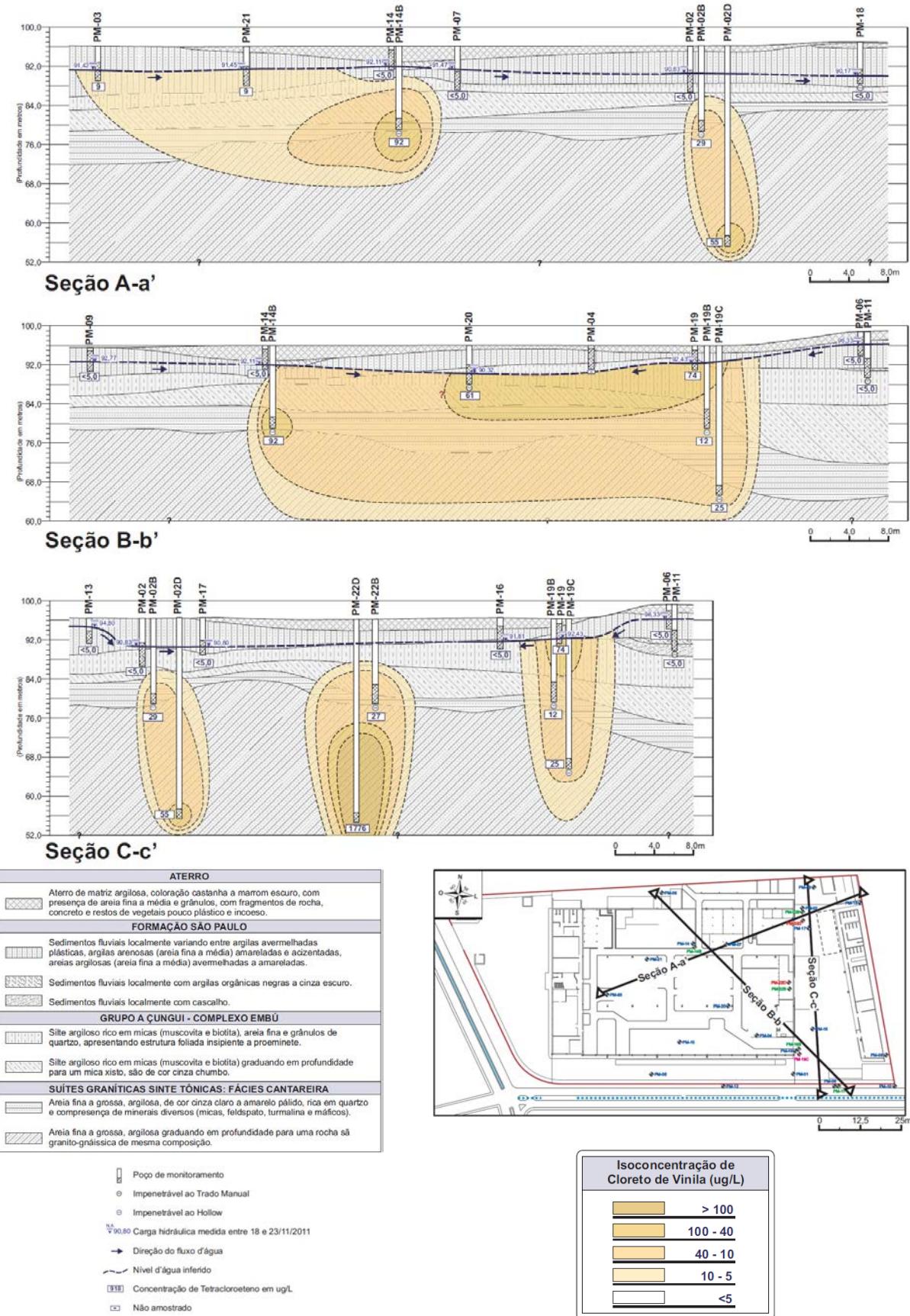


Figura 14 – Seções hidrogeológicas e pluma de isoconcentração de CV.

## 2.3 RISCO E AGENTES QUÍMICOS

De acordo com a OHSAS 18001 (DE CICCO, 1999), perigo é uma fonte ou situação potencialmente capaz de causar perdas em termos de danos à saúde, prejuízos à propriedade, prejuízos ao ambiente do local de trabalho ou uma combinação entre eles, enquanto risco é a combinação da probabilidade (ou frequência) e da severidade (ou consequência) da ocorrência de uma situação de perigo específica.

De acordo com a NR 9 considera-se riscos ambientais os aguentes físicos, químicos e biológicos existentes nos ambientes de trabalho que, em função da sua natureza, concentração ou intensidade e tempo de exposição, são capazes de causar danos à saúde do trabalhador.

A referida norma define como agentes químicos as substâncias, compostos ou produtos que possam penetrar no organismo pela via respiratória, nas formas de poeira, fumos, névoa, neblina, gases ou vapores, ou que, pela natureza da atividade de exposição, possam ter contato ou ser absorvido pelo organismo através da pele ou por ingestão.

Os agentes químicos podem causar no organismo os seguintes efeitos: mutagênico, carcinogênico, teratogênico, organotóxico e imunotóxico.

A toxicidade dos agentes químicos está relacionada com a forma de penetração do agente no organismo. A NR 9 descreve estas vias, que são a via cutânea ou dérmica (pele), a via digestiva (boca) e a via respiratória (nariz). As substâncias que podem ser absorvidas pela pele são apresentadas no Anexo 11 da NR 15. O contato com a pele pode causar lesões graves, como queimaduras, acne química e irritação das mucosas (olhos, boca e nariz). A ingestão pode ser direta ou indireta, através de alimentos contaminados. A penetração dos produtos pela inalação constitui o mais rápido acesso ao organismo, podendo, pelo sistema circulatório, atingir os órgãos vitais.

Segundo RASMUSSEN, 1996 a exposição de trabalhadores a compostos orgânicos clorados incluindo PCE e seus produtos de degradação geram danos à saúde em

função de efeitos tais como aparecimento de câncer, depressão do sistema nervoso central, irritação de mucosas e pele, entre outros.

### **2.3.1 Toxicologia dos compostos químicos de interesse**

Segundo Torloni e Vieira, 2003 a toxicologia ocupacional é a parte da toxicologia cujo principal objetivo é o estudo dos efeitos nocivos produzidos pela interação dos agentes químicos estranhos ao organismo aos quais o trabalhador se expõe. Estuda os agentes químicos mais comuns, as principais vias de penetração no organismo, os mecanismos de ação tóxica, o estudo e o estabelecimento de métodos para controle ambiental e biológico, em especial os limites de exposição e índices biológicos de exposição, diagnósticos, tratamento e prevenção das intoxicações.

De acordo com Silbergeld, 1998 a toxicologia é o estudo dos venenos, ou xenobióticos, forma com são conhecidas as substâncias estranhas ao organismo, e incluem as drogas, substâncias químicas industriais, poluentes ambientais e venenos de origem natural. De forma mais abrangente, a toxicologia trata da identificação e quantificação dos efeitos adversos associados às exposições a agentes físicos, substâncias químicas e outras condições. Suas atividades se estendem desde as investigações da pesquisa básica sobre os mecanismos de ação dos agentes tóxicos, até o desenvolvimento e interpretação dos testes padrões que caracterizam as propriedades tóxicas dos agentes.

Conceitualmente, segundo Holmberg *et al.*, 1998, toxicidade é a capacidade intrínseca de um agente químico de afetar um organismo de forma adversa. Perigo toxicológico é o potencial da toxicidade (de um determinado agente) se realizar em um determinado cenário ou situação.

Segundo Souza *et al.*, 1998, nas pesquisas toxicológicas, um importante indicador é a *relação dose-efeito*, que é caracterizada como a relação entre a dose e o efeito observado de forma individual. Um aumento na dose poderá aumentar a intensidade do efeito, ou o aparecimento de outro efeito mais grave. Já a *relação dose-resposta* é caracterizada como a relação entre a dose e a percentagem de indivíduos que apresentam um determinado efeito. Normalmente, com o aumento da dose, uma

percentagem maior da população exposta será afetada, e apresentará o efeito sob observação. Tais relações são muito importantes para a toxicologia, pois nas pesquisas epidemiológicas, são utilizadas para caracterizar o nexo causal entre o agente e a doença.

Um conceito central no tema é o de *dose*, normalmente expresso como a quantidade de xenobiótico que entra no organismo. Pode ser avaliada de várias formas, tais como: mg/Kg de peso corporal, *dose de exposição*, que é concentração de poluentes no ar inalado durante um determinado período de tempo; *dose absorvida* que é a quantidade do agente encontrada no corpo em um determinado momento durante ou após a exposição. A *dose tecidual*, por sua vez, é a quantidade de uma substância em um tecido específico (Silbergeld, 1998).

Uma importante avaliação a ser considerada é em relação ao tempo de contato com a substância, que pode ser agudo ou crônico. Segundo Torloni e Vieira, 2003 a exposição aguda refere-se a uma única exposição ou a múltiplas exposições em um período de 24 horas ou menos, a altas concentrações, e as manifestações se desenvolvem rapidamente. A exposição crônica refere-se a exposições repetidas ou contínuas durante longo período de tempo podendo variar de meses ou até toda a via profissional do trabalhador. Na exposição crônica tem-se geralmente a acumulação da substância tóxica, com os efeitos se manifestando posteriormente, ou, ainda, com efeitos aditivos como consequência de exposições sucessivas.

Após a exposição, ou seja, o transpasse de um dado agente através da pele, membranamucosa, ou dos alvéolos pulmonares do organismo, pode ocorrer sua absorção, situação em que este alcança o fluxo sanguíneo e, desta forma, é transportado a todo o organismo. Aspecto igualmente importante é o ponto de ação de um agente toxicológico no organismo, a qual pode ser *local*, quando a ação ocorre no ponto ou área de contato, que pode ser a pele, membranas mucosas, membranas dos olhos, nariz, boca, traqueia, ou qualquer parte ao longo do sistema respiratório ou gastrintestinal, ou sistêmico, situação em que o ponto de ação difere do ponto de contato, o que indica a absorção do agente pelo organismo (Silbergeld, 1998).

Conforme descritos nos capítulos anteriores são considerados os compostos químicos de interesse no presente estudo o tetracloroeteno e os seus produtos de degradação o tricloroeteno, o cis e trans 1,2-dicloroeteno e o cloreto de vinila. Nos capítulos abaixo serão descritas informações toxicológicas desses compostos no que dizem respeito às principais vias de exposição, os efeitos adversos à saúde humana e a carcinogenicidade.

### 2.3.1.1 Tetracloroeteno (PCE)

O PCE é um solvente frequentemente utilizado na indústria no processo de desengraxe de peças metálicas, entre outras atividades (Gold *et al.*, 2008). As principais potenciais rotas de exposição humana para o PCE estão relacionadas a inalação e a ingestão de água ou alimentos contaminados. A exposição dérmica também pode ocorrer, mas não é importante para a maior parte da população (ATSDR, 1997). Segundo a US EPA, por ser um líquido volátil a temperaturas ambiente a maior parte da exposição está relacionada à inalação, sendo a inalação em ambientes fechados mais significativa que em ambientes abertos (US EPA, 1991).

O PCE é absorvido pela pele e pulmões, sendo irritante de mucosas e pele e apresenta ação nefrotóxica, hepatotóxica e depressora do sistema nervoso central (US EPA, 2009b). Em caso de intoxicação crônica podem aparecer conjuntivites, náuseas, vertigens, cefaléia, confusão mental, anorexia, entre outros e os sintomas se correlacionam com o tempo de exposição ao solvente (Oga, 2003).

Segundo a **Tabela 4** o PCE é considerado um composto com potencial de ser carcinogênico a humanos pela IARC, ACGIH, NPT, NIOSH e US EPA, sendo verificada a presença de câncer em animais testados, mas não sendo confirmado como um composto que gere câncer em seres humanos.

### 2.3.1.2 Tricloroeteno (TCE)

É um líquido incolor utilizado como solvente e em desengraxe, importante na indústria metalúrgica, calcula-se que 90% da sua produção sejam consumidas nas operações industriais de desengraxe (Larini, 1997).

A principal via de absorção é a respiratória e secundariamente a via cutânea.

Produz depressão do sistema nervoso central. Sendo que existem evidências que a ingestão de álcool após a exposição possa potencializar os efeitos tóxicos do TCE (Santos Júnior *et al.*, 2003).

Nos EUA, avaliando-se a condição de saúde de populações expostas a TCE através da contaminação da água, verificou-se elevada incidência de perda auditiva no grupo entre 0 e 9 anos de idade (ATSDR, 1993). Na Polônia, cinquenta trabalhadores expostos a tricloroetileno, por períodos que variavam de 1 a 23 anos, foram avaliados através de exames audiométricos, sendo que a maioria dos trabalhadores avaliados apresentou perda auditiva (Szulc- Kuberska *et al.*, 1976).

Segundo a **Tabela 4** o TCE é considerado um composto com potencial de ser carcinogênico a humanos pela IARC, ACGIH, NPT e NIOSH, sendo verificada a presença de câncer em animais testados, mas não sendo confirmado como um composto que gere câncer em seres humanos. A US EPA não possui classificação para o TCE.

### 2.3.1.3 cis e trans-1,2-Dicloroeteno (DCE)

Existem dois isómeros de 1,2-DCE, o isómero cis- e o isómero trans-. Historicamente o DCE é utilizado como um solvente para ceras, resinas e de acetilcelulose, na extração de borracha, e como um líquido de arrefecimento em plantas de refrigeração (NLM, 2006). O trans-1,2-DCE é utilizado como desengraxante e como um componente de produtos formulados utilizados para limpeza de precisão de componentes electrónicos (ATSDR 2006). Os DCE podem também ser encontrados em águas subterrâneas devido à degradação anaeróbica do PCE e TCE (ATSDR, 1996).

Os estudos de toxicidade realizados com cis-ou trans-1,2-DCE indicam que ambos os compostos exibem baixa toxicidade. Embora a maior parte da literatura sugere que o fígado e os rins são os órgãos mais afectadas pela exposição a 1,2 DCE em doses elevadas (NTP, 2002a).

Segundo a **Tabela 4** a IARC, ACGIH, NPT, NIOSH e US EPA não apresentam classificação para os DCE.

#### 2.3.1.4 Cloreto de Vinila (CV)

Cloreto de vinila é um composto de olefinas halogenadas, muito inflamável, que existe em temperatura ambiente como um gás incolor com um odor etéreo (IARC 1979).

A população em geral é potencialmente exposta ao cloreto de vinila através da inalação de ar contaminado, a ingestão de alimentos e de água contaminada, ou contato da pele com produtos de consumo (ATSDR 2006).

No entanto, os níveis de exposição para a maioria da população são muito baixos (ATSDR, 2006). Porém, esse composto foi encontrado em vários alimentos e bebidas que foram embalados em materiais feitos de PVC, sendo também identificado em cigarros e pequenos charutos (ATSDR 2006).

O cloreto de vinila é libertado para o ambiente em emissões e efluentes da indústria de plásticos (ATSDR 2006), sendo também produto de degadação, no meio ambiente, de outras substâncias produzidas pelo homem, tais como tricloroetileno, tricloroetano e tetracloroetileno. (Smith e Dragun 1984).

Segundo a **Tabela 4** o CV é considerado um composto carcinogênico a humanos pela IARC, ACGIH, NPT, NIOSH e US EPA, tendo como base estudos epidemiológicos. A análise do efeito carcinogênico inclui a determinação do peso da evidência de ocorrência de câncer, a qual pode ser determinada em estudos em animais e humanos (US EPA 1989).

Tabela 4 – Compostos químicos de interesse e sua classificação segundo o potencial de carcinogenicidade para seres humanos

Composto	IARC	ACGIH	NPT	NIOSH	US EPA
PCE	2A - Provavelmente carcinogênico em Humanos	A3 - Carcinogênico animal confirmado com relevância desconhecida para seres humanos	Provavelmente carcinogênico em Humanos	Potencial carcinogênico ocupacional	C-B2 Possibilidade de causar câncer humano
TCE	2A - Provavelmente carcinogênico em Humanos	A2 - Carcinogênico humano suspeito	Provavelmente carcinogênico em Humanos	Potencial carcinogênico ocupacional	-
DCE	-	-	-	-	-
CV	1 - Carcinogênico humano	A1 - Carcinogênico humano	Conhecidamente carcinogênico humano	Potencial carcinogênico ocupacional	A - Carcinogênico humano

Legenda: IARC – International Agency for Research on Cancer; ACGIH – American Conference of Industrial Hygienist; NPT – National Toxicity Program; NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health; US EPA - U.S. Environmental Protection Agency.

### 3.3.2 Limites de exposição ocupacional

Segundo Paustenba (1998), a maior parte dos limites de exposição estabelecida se refere a concentrações de substâncias aerotransportadas e representam condições nas quais se acredita que quase todos os trabalhadores podem ser repetidamente expostos, dia após dia, sem efeitos adversos na sua saúde.

Os limites de exposição são estabelecidos a partir de informações confiáveis, obtidas em estudos experimentais com animais, experiências em humanos voluntários, em estudos epidemiológicos com trabalhadores, e em estudos clínicos de casos ocorridos de doenças ou intoxicação (Torloni e Vieira, 2003).

Segundo Torloni e Vieira, 2003, os limites possuem limitações que estão vinculadas a dificuldades tais como:

- Os limites são estabelecidos para ação de uma única substância no organismo de forma que na presença de outras substâncias devem ser consideradas as interações entre as substâncias presentes;
- Em misturas complexas nem todas as substâncias são analisadas com precisão, sendo que algumas não são nem analisadas;

- O trabalhador não está exposto à mesma concentração durante toda a sua jornada de trabalhos, sendo necessárias amostragens individuais;
- Os limites são definidos considerando principalmente a penetração via inalação, porém no ambiente de trabalho o trabalhador pode estar exposto a outras vias;
- Os limites são estabelecidos para uma jornada de trabalho específica com um também específico intervalo de não exposição, sendo que alterações da jornada de trabalho impedem a aplicação direta dos limites;
- O trabalhador está exposto a outras substâncias presentes nos alimentos, na água e nos medicamentos podendo ocorrer interações;
- Quando não se tem limites nacionais para uma determinada substância são utilizados limites de outros países que possuem diferentes métodos de determinação dos limites.

Nesse capítulo serão apresentados os limites de tolerância estabelecidos na legislação brasileira (NR 15) e os estabelecidos pela ACGIH.

Todas as informações referentes à NR 15 apresentada abaixo foram obtidas no livro Saúde e Segurança do Trabalho, obra coletiva da Editora Saraiva com a colaboração de Antônio Luiz de Toledo Pinto, Maria Cristina Vaz dos Santos Windt e Lívia Césper, quinta edição, publicada em 2010 (Editora Saraiva *et al.*, 2010).

### 2.3.2.1 Limites de exposição ocupacional da NR-15 – Atividades e Operações Insalubres

No Brasil a Norma Regulamentadora de número 15 (NR 15) aprovada pela Portaria n 3.214, de 8 de junho de 1978, normatiza as atividades e operações insalubres. Nessa referida NR são estabelecidos em seu Anexo 11 no Quadro 1 os Limites de Tolerância (LT) para produtos químicos, sendo que atividades ou operações realizadas em ambientes com concentrações superiores às LT são consideradas insalubres.

Segundo a NR 15, os limites de tolerância são definidos como a concentração ou intensidade máxima, ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará dano à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral. Os LT são válidos apenas para absorção por via respiratória e para jornadas de trabalho de 48 horas semanais.

A NR 15 também estabelece que no Quadro 1 devem ser observadas as seguintes indicações para os compostos consultados:

- Asfixiante Simples: quando o Quadro 1 indicar que uma determinada substância é asfixiante simples, os ambiente de trabalho, em presença desta substância, deve ter concentração mínima de oxigênio de 18% em volume. As situações nas quais a concentração de oxigênio estiver abaixo deste valor serão consideradas de risco grave e iminente.
- Valor Teto: no Quadro 1 existe uma coluna que quando assinalada indica que LT do composto não podem ser ultrapassados em momento algum da jornada de trabalho.
- Absorção Também pela Pele: quando um composto apresentar essa indicação no Quadro 1 é indicativo que o mesmos podem ser absorvidos por via cutânea exigindo a utilização de luvas adequadas, além de equipamento de proteção individual (EPI) necessário à proteção de demais partes do corpo.

Na NR 15 é estabelecida que a avaliação das concentrações dos agentes químicos deve ser realizada por meio de métodos de amostragem instantâneos, de leitura direta ou não, sendo necessária a realização de pelo menos 10 amostragens com intervalos de mínimos de 20 minutos, para cada ponto avaliado ao nível respiratório do trabalhador.

Cada uma das concentrações obtidas nas referidas amostragens não deverá ultrapassar os valores obtidos na **Equação 1**, sob pena de ser considerada situação de risco grave e iminente.

$$\text{Valor M\'aximo} = \text{LT} \times \text{FD}$$

$$(\text{Equa}\text{\c{c}}\text{\~ao } 1)$$

Onde:

LT = Limite de Tolerância

FD = fator de desvio, segundo definido no Quadro 2 do Anexo 11 da NR 15.

Pela NR 15 o LT é considerado excedido quando a média aritmética das concentrações obtidas nas amostragens ultrapassar o valor indicado para a substância no Quadro 1 do Anexo 11 da referida NR.

Na **Tabela 5** pode ser observado o conteúdo do Quadro 1 do Anexo 11 da NR 15 para os compostos químicos de interesse do presente estudo. Na **Tabela 6** contam o fator de desvio do Quadro 2 do Anexo 11 da NR 15.

**Tabela 5 – Compilação dos limites de tolerância do Quadro 1 do Anexo 11 da NR 15 para os compostos químicos de interesse do presente estudo.**

Até 48 horas/semana					
Agentes Químicos	Valor teto	Absorção também pela pele	ppm*	mg/m <sup>3</sup> **	Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
PCE			78	525	Médio
TCE			78	420	Máximo
1,2-DCE			155	615	Médio
CV	+		156	398	Máximo

Legenda: \* ppm – partes de vapor ou gás por milhão de partes de ar contaminado; \*\* mg/m<sup>3</sup> – miligramas por metro cúbico de ar.

**Tabela 6 – Fator de desvio compilados do Quadro 2 do Anexo 11 da NR 15.**

LT	FD
ppm ou mg/m <sup>3</sup>	
0 a 1	3
1 a 10	2
10 a 100	1,5
100 a 1000	1,25
Acima de 1000	1,1

### 2.3.2.2 Limites de exposição ocupacional da ACGIH

Os valores adotados pela Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais (ACGIH), os TLVs® (Threshold Limit Values - Valor do Limite de Tolerância) são definidos após pesquisas que incluem experiências industriais e avaliações clínicas que envolvem humanos e animais, sendo uma marca registrada daquela entidade.

Os TLV's referem-se às concentrações das substâncias químicas dispersas no ar e representam condições às quais, acredita-se, que a maioria dos trabalhadores possa estar exposta, repetidamente, dia após dia, durante toda a vida de trabalho, sem sofrer efeitos adversos à saúde.

A ACGIH, 2009 e Moraes, 2005 indicam os TLV's, assim como os demais limites de tolerância, não são uma linha divisória entre condições seguras (ambiente de trabalho saudável) e perigosas (ambiente de trabalho não saudável) ou um ponto a partir do ocorrerá um dano à saúde do trabalhador. Algumas pessoas podem apresentar desconforto, ou até mesmos efeitos adversos mais graves quando expostos a substâncias químicas com concentrações iguais ou inferiores aos limites de exposição. O aumento da suscetibilidade a uma substância química pode estar relacionadas ao trabalhador, tais como: idade, sexo, características étnicas, fatores genéticos, estilo de vida, medicamentos, condições médicas pré-existentes e intensidade do trabalho, assim como podem também estar relacionadas às condições externas (do ambiente), tais como: umidade e temperatura. A ACGIH alerta que outros fatores não listados também podem alterar a resposta biológica a exposição às substâncias químicas. Desta forma os TLV's e demais limites de tolerância devem ser utilizados como um balizador.

Existem três categorias de limites de exposição (ACGIH, 2009):

- a) Limite de Exposição – Média Ponderada pelo Tempo (TLV-TWA) – é a concentração média ponderada pelo tempo para uma jornada normal de 8 horas diárias e 40 horas semanais, para a qual a maioria dos trabalhadores pode estar repetidamente exposta, dia após dia, sem sofrer efeitos adversos à saúde;

b) Limite de Exposição – Exposição de Curta Duração (TLV-STEL) – é a concentração a que os trabalhadores podem estar expostos continuamente por um período curto sem sofrer irritação, lesão crônica / irreversível de tecido ou narcose em grau suficiente para aumentar a predisposição a acidentes. O STEL é um limite suplementar ao limite de exposição – média ponderada (TLVTWA), nos casos em que são reconhecidos efeitos tóxicos agudos para substâncias cujos efeitos tóxicos são de natureza crônica. Um TLV-STEL é definido como uma exposição média ponderada pelo tempo durante 15 minutos que não pode ser excedida em nenhum momento da jornada de trabalho, mesmo que a concentração média ponderada para 8 horas esteja dentro do TLV-TWA.

c) Limite de Exposição – Valor Teto (TLV-C) – é a concentração que não pode ser excedida durante nenhum momento da exposição do trabalhador.

Na **Tabela 7** foram compilados os limites de exposição da ACGIH, 2009 para os compostos químicos de interesse do presente estudo.

Tabela 7 – Compilação dos limites de tolerância da ACGIH, 2009 para os compostos químicos de interesse do presente estudo.

<b>Substância</b>	<b>TWA (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>STEL (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Notações</b>	<b>Peso Mol.</b>	<b>Base do TLV</b>
PCE	168,71	674,85	A3	165,80	Comprometimento do sistema nervoso central
TCE	53,58	133,95	A2	131,40	Comprometimento do sistema nervoso central, decaimento cognitivo e toxicidade renal.
DCE	785,28	-	-	96,95	Comprometimento do sistema nervoso central, irritação dos olhos.
CV	2,57	-	A1	62,50	Câncer de pulmão dano ao fígado.

Os valores TLV –TWA constantes na tabela da CGIH, 2009 são referentes ás condições de 8 horas diárias e 40 horas semanais de trabalho. Para jornadas de trabalhos diferentes é recomendada a conversão pelo método Brief Scale conforme as **Equações 2 e 3**.

$$FC_{diário} = \frac{Hpd}{Hd} \times \frac{24 - Hd}{24 - Hpd} \quad (\text{Equação 2})$$

$$FC_{semanal} = \frac{Hps}{Hs} \times \frac{168 - Hs}{168 - Hps} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

$FC$  = fator de correção diário ou semanal;

$Hpd$  = duração da jornada de trabalho diário padrão, em horas para o qual foi estabelecido o limite de tolerância;

$Hd$  = duração da jornada de trabalho diária real, em horas;

$Hps$  = duração da jornada de trabalho semanal padrão, em horas para o qual foi estabelecido o limite de tolerância;

$Hs$  = duração da jornada de trabalho semanal real, em horas.

## 2.4 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA

O risco, no sentido estrito da palavra, é definido na língua portuguesa como: “perigo ou possibilidade de perigo” (AURÉLIO, 1995).

A avaliação do risco é abordada por alguns autores como um processo sistemático, composto de várias etapas, nas quais são analisados os dados pertinentes a cada uma delas, e ela é indicada para caracterizar a natureza e a magnitude dos efeitos potenciais dos agentes sobre a saúde e/ou o meio ambiente, sob várias condições de exposição (RODRICKS, 1997).

A IUPAC (1993) define a avaliação do risco como a identificação e a quantificação do risco resultante do uso ou do contato com um agente químico ou físico, levando em consideração os possíveis efeitos adversos em pessoas individuais ou

comunidades que utilizam este agente nas quantidades e da forma proposta em todas as possíveis vias de exposição. A quantificação ideal requer o estabelecimento da relação dose-efeito e dose-resposta em prováveis alvos individuais e populacionais.

São vários os órgãos que utilizam o processo da avaliação do risco, delineando-o de acordo com a finalidade de sua execução, por exemplo, abordando a saúde pública, o meio ambiente, a saúde ocupacional, entre outros. Esses órgãos nacionais e/ou internacionais visam de alguma forma à regulamentação das substâncias químicas (WHO, 1999).

Nos capítulos abaixo será descrita a metodologia de avaliação de risco toxicológica a saúde humana para receptores indústria frente à alteração da qualidade da água subterrânea pode PCE e seus produtos de degradação.

#### **2.4.1 Fundamentos básicos da análise de risco toxicológica à saúde humana**

Nesse capítulo são descritos os fundamentos básicos da análise de risco toxicológico à saúde humana, desta forma foi utilizado como base os documentos Risk Assessment Guidance for Superfund Human Health Evaluation, Manual da US EPA publicado em 1989 e o capítulo de Análise de Risco publicado pela CETESB publicado em 2001 no seu Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. A publicação da US EPA serviu de base para a publicação da CETESB e tem sido utilizada como metodologia básica para avaliação de risco à saúde humana em todo o mundo. Desta forma, toda a metodologia de avaliação de risco descrita nesse trabalho foi realizada conforme preconizado nos dois documentos citados acima.

A avaliação de risco é uma ferramenta cuja principal finalidade é identificar e quantificar os riscos a saúde humana, decorrentes de uma área contaminada, uma vez que a saúde humana e a segurança da população devem ser priorizadas, dentre os bens a proteger expostos (CETESB, 2001).

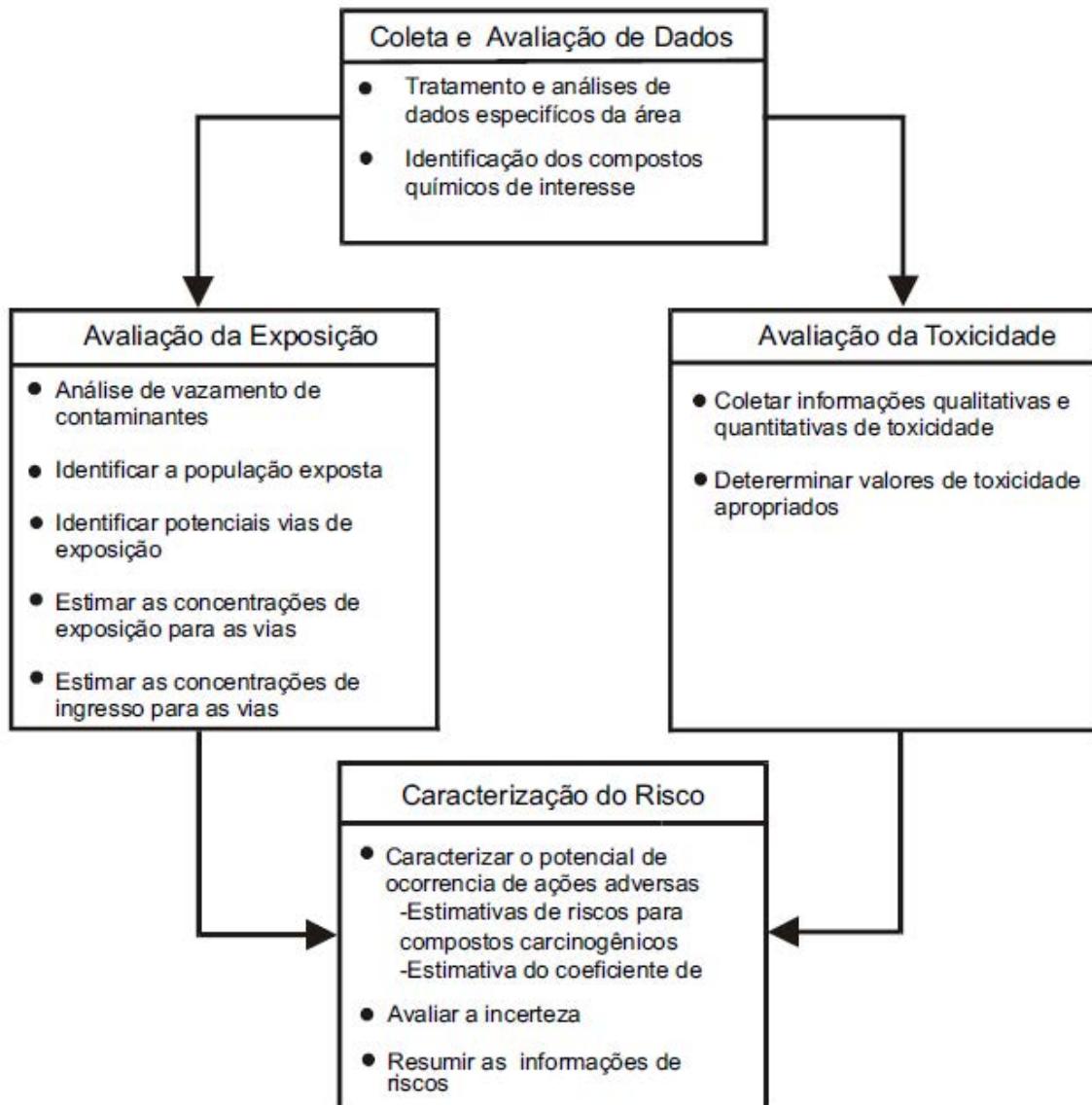
Uma vez identificado o risco, a avaliação de risco permite auxiliar na elaboração de ações e na definição de metas de remediação para a mitigação dos riscos identificados (CETESB, 2001).

A avaliação de risco é baseada em princípios de toxicidade humana e no conhecimento das propriedades físico-químicas e do contaminante e de seu comportamento no subsolo.

Segundo a US EPA (1989), o processo que envolve a execução de uma avaliação de risco, pode em linhas gerais, ser divido nas 4 etapas seguintes:

- Coleta e avaliação de dados,
- Avaliação da toxicidade,
- Avaliação da exposição,
- Caracterização e quantificação do risco.

A **Figura 15** mostra o fluxograma das interações entre as diferentes etapas da avaliação de risco.



**Figura 15 – Interação entre as etapas da avaliação de risco**

Fonte: (US EPA, 1989)

#### 2.4.1.1 Coleta e avaliação de dados

Essa etapa envolve a obtenção e análise dos dados da área em estudo que são relevantes para a avaliação da saúde humana, além de identificar as substâncias presentes no local que serão foco no processo de avaliação de risco (US EPA, 1989).

Segundo CETESB (2001) os tipos de dados a serem obtidos na etapa de coleta de dados necessários para o desenvolvimento de um trabalho de avaliação de risco à saúde humana em áreas contaminadas são:

- Comportamento dos contaminantes no meio físico;
- Pefil físico-químico dos contaminantes;
- Concentrações dos contaminantes nas fontes de contaminação e nos meios de interesse;
- Caracterização das fontes como dimensão, distribuição espacial e informações relacionadas ao evento que gerou a contaminação;
- Características sobre o meio físico que podem afetar o transporte, atenuação natural e persistência dos contaminantes.

A base inicial de dados para a execução da avaliação de risco é constituída pelas informações coletadas nos estudos de investigação ambiental, acrescidas de outras informações sobre e toxicidade dos contaminantes envolvidos, os cenários de uso e ocupação do solo e as variáveis de exposição configuradas na área em estudo (CETESB, 2001).

Após a coleta dos dados os mesmos são analisados, interpretados e organizados visando confirmar as suposições e considerações estabelecidas no modelo conceitual da área em estudo que é definido ao longo dos estudos de investigação ambiental.

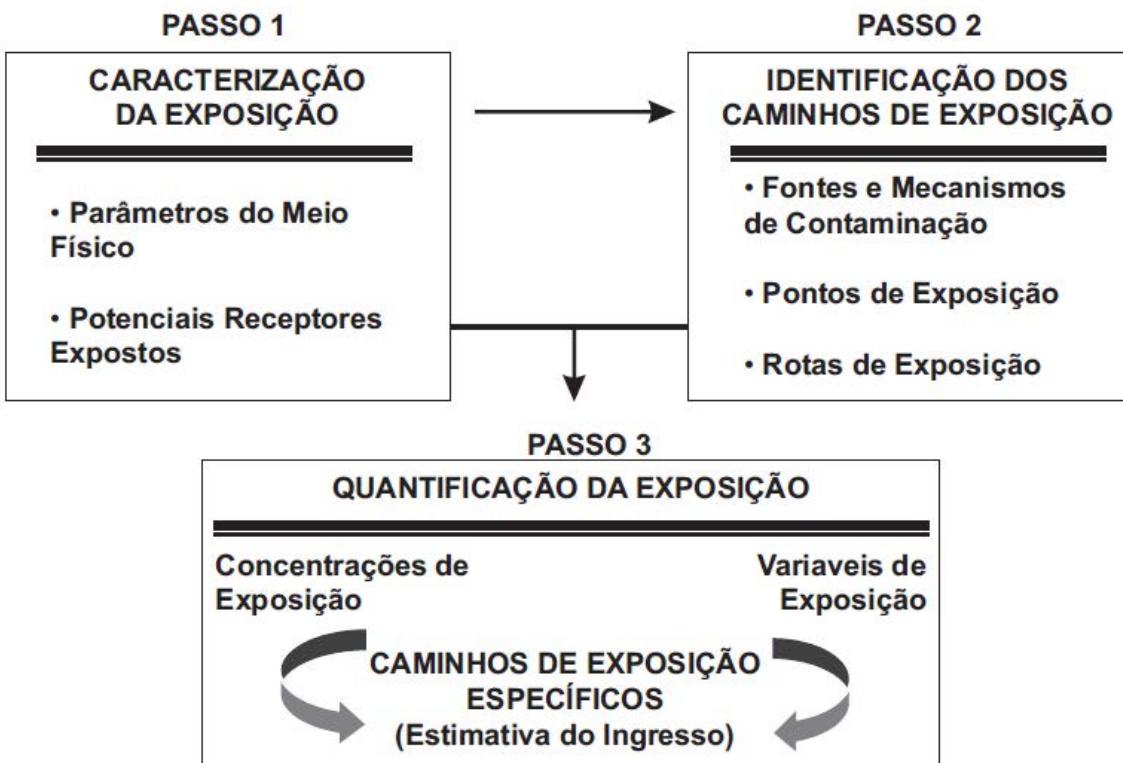
#### 2.4.1.2 Avaliação da exposição

A avaliação da exposição é uma estimativa da intensidade, frequência, duração e caminhos da exposição humana, atual ou futura, a determinado composto químico. Esta estimativa é fundamentada nos dados de monitoramento ambiental e resultados da previsão da movimentação e atenuação dos contaminantes por meio de modelagem matemática (US EPA, 1989).

Segundo a CETESB (2001) a etapa de avaliação de exposição pode ser divida nos seguintes passos:

- Caracterização da exposição envolvendo a análise de dados sobre o meio físico e das populações potencialmente expostas dentro e fora da área de interesse, visando definir em detalhes as características associadas ao processo de exposição toxicológica;
- Identificação dos caminhos de exposição onde são definidos todos os caminhos pelos quais cada população identificada no item anterior pode ser exposta. Um caminho de exposição deve descrever o curso de um composto químico ou contaminante partindo da fonte até chegar ao ponto de exposição para uma determinada via de ingresso;
- Quantificação da exposição onde são quantificadas a magnitude, frequência e a duração da exposição para cada caminho de exposição identificado na etapa anterior. O primeiro estágio da quantificação da exposição é estimar as concentrações de exposição e depois o cálculo do ingresso.

Na **Figura 16** podem ser observados os passos da avaliação de exposição.



**Figura 16 – Passos da avaliação de exposição**

Fonte: (CETESB, 2001)

A avaliação das informações obtidas nas etapas descritas acima permite a elaboração dos cenários de exposição, onde são identificadas as várias possibilidades para que um contaminante, a partir da origem da contaminação, atinja as populações potencialmente receptoras.

O resultado da avaliação da exposição são os valores de ingresso dos compostos indicadores para cada caminho de exposição específico. A dose de ingresso é a fração do composto de interesse que é administrada ao corpo por meio da inalação, ingestão ou contato com a pele, e é obtida pela **Equação 4**:

$$I = C \times \frac{IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

$I$  (mg/kg-dia) = ingresso ou quantidade de contaminante que ingressa no organismo humano por um caminho de exposição;

$C$  (mg/L ou mg/kg) = concentração do composto químico no meio de interesse;

$IR$  (L/dia ou kg/dia) = taxa de contato para a via de exposição com o meio de interesse;

$EF$  (dia/ano) = frequência da exposição;

$ED$  (ano) = duração da exposição;

$BW$  (kg) = massa corpórea;

$AT$  (dias) = período da exposição.

Muitos dos parâmetros apontados na equação são medidos ou obtidos em campo, enquanto outros são obtidos em literaturas específicas. Porém, sempre que possível devem ser utilizado dados medidos em campo, ou seja, dados reais. Os principais dados coletados em campo são as variáveis da população exposta e o tempo de permanência na área de risco.

Um receptor humano pode ser exposto a um composto químico de interesse presente na água, no solo e no ar. Abaixo foram compiladas as equações utilizadas para o ingresso de contaminantes nesses diferentes meios.

Por meio da utilização das equações compiladas abaixo são calculadas doses de ingressos individuais para cada via de ingresso, porém um receptor pode estar exposto a um composto químico de interesse por várias vias de ingresso. Para uma estimativa razoável da exposição, para várias vias, são combinadas as doses de ingresso considerando típicas exposições que potencialmente podem ocorrer associadas, segundo o modelo conceitual estabelecido para a área de interesse nos estudos de investigação ambiental.

Porém, vale salientar que o risco associado à exposição por múltiplos ingressos é quantificado na etapa de quantificação de risco, sendo nessa etapa apenas agrupadas as doses de ingressos que estão associadas devido ao estabelecido no modelo conceitual.

Um receptor humano pode ser exposto a um composto químico de interesse presente na água subterrânea e na água superficial pelas seguintes vias de ingresso:

- Ingestão de água subterrânea ou água superficial para consumo obtida a partir da **Equação 5**;
- Ingestão de água superficial durante a natação/recreação obtida a partir da **Equação 6**;
- Contato dérmico com a água subterrânea ou água superficial obtido a partir da **Equação 7**.

Para os casos de exposição por ingestão e contato dérmico, considerando como meio contaminado a água subterrânea, são considerados cenários de exposição direta, ou seja, o receptor está em contato com o meio contaminado.

O  $C_w$  é a concentração do composto químico na água subterrânea do ponto de exposição, a qual pode ser obtida por análise química de amostras ou modelada por meio de modelos matemáticos de transporte de contaminantes no meio físico.

$$I = C_w \times \frac{IR \times EF \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

$I$  (mg/kg-dia) = ingresso pela ingestão de água contaminada;

$C_w$  (mg/L) = concentração do composto químico na água;

$IR$  (L/dia) = taxa de ingestão de água;

$EF$  (dia/ano) = frequência da exposição;

$ED$  (ano) = duração da exposição;

$BW$  (kg) = massa corpórea;

$AT$  (dias) = período da exposição.

$$I = C_w \times \frac{CR \times ET \times EF \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

$I$  (mg/kg-dia) = ingresso pela ingestão de água contaminada;

$C_w$  (mg/L) = concentração do composto químico na água;

$CR$  (L/hora) = taxa de contato;

$ET$  (horas/dia) = tempo de exposição;

$IR$  (L/dia) = taxa de ingestão de água;

$EF$  (dia/ano) = frequência da exposição;

$ED$  (ano) = duração da exposição;

$BW$  (kg) = massa corpórea;

$AT$  (dias) = período da exposição.

$$I = C_w \times \frac{SA \times PC \times ET \times EF \times ED \times CF}{BW} \times \frac{1}{AT} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

$I$  (mg/kg-dia) = ingresso por contato dérmico com água contaminada;

$C_w$  (mg/L) = concentração do composto químico na água;

$SA$  ( $\text{cm}^2$ ) = superfície de pele disponível para contato;

$PC$  (cm/hora) = constante de permeabilidade dérmica;

$ET$  (horas/dia) = tempo de exposição;

$EF$  (dia/ano) = frequência da exposição;

$ED$  (ano) = duração da exposição;

$CF$  (1L/1000  $\text{cm}^3$ ) = fator de conversão;

$BW$  (kg) = massa corpórea;

$AT$  (dias) = período da exposição.

Um receptor humano pode ser exposto a um composto químico de interesse presente no solo pelas seguintes vias de ingresso:

- Ingestão obtida a partir da **Equação 8**;
- Contato dérmico obtido a partir da **Equação 9**.

Assim como na água subterrânea, para os casos de exposição por ingestão e contato dérmico, considerando como meio contaminado o solo, são considerados cenários de exposição direta, ou seja, o receptor está em contato com o meio contaminado.

O  $C_s$  é a concentração do composto químico no solo do ponto de exposição, a qual pode ser obtida por análise química de amostras desse meio.

No caso de cálculo da dose de ingresso para o contato dérmico com solo estará será uma estimativa da dose absorvida por esta via de exposição e não do montante do composto químico que está em contato com a pele.

$$I = C_s \times \frac{IR \times FI \times EF \times ED \times CF}{BW} \times \frac{1}{AT} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

$I$  (mg/kg-dia) = ingresso por ingestão de solo contaminado;

$C_s$  (mg/kg) = concentração do composto químico no solo;

$IR$  (L/dia) = taxa de ingestão de solo;

$EF$  (dia/ano) = frequência da exposição;

$ED$  (ano) = duração da exposição;

$FI$  (-) = fração ingerida da fonte;

$CF$  ( $10^{-6}$  kg/mg) = fator de conversão;

$BW$  (kg) = massa corpórea;

$AT$  (dias) = período da exposição.

$$I = C_s \times \frac{SA \times AF \times ABS \times EF \times ED \times CF}{BW} \times \frac{1}{AT} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

$I$  (mg/kg-dia) = ingresso por contato dérmico com solo contaminado;

$C_s$  (mg/kg) = concentração do composto químico no solo;

$SA$  ( $\text{cm}^2$ ) = superfície da pele disponível para contato;

$AF$  ( $\text{mg}/\text{cm}^3$ ) = fator de aderência do solo na pele;

$ABS$  (-) = fator de absorção;

$EF$  (dia/ano) = frequência da exposição;

$ED$  (ano) = duração da exposição;

$CF$  ( $10^{-6}$  kg/mg) = fator de conversão;

$BW$  (kg) = massa corpórea;

$AT$  (dias) = período da exposição.

Um receptor humano pode ser exposto a um composto químico de interesse presente no ar pelas seguintes vias de ingresso:

- Inalação de vapores provenientes do solo e/ou da água subterrânea, obtida a partir da **Equação 10**;
- Inalação de partículas do solo superficial obtida a partir da **Equação 11**.

O ingresso via absorção dérmica de compostos químicos da fase vapor é considerada muito menor que o ingresso por inalação e, desta forma, essa via normalmente não é computada.

No caso da exposição por inalação de vapores são considerados cenários de exposição indireta, ou seja, o receptor não está em contato direto com o meio contaminado. Neste contexto são utilizados modelos que calculam a concentração de contaminante no ar a partir da concentração do contaminante no solo e na água subterrânea.

No caso da exposição via inalação de partículas é considerada como meio contaminado o solo superficial.

$$I = C_A \times \frac{IR \times ET \times EF \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

$I$  (mg/kg-dia) = ingresso da inalação de vapores presentes no ar;

$C_A$  (mg/m<sup>3</sup>) = concentração do composto químico no ar;

$IR$  (L/dia) = taxa de inalação do ar;

$EF$  (dia/ano) = frequência da exposição;

$ED$  (ano) = duração da exposição;

$ET$  (horas/dia) = tempo de exposição;

$BW$  (kg) = massa corpórea;

$AT$  (dias) = período da exposição.

$$I = C_s \times \frac{IP \times FR \times FA \times ET \times ER \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

$I$  (mg/kg-dia) = ingresso a partir da inalação de partículas presentes no ar;

$C_s$  (mg/kg) = concentração do composto químico no solo;

$IP$  (cm<sup>2</sup>) = superfície da pele disponível para contato;

$FR$  (-) = fator de retenção de partículas no pulmão;

$FA$  (-) = fator de absorção relativa;

$ET$  (dias/ano) = frequência de exposição;

$EF$  (dia/ano) = frequência da exposição;

$ED$  (ano) = duração da exposição;

$BW$  (kg) = massa corpórea;

$AT$  (dias) = período da exposição.

#### 2.4.1.3 Avaliação da toxicidade

A análise da toxicidade define a toxicidade específica para cada composto químico indicado, considerando-se os efeitos adversos à saúde associados à exposição ao composto. Para tanto, é necessário avaliar a relação entre a magnitude da exposição, o tipo de efeito adverso e a possibilidade de um composto gerar câncer no indivíduo ao longo da exposição.

Nesta etapa, os bancos de dados toxicológicos servem como fonte de informações sobre a toxicologia e os efeitos adversos à saúde dos compostos indicadores.

A análise da toxicidade pode ser dividida em duas atividades principais:

- Identificação dos efeitos adversos: determinação do tipo e magnitude do efeito adverso à saúde que é causado pela exposição a um agente tóxico específico;
- Determinação da dose-resposta: processo de avaliação quantitativa da toxicidade, relacionando-se a dose do contaminante que foi administrada com a incidência de efeitos adversos à saúde em uma dada população exposta.

A determinação da dose-resposta varia para compostos carcinogênicos e não carcinogênicos. Essa variação se da pelo fato de existir, para os compostos não carcinogênicos, uma dose a partir da qual se obtém um efeito adverso a saúde humana, enquanto para os compostos carcinogênicos não há um nível de exposição isento de risco.

Segundo CETESB (2001) a dose referência (RfD) é um parâmetro toxicológico utilizado para avaliar efeitos não carcinogênicos resultantes de um evento de exposição. A RfD crônicas são desenvolvidas especialmente para a avaliação de exposições de longa duração, variando de sete anos ao tempo de vida máximo, sendo essas as mais utilizadas nos estudos de avaliação de risco.

A RfD são determinadas para as vias de ingresso a serem avaliadas no estudo de avaliação de risco, conforme descrito a seguir:

- Dose referência para inalação (RfDi), determinada visando a caracterização de efeitos adversos a saúde segundo um evento de exposição onde a via de ingresso avaliada é a inalação;
- Dose referência para ingestão (RfDo), determinada visando a caracterização de efeitos adversos a saúde segundo um evento de exposição onde a via de ingresso avaliada é a ingestão;
- Dose referência para contato dérmico (RfDd), determinada visando a caracterização de efeitos adversos a saúde segundo um evento de exposição onde a via de ingresso avaliada é a contato dérmico.

A RfD é determinada a partir dos seguintes passos:

- Realização de estudo de doses críticas;
- Determinação dos efeitos tóxicos associados às doses selecionadas;
- Identificação de níveis de exposição experimentais que representem a mais alta concentração para não ocorrências de efeitos adversos, ou seja, a dose de referência.

A partir do estudo de dose crítica é determinado o Menor Nível Efeito Adverso Observado (MNEO). O MNEO é o primeiro ponto da curva de dose-resposta no qual é observado algum efeito adverso à saúde. A partir no MNEO é determinado o Maior Nível Efeito não Observado (MNEN).

A DfR é determinada a partir do MNEO ou MNEN para efeitos críticos considerando a aplicação de fatores de incerteza (FI) e fatores de modificação (FM). Segundo a US EPA (1998) a base para aplicação dos diferentes FI são descritas a seguir:

Um FI de 10 é utilizado para quantificar as variações nas populações a serem avaliadas no estudo de avaliação de risco, visando à proteção de subpopulações

mais sensíveis; quando os valores do estudo de dose-reposta foram realizados animais e está sendo extrapolado para humanos; quando o MNEN foi determinado para condições de exposição sub crônica e é utilizado para determinação de RfD crônica; e quando um MNEO é utilizado no lugar de um MNEN.

Os FM variando de >0 a 10 pode ser incluído para refletir uma análise qualitativa do consultor que pode julgar que alguma incerteza associada a quantificação do RfD não foi prevista para o composto químico de interesse.

Para o cálculo da RfD é utilizada a **Equação 12**.

$$Rfd = \frac{MNEN}{(FI_1 \times FI2 \times FI_n \times FM)} \therefore Rfd = \frac{MNEO}{(FI_1 \times FI2 \times FI_n \times FM)} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

*RfD* (mg/kg-dia) = dose de referência para uma determinada via de ingresso;

*MNEN* (mg/kg-dia) = maior nível efeito adverso não observado;

*MNEO* (mg/kg-dia) = menor nível efeito adverso observado;

*FI (-)* = fator de incerteza;

*FM (-)* = fator de modificação.

Segundo CETESB (2001) a análise toxicológica para efeitos carcinogênicos é realizada com base na determinação do fator de carcinogenicidade (SF) acompanhado do peso da evidência de câncer.

O SF é utilizado, em estudos de avaliação de risco, para estimar a probabilidade de ocorrência de um caso adicional de câncer, em uma determinada população, decorrente de exposição a contaminantes carcinogênicos.

Valores toxicológicos para efeitos carcinogênicos podem ser expressos em termos de risco por unidade de concentração do composto presente em um meio, quando o

contato com o ser humano ocorre. Esta medida é chamada de unidade de risco e é calculada pela divisão do SF pelo peso corpóreo, multiplicado pela taxa de inalação ou pela taxa de ingestão de água, respectivamente para riscos associados à concentração no ar ou na água, conforme expresso na **Equação 13**.

$$UR = SF \times \frac{IR}{BW} \quad (\text{Equação 13})$$

Onde:

*UR* (-) = unidade de risco;

*IR* (L/dia) = taxa de inalação do ar;

*BW* (kg) = massa corpórea;

*SF* (1/mg/kg-dia) = fator de carcinogenicidade.

#### 2.4.1.4 Caracterização do risco

A caracterização do risco integra todos os dados obtidos nas etapas anteriores e tem como objetivo quantificar o risco. Neste momento, as concentrações do contaminante, medidas nos pontos de exposição e as concentrações teóricas, estimadas por meio de modelos matemáticos de transporte de massa de contaminante, são comparadas com os dados toxicológicos específicos do composto de interesse.

Esta comparação serve para determinar se os níveis de contaminação atuais da área de interesse podem gerar algum efeito adverso à saúde humana, segundo os padrões toxicológicos utilizados.

O risco deve ser quantificado para compostos químicos carcinogênicos e não carcinogênicos separadamente.

O risco carcinogênico (*Risco*) representa a probabilidade do desenvolvimento do câncer no decorrer de um tempo, equivalente ao tempo médio de avaliação para

efeitos carcinogênicos (ATn), resultante da exposição a uma determina Dose de Ingresso “ $I$ ” de um composto “ $i$ ” para um caminho de exposição “ $n$ ”. O risco de câncer é adimensional e é expresso em notação científica. Por exemplo, um risco de  $10^{-6}$  indica que um indivíduo tem uma chance em um milhão de desenvolver câncer durante a sua vida, como resultado da exposição aos compostos presentes na área.

O risco não carcinogênico é avaliado pela comparação das doses de ingresso ( $I$ ) específicas para cada composto, com as doses de referência ( $RfD$ ) correspondentes. O resultado desta comparação é expresso como o Índice de Periculosidade (*Hazard Quotient - HQ*). Um valor HQ, que ultrapassa a unidade (o número um), sugere uma probabilidade maior de desenvolver um efeito adverso tóxico, do tipo crônico ou sub-crônico.

O potencial de risco à saúde humana para compostos químicos não carcinogênicos estimado por meio do HQ, é dado pela razão entre o ingresso ( $I$ ) do composto de interesse para uma determinada via de exposição e a dose de referência ( $RfD$ ) para o mesmo composto. O cálculo do quociente de perigo não carcinogênico ( $HQ$ ) é realizado pela **Equação 14**.

$$HQ = \left( \frac{I_n}{RfD_i} \right) \quad (\text{Equação 14})$$

Onde:

$HQ$  (-) = quociente de perigo não carcinogênico;

$I_n$  (mg/kg-dia) = dose de ingresso para a via de exposição  $n$  (ingestão, inalação ou contato dérmico);

$RfD_i$  (mg/kg-dia) = dose de referência para o composto de interesse  $i$ .

O potencial de risco que um indivíduo tem para desenvolver câncer durante a sua vida, devido à exposição a um composto carcinogênico, pode ser estimado por meio

da multiplicação do ingresso ( $I$ ) para uma determinada via de exposição pelo fator de carcinogenicidade ( $SF$ ) para o composto considerado. O cálculo do risco carcinogênico (*Risco*) é realizado pela **Equação 15**.

$$Risco = I_n \times SF_i \quad (\text{Equação 15})$$

Onde:

$I_n$  (mg/kg-dia) = dose de ingresso para a via de exposição  $n$  (ingestão, inalação ou contato dérmico);

$SF_i$  (1/mg/kg-dia) = é o fator de carcinogenicidade para o composto de interesse  $i$ .

Para a obtenção do potencial total de risco é somado todos os riscos calculados individualmente para cada composto de interesse. Por meio das **Equações 16 e 17** é possível calcular o risco para múltiplos compostos químicos.

- Para compostos não carcinogênicos:

$$HQ_t = \sum HQ_{i,j,k} \quad (\text{Equação 16})$$

Onde:

$HQ_t$  = Índice de periculosidade total;

$HQ_{i,j,k}$  = Índice de periculosidade calculado para os compostos indicadores  $i, j, k$ .

- Para compostos carcinogênicos:

$$Risco_t = \sum Risco_{i,j,k} \quad (\text{Equação 17})$$

Onde:

$Risco_t$  = risco total;

$Risco_{i,j,k}$  = risco calculado para os compostos indicadores  $i, j, k$ .

#### **2.4.2 Metodologia de avaliação de risco conforme procedimento da CETESB**

O estudo de avaliação de risco da presente monografia foi realizado conforme os procedimentos da CETESB publicados em 2009 (CETES, 2009).

A CETESB determinou em sua Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007 (CETESB, 2007), a elaboração de planilhas de avaliação de risco em áreas contaminadas sob investigação, objetivando padronizar e otimizar a execução dos estudos de avaliação de risco realizados no Estado de São Paulo. Essas planilhas são aplicadas na quantificação do risco à saúde humana em áreas contaminadas sob investigação e no estabelecimento de concentrações máximas aceitáveis (CMAs), de forma a auxiliar os profissionais que atuam no gerenciamento de áreas contaminadas na elaboração de planos de intervenção de controle ambiental da área de interesse.

Desde outubro de 2009 a CETESB disponibiliza em sua página eletrônica Planilhas de Avaliação de Risco a Saúde Humana em Áreas sob Investigação.

Os cálculos têm como base o procedimento descrito no RAGS - *Risk Assessment Guidance for Superfund - Volume I - Human Health Evaluation Manual (Part A)* (US EPA, 1989) para quantificação da exposição e do risco, bem como as equações de Domênico, para transporte de contaminantes em meio saturado, o modelo de Jury e Johnson para transporte de contaminantes em meio não saturado e Johnson e Etinger para intrusão de vapores.

Todos os parâmetros de entrada dos modelos matemáticos considerados nas planilhas CETESB foram amplamente discutidos por grupo multidisciplinar composto por profissionais da CETESB e especialistas da iniciativa privada, visando o emprego de valores para os fatores de exposição e do meio físico aplicáveis à realidade do Estado de São Paulo.

As planilhas possibilitam a quantificação dos riscos para substâncias não carcinogênicas e carcinogênicas, individual e cumulativo, considerando os cenários de exposição e substâncias químicas selecionadas pelo usuário, bem como o cálculo das CMAs para essas substâncias. Para tanto, incluem bancos de dados com informações sobre as propriedades físico-químicas e toxicológicas de 631 substâncias.

A estratégia adotada pela CETESB na elaboração das planilhas foi o desenvolvimento de uma interface simplificada de entrada de dados, associada a relatórios automáticos de resultados, possibilitando desta forma:

- Agilidade e clareza no processo de quantificação do Risco e de CMAs;
- Padronização das interfaces de entrada;
- Padronização dos relatórios de saída.

A CETESB realizou uma análise crítica das planilhas de cálculo de risco conforme o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, incluído os seguintes itens:

1) Coleta e Avaliação de Dados, a qual inclui análise das informações relacionadas ao *site* consideradas relevantes para a avaliação de risco à saúde humana, incluindo a identificação de compostos químicos de interesse. Esta etapa também inclui a validação dos resultados analíticos, avaliação das concentrações dos compostos detectados na área ao longo do tempo e comparação destas concentrações com os padrões de referência estabelecidos oficialmente, assim como com outros padrões relevantes.

Os valores de referência adotados neste estudo e aceitos pela CETESB incluíram os seguintes (em ordem de importância): valores de referência da CETESB (2005) para solo e água subterrânea e valores máximos desenvolvidos pela US EPA;

2) Avaliação da Exposição, a qual é realizada para identificar cenários de exposição humana real e potencial, frequência e duração de tais exposições e as vias pelas quais os compostos químicos de interesse potencial possam ingressar no corpo humano. Durante a Avaliação de Exposição, as estimativas de dose absorvida

são quantificadas em termos de fatores de dose, de acordo com as diretrizes regulamentadoras;

- 3) Avaliação de Toxicidade, a qual considera os seguintes aspectos: (1) tipos de efeitos adversos à saúde humana associados à exposição aos compostos químicos de interesse potencial; (2) relação entre o nível de exposição e os efeitos adversos; e (3) fatores de incerteza associados, como por exemplo, a importância das evidências de que um determinado composto de interesse possa causar efeitos carcinogênicos em seres humanos;
- 4) Caracterização dos Riscos, a qual resume e consolida os resultados das Avaliações de Toxicidade e de Exposição, a fim de caracterizar os riscos apresentados pela área. Esta avaliação é expressa quantitativa e qualitativamente. Durante a Caracterização dos Riscos, as informações de toxicidade são consideradas em conjunto com os níveis de exposição calculados, visando quantificar os riscos carcinogênicos e os índices de periculosidade à saúde;
- 5) Avaliação de Fatores de Incerteza, a qual identifica as fontes de incerteza nos cálculos de risco e perigo que possivelmente levarão à superestimação ou subestimação dos respectivos valores.

## 2.5 GERENCIAMENTO DO RISCO

### 2.5.1 Normas Regulamentadoras

O conjunto das Normas Regulamentadoras (NR) visam regulamentar as condições de trabalho dos trabalhadores de forma a propiciá-los boas condições de trabalho. O estabelecido nas NR devem fazer parte do gerenciamento de risco das empresas presentes no Brasil, inclusive da indústria em estudo.

Abaixo são descritas algumas NR relevantes para este estudo e o gerenciamento de risco.

Todas as informações referentes às NR apresentadas abaixo foram obtidas no livro Saúde e Segurança do Trabalho, obra coletiva da Editora Saraiva com a

colaboração de Antônio Luiz de Toledo Pinto, Maria Cristina Vaz dos Santos Windt e Lívia Césper, quinta edição, publicada em 2010 (Editora Saraiva *et al.*, 2010).

## **NR 06 – Equipamento de Proteção Individual – EPI**

A NR 6 estabelece as formas de proteção dos trabalhadores, os requisitos de comercialização e responsabilidades com respeito ao emprego de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) no trabalho. Na referida norma o EPI é definido como sendo todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho. O EPI deve possuir Certificado de Aprovação (CA) que é expedido pelo órgão nacional competente, em matéria de segurança e saúde no trabalho do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). Para isto, deverá ser testado em laboratórios credenciados, para expedição do CA. A empresa é obrigada a fornecer EPI gratuitamente, em perfeito estado de conservação e funcionamento, sempre a proteção coletiva (EPC – equipamentos de proteção coletiva), não for suficiente para a proteção contra os riscos, enquanto as medidas de proteção coletivas estiverem sendo implantadas, ou para atender situações de emergência.

Cabe ao empregador adquirir o EPI (com CA) adequado ao risco de cada atividade, exigir seu uso, orientar e treinar sobre o uso adequado, guarda e conservação, substituir imediatamente, quando danificado ou extraviado, responsabilizar-se pela higienização e manutenção periódica e comunicar ao MTE qualquer irregularidade observada cm relação ao EPI.

Cabe ao empregado usar o EPI e utilizá-los apenas para a finalidade a qual ele se destina, responsabilizar-se pela guarda e conservação, comunicar ao empregador sobre qualquer alteração que o torne impróprio, cumprir as determinações do empregador sobre o uso adequado.

Na indústria em questão, uma vez que atualmente não são manipulados produtos químicos voláteis em seu processo produtivo os EPI e EPC não abrangem a proteção respiratória. Salientando que os EPI devem ser utilizados apenas quando

os EPC são insuficientes. Isto porque, além de dispendioso, o EPI traz incômodo, dificulta o trabalhador na execução de suas tarefas.

A Instrução Normativa IN 01/94 obriga a implantação do Programa de Proteção Respiratória onde há funcionários expostos aos riscos ambientais e que sejam seguidas as recomendações da FUNDACENTRO e da ABNT. Essa mesma IN estabelece que o empregador deve monitorar periodicamente os riscos ambientais e fornecer o EPR (equipamento de proteção respiratória) apenas para pessoas física e psicologicamente capacitadas a realizar suas tarefas. O emprego dos EPR deve levar em consideração: as características físicas do ambiente e específicas do trabalho (como existência de atmosferas “imediatamente perigosas à vida ou à saúde” - IPVS), necessidade de utilização de outros EPI, demanda física, tempo de uso, realização de exame médico do trabalhador que deve usar o EPR. O respirador deve ser selecionado de acordo com seu fator de proteção atribuído (FPA) que tem de ser maior ou igual ao fator de proteção requerido (FPR).

## **NR 07 – Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional - PCMSO**

Essa NR estabelece a correlação entre o ambiente de trabalho e o desenvolvimento de doenças ocupacionais, além do monitoramento da exposição ocupacional aos riscos. Tem como finalidade criar por meio do PCMSO o planejamento de ações de saúde visando à prevenção da exposição aos riscos ocupacionais. A norma também estabelece que PCMSO deve ser elaborado pelo empregador que deve também garantir a sua implementação e bem como zelar pela sua eficácia. No caso de terceirização, a empresa contratante deve auxiliar a contratada na elaboração de seu PCMSO e Programa de Prevenção de Riscos Ambientais - PPRA.

O PCMSO deve ter caráter de prevenção, rastreamento e diagnóstico precoce dos agravos à saúde relacionados com o trabalho, inclusive de natureza subclínica, além da constatação da existência de casos de doenças profissionais ou danos irreversíveis à saúde dos trabalhadores, e será planejado e implementado a partir dos riscos, sobretudo aqueles identificados nas avaliações que são objeto das demais NR.

A atividade realizada pela indústria em estudo segundo Quadro I – Classificação Nacional de Atividades Econômicas da NR 4, possui grau de risco 3. Portanto, a NR 7 estabelece que se não houver determinação contrária do Delegado Regional do trabalho devido ao risco, se o setor tiver menos de 10 funcionários, ficará desobrigado a indicar médico coordenador do PCMSO; se tiver entre 10 e 20 funcionários, ficará desobrigado mediante negociação coletiva, assistida por profissional do órgão regional competente em segurança e medicina do trabalho. O médico coordenador do PCMSO é responsável pela realização dos exames médicos previstos.

O PCMSO deve incluir os seguintes exames admissional, periódico, de retorno ao trabalho, de mudança de função e demissional. Para cada um destes exames, o médico emitirá o Atestado de Saúde Ocupacional – ASO. Estes exames compreendem a avaliação clínica, abrangendo anamnese ocupacional e exame físico e mental e exames complementares, realizados de acordo com os termos especificados nesta NR, e seus anexos.

No Quadro I – Parâmetros para Controle Biológico da Exposição a Alguns Agentes Químicos, dos compostos de interesse presentes na água subterrânea da indústria em estudo são o PCE e o TCE, indicando a urina como o material biológico a ser coletado e analisada para Ácido Tricloroacético e Triclorocompostos Totais. A periodicidade dos exames para os profissionais expostos aos agentes químicos desse quadro é de no mínimo semestral.

Para agentes químicos não constantes nos Quadros da I e II da NR 7 outros indicadores poderão ser monitorados, dependendo de estudo prévio dos aspectos de validade toxicológica, analítica e de interpretação desses indicadores”. Podendo ser o caso do DEC e CV presente na água subterrânea da área de interesse.

As ações de saúde a serem executadas durante o ano deverão ser planejadas e constar do PCMSO. O seu cumprimento será objeto de relatório anual.

A NR estabelece que sendo constatada a ocorrência ou agravamento de doenças profissionais pelos referidos exames, ou sendo verificadas alterações que revelem qualquer tipo de disfunção de órgão ou sistema biológico, através dos exames do quadro I ou II, mesmo sem sintomatologia, o médico coordenador ou encarregado

deverá solicitar à empresa emissão de Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT), indicar, se for o caso, o afastamento do trabalhador do trabalho ou da exposição ao risco, encaminhá-lo à Previdência Social e orientar o empregador quanto às medidas de controle.

### **NR 09 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA)**

Esta NR visa basicamente à preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores, através da antecipação, reconhecimento, avaliação e consequente controle da ocorrência de riscos ambientais existentes ou que venham a existir no ambiente de trabalho, considerando a proteção ao meio ambiente e dos recursos naturais. A abrangência e profundidade das ações dependerão da natureza do risco e medidas de controle necessárias, cabendo a sua responsabilidade ao empregador, contando com a participação dos trabalhadores.

A NR 09 considera riscos ambientais os agentes físicos, químicos e biológicos existentes nos ambientes de trabalho que, em função de sua natureza, concentração ou intensidade e tempo de exposição, são capazes de causar danos à saúde do trabalhador.

A estrutura do PPRA possui um planejamento anual, incluindo metas, prioridades e cronograma; estratégia e metodologia de ação; forma de registro, manutenção e divulgação dos dados e periodicidade e forma de avaliação do desenvolvimento do PPRA. O documento é de responsabilidade do Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho (SESMT), ou de pessoa ou equipe capaz de desenvolvê-lo base que descreve o PPRA e deve ser acessível às autoridades competentes.

Segundo a NR, o desenvolvimento do PPRA deve abranger antecipação e reconhecimento de riscos, priorização e estabelecimento de metas de avaliação e controle, implementação de medidas de controle com respectiva avaliação de sua eficácia, monitoramento da exposição aos riscos e registro e divulgação dos dados.

As medidas de controle necessárias devem ser suficientes para a eliminação, a minimização ou controle dos riscos ambientais, quando for identificado risco potencial à saúde, constatado o risco evidente à saúde na fase de reconhecimento, quando as avaliações quantitativas apontarem exposição dos trabalhadores acima dos Limites de Tolerância constantes da NR 15 ou da ACGIH, ou quando for caracterizado nexo causal entre danos à saúde e a situação de trabalho.

A implementação das medidas de proteção coletiva seguem a seguinte ordem:

1. Medidas que eliminam ou reduzem a utilização ou a formação dos agentes de risco;
2. Medidas que previnem a liberação ou disseminação dos agentes e
3. Medidas que reduzem os níveis ou a concentração dos agentes. Quando estas medidas forem inviáveis ou insuficientes ou estiverem em fase de implementação, ou em caso de emergência, serão adotadas na seguinte ordem: medidas de caráter administrativo ou de organização do trabalho e utilização de EPI. As medidas de proteção serão avaliadas quanto à sua eficácia, considerando-se os resultados das avaliações do PCMSO.

O nível de ação consiste em um valor acima do qual devem ser iniciadas ações preventivas para evitar a ultrapassagem dos limites de exposição, ações estas que consistem no monitoramento periódico da exposição, informação aos trabalhadores e controle médico.

No caso de agentes químicos, o nível de ação corresponde à metade do limite de exposição ocupacional.

Segundo a NR cabe ao empregador estabelecer, implementar e assegurar o cumprimento do PPRA, permanentemente. Cabe aos trabalhadores colaborar e participar da implantação e execução do PPRA, seguir as orientações e informar ao seu superior hierárquico direto sobre ocorrências que possam implicar riscos. Em situações de grave e iminente risco, os trabalhadores expostos devem interromper imediatamente suas atividades e comunicar o fato ao superior hierárquico direto.

Pela NR 09 os agentes químicos são definidos como as substâncias, compostos ou produtos que possam penetrar no organismo pela via respiratória, nas formas de poeiras, fumos, névoas, neblinas, gases ou vapores, ou que, pela natureza da atividade ou exposição, possam ter contato ou ser absorvidas pelo organismo através da pele ou por ingestão.

## **NR 15 - Atividades e Operações Insalubres**

Conforme já mencionado no **Capítulo 2.3.2.1** é nessa NR que são estabelecidos os Limites de Tolerância para os agentes químicos.

### **2.5.2 Alternativas do controle do risco**

O gerenciamento de risco trata-se de um processo de tomada de decisão acerca de questões envolvendo riscos causados por substâncias químicas, que ameaçam à saúde do trabalhador, incluindo considerações técnicas, científicas, sociais, econômicas e políticas.

Consiste na seleção e aplicação das estratégias mais adequadas para a prevenção e controle de riscos, envolvendo a regulamentação, a disponibilidade de tecnologias de controle, a análise de custos e benefícios, a aceitabilidade de riscos, a análise de seus impactos (Canter, 1989).

De acordo com OPAS/EPA (1996), o pressuposto básico do gerenciamento de riscos é a possibilidade do controle dos riscos por meio de várias opções que podem ser combinadas entre si em função das características de cada caso, a saber:

- Não intervenção;
- Adoção de medidas drásticas sobre as consequências e não sobre as causas;
- Adoção de medidas baseadas em incentivos econômicos;
- Adoção de medidas preventivas;

- Evolução de uma cadeia de decisões baseada no desenvolvimento de tecnologias de controle e prevenção.

Segunda Decisão de Diretoria N° 103 da CETESB (CETESB, 2007), as ações que poderão ser adotadas no processo de gerenciamento do risco, destacam-se a adoção de medidas emergenciais, a aplicação de técnicas de remediação, o estabelecimento de medidas de controle institucional ou de engenharia, além do monitoramento para encerramento.

Dependendo das especificidades de cada caso, as medidas de intervenção poderão ser adotadas em conjunto ou separadamente. Dentre estas medidas podem ser citadas:

- Isolamento da área (proibição de acesso à área);
- Ventilação / exaustão de espaços confinados;
- Monitoramento do índice de explosividade;
- Monitoramento ambiental;
- Remoção de materiais (produtos, resíduos, etc.);
- Fechamento / interdição de poços de abastecimento de água subterrânea;
- Interdição de edificações;
- Proibição de escavações;
- Proibição de consumo de alimentos;
- Contenção do avanço das plumas de contaminação.

A abordagem clássica do gerenciamento de risco tem suas bases na avaliação de risco, integrando as informações desta com os recursos técnicos e econômicos e fatores políticos e sociais, visando alcançar um conjunto de decisões para cumprir o propósito de mitigação dos efeitos adversos à saúde humana provocados pela contaminação por substâncias tóxicas. É um processo onde às possíveis alternativas são comparadas umas com as outras e a mais apropriada é selecionada para

implementação, respeitadas as incertezas e peculiaridades do cenário de exposição em estudo.

A avaliação de risco fornece apenas parte das informações necessárias para o gerenciamento de riscos, posto que a estas devem ser acrescentadas àquelas referentes às tecnologias disponíveis, os impactos destas tecnologias, a avaliação econômica e a legislação em vigor.

### 3 METODOLOGIA

Será apresentada a metodologia de trabalho utilizada para a avaliação de risco à saúde humana de trabalhadores da indústria em estudo ao impacto de PCE e seus produtos de degradação na água subterrânea, oriundo do processo de lavagem de peças metálicas existente na indústria em questão.

A metodologia de avaliação de risco aplicada seguiu as seguintes etapas:

- Coleta e avaliação de dados,
- Avaliação da toxicidade,
- Avaliação da exposição,
- Caracterização e quantificação do risco,
- Gerenciamento do risco.

#### 3.1 COLETA E AVALIAÇÃO DE DADOS

##### **3.1.1 Dados obtidos nos estudos de investigação ambiental realizados na área de interesse**

Os dados utilizados no presente trabalho foram compilados de estudos de investigações ambientais e monitoramento da qualidade da água subterrânea realizados na área da indústria em questão entre os anos de 2002 até 2011.

Foram compiladas informações a respeito da área da indústria e seus arredores com o objetivo de entender as características do meio físico, ocupação do solo local e a caracterização da contaminação identificada. A seguir são descritas as informações compiladas:

- Geologia, hidrogeologia e hidrografia;
- Uso e ocupação do solo;
- Escopo das investigações ambientais e monitoramentos ambientais existentes;
- Avaliação do histórico da operação do processo industrial que gerou a alteração da qualidade da água subterrânea;
- Avaliação da qualidade do solo e da água subterrânea e identificação dos compostos químicos de interesse a serem avaliados na análise de risco;
- Caracterização físico-química dos compostos químicos de interesse.

O principal objetivo desta etapa de trabalho foi identificar as condições de contorno da área e os compostos químicos de interesse para a elaboração da avaliação de risco e o estabelecer o modelo conceitual de risco.

Todas essas informações constam no **Capítulo 2.2** do presente estudo.

### **3.1.2 Identificação dos compostos químicos de interesse a serem avaliados na análise de risco**

Para a realização da presente avaliação de risco foram avaliados os resultados das amostras de solo coletadas ao longo dos estudos ambientais realizados na área de interesse, distribuído entre os anos de 2002 e 2008 e apresentadas no **Capítulo 2.2** do presente estudo. Para a água subterrânea foram considerados os dados da última campanha de amostragem dos poços de monitoramento coletada em novembro de 2011.

Os resultados analíticos selecionados foram comparados com valores de referências aceitos pela CETESB, conforme sua Decisão de Diretoria nº 195-2005, de novembro de 2005.

Foram considerados como compostos químicos de interesse para a realização da avaliação de risco os compostos que apresentaram como resultados concentrações

superiores aos valores de referência adotados, referente à alteração da qualidade oriunda da utilização de PCE no processo de desengraxe de peças metálicas.

### **3.1.3 Caracterização físico-química dos compostos químicos de interesse**

As planilhas para avaliação de risco da CETESB possuem dados físico-químicos reportados para mais de 600 compostos químicos. As referidas planilhas não permitem a atualização desses parâmetros.

Foram compilados das planilhas de avaliação de risco da CETESB os principais parâmetros físico-químicos utilizados no estudo de avaliação de risco.

## **3.2 AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE**

Diversas agências reguladoras, nacionais e internacionais, têm estudado a toxicidade de componentes químicos ambientais e desenvolvido critérios aceitáveis de exposição, de acordo com pontos de saturação carcinogênicos e não-carcinogênicos. O desenvolvimento de critérios toxicológicos está em constante evolução com base em novas informações e em um maior entendimento dos modos de ação tóxica dos referidos componentes.

A descrição da toxicidade dos compostos químicos de interesse está descrita no **Capítulo 2.3.1.**

As planilhas de avaliação de risco da CETESB não permite a alteração dos valores de toxicidade dos compostos químicos de interesse, desta forma, foi realizada uma compilação das informações toxicológicas do banco de dados das planilhas de risco da CETESB.

## **3.3 AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO**

A avaliação da exposição foi realizada de forma a identificar a possibilidade, o nível e a frequência de exposição dos trabalhadores da indústria aos compostos químicos

de interesse identificados. Foram também identificadas as vias de exposição pelas quais os trabalhadores podem entrar em contato com estes compostos. A seguir são descritas as diversas etapas utilizadas no processo de avaliação do nível de exposição:

- Identificação das populações potencialmente expostas – essa etapa foi realizada a partir da análise da ocupação do interior da indústria;
- Caracterização do ambiente de exposição de cada população – foram avaliados os ambientes internos as indústrias por meio de visitas;
- Identificação das vias de exposição pelas quais os trabalhadores podem ter contato com os compostos químicos de interesse considerando os cenários atuais e potenciais – essa avaliação foi realizada por meio do modelo conceitual de contaminação da área de interesse;
- Seleção de cenários de exposição atuais e definição dos parâmetros de exposição – essa avaliação também foi realizada por meio do modelo conceitual de contaminação da área de interesse, assim como da caracterização dos ambientes nos quais os trabalhadores estão expostos;
- Quantificação dos níveis de exposição - muitos dos parâmetros de exposição são estabelecidos nas planilhas de avaliação de risco da CETESB, não sendo possível a sua atualização, porém foram avaliados se tais parâmetros estabelecidos pela CETESB estão coerentes com a realidade dos funcionários da indústria em questão;
- Estimativa nos pontos de exposição e estimativa das doses de exposição – esses cálculos foram realizados pelas planilhas de avaliação de risco da CETESB tendo como base as equações apresentadas no **Capítulo 2.4.1.2**.

Foram considerados nessa avaliação de risco como receptores os trabalhadores da indústria em questão. Também foram considerados cenários hipotéticos com finalidade de gerar informações que auxiliam no gerenciamento do risco identificado na água subterrânea.

As planilhas de avaliação de risco da CETESB possuem estabelecidos os dados de exposição para receptores comerciais/industriais, não sendo permitida a modificação desses valores. Na **Figura 17** podem ser observados os parâmetros de exposição compilados das planilhas da CETESB.

VARIÁVEL	DESCRÍÇÃO	UNIDADE	TRABALHADOR COMERCIAL E INDUSTRIAL		REFERÊNCIA
			ADULTO		
ED	Duração da exposição	Anos	25	CETESB, 2001	
ExpVida	Expectativa de Vida	Anos	72	ASTM, 2001	
ATc	Tempo médio para efeitos carcinogênicos	dias	26280	CETESB, 2009	
ATn	Tempo médio para efeitos não carcinogênicos	dias	9125	IBGE, 2008	
BW	Massa corpórea	kg	70	Couto, 2006	
ET	Tempo de Exposição para inalação de partículas e vapores do solo superficial	Horas/dia	8	US.EPA.RAGS, 1983	
ET	Tempo de Exposição para contato dérmico com água subterrânea	Horas/dia	2	US.EPA.CEPR	
ET	Tempo de Exposição para inalação de vapores em ambientes abertos	Horas/dia	8	RVM	
ET	Tempo de Exposição para inalação de vapores em ambientes Fechados	Horas/dia	8	Capeleti, 2000	
ET	Tempo de Exposição durante recreação em água sup. - contato dérmico	Horas/dia	0	IBGE, 2008	
ET	Tempo de Exposição durante recreação em água sup. - inalação	Horas/dia	0	CETESB, 2009	
ET	Tempo de Exposição durante recreação em água sup. - ingestão	Horas/dia	0	CETESB, 2009	
EF	Freqüência de Exposição para Contato dérmico com solo superficial	diastano	290	CETESB, 2009	
EF	Freqüência de Exposição para Contato dérmico com a água subterrânea	diastano	290	CETESB, 2009	
EF	Freqüência de Exposição para recreação	diastano	0	CETESB, 2009	
EF	Freqüência da Exposição	diastano	290	CETESB, 2009	
EV	Freqüência de Eventos para contato dérmico com o solo	eventos/dia	1	CETESB, 2009	
IRs	Taxa de ingestão de solo	mg/dia	50,0	CETESB, 2009	
IRaesp	Taxa de inalação diária em ambientes fechados	m <sup>3</sup> /hora	1,20	CETESB, 2009	
IRaamb	Taxa de inalação diária em ambientes abertos	m <sup>3</sup> /hora	1,20	CETESB, 2009	
IRw	Taxa de ingestão diária de água	L/dia	1,00	CETESB, 2009	
IRrec	Taxa de ingestão de água durante a recreação na água superficial	L/hora	0,00	CETESB, 2009	
AF	Fator de aderência do solo na pele	mg/cm <sup>2</sup> .evento	0,20	CETESB, 2009	
SA	Área superficial da pele disponível para contato dérmico - solo e água subterrânea	cm <sup>2</sup>	2457	CETESB, 2009	
SAreac	Área superficial da pele disponível para contato dérmico durante recreação na água superficial			CETESB, 2009	
FI	Fração Ingerida da Fonte de Contaminação - Solo	-	1	CETESB, 2009	
FD	Fração da fonte em contato dérmico	-	1	CETESB, 2009	
THI	Quociente de Risco não Carcinogênico	-	1,00	CETESB, 2009	
TR	Risco Carcinogênico	-	1,00E-05	CETESB, 2009	

**Figura 17 – Parâmetros de exposição para receptores industriais.**

Fonte: (CETESB, 2009)

### 3.4 CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DO RISCO

Na caracterização quantitativa do risco, foram calculados os Quocientes e índices de Periculosidade e os Riscos Cumulativos. O quociente de periculosidade é a razão entre o nível de exposição a um composto químico de interesse, em um intervalo de tempo especificado, e uma dose de referência para o mesmo composto para o mesmo período de exposição. Os índices de periculosidade são calculados como a somatória dos totais de quocientes de periculosidade para cada via de exposição,

para cada receptor considerado. O risco cumulativo é a somatória dos totais das probabilidades de risco individual carcinogênico, para cada via de exposição, para cada receptor considerado.

Com base na Decisão de Diretoria N° 103, de junho de 2007 (CETESB, 2007) e nas planilhas de avaliação de risco da CETESB, foram adotados, nesta avaliação, níveis admissíveis de risco inferiores a  $10^{-5}$  para os compostos químicos com efeitos carcinogênicos e inferiores a 1,0 para os compostos químicos com efeitos não-carcinogênicos.

Para a identificação das zonas de restrição de ingestão e contato dérmico com a água subterrânea foi, por meio de tentativa e erro, identificada a maior distância da área fonte em que o risco carcinogênico e não carcinogênico não foi identificado.

### 3.5 GERENCIAMENTO DO RISCO

Após a identificação dos riscos foram estabelecidas medidas de mitigação ou eliminação dos riscos dos receptores expostos.

No gerenciamento de risco foi avaliada a necessidade de adoções das medidas de intervenção conforme estabelecido pela CETESB sua Decisão de Diretoria N° 103, de junho de 2007 (CETESB, 2007).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 COLETA E AVALIAÇÃO DE DADOS

#### 4.1.1 Dados da indústria em estudo

Durante entrevista e vistas realizadas na área de interesse foi identificado que a mesma trabalha em dois turnos, sendo que no período noturno trabalham um quadro de funcionários reduzido cerca de 60% em relação ao diurno.

Segundo informações fornecidas pela indústria em estudo o turno de trabalho tem duração conforme estabelecido pelo sindicato dos metalúrgicos local que é de 44 horas semanais.

Na área da indústria posicionada sobre a área contaminada por solventes clorados trabalham cerca de 20 funcionários no período diurno e menos de 10 no período noturno em postos de trabalhos fixos. Não se tem uma estimativa da quantidade de funcionários que circulam na área contaminada, porém acredita-se que esse número seja elevado, pois essa área encontra-se entre a área de produção e a área onde estão posicionados o refeitório e os vestiários.

Segundo informado pela indústria a mesma possui PPRA e SESMT, porém nenhum desses programas leva em consideração a presença da contaminação de solventes clorados na água subterrânea, assim como a exposição a essas substâncias.

Não foi fornecido pela indústria nenhuma informações sobre doenças ocupacionais dos funcionários tão pouco dados das características físicas dos mesmos para serem confrontados com os considerados na planilha de risco da CETESB (**Figura 17**). Porém foi estimado que cerca de 90% dos trabalhadores ocupantes dos postos de trabalhos localizados sobre a área contaminada são do sexo masculino.

#### **4.1.2 Identificação dos compostos químicos de interesse**

Os compostos considerados como compostos químicos de interesse foram aqueles que apresentaram concentrações acima dos valores de referência da CETESB (2005). Desta forma, conforme os resultados da **Tabela 3** foram considerados como compostos químicos de interesse o PCE, TCE, cis e tras 1,2-DCE e CV.

No presente estudo foram consideradas, na avaliação de risco, as maiores concentrações detectadas na área de interesse para os compostos químicos de interesse, uma vez que as maiores concentrações foram identificadas nos locais das antigas áreas fontes e estão limitadas na porção leste da área industrial em estudo.

Na **Tabela 8** podem ser observadas as concentrações dos compostos químicos de interesse utilizadas na avaliação de risco e presentes nas antigas áreas fontes de contaminação.

**Tabela 8 – Concentrações dos compostos químicos de interesse utilizada na avaliação de risco e os respectivos poços de monitoramento onde as concentrações foram detectadas (mg/L)**

		PCE	TCE	cis DCE	trans DCE	CV
Aquífero raso	Concentração Poço	0,645 PM-19	0,135 PM-19	4,380 PM-19	0,011 PM-19	0,074 PM-19
Aquífero profundo	Concentração Poço	0,913 PM-02D	0,190 PM-19B	1,404 PM-22B	0,0074 PM-02B	1,776 PM-22D

#### **4.1.3 Dados do meio físico utilizados na avaliação de risco**

A partir da compilação das informações contidas nos relatório de investigação ambiental, na **Tabela 9** podem ser observados os dados de entrada, relacionados ao meio físico, utilizados na avaliação de risco das planilhas da CETESB (CETESB, 2009).

Tabela 9 – Dados do meio físico utilizado na avaliação de risco

Descrição	Unidade	Dados de entrada	Justificativa
<b>Cenários Associados à Intrusão de Vapores</b>			
Área das Fundações	cm <sup>2</sup>	Industrial - 5184000;	Foi utilizada a área aproximada do galpão industrial da indústria em estudo para receptores industriais.
Pé Direito	cm	Industrial - 500;	Foi utilizado o valor aproximado do pé direito do galpão industrial para receptores industriais.
Espessura das fundações/paredes de construções	cm	Industrial - 15;	Foi utilizado o valor da espessura da parede do galpão industrial para receptores industriais.
<b>Cenários Associados à Inalação de Vapores a partir do Solo e Água Subterrânea</b>			
Profundidade do Nível d'Água	cm	403	Profundidade média do nível d'água medida em novembro de 2011.
Temperatura da Água Subterrânea	K	295,70	Temperatura média das amostras de água subterrânea medida em novembro de 2011.
Largura da área fonte na direção paralela ao fluxo da água subterrânea	cm	5300	Foi utilizada a largura aproximada entre os poços PM-02 e PM-19C.
Espessura da pluma dissolvida na água subterrânea	cm	4000	Foi utilizada a espessura de 40m de água subterrânea impactada conhecida nos estudos ambientais realizados.
Porosidade Total	-	0,21	Porosidade obtida nos estudos ambientais realizados.
Densidade do Solo	g/cm <sup>3</sup>	1,30	Dado não medido, sendo utilizado o sugerido nas planilhas da CETESB.
Fração de Carbono Orgânico no Solo	g-C/g-solo	0,0030	Dado não medido, sendo utilizado o sugerido nas planilhas da CETESB.

Tabela 9 – Dados do meio físico utilizado na avaliação de risco (Continuação).

<b>Descrição</b>	<b>Unidade</b>	<b>Dados de entrada</b>	<b>Justificativa</b>
<b>Cenários Associados ao Transporte de Contaminante em Meio Saturado</b>			
Espessura da Fonte na Água Subterrânea	cm	4000,000	Foi utilizada a espessura de 40m de água subterrânea impactada conhecida nos estudos realizados.
Largura da Fonte	cm	5300	Foi utilizada a largura aproximada entre os poços PM-02 e PM-19C.
Gradiente Hidráulico	-	0,020	Gradiente hidráulico medido a partir dos dados coletados em novembro de 2011.
Condutividade Hidráulica	cm/dia	3,160	Condutividade hidráulica média medida na área em estudo nos estudos ambientais realizados.
Distância entre a área fonte na água subterrânea e o Ponto de Exposição	cm		Esse valor variou em função da via e receptor em estudo, conforme será descrito no capítulo 4.
Porosidade Efetiva	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	0,210	Porosidade obtida nos estudos ambientais realizados.

#### 4.1.4 Caracterização físico-química dos compostos químicos de interesse

As planilhas da CETESB para avaliação de risco possuem um banco de dados específico para os dados físico-químicos a serem utilizados no cálculo do risco, não sendo possível a alteração dos valores.

Na **Tabela 10** podem ser observados os principais dados físico-químicos dos compostos químicos de interesse obtidos a partir do banco de dados das planilhas de avaliação de risco da CETESB (CETESB, 2009).

Tabela 10 – Principais dados físico-químicos dos compostos químicos de interesse

<b>Parâmetros</b>	<b>PCE</b>	<b>TCE</b>	<b>cis DCE</b>	<b>trans DCE</b>	<b>CV</b>
Peso Molecular (g/mol)	165,83	131,39	96,94	96,94	62,50
Constante adimensional de Henry	7,20E-01	4,00E-01	1,70E-01	3,80E-01	1,10E+00
Densidade (g/ml)	1,62E+00	1,46E+00	1,28E+00	1,26E+00	9,11E-01
Koc (L/kg)	2,65E+02	9,43E+01	4,38E+01	3,80E+01	2,37E+01
Solubilidade (mg/L água)	2,06E+02	1,28E+03	3,50E+03	3,50E+03	8,80E+03
Difusividade no ar (cm <sup>2</sup> /s)	5,00E-02	6,90E-02	8,80E-02	8,80E-02	1,10E-01
Difusividade na água (cm <sup>2</sup> /s)	9,50E-06	1,00E-05	1,10E-05	1,10E-05	1,20E-05
Ponto de fusão (°C)	NA	NA	NA	NA	NA
Kd (L/kg)	0,80	0,28	0,13	0,11	0,07
Meia Vida (ano)	2,00E+00	4,50E+00	7,88E+00	7,88E+00	7,88E+00
Log Kow	3,4	2,42			1,36
Pressão de vapor (Pa)	1,67E+01	7,29E+01	1,12E+02	2,57E+02	2,97E+03

Fonte: CETESB (2009)

## 4.2 AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE

As planilhas de cálculo de risco da CETESB possuem um banco de dados específico para os dados toxicológicos a serem utilizados no cálculo do risco, não sendo possível a alteração dos valores.

Na **Tabela 11** podem ser observados os principais dados toxicológicos dos compostos químicos de interesse obtidos a partir do banco de dados das planilhas de avaliação de risco da CETESB (CETESB, 2009).

**Tabela 11 – Informações toxicológicas específicas para os compostos químicos de interesse conforme banco de dados das planilhas de avaliação de risco da CETESB**

Parâmetro	Evidência de câncer	Dose referência (RfD)			Fator de carcinogenicidade		
		Ingestão RfDo (mg/kg-day)	Inalação RfDi (mg/kg-dia)	Dérmico RfDd (mg/kg-day)	Ingestão Sfo (mg/kg-day) <sup>-1</sup>	Inalação Sfi (mg/kg-day) <sup>-1</sup>	Dérmico SFd (mg/kg-day) <sup>-1</sup>
PCE	C	1,00E-02	7,71E-02	1,00E-02	5,40E-01	2,07E-02	5,40E-01
TCE	C			NA	1,30E-02	7,00E-03	1,30E-02
cis DCE	NC	1,00E-02		1,00E-02			NA
trans DCE	NC	2,00E-02	1,71E-02	2,00E-02			NA
CV	C	3,00E-03	2,86E-02	3,00E-03	7,20E-01	1,54E-02	7,20E-01

Legenda: M – Mutagênico; C – carcinogênico; NC – não carcinogênico; (-) – dado não indicado nas planilhas de avaliação de risco da CETESB.

Vale ressaltar que na planilha de risco da CETESB foram considerados carcinogênicos os compostos PCE, TCE e CV, sendo que foi verificado que pelas bibliografias consultadas e compiladas na **Tabela 4**, apenas o CV é considerado comprovadamente carcinogênico. Desta forma, pode-se afirmar que o cálculo do risco carcinogênico realizados pelas planilhas da CETESB é conservador.

### 4.3 AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO

Abaixo são descritos as informações e resultados considerados na avaliação de risco do presente estudo.

#### 4.3.1 Modelo conceitual

A área em estudo atualmente consiste em uma indústria que atua na fabricação de peças metálicas destinada ao mercado automobilístico, possui área total de aproximadamente 7.700m<sup>2</sup>, apresentando cobertura em quase todo o terreno.

O empreendimento é cercado a norte, leste e sul por uma ocupação predominantemente industrial e subordinadamente, a oeste, por regiões de

ocupação mista (comercial e residencial). A oeste e a sul a área em estudo é separada de seus vizinhos por córregos.

Nos estudos ambientais já realizados na área da indústria em questão foram identificadas concentrações de PCE, TCE, cis e trans DCE e CV acima dos valores de referência da CETESB (2005), sendo esses compostos identificados como compostos químicos de interesse para o estudo de avaliação de risco. A presença desses compostos na água subterrânea pode levar a uma potencial exposição dos trabalhadores da indústria em estudo ao impacto observado.

Vale salientar que os estudos de investigação ambiental não identificaram a presença dos compostos químicos de interesse no solo, e desta forma não existe risco de exposição dos receptores presentes no local aos contaminantes provenientes desse meio.

A partir dos resultados obtidos nas investigações ambientais foram feitas as seguintes considerações:

- **Fontes de contaminação:** a fonte primária de contaminação da água subterrânea local é atribuída a vazamentos e/ou derramamentos ao longo da manipulação e armazenamento de PCE na área de em questão. O solo da zona saturada (aquéfero) é considerado como uma fonte secundária de contaminação.
- **Transporte de contaminantes:** o meio de transporte de contaminantes é a volatilização dos compostos químicos de interesse a partir da água subterrânea rasa para o ambiente e a migração da água subterrânea no aquífero.
- **Receptores:** os receptores da ocupação atual foram os trabalhadores da indústria em questão.

A seguir são descritos os cenários considerados. Vale salientar que, quando for mencionado fonte está sendo referido ao local com as maiores concentrações dos compostos químicos de interesse.

**Cenários 1 – Inalação de vapores provenientes da água subterrânea para receptores industriais que trabalham dentro e foram da área fonte em ambientes internos e externos.**

O cenário de inalação de vapores proveniente da água subterrânea rasa é um cenário que se completa tanto para os trabalhadores da indústria em questão, que possuem posto de trabalho ou circulam sobre a área leste do terreno onde a fonte de contaminação está presente, como para os que trabalham nas proximidades da mesma. Nesse estudo foi avaliada a exposição de trabalhadores localizados a 1m de distância da fonte.

**Cenários 2 – Ingestão e contato dérmico com a água subterrânea rasa para receptores industriais localizados dentro e fora da área da fonte.**

O cenário de ingestão e contato dérmico com a água subterrânea rasa para os receptores industriais não se completa, sendo um cenário hipotético, pois não foram identificados poços dentro o fora da área da indústria em estudo que captem água do aquífero raso. Esse cenário foi avaliado apenas para que seja identificada a área de restrição de consumo de água subterrânea rasa.

**Cenários 3 – Ingestão e contato dérmico com a água subterrânea do aquífero profundo para receptores industriais localizados dentro e fora da área da fonte.**

O cenário de ingestão de água subterrânea do aquífero profundo (profundidade superiora a 17m) para a área da indústria em estudo esse cenário não se completa, pois não existem poços de captação de água profunda no local. A avaliação desse cenário também se justifica para a determinação da área de restrição de consumo de água subterrânea profunda. Na **Figura 18** pode ser observado o modelo de risco considerado para os receptores industriais no presente estudo.

		MODELO CONCEITUAL DE EXPOSIÇÃO						
		MEIO FÍSICO	VIAS DE INGRESSO			TRABALHADOR COMERCIAL E INDUSTRIAL		
						ADULTO		
					RECEPTOR NA FONTE	RECEPTOR FORA DA FONTE		
CAMINHOS DE EXPOSIÇÃO	ÁGUA	SUBTERRÂNEA	INALAÇÃO	AMBIENTES ABERTOS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
				AMBIENTES FECHADOS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
			USO IRRESTRITO	CONTATO DÉRMICO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
				INGESTÃO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
	CONTATO DIRETO							

**Figura 18 – Modelo conceitual de exposição para receptores industriais**

#### 4.3.2 Quantificação da exposição

Abaixo serão apresentados os resultados da quantificação da exposição para cada cenário considerados no **Capítulo 4.3.1**.

**Cenários 1 – Inalação de vapores provenientes da água subterrânea para receptores industriais que trabalham dentro e foram da área fonte em ambientes abertos e fechados.**

Na **Tabela 12** podem ser observados os resultados da concentração do ar no ponto de exposição para os compostos químicos de interesse, a partir da volatilização da água subterrânea rasa, na área fonte e a uma distância de 1,0m da fonte em ambientes abertos e fechado.

Tabela 12 - Concentração no ponto de exposição para o ar a partir da volatilização da água subterrânea rasa na fonte de contaminação e fora da fonte a uma distância de 1,0m

<b>Composto</b>	<b>Concentração na fonte (mg/L)</b>	<b>Concentração na fonte de contaminação (mg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>Concentração fora da fonte de contaminação (mg/m<sup>3</sup>)</b>	
		<b>Ambientes abertos</b>	<b>Ambientes fechados</b>	<b>Ambientes abertos</b>	<b>Ambientes fechados</b>
PCE	0,645	7,95E-05	4,08E-03	1,59E-05	8,15E-04
TCE	0,135	1,38E-05	7,04E-04	9,51E-06	4,85E-04
cis DCE	4,380	3,05E-04	1,53E-02	2,65E-04	1,33E-02
trans DCE	0,011	1,33E-06	6,79E-05	1,16E-06	5,93E-05
CV	0,074	2,62E-05	1,35E-03	2,34E-05	1,21E-03

Na **Tabela 13** pode ser observada a comparação da concentração dos contaminantes no ar calculada pelo modelo de transporte das planilhas de risco da CETESB com os limites de tolerância da NR 15 apresentados na **Tabela 6** e os limites de exposição ocupacionais da ACGIH, 2009 apresentados na **Tabela 7**. Na mesma planilha todos os valores estão em mg/m<sup>3</sup> e com o Fator de Correção de 0,86 está aplicado nos limites de tolerância e de exposição, calculado conforme as **Equações 2 e 3** para 44 horas semanais.

Tabela 13 – Comparação das concentrações calculadas para os pontos de exposição com os limites de tolerância da NR 15 e limites de exposição da ACGIH, 2009.

<b>Composto</b>	<b>Concentração na fonte de contaminação (mg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>Concentração fora da fonte de contaminação (mg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>LT NR 15 (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>TLV TWA (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>TLV STELL (mg/m<sup>3</sup>)</b>
	<b>Ambientes abertos</b>	<b>Ambientes fechados</b>	<b>Ambientes abertos</b>	<b>Ambientes fechados</b>			
PCE	7,95E-05	4,08E-03	1,59E-05	8,15E-04	453,41	145,27	582,83
TCE	1,38E-05	7,04E-04	9,51E-06	4,85E-04	362,73	46,27	115,68
cis DCE	3,05E-04	1,53E-02	2,65E-04	1,33E-02	531,14	678,20	-
trans DCE	1,33E-06	6,79E-05	1,16E-06	5,93E-05	531,14	678,20	-
CV	2,62E-05	1,35E-03	2,34E-05	1,21E-03	343,73	2,22	-

Legenda: LT – Limite de Tolerância da NR 15; TLV TWA – Limite de Exposição Ocupacional da ACGIH, 2009; TLV STELL – Limite de Exposição Ocupacional média ponderada que não deverá ser ultrapassado durante a jornada de trabalho.

Uma vez que não foram realizadas medidas conforme estabelecido na NR 15 para a comparação feita na **Tabela 13** foi considerado que a concentração inalada nos pontos de exposição (posto de trabalho) dos funcionários da indústria em estudo é a apresentada na **Tabela 12**, sem qualquer variação ao longo da jornada de trabalho diária e semanal.

Nota-se que as concentrações calculadas pelo modelo de transporte das planilhas da CETESB nos pontos de exposição são inferiores à metade dos valores de tolerância da NR 15 e ACGIH, 2009 e por esse critério nenhuma ação de mitigação de risco e proteção dos trabalhadores deve ser tomada. Porém, vale salientar que a comparação realizada foi uma estimativa e que para uma real avaliação devem ser realizadas medidas no local de trabalho conforme estabelecido na NR 15.

### **Cenários 2 – Ingestão e contato dérmico com a água subterrânea rasa para receptores industriais localizados dentro e fora da área fonte.**

Na **Tabela 14** podem ser observados os resultados das concentrações dos compostos químicos de interesse na água subterrânea rasa no ponto de exposição localizado a 35m da fonte.

Segundo os cálculos de risco a serem apresentados no **Capítulo 4.4**, 35m é a distância a partir da qual não se é calculado risco para ingestão de água subterrânea no aquífero raso para receptores industriais.

As concentrações na fonte foram utilizadas as dos poços de monitoramento rasos coletados.

Tabela 14 - Concentração no ponto de exposição, localizado a 35m da fonte, para a água subterrânea rasa

<b>Composto</b>	<b>Concentração na fonte (mg/L)</b>	<b>Concentração da água subterrânea fora da fonte (mg/L)</b>
PCE	0,645	4,616E-10
TCE	0,135	6,407E-05
cis DCE	4,380	1,070E-01
trans DCE	0,011	3,202E-04
CV	0,074	3,371E-03

Na distância de 35m a jusante da fonte em relação à direção de migração da água subterrânea existe um poço de monitoramento instalado (PM-14), cujos resultados das amostras de água subterrânea analisadas para os compostos químicos de

interesse foram de <0,005mg/L, ou seja não detectado pelo método analíticos empregado, a exceção do cis DCE que foi detectada a concentração de 0,017mg/L. Ao comparar os resultados do PM-14 com as concentrações calculadas pelo modelo de transporte de contaminantes das planilhas da CETESB é possível identificar que todas as concentração foram inferiores a 0,005mg/L, a exceção do cis DCE que nas planilhas da CETESB foi encontrada a concentração de 0,0107mg/L a distância de 35m da fonte que é parecida com a concentração do PM-14 (0,017mg/L). Desta forma, o modelo de transporte empregado nas planilhas de risco da CETESB mostra coerência com os dados reais coletados.

### **Cenários 3 – Ingestão e contato dérmico com a água subterrânea do aquífero profundo para receptores industriais localizados dentro e fora da fonte.**

Na **Tabela 15** podem ser observados os resultados das concentrações dos compostos químicos de interesse na água subterrânea profunda (áquifero mais profundo que 17m) no ponto de exposição localizado a 83m da fonte.

Segundo os cálculos de risco a serem apresentados no **Capítulo 4.4**, 83m é a distância a partir da qual não se é identificado risco para ingestão de água subterrânea no aquífero profundo para receptores industriais.

As concentrações na fonte foram utilizadas as dos poços de monitoramento profundos com captação de água entre 17m e 40m de profundidade a partir da superfície.

**Tabela 15 - Concentração no ponto de exposição, localizado a 83m da fonte, para a água subterrânea profunda**

<b>Composto</b>	<b>Concentração na fonte (mg/L)</b>	<b>Concentração da água subterrânea fora da fonte (mg/L)</b>
PCE	0,913	6,151E-16
TCE	0,190	1,891E-07
cis DCE	1,404	9,428E-04
trans DCE	0,0074	6,711E-06
CV	1,776	3,500E-03

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DO RISCO

Abaixo serão apresentados os resultados da caracterização do risco para cada cenário considerados no **Capítulo 4.3.1**.

Com base na Decisão de Diretoria N° 103, de junho de 2007 (CETESB, 2007) e nas planilhas de avaliação de risco da CETESB, foram adotados, nesta avaliação, níveis admissíveis de risco inferiores a  $10^{-5}$  para os compostos químicos com efeitos carcinogênicos e inferiores a 1,0 para os compostos químicos com efeitos não-carcinogênicos.

No texto abaixo onde for mencionado consumo de água subterrânea está sendo referidos à ingestão e contato dérmico com a mesma.

1) Cenários para receptores industriais:

**Cenários 1 – Inalação de vapores provenientes da água subterrânea para receptores industriais que trabalham dentro e foram da área fonte em ambientes abertos e fechados.**

A partir dos cálculos realizados pelas planilhas de avaliação de risco da CETESB não foi identificado risco individual por compostos de interesse e cumulativo para a via de inalação para os receptores industriais que trabalham sobre a área fonte e a um metro da mesma em ambientes fechados e abertos, como pode ser observado na **Tabela 16**.

Tabela 16 – Risco carcinogênico e não carcinogênico para o cenário de inalação dos compostos químicos de interesse a partir da volatilização da água subterrânea rasa na fonte de contaminação e fora da fonte a uma distância de 1,0m, para receptores industriais de área de interesse

<b>Composto</b>	<b>Efeito</b>	<b>Receptor na fonte de contaminação</b>		<b>Receptor fora da fonte de contaminação</b>	
		<b>Ambientes abertos</b>	<b>Ambientes fechados</b>	<b>Ambientes abertos</b>	<b>Ambientes fechados</b>
PCE	C	6,21E-08	3,18E-06	1,24E-08	6,37E-07
	NC	1,12E-04	5,76E-03	2,25E-05	1,15E-03
TCE	C	3,65E-09	1,86E-07	2,52E-09	1,29E-07
	NC	ND	ND	ND	ND
cis DCE	C	ND	ND	ND	ND
	NC	ND	ND	ND	ND
trans DCE	C	ND	ND	ND	ND
	NC	8,44E-06	4,31E-04	7,37E-06	3,77E-04
CV	C	1,53E-08	7,89E-07	1,36E-08	7,04E-07
	NC	9,99E-05	5,16E-03	8,91E-05	4,61E-03
Risco Cumulativo	C	8,10E-08	4,16E-06	2,86E-08	1,47E-06
	NC	2,21E-04	1,14E-02	1,19E-04	6,14E-03

Legenda: C – composto carcinogênico; NC – composto não carcinogênico; Risco Cumulativo – risco cumulativo por cenário de exposição; ND – não disponível.

Esse resultado indica a não necessidade de adoção de medidas de intervenção para a via de inalação em relação aos funcionários da indústria em questão.

### **Cenários 2 – Ingestão e contato dérmico com a água subterrânea rasa para receptores industriais localizados dentro e fora da área da fonte.**

Na **Tabela 17** pode ser observada a presença de risco para receptores industriais para a ingestão e contato dérmico com a água subterrânea rasa na área da fonte.

Foi identificado risco de contato dérmico carcinogênico individual para o composto PCE, assim como risco carcinogênico cumulativo para a via. Para a ingestão foi identificado risco carcinogênico individual os compostos PCE e CV e risco individual não carcinogênico para o cis DCE, além de risco cumulativo carcinogênico e não carcinogênico.

Tabela 17 – Risco carcinogênico e não carcinogênico para o cenário de ingestão de água subterrânea rasa na fonte de contaminação e fora da fonte a uma distância de 35m, para receptores industriais

<b>Composto</b>	<b>Efeito</b>	<b>Receptor na fonte de contaminação</b>		<b>Receptor fora da fonte de contaminação</b>	
		<b>Contato dérmico</b>	<b>Ingestão</b>	<b>Contato dérmico</b>	<b>Ingestão</b>
PCE	C	<b>2,23E-04</b>	<b>1,37E-03</b>	1,59E-13	9,82E-13
	NC	1,19E-01	7,32E-01	8,50E-11	5,24E-10
TCE	C	4,08E-07	6,92E-06	1,94E-10	3,28E-09
	NC	ND	ND	ND	ND
cis DCE	C	ND	ND	ND	ND
	NC	ND	<b>4,97E+00</b>	ND	1,21E-01
trans DCE	C	ND	ND	ND	ND
	NC	2,36E-04	6,24E-03	6,87E-06	1,82E-04
CV	C	5,78E-06	<b>2,10E-04</b>	2,63E-07	9,57E-06
	NC	7,70E-03	2,80E-01	3,51E-04	1,28E-02
Risco Cumulativo	C	<b>2,29E-04</b>	<b>1,59E-03</b>	2,63E-07	9,57E-06
	NC	1,27E-01	<b>5,99E+00</b>	3,58E-04	1,34E-01

Legenda: C – composto carcinogênico; NC – composto não carcinogênico; Risco Cumulativo – risco cumulativo por cenário de exposição; ND – não disponível.

Na mesma **Tabela 17** pode ser observada a ausência de risco para receptores industriais para a ingestão da água subterrânea rasa a 35m da área fonte. A distância de 35m foi a maior distância em relação à fonte a partir da qual não foi identificada à presença de risco. Desta forma, a zona de restrição de consumo da água subterrânea deve ser estendida da fonte até uma distância de 35m na direção da migração da água subterrânea local para o consumo da mesma por receptores industriais.

### **Cenários 3 – Ingestão e contato dérmico com a água subterrânea do aquífero profundo para receptores industriais localizados dentro e fora da área fonte.**

Na **Tabela 18** pode ser observada a presença de risco para receptores industriais para a ingestão da água subterrânea profunda (mais profundas que 17m em relação à superfície) na área da fonte.

Foi identificado risco de contato dérmico carcinogênico individual para os compostos PCE e CV, assim como risco carcinogênico cumulativo para a via. Para a ingestão

foi identificado risco carcinogênico individual os compostos PCE e CV e risco individual não carcinogênico para PCE, cis DCE e CV, além de risco cumulativo carcinogênico e não carcinogênico.

Tabela 18 – Risco carcinogênico e não carcinogênico para o cenário de ingestão de água subterrânea profunda na fonte de contaminação e fora da fonte a uma distância de 83m, para receptores industriais

<b>Composto</b>	<b>Efeito</b>	<b>Receptor na fonte de contaminação</b>		<b>Receptor fora da fonte de contaminação</b>	
		<b>Contato dérmico</b>	<b>Ingestão</b>	<b>Contato dérmico</b>	<b>Ingestão</b>
PCE	C	<b>3,15E-04</b>	<b>1,94E-03</b>	2,12E-19	1,31E-18
	NC	1,68E-01	<b>1,04E+00</b>	1,13E-16	6,98E-16
TCE	C	5,74E-07	9,73E-06	5,71E-13	9,69E-12
	NC	ND	ND	ND	ND
cis DCE	C	ND	ND	ND	ND
	NC	ND	<b>1,59E+00</b>	ND	1,07E-03
trans DCE	C	ND	ND	ND	ND
	NC	1,59E-04	4,20E-03	1,44E-07	3,81E-06
CV	C	<b>1,39E-04</b>	<b>5,04E-03</b>	2,73E-07	9,93E-06
	NC	1,85E-01	<b>6,72E+00</b>	3,64E-04	1,32E-02
Risco Cumulativo	C	<b>4,54E-04</b>	<b>6,99E-03</b>	2,73E-07	9,93E-06
	NC	3,53E-01	<b>9,35E+00</b>	3,65E-04	1,43E-02

Legenda: C – composto carcinogênico; NC – composto não carcinogênico; Risco Cumulativo – risco cumulativo por cenário de exposição; ND – não disponível.

Na mesma **Tabela 18** pode ser observada a ausência de risco para receptores industriais para a ingestão da água subterrânea profunda a 83m da área fonte. A distância de 83m foi a maior distância em relação à fonte a partir da qual não foi identificada à presença de risco.

Desta forma, a zona de restrição de consumo da água subterrânea profunda para receptores industriais deve ser estabelecida a partir da área fonte até uma distância de 83m não só na direção da migração da água subterrânea local, mas em todas as direções. A diferença do contorno da zona de restrição da água subterrânea rasa para a profunda é proveniente do fato de haver suspeita de que a partir de 40m de profundidade a água subterrânea tenha atingido o aquífero fraturado, sendo que a água subterrânea nesse tipo de aquífero pode fluir em diferentes direções conforme o posicionamento e conexões das fraturas existentes na rocha. Uma vez que os estudos de investigação ambiental realizados na área da indústria em questão não

possuem informações sobre o aquífero fraturado, foi considerado de forma conservadora que a água subterrânea local pode-se mover em diferentes direções a partir da área fonte.

A área de restrição de consumo de água subterrânea para o aquífero profundo engloba áreas atualmente ocupadas por indústrias.

#### 4.5 GERENCIAMENTO DO RISCO

A partir dos resultados do cálculo dos riscos para os trabalhadores da indústria em questão, podemos estabelecer diferentes medidas de controle de forma a proteger os receptores frente à alteração da qualidade da água subterrânea local.

Para os receptores industriais foi identificado risco apenas para o consumo de água subterrânea rasa e profunda. No interior da área da indústria em questão não há poços para captação da água subterrânea de forma que os trabalhadores industriais não estão expostos à água subterrânea impactada. Porém, deve ser estabelecida uma restrição de consumo da água subterrânea rasa e profunda no interior da indústria em estudo. Essa restrição deve ser adicionada na matrícula do terreno de forma a evitar que futuros proprietários ou ocupantes da área em estudo utilizem esse recurso natural.

Uma vez que não existe risco de inalação para os trabalhadores da indústria em questão, podemos afirmar que a alteração da qualidade da água subterrânea não coloca em risco os trabalhadores da área industrial em estudo. Porém, de forma conservadora é aconselhável à realização de uma avaliação da exposição aos compostos químicos de interesse dos trabalhadores por meio de amostragem conforme estabelecido na NR 15 e a comparação desses resultados com os limites de tolerância da NR 15 e ACGIH.

Ao redor da área da indústria em questão não foram identificados poços de captação de água subterrânea rasa, não estando os receptores industriais vizinhos à indústria em questão expostos à alteração da água subterrânea rasa. Vale salientar que nos

estudos de investigação ambiental as plumas de PCE e seus produtos de degradação no aquífero raso estão delimitadas dentro da área da indústria em questão, sendo esse mais um fato que indica que os vizinhos não estão expostos às concentrações dos compostos químicos de interesse do aquífero raso.

Porém, ao redor da área da indústria em questão foram identificados poços de abastecimento profundos que captam água do aquífero faturado. O poço de abastecimento profundo mais próximo está a uma distância de aproximadamente 100m a leste, estando essa distância superior à calculada pela avaliação de risco atual, que indica que a partir de 83m da área fonte não existe mais risco para consumo da água subterrânea profunda. Uma vez que o modelo de fluxo das planilhas da CETESB consideram apenas o aquífero granular (poroso) e não o fraturado, a distância de 83m é uma estimativa e deve ser considerada com ressalva. Desta forma, a partir do estudo de avaliação de risco apresentado no presente trabalho, não se pode garantir que os poços profundos de captação de água subterrânea, ao redor da área da indústria em questão, não estejam sendo afetados pela alteração da qualidade da água subterrânea identificada a 40m de profundidade nas antigas áreas fontes. Para o gerenciamento de risco desse cenário é necessário o estabelecimento da zona de restrição de 83m ao redor da área da indústria em questão, mesmo com ressalva, e comunicar aos órgãos responsáveis.

Também é necessária a verificação da qualidade da água subterrânea desses poços tubulares de abastecimento de água para os compostos químicos de interesse, além da adoção de medidas remediação para a redução das concentrações de PCE e seus produtos de degradação observadas no aquífero entre 17m e 40m de profundidade, a fim de evitar a migração desses compostos para porções mais profundas do aquífero (áquifero fraturado).

Estudos de detalhamento do aquífero fraturado podem ser executados, mas por se tratar de uma área industrial, onde as indústrias ao redor da área de interesse, também utilizaram os solventes em seus processos de produção, essa investigação deve ser feita de forma integrada entre as indústrias, pois não só a indústria em questão, mas como as demais podem ter impactado o aquífero profundo.

## 5 CONCLUSÃO

A partir do estudo de avaliação de risco para os receptores indústrias expostos ao impactado de PCE e seus produtos de degradação na água subterrânea da área indústria em estudo foi possível identificar os cenários atuais que podem expor os referidos receptores a risco à saúde humana. Também foi possível estabelecer diretrizes para o gerenciamento dos riscos identificados.

Com o levantamento do layout da indústria em estudo e dos arredores foram identificados os trabalhadores da indústria em questão como receptores a serem considerados no estudo de avaliação de risco. Também foi identificada ingestão de água subterrânea rasa e profunda e a inalação dos compostos químicos de interesse para ambientes abertos e fechados como as vias de ingresso a serem consideradas.

Não foi identificado risco aos trabalhadores da indústria em questão para a via inalação frente à contaminação de PCE e seus produtos de degradação presentes na água subterrânea da área de interesse. Porém, nesse estudo não foram coletadas amostras diretas da concentração desses contaminantes no ar ambiente da indústria em estudos, sendo, de forma conservadora, aconselhável que tal amostragem seja realizada conforme preconizado pela NR 15 e que seus resultados sejam tratados e comparados com os limites de tolerância da NR 15 e ACGIH. Porém, a partir dos resultados obtidos nesse estudo nenhuma ação de mitigação e controle dessa via de exposição deve ser tomada.

Os cálculos dos riscos indicaram a presença de risco para a ingestão e contato dérmico de água subterrânea rasa e profunda, por trabalhadores da indústria em estudo, na área fonte e a 35m e 83m de distância da fonte, respectivamente. Uma vez que a área da indústria em estudo não possui poços de captação de água do aquífero essa via não se completa. A via de inalação de solventes clorados a partir a volatilização desses compostos presentes na água subterrânea em ambientes abertos e fechados também não indicaram risco para os trabalhadores da indústria em estudo. Desta forma não há risco para os trabalhadores dos postos de trabalhos

localizados sobre e fora da área cuja a água subterrânea está impactada por solventes clorados.

Para o gerenciamento dos riscos identificados para ingestão da água subterrânea rasa e profunda pelos trabalhadores industriais foram descritas as seguintes medidas a serem adotadas para o gerenciamento dos riscos:

- Estabelecer a restrição de consumo de água subterrânea rasa e profunda no interior da área industrial em estudo;
- Comunicar aos órgãos competentes as zonas de restrição de consumo de água subterrânea que ultrapassam os limites da área industrial em estudo;
- Verificação da qualidade da água subterrânea profunda captada pelos poços de abastecimento identificados nos arredores da área da indústria em questão dentro do raio de 500m;
- Realização de remediação do aquífero profundo para redução das concentrações dos compostos químicos de interesse;
- Realização de investigação ambiental do aquífero profundo em conjunto com as demais indústrias vizinhas que possam ter impactado o aquífero fraturado.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Conference of Industrial Hygienist – ACGIH. **Limites de Exposição Ocupacional (TLVs) para Substâncias Químicas e Agentes Físicos & Índices Biológicos de Exposição (BEIs)**. Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais – ABHO, 2009.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATSDR. **Division on Health Studies. National Exposure Registry Trichloroethylene (TCE) Subregistry – Baseline Technical Report**. Washington DC: US Department of Health and Human Services, 1993.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATSDR. **Toxicological profile for 1,2-dichloroethene**. Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, GA, 1996. Disponível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.html> Acesso em 19mar.2012..

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATSDR. **Toxicological Profile for Tetrachloroethylene**. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1997. Disponível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp18.pdf>. Acesso em: 25mar.2012.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATSDR. **Toxicological Profile for Vinyl Chloride**. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 20onível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp20.pdf>. Acesso em: 19mar.2012.

AURÉLIO B.H. FERREIRA. **Dicionário Aurélio básico da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1995. 687 p.

CANTER, L. W. **Environmental Risk Assessment and Management: A Literature Review**. Mexico: Pan American Center for Human Ecology and Health, 1989.

CETESB. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. 2001. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/manual-de-gerenciamento-de-ACs/7->. Acesso em: 09jan.2012.

CETESB. **Decisão de Diretoria nº 195/2005-E, de 23 de novembro de 2005**. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores

Orientadores de 2001, e dá outras providências. Disponível em:  
[http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/relatorios/tabela\\_valores\\_2005.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf). Acesso em: 10jan.2012.

CETESB. **Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007.** Dispõe sobre o procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas\\_contaminadas/proced\\_gerenciamento\\_ac.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/proced_gerenciamento_ac.pdf). Acesso em: 09jan.2012.

CETESB. **Planilhas para Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação.** 2009. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/planilhas-para-avalia%C3%A7%C3%A3o-de-risco/8>. Acesso em: 08jan.2012.

DEUTSCH, W. J. **Groundwater Geochemistry Fundamentals and Applications to Contamination.** Lewis Publishers, 1997. 221p.

DE CICCO, F. **Manual sobre sistemas de gestão da segurança e saúde no trabalho: OHSAS 18001.** São Paulo: Risk Tecnologia. Volume III, 1999.

EDITORAS SARAIVA; PINTO, A. L. T; WINDT; M. C. V. S.; CÉSPERE, L. **Segurança e Medicina do Trabalho.** 5 ed. atual. Saraiva, 2010.

FETTER, C. W. **Applied Hydrogeology.** 4<sup>a</sup>ed. New Jersey: Mairil Publishing Company, Upper Saddler River, 2001. 598p.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A.. **Groundwater.** Englewood Cliff, N.J.: Prentice-Hall. 1979.

GOLS, L. S.; DE ROOS, A. J.; WATERS, M.; STEWART, P. **Systematic Literature Review of Uses and Levels of Occupational Exposure to Tetrachloroethylene.** J Occup Environ HYG 2008; 5:807-839

HOLMBERG, B.; HOGBERG J.; JOHANSON G. Toxicology: Definitions and concepts. In: International Labour Organization, Encyclopaedia of Occupational Health and Safety. 4. ed. Genebra: 1998. Disponível em: <http://www.ilo.org/encyclopedia/>. Acesso em: 19mar. 2012.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER - IARC Disponível em: <http://www.iarc.fr/>. Acesso em: 20mar.2012.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER - IARC. **Vinyl chloride, polyvinyl chloride and vinyl chloride-vinyl acetate copolymers. In Some Monomers, Plastics, and Synthetic Elastomers, and Acrolein.** IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, vol. 19. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer. p. 372-438, 1979.

ITRC. **Natural Attenuation of Chlorinated Solvents in Groundwater: Principles and Practices.** Disponível em: <http://www.itrcweb.org/Documents/ISB-3.pdf>. Acesso em: 08jan.2012.

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY - IUPAC. **Clinical Chemistry Division. Commission on Toxicology. Glossary for Chemists of Terms used in Toxicology (IUPAC Recommendations 1993).** Disponível em: <http://sis.nlm.nih.gov/main.htm>. Acesso em: 20mar.2012.

JAFFÉ, P. **Manual para levantamento, investigação, avaliação e remediação de contaminações de solo e água subterrânea por solventes clorados na indústria metalúrgica / eletro-eletrônica.** 2008, 250 p. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/camaras/ca\\_ativas/metalurgico/documentos/manual\\_solvientes%20clorados.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/camaras/ca_ativas/metalurgico/documentos/manual_solvientes%20clorados.pdf). Acesso em: 08jan.2012.

KUEPER, B.H.; WEALTHALL, G. P.; LEHARNE, S.A.; LERNER, D.N. **An illustrated handbook of DNAPL transport and fate in the subsurface.** Bristol: Environmental Agency, 2003, 46 p.

LARINI, L. **Toxicologia.** 3. ed. São Paulo: Manole, 1997.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/Empregador/segsau/Legislacao/Normas/>. Acesso em: 14mar. 2012.

National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH. *National Occupational Exposure Survey (1981-83)*. Disponível em: <http://www.cdc.gov/noes/noes1/54790sic.html>. Acesso em: 20mar.2012.

National Library of Medicine- NLM. **Cis-1,2-Dichloroethylene, trans-1,2-dichloroethylene, and 1,2-dichloroethylene.** HSDB (Hazardous Substances Data Bank). National Institutes of Health, U.S. Department of Health and Human Services,

Bethesda, MD, 2006. Disponível em: <http://toxnet.nlm.nih.gov>. Acesso em: 19mar.2012.

NATIONAL TOXICITY PROGRASM - NTP. Disponível em: <http://ntp.niehs.nih.gov/>. Acesso em: 20mar.2012.

NATIONAL TOXICITY PROGRASM - NTP. **NTP technical report on the toxicity studies of trans-1,2-dichloroethylene (CAS No. 156-60-5) administered in microcapsules in feed to F344/N rats and B6C3F1 mice.** Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services; NTP TR 55, 2002a. Disponível em: [http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/ST\\_rpts/tox055.pdf](http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/ST_rpts/tox055.pdf). Acesso em: 19mar.2012.

Oga, S. **Fundamentos de Toxicologia**, 2ed. São Paulo: Atheneu: 2003.

Organizacion Panamericana de La Salud, Agencia de Proteccion Ambiental de Los Estados Unidos de America. **Taller Nacional de Introduccion a la Evaluacion y Manejo de Riesgos.** Brasilia: OPAS/EPA; 1996.

PAUSTENBA, D. J. Occupational exposure limits. In: International Labour Organization, Encyclopaedia of Occupational Health and Safety. 4. ed. Genebra: 1998. Disponível em: <http://www.ilo.org/encyclopedia/>. Acesso em: 19mar. 2012.

PERROTTA, M.M. et al. **Mapa geológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: CPRM, 2005. Escala 1: 750.000. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).

RASMUSSEN, K. **Chlorinated solvents health effects after long-term exposure.** 1996, 86 p. Tese (Doutorado) – Universidade de Århus, Århus, 1996.

RODRICKS, J.V. **Calculated risks: understanding the toxicity and human health risks of chemicals in our environment.** Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 256 p.

SANTOS JÚNIOR, E.A.; BUSCHINELLI, J.T.P.; DELLA ROSA, H.V.; SALGADO, P. E. T.; COLACIOPPO,S.; MENDES, R., 2003. **Condições de Risco de Natureza Química.** In: Patologia do trabalho. (Mendes, R.), pp.325-514, Rio de Janeiro: Atheneu.

SILBERGELD, E. K. **Toxicology: Introduction. In: International Labour Organization, Encyclopaedia of Occupational Health and Safety.** 4. ed. Genebra: 1998. Disponível em: <http://www.ilo.org/encyclopedia/>. Acesso em: 19mar. 2012.

SMITH, L.R.; DRAGUN, J. **Degradation of volatile chlorinated aliphatic priority pollutants in groundwater.** Environ. Int. 10: 291 –298, 1984.

SOUZA, C. R., ARAÚJO, G. M., BENITO, J. **Normas Regulamentadoras Comentadas.** [S.l.: s.n], 1998 WATER TECHNOLOGY (sítio especializado). Willamette Water Treatment Plant, Wilsonville, OR, USA. Disponível em: [http://www.water-technology.net/project\\_printable.asp?ProjectID=2160](http://www.water-technology.net/project_printable.asp?ProjectID=2160). Acesso em: 05mar.2012.

SZULC- KUBERSKA, J., TRONCZYNSKA, J., LATKOWSKI, B. **Oto- neurological investigations of chronic trichloroethylene poisoning.** Minerva Otorinolaringologica, 26:108-112, 1976.

Torloni, M.; Vieira, A. V. **Manual de Proteção Respiratória.** ABHO. 2003. 520p.

US EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Technical Protocol for Evaluating Natural Attenuation of Chlorinated Solvents I Groundwater.** 1998. Disponível em: [http://www.epa.gov/wastes/hazard/correctiveaction/resources/guidance/rem\\_eval/protocol.pdf](http://www.epa.gov/wastes/hazard/correctiveaction/resources/guidance/rem_eval/protocol.pdf). Acesso em: 09jan.2012.

US EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), Volume I: Human Health Evaluation Manual.** 1989. Disponível em: <http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/rags/>. Acesso em: 09jan.2012.

US EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Toxicological Review of Tetrachloroethylene, in Support of Summary Information on the Risk Information System.** Washington, DC: EPA 2009b. Report nr EPS/635/R-08/011A. 1-537p.

US EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Health Effects Assessment of Perchloroethylene.** Washington, DC: EPA Office of Research and Development. 1991. Report nr EPA-SAB-EHC-91-013. 1-16p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Principles for the assessment of risks to human health from exposure to chemicals.** Geneva, 1999. 75 p. (International Programme on Chemical Safety, Environmental health Criteria 210).

WISCONSIN DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES. **Understanding Chlorinated Hydrocarbon Behavior in Groundwater: Investigation, Assessment and Limitations of Monitored Natural Attenuation.** Disponível em: <http://dnr.wi.gov/org/aw/rr/archives/pubs/RR699.pdf>. Acesso em: 08jan.2012.