

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

HUGO HENRIQUE SALVONI

**AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA EM UNIDADE INDUSTRIAL
AUTOMOTIVA CONTAMINADA POR ORGANOCLORADOS NO MUNICÍPIO DE
GRAVATAÍ/RS**

São Paulo

2024

**AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA EM UNIDADE INDUSTRIAL
AUTOMOTIVA CONTAMINADA POR ORGANOCLORADOS NO MUNICÍPIO DE
GRAVATAÍ/RS**

Versão Original

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields.

Orientadora: Dra. Gabriela Paupitz
Mendes

São Paulo

2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação

Salvoni, Hugo Henrique

Avaliação de Risco à Saúde Humana em Unidade Industrial Automotiva Contaminada por Organoclorados no Município de Gravataí/RS / H. H. Salvoni - São Paulo, 2024.

61 p.

Monografia (MBA em Gestão em Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Avaliação de Risco 2.Solventes Clorados 3.Áreas Contaminadas 4.Saúde Humana 5.Concentração Máxima Aceitável I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

AGRADECIMENTOS

Aos meus amados pais, que sempre me incentivaram e deram suporte aos meus estudos.

À minha irmã, que é um pedacinho de mim do outro lado do mundo.

E à minha esposa, que sempre esteve do meu lado, nos momentos bons e ruins.

Cada um que passa em nossa vida, passa sozinho, mas não vai só, nem nos deixa sós; leva um pouco de nós mesmos, e deixa um pouco de si mesmo.

RESUMO

Salvoni, Hugo Henrique. **Avaliação De Risco à Saúde Humana em uma Unidade Industrial Automotiva, Contaminada Por Solventes Organoclorados, Localizada em Gravataí, Rio Grande Do Sul**. 2024. 61 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

A industrialização e urbanização são processos transformadores da sociedade que moldaram o mundo como o conhecemos hoje. Ao mesmo tempo que houve uma clara evolução social e econômica, o desenvolvimento de indústrias acabou trazendo diversos efeitos adversos para o meio ambiente, como por exemplo a contaminação do solo, água subterrânea e ar ambiente. Neste contexto, este trabalho teve por objetivo principal realizar uma avaliação de risco à saúde humana em uma unidade industrial automotiva, localizada em Gravataí/RS. Dentro das etapas e metas específicas, foi necessário realizar o levantamento das substâncias químicas de interesse, identificação da população potencialmente afetada, determinação das rotas de exposição e vias de ingresso, identificação e quantificação dos riscos potenciais, e cálculo de concentrações máximas aceitáveis. A avaliação de risco à saúde humana foi realizada com base em manuais, normas e legislações brasileiras e internacionais, e a planilha de cálculo de riscos da CETESB foi utilizada. Após a definição das substâncias químicas de interesse, receptores, cenários e concentrações de exposição, e vias de ingresso, além da definição de parâmetros dos meios físicos, geológicos e da área industrial de interesse, foi possível verificar que atualmente existem riscos hipotéticos para diferentes cenários de exposição, considerando trabalhadores industriais e trabalhadores de obras civis. Destaca-se que os cenários que apresentaram riscos acima dos limites aceitáveis são considerados riscos potenciais, pois se baseiam na modelagem de concentrações do solo ou da água para o ar, ou são considerados hipotéticos, pois não se completam atualmente. Desta forma, percebe-se que a avaliação de risco à saúde humana é fundamental para o gerenciamento de áreas contaminadas, pois auxilia na verificação dos possíveis riscos existentes devido à exposição de substâncias químicas de interesse aos receptores na área de interesse.

Palavras-chave: Avaliação de risco. Solventes clorados. Áreas contaminadas. Saúde humana. Concentração máxima aceitável.

ABSTRACT

Salvoni, Hugo Henrique. **Human Health Risk Assessment in an Automotive Industrial Unit, Contaminated by Organochlorine Solvents, Located in Gravataí, Rio Grande Do Sul.** 2024. 61 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

Industrialization and urbanization are transformative processes that shaped the world as we know. While there was a social and economic evolution, the development of industries ended up bringing several adverse effects to the environment, such as soil, groundwater, and air pollution. In this context, the main objective of this work was to carry out a human health risk assessment in an automotive industrial unit, located in Gravataí/RS, Brazil. Within the specific stages and goals, it was necessary to evaluate the chemical substances of interest (CSI), identify the population potentially affected, determine the exposure scenarios and routes, identify and quantify potential risks, and calculate the maximum acceptable concentrations. The human health risk assessment was carried out following Brazilian and international manuals, standards, and legislations. A risk calculation spreadsheet from CETESB environmental agency was used. After defining the chemical substances of interest, receptors, exposure scenarios and concentrations, and exposure routes, in addition to defining the physical and geological parameters, and the industrial area of interest, it was possible to verify that there are hypothetical risks, considering industrial workers and civil workers. It is noteworthy that the scenarios which presented risks above acceptable limits are considered potential risks, as they are based on the modeling of soil or water concentrations in the air, or are considered hypothetical, as they are not currently completed. Thus, this work made it clear that human health risk assessments is a fundamental tool for proper contaminated areas management, as it helps to verify the existing possible risks due to the exposure of CSI to receptors in the contaminated area.

Keywords: Risk assessment. Chlorinated solvents. Contaminated areas. Human health. Maximum Acceptable Concentration.

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AF	Área Fonte
ARSH	Avaliação de Risco à Saúde Humana
CMA	Concentração Máxima Aceitável
CETESB	Companha Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CV	Cloreto de Vinila
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DCA	Dicloroetano
DCE	Dicloroeteno
EPC	Exposure Point Concentration
HQ	Hazard Quotient
IARC	International Agency for Research on Cancer
IRIS	Integrated Risk Information System
ISO	International Organization for Standardization
kg	Quilogramas
m	Metro
m ²	Metros quadrados
MCE	Modelo Conceitual de Exposição
MIP	Membrane Interface Probe
MS	Ministério da Saúde
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PCE	Tetracloroeteno
RfC	Concentração de referência
RfD	Dose de referência
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SQI	Substância(s) Química(s) de Interesse
TCE	Tricloroeteno
UE	Unidade de Exposição
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VOC	Compostos Orgânicos Voláteis

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS	7
SUMÁRIO.....	8
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	12
3. JUSTIFICATIVA	12
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
4.1 Normas brasileiras relacionadas à ARSH.....	13
4.2 Etapas da ARSH	14
4.2.1 Coleta, avaliação e validação de dados	15
4.2.2 Avaliação de exposição	17
4.2.3 Avaliação de toxicidade.....	18
4.2.4 Caracterização de risco	19
4.2.5 Cálculo das concentrações máximas aceitáveis (CMA).....	20
4.2.6 Análise de incertezas	21
4.2.7 Gerenciamento de riscos.....	21
4.3 Contaminação por organoclorados	22
4.3.1 Tetracloroetano (PCE).....	23
4.3.2 Tricloroetano (TCE)	24
4.3.3 Dicloroetano (cis/trans-DCE).....	25
4.3.4 Cloreto de vinila (CV)	26
4.4 Estado da arte	27
5. METODOLOGIA.....	31
6. ÁREA DE ESTUDO	33
6.1 Histórico ambiental.....	34
6.2 Contexto geológico e hidrogeológico	34
6.3 Dados ambientais	37
6.4 Parâmetros adotados	38
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
7.1 Compilação e validação dos dados para ARSH.....	41
7.2 Avaliação da exposição	41
7.2.1 Identificação das substâncias químicas de interesse.....	41
7.2.2 Identificação dos receptores	42
7.2.3 Identificação dos cenários e vias de exposição	42

7.2.4	Quantificação da exposição e das doses de ingresso	45
7.2.5	Modelo conceitual de exposição.....	47
7.3	Avaliação da toxicidade.....	49
7.4	Riscos calculados	49
7.5	Concentrações máximas aceitáveis.....	54
8.	CONCLUSÕES.....	58
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1. INTRODUÇÃO

A industrialização é um processo transformador que desempenhou um papel fundamental na história da humanidade e moldou o mundo como o conhecemos hoje. Ela se refere ao desenvolvimento de indústrias, manufatura em larga escala e a transição de uma economia agrária para uma economia baseada na produção de bens e serviços. Pode-se dizer que este processo foi um marco importante na evolução social e econômica, e tem sido um motor essencial para o progresso humano (TORREZANI, 2018).

Já a urbanização é um fenômeno global que se refere ao crescimento das áreas urbanas em termos de população e território, à expansão das cidades e à transformação das sociedades de predominantemente rurais para cada vez mais urbanas. Ambos os processos estão intrinsicamente relacionados, já que a industrialização desempenhou um papel crucial na atração de trabalhadores para as cidades, uma vez que as fábricas e indústrias se concentraram nas áreas urbanas (TORREZANI, 2018). Pode-se afirmar que as cidades e regiões metropolitanas que mais cresceram em termos de população no Brasil e no mundo foram as que mais tiveram um desenvolvimento industrial consolidado e ao mesmo tempo desordenado, como por exemplo São Paulo e Londres (GALVAN, 2010).

A importância e os benefícios que o desenvolvimento industrial traz para a sociedade são conhecidos, como o crescimento da economia, a geração de empregos, a melhoria do padrão de vida das pessoas, o acesso à produtos e serviços de qualidade, o desenvolvimento de novas tecnologias e até a redução de desigualdade sociais. Entretanto, a industrialização também trouxe consigo efeitos adversos inerentes, como a urbanização desordenada e problemas de contaminação e degradação do meio ambiente (FARES, 2010).

A conscientização dos governos sobre as reais consequências da degradação ambiental e da contaminação de grandes áreas decorrentes das atividades industriais, começou a ocorrer a partir do século XX, com a ocorrência de eventos e contaminações marcantes, citados a seguir:

- Século XVII: Poluição do Rio Tamisa, em Londres (BENTO, 2021);
- Década de 1950: Contaminação por mercúrio, na baía de Minamata (HORTELLANI, 2003);
- Década de 1960: Contaminação por pesticidas na Cidade dos Meninos, no Rio de Janeiro (RABELO, 2019);
- Década de 1970: Presença de resíduos tóxicos Love Canal, em Nova Iorque (RABELO, 2019);

- Século XX: Contaminação por compostos orgânicos clorados, na região do Jurubatuba (L'APICCIRELLA, 2009);
- Década de 2010: rompimento de barragem de rejeitos, em Mariana e Brumadinho, Minas Gerais (LASCHEFSKI, 2016); e
- Década de 2020: Afundamento de terrenos urbanos, em Maceió, Alagoas (CPRM, 2019).

Atualmente, a contaminação do meio ambiente é uma preocupação global, e muitos países implementaram regulamentações e medidas de gerenciamento e remediação para abordar esse problema tão crítico. A conscientização ambiental cresceu, e a necessidade de gerenciar de forma sustentável as áreas contaminadas se tornou uma prioridade para a proteção da saúde humana e da biodiversidade.

No Brasil, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) foi pioneira, e em 1999 elaborou a primeira edição de seu “Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas”. Tal documento, que está sendo atualizado atualmente (3ª edição), fornece os procedimentos, estudos e etapas necessárias para o correto gerenciamento de áreas contaminadas (CETESB, 2022).

Em âmbito nacional, o Conselho Nacional do Meio Ambiente elaborou a primeira resolução referente ao gerenciamento de áreas contaminadas apenas em 2009, com a publicação da Resolução CONAMA nº 420/2009. Este documento, como o próprio título descreve, dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas (CONAMA, 2009).

Um dos braços do gerenciamento de áreas contaminadas, a avaliação de risco à saúde humana (ARSH) é um processo sistemático que envolve a avaliação de possíveis ameaças à saúde da população, associadas a exposições a substâncias químicas. Ela é uma ferramenta crítica para identificar e quantificar os riscos potenciais existentes, com o objetivo final de dar subsídio às tomadas de decisões para gerenciá-los e minimizá-los (ABNT, 2013).

O tema central deste trabalho consiste na realização de uma avaliação de risco à saúde humana (ARSH) em uma unidade industrial automotiva, localizada na cidade de Gravataí, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A metodologia aplicada será baseada na metodologia adota pelo órgão ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2017).

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal realizar uma avaliação de risco à saúde humana (ARSH) em uma unidade industrial automotiva localizada em Gravataí, Rio Grande do Sul.

Os objetivos específicos são:

- Levantamento das substâncias químicas de interesse (SQI);
- Identificação da população potencialmente afetada;
- Determinação das rotas de exposição e das vias de ingresso;
- Identificação e quantificação de riscos potenciais; e
- Cálculo das concentrações máximas aceitáveis.

3. JUSTIFICATIVA

Segundo o Relatório de Áreas Contaminadas, divulgado pela CETESB (2023), apenas no Estado de São Paulo existem aproximadamente 6.900 áreas contaminadas identificadas e cadastradas (CETESB, 2024). Já em todo o Brasil, este número é desconhecido, pois não há um cadastro oficial realizado por todos os órgãos ambientais estaduais. A grande maioria das áreas, porém, está inserida na malha urbana. Ou seja, parte da população brasileira está potencialmente exposta a diversos tipos de contaminantes.

Neste sentido, a ARSH se torna uma ferramenta essencial para empresas, órgãos ambientais e governo dentro do gerenciamento de áreas contaminadas, capaz de auxiliar na verificação dos possíveis riscos a partir da identificação das rotas de exposição entre as SQI e os receptores. Dessa forma, este trabalho servirá de exemplo para outros casos em que há necessidade de aplicação da ARSH no contexto de contaminação por solventes organoclorados, dentro das características de cada localidade.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A primeira publicação referente à realização de avaliações de risco à saúde humana (ARSH) foi realizada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, do inglês *United States Environmental Protection Agency*), através da publicação do documento “*Risk Assessment Guidance for Superfund – Volume I – Human Health Evaluation Manual*”, em 1989 (USEPA, 1989). Neste manual, são descritas as etapas necessárias para a realização de uma ARSH.

Em 2013, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elaborou a primeira norma brasileira referente à ARSH (ABNT, 2013). De acordo com esta norma, a ARSH é uma das etapas do processo do gerenciamento de áreas contaminadas. Seu principal objetivo é estimar o risco à saúde humana causado pela exposição de substâncias químicas à população localizada dentro ou no entorno da área de interesse, e auxiliar no estabelecimento de metas que orientem as medidas de intervenção (ABNT, 2013). As diretrizes e etapas serão detalhadas no item 4.2 (“Etapas da ARSH”).

4.1 Normas brasileiras relacionadas à ARSH

A seguir, são listadas as principais normas brasileiras que estão relacionadas ao gerenciamento de áreas contaminadas, e auxiliam na obtenção dos dados para a realização de uma ARSH:

- ABNT NBR 10.007/2004. Amostragem de resíduos;
- ABNT NBR 15.492/2007: Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental;
- ABNT NBR: 15.495-1/2007: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 1: Projeto e Construção;
- ABNT NBR: 15.495-2/2007: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 2: Desenvolvimento;
- ABNT NBR 15.515-1/2007: Passivo ambiental em solo e água subterrânea - Parte 1: Investigação Preliminar;
- ABNT NBR 15.515-2/2011: Passivo ambiental em solo e água subterrânea - Parte 2: Investigação Confirmatória;
- ABNT NBR 15.515-3/2013: Avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea - Parte 3: Investigação Detalhada;

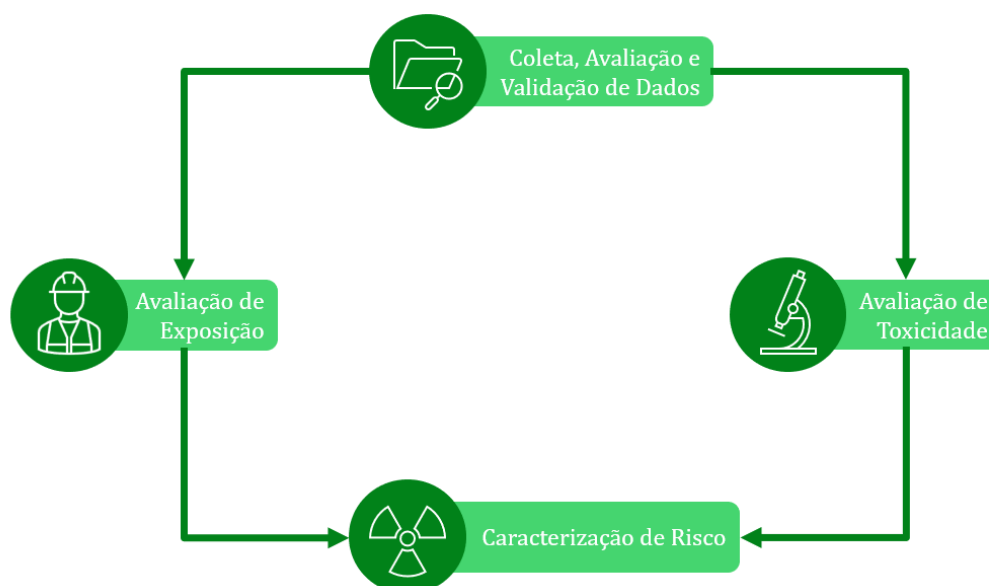
- ABNT NBR 15.847/2010. Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento - Métodos de Purga;
- ABNT NBR 16.209/2013: Avaliação de risco à saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas;
- ABNT NBR 16.210/2013: Modelo conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas – Procedimento; e
- ABNT NBR 16.434/2015: Amostragem de resíduos sólidos, solos e sedimentos - Análise de compostos orgânicos voláteis (COV) - Procedimento.

4.2 Etapas da ARSH

No contexto do gerenciamento de áreas contaminadas, a ARSH deve ser realizada após as etapas de avaliação preliminar, investigação confirmatória e investigação detalhada, para que haja as informações necessárias para subsidiar a realização da ARSH de modo mais preciso e capaz de refletir a realidade da área contaminada (ABNT, 2013). É importante destacar que a metodologia brasileira para a realização da ARSH é baseada no método apresentado pela USEPA em 1989 (ABNT, 2013).

A execução da ARSH envolve a realização de etapas sequenciais, até a obtenção da caracterização e cálculo de risco (ABNT, 2013). A Figura 1 apresenta as etapas que fazem parte do desenvolvimento da ARSH.

Figura 1 – Fluxograma das etapas da avaliação de risco à saúde humana.



Fonte: adaptado de ABNT (2013).

4.2.1 Coleta, avaliação e validação de dados

O processo é iniciado na coleta de dados ambientais e características físicas, geológicas e hidrogeológicas da área de interesse e do entorno, seja através de estudos prévios ou através da realização de etapas de investigação, como a avaliação preliminar, confirmatória e detalhada. Tais estudos tem como principal objetivo obter dados que serão utilizados no desenvolvimento da ARSH, e estão apresentados a seguir, de acordo com a norma ABNT NBR 16.209/2013 (ABNT, 2013):

- Levantamento de todas as SQI que foram manipuladas na área industrial e podem resultar em uma contaminação do meio ambiente;
- Resultados de análises químicas de amostras coletadas em diferentes meios físicos, como amostras de solo, de água subterrânea, água superficial, ar e alimentos;
- Características do meio físico, como a descrição pedológica e litológica do solo, sua granulometria, porosidade e densidade do solo, fração de carbono orgânico, capacidade de troca catiônica, profundidade no nível d'água, condutividade hidráulica, temperatura da água subterrânea, parâmetros físico-químicos da água subterrânea e do solo (pH, condutividade elétrica, potencial de oxirredução, temperatura, entre outros), taxa de infiltração do solo, entre outros;
- Características das SQI e da área contaminada, como tipo de contaminação, profundidade das fontes primárias e secundárias de contaminação, espessura da pluma dissolvida na água subterrânea, largura da fonte de contaminação, e características químicas e físicas dos contaminantes;
- Características físicas das estruturas e prédios da área impactada e de seu entorno, como a área das fundações, o pé direito, a espessura das fundações e paredes de construções existentes, os materiais que estas estruturas foram construídas, a existência de rachaduras e fissuras nas fundações e paredes, entre outros;
- Estabelecimento de parâmetros ambientais adicionais que serão utilizados na ARSH, como o fator de atenuação, a razão de troca de ar em espaços fechados, a largura e espessura da fonte de contaminação, os fatores de dispersividade horizontal, vertical e transversal, a distância entre a área fonte na água subterrânea e os pontos de exposição considerados, entre outros.

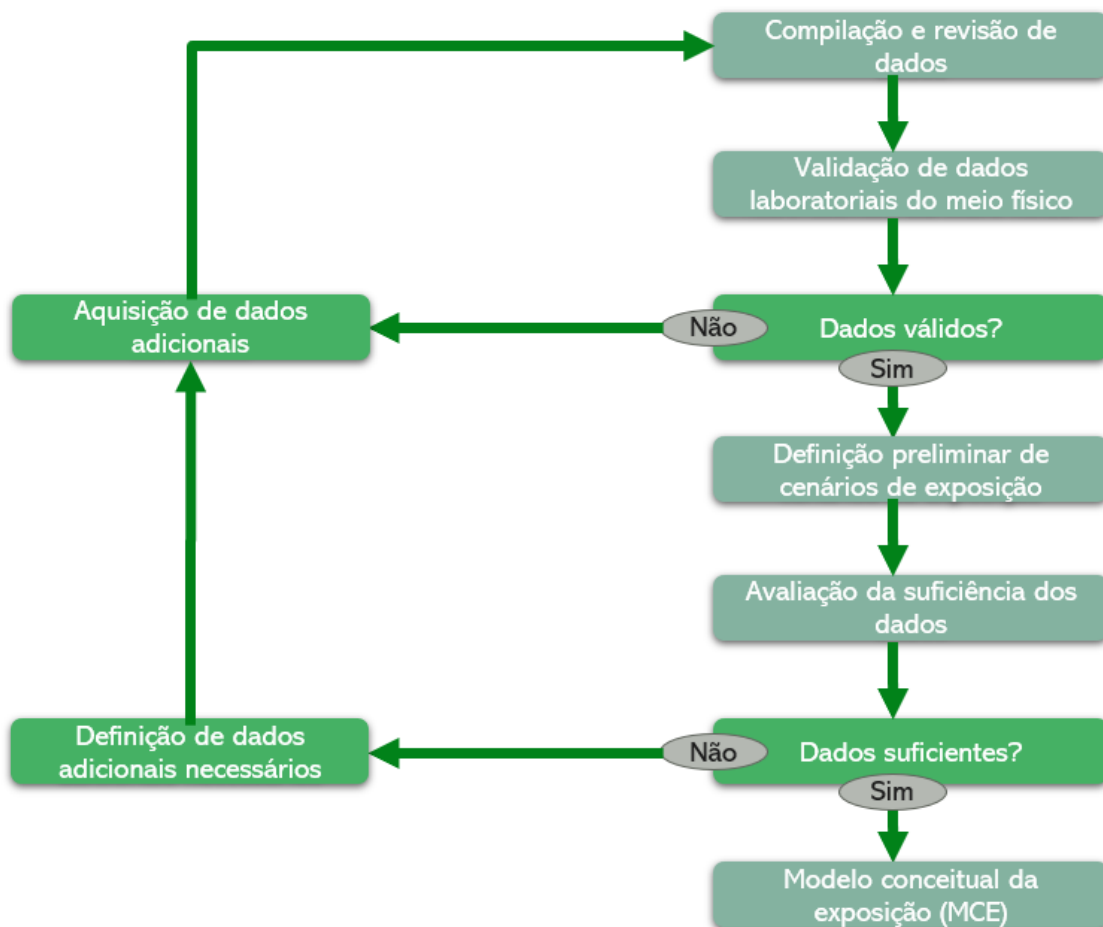
Quanto mais detalhado forem os estudos realizados, mais precisa e acurada será a ARSH. Em muitos casos, as empresas envolvidas querem economizar em etapas de

investigação e estudos ambientais. Entretanto, devido à incerteza adotada em diversos parâmetros que são utilizados nos cálculos de risco, acabam investindo muito mais dinheiro nas etapas de remediação das áreas contaminadas.

É importante destacar que todos estes dados e informações existentes devem ser avaliados e validados antes de serem utilizados, e todos devem seguir os procedimentos das normas técnicas brasileiras existentes, como nos casos da coleta de amostras e análises laboratoriais (ABNT, 2013). Caso os dados obtidos não sejam de fontes confiáveis, ou não sigam as recomendações e as exigências preconizadas, devem ser considerados inválidos. Neste cenário, novos estudos devem ser realizados para que dados acurados e válidos sejam obtidos .

A Figura 2 apresenta o fluxograma da etapa de coleta, avaliação e validação de dados a serem utilizados na ARSH.

Figura 2 – Fluxograma da etapa de coleta, avaliação e validação de dados.



Fonte: adaptado de ABNT (2013).

4.2.2 Avaliação de exposição

A segunda etapa que faz parte da ARSH é a avaliação da exposição existente, cujo principal objetivo é determinar o tipo, magnitude e frequência da exposição humana às SQI. Estas exposições se dão através de rotas de exposições distintas, e podem ser associados a eventos de exposição atual ou futuras, como em cenários hipotéticos. Adicionalmente, o tempo de exposição é um parâmetro fundamental para o cálculo do risco, pois eventos de exposição podem apresentar durações distintas, como um evento isolado e pontual, ou apresentar uma exposição duradoura (ABNT, 2013).

A caracterização dos cenários de exposição é realizada através da definição de todas as possíveis rotas de exposição entre as SQI e os receptores. Cada cenário de exposição deve descrever um único mecanismo através do qual os receptores são expostos. Ou seja, um único ponto de exposição e uma única via de ingresso (ABNT, 2013). A figura 3 apresenta a conexão entre as fontes de contaminação e os receptores, através de rotas de exposição.

Figura 4 – Fluxograma de exposição.



Fonte: adaptado de USEPA (1989).

Desta forma, pode-se sintetizar que o cenário de exposição surge a partir da existência de uma fonte primária ou secundária, que através de uma rota, como ar, solo, água subterrânea ou água superficial, entra em contato com um receptor em um ponto de exposição. Isso ocorre através de uma via de ingresso, que pode ser por meio de inalação, contato dérmico ou ingestão.

É crucial ressaltar que os cenários de exposição podem ser categorizados como completos, incompletos ou hipotéticos. Um cenário de exposição completo é caracterizado pela presença de todos os elementos mencionados, estabelecendo assim uma ligação entre o contaminante e o receptor. Em todos os casos em que o cenário é completo, a população é considerada exposta, e a exposição é mensurada. Já um cenário de exposição é considerado incompleto quando um ou mais componentes estão ausentes. Por fim, exposições hipotéticas são empregadas para avaliar cenários potenciais, atualmente incompletos.

Após o levantamento de todos os cenários de exposição existentes e futuros (hipotéticos), um Modelo Conceitual de Exposição (MCE) é elaborado, visando sintetizar e

apresentar de maneira visual e intuitiva a localização das fontes de contaminação primária e secundária, o transporte e distribuição das SQI nos diferentes compartimentos físicos, e a exposição aos receptores existentes, incluindo também detalhes da geologia e características físicas da área estudada (ABNT, 2013).

A última etapa da Avaliação de Exposição é a quantificação do ingresso das SQI presentes na área de interesse, ou seja, qual é a quantidade do contaminante disponível para absorção pelo organismo humana através dos pulmões, pele e intestino. O cálculo para esta quantificação considera os diferentes cenários de exposição supracitados, e é realizado através da multiplicação da estimativa das concentrações de exposição pela dose de ingresso dos receptores (ABNT, 2013).

É importante citar que, em diversos casos, apenas os resultados das concentrações de SQI obtidos nas investigações ambientais não são suficientes para estimar as concentrações nos pontos de exposição. A modelagem matemática torna-se uma ferramenta complementar e fundamental para uma estimativa acurada de concentrações de contaminantes.

4.2.3 Avaliação de toxicidade

Esta etapa é realizada paralelamente à etapa de Avaliação de Exposição. A seleção da SQI se concentra na análise sobre os compostos mais prováveis de causar risco à saúde (USEPA, 1989), resultante das atividades industriais e de suporte existentes na indústria ou na área que está sendo avaliada. São levantados dados toxicológicos das SQI em referências bibliográficas brasileiras e principalmente internacionais. A principal referência internacional é denominada *Integrated Risk Information System* (IRIS), que fornece informações sobre potenciais efeitos adversos para a saúde que podem resultar da exposição a substâncias químicas encontradas no ambiente (ABNT, 2013).

Os bancos de dados toxicológicos fornecem informações pertinentes de cada SQI para o cálculo do risco à saúde humana, como os seus principais efeitos adversos, as suas doses de referência, a sua classificação da carcinogenicidade, o seu fator de carcinogenicidade, entre outros. Para substâncias carcinogênicas, não há um nível de exposição que esteja isento de risco. Desta forma, a utilização do fator de carcinogenicidade é fundamental para o cálculo do risco do desenvolvimento de câncer durante o tempo de vida dos receptores, resultante da exposição de um SQI (ABNT, 2013). Já para substâncias não carcinogênicas, a ingestão de uma determinada SQI deve ser comparada às suas doses de referências. O risco é considerado existente nos casos em que a ingestão de uma determinada SQI ultrapasse a dose de referência

estabelecida nas referências bibliográficas (ABNT, 2013). As doses de referências e o fator de carcinogenicidade são determinados para as diferentes substâncias químicas e para cada via de ingresso (inalação, ingestão, contato dérmico).

4.2.4 Caracterização de risco

Após as três etapas supracitadas, a caracterização de risco pode ser executada. O cálculo da existência de risco é realizado para cada substância química de interesse, considerando a existência de efeitos carcinogênicos e não carcinogênicos, para cada caminho de exposição identificado e detalhado no modelo conceitual de exposição (ABNT, 2013). O princípio fundamental da avaliação de riscos é que o risco apenas existe quando há um meio de contato entre os receptores e a fonte de exposição. Três elementos são necessários para que um risco esteja presente: fonte de contaminação onde estão os contaminantes ou SQI, receptores e uma via de exposição entre a fonte e os receptores.

A base essencial da avaliação de riscos reside na condição de existência do risco real somente quando ocorre interação entre os receptores e a fonte de exposição. Três componentes se fazem imprescindíveis para a presença de um risco: a presença de uma fonte de contaminação, a existência de receptores, e a configuração de uma via de exposição que conecte a fonte aos receptores. A Figura 4 ilustra a interação entre os três componentes que, em conjunto, resultam no risco à saúde humana.

Figura 4 – Componentes do risco.



Fonte: adaptado de USEPA (1989).

O risco total existente para os receptores é obtido através da somatória dos riscos associados à exposição de múltiplas SQI e diferentes caminhos de exposição. Os riscos calculados devem ser comparados aos níveis aceitáveis de risco estabelecidos pelos órgãos ambientais regulamentadores. De acordo com a Resolução CONAMA nº 420/2009, para os casos de substâncias carcinogênicas, o nível tolerável de risco à saúde humana é de um caso de câncer a cada 100.000 indivíduos, ou seja, um risco tolerável de 10^{-5} . Para os casos de substâncias não carcinogênicas, o risco tolerável é o ingresso diário igual ou abaixo da dose de referência diária, obtida na literatura (CONAMA, 2009).

Em 2017, a CETESB indicou, em sua Decisão de Diretoria nº 38, que a determinação dos riscos e das Concentrações Máximas Aceitáveis (CMA) deve ser realizada por meio do uso das planilhas disponibilizadas pela própria CETESB. As CMA são concentrações máximas dos compostos químicos no meio físico que não representam riscos à saúde humana, em caso de exposição de um indivíduo ou uma população.

As planilhas foram desenvolvidas com base na metodologia da USEPA (1989), descrita no documento *Risk Assessment Guidance for Superfund* (RAGS), e constituem ferramentas auxiliares nos estudos de avaliação e gerenciamento de risco à saúde humana por exposição em áreas contaminadas (CETESB, 2023). O principal objetivo da utilização destas planilhas de cálculo é padronizar e otimizar a execução dos estudos de avaliação de risco realizados no Estado de São Paulo (CETESB, 2023). A última atualização destas planilhas de cálculo ocorreu em 24 de março de 2023.

4.2.5 Cálculo das concentrações máximas aceitáveis (CMA)

O cálculo das CMAS na ARSH é fundamental para estabelecer metas de remediação para as áreas contaminadas (CETESB, 2001). A Decisão de Diretoria nº 38 define CMA como concentração da SQI acima da qual há necessidade de implementação de medidas de intervenção (CETESB, 2017).

Desta forma, entende-se que uma área contaminada que apresenta concentrações de SQI acima da CMA calculada é uma área de risco existente. Caso as concentrações de SQI sejam inferiores às CMA calculadas, a área de estudo pode ser apenas monitorada até o seu encerramento (CETESB, 2017).

4.2.6 Análise de incertezas

O Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2022) diz que a presença de incertezas é inerente à realização de qualquer ARSH. A existência destas incertezas é algo que deve ser considerado e quantificado, sempre que possível.

As incertezas podem surgir desde a etapa de coleta de dados até a etapa de cálculo de riscos. Em diversos casos, os parâmetros utilizados são estimados e adotados com base na literatura. Em outros, apesar de terem sido obtidos em avaliações ambientais realizadas em campo, a quantidade de amostras pode não ser suficiente para realmente representar a área estudada. Por último, a modelagem matemática utilizada traz consigo um nível de incerteza que faz parte dos cálculos realizados.

Recomenda-se realizar sempre uma avaliação dos potenciais impactos que cada variável e cada parâmetro traz na quantificação dos riscos. As variáveis que apresentarem maior impacto na ARSH devem ser estudadas com maior detalhe e os seus valores devem ser adotados com uma maior cautela, sempre prezando para a saúde e segurança dos receptores existentes. Adicionalmente, com o objetivo de reduzir os impactos das incertezas no procedimento de avaliação de riscos, é recomendável adotar uma abordagem cautelosa, incorporando margens de segurança tanto na avaliação da exposição quanto na análise de toxicidade, bem como na caracterização do risco (CETESB, 2001).

4.2.7 Gerenciamento de riscos

Após o cálculo dos riscos existentes, diversas categorias de ações podem ser tomadas com o objetivo de reduzir estes riscos para níveis aceitáveis, conforme apresentado na norma ABNT NBR 16.209/2013, e descritos abaixo:

- Ações institucionais são aquelas realizadas através de imposições feitas pelas partes interessada aos trabalhadores e população impactada. Por exemplo: restrição de uso de água subterrânea e controle de acesso à determinada área.
- Ações de engenharia são realizadas através de obras que modifiquem as características da área impactada, alterando assim os parâmetros dos meios de transporte e dos cenários de exposição. Por exemplo: impermeabilização de pisos, tamponamento de poços existentes, correção de caminhos preferenciais (trincas e fissuras), modificação das características do ambiente afetado, como aumento do pé-direito do edifício, e incremento da ventilação do local.

- Ações de remediação tem a finalidade de reduzir as concentrações das substâncias químicas de interesse, tanto na fonte primária quanto na fonte secundária, ou em todas as áreas afetadas. Atualmente, existem inúmeras técnicas de remediação aplicadas no Brasil e globalmente. Santos et al. (2008) detalham as principais técnicas de remediação e gerenciamento de áreas contaminadas utilizadas no Brasil, como a biorremediação, a injeção química, escavações, extração de vapores do solo, tecnologias térmicas, uso de barreiras reativas, atenuação natural e diversas outras técnicas. São apresentadas as principais vantagens e os principais desafios de cada técnica. É importante destacar que não existe a melhor técnica de remediação, pois a sua escolha deve considerar a geologia, hidrogeologia, hidrogeoquímica, características físicas e químicas dos contaminantes, aspectos regionais, como custos de energia, preço de mão-de-obra e aspectos políticos, bem como o tempo e recursos disponíveis (SANTOS et al., 2008).

As ações a serem realizadas após a finalização da ARSH serão definidas com base nos riscos existentes e na sensibilidade ambiental e social de áreas direta e indiretamente afetadas (ABNT, 2013).

4.3 Contaminação por organoclorados

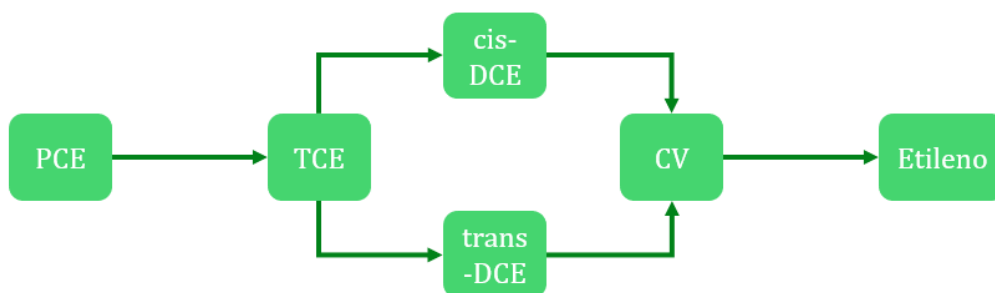
Os organoclorados, que consistem em carbono, hidrogênio e cloro, apresentam uma notável resistência no ambiente, acumulando-se em vários compartimentos ambientais, como no solo e na água. A persistência ambiental é determinada pelo período necessário para que o composto químico perca pelo menos 95% de sua atividade, ou seja, para se decompor em estruturas mais simples, como gás carbônico (CO₂) e água (H₂O). Devido à alta persistência ambiental, há uma maior probabilidade de que esses compostos penetrem nas diversas cadeias alimentares, permanecendo indefinidamente no ecossistema. O que torna esses compostos prejudiciais à saúde, além de sua persistência, é sua característica lipossolúvel e a dificuldade de eliminação, resultando no acúmulo nos tecidos adiposos da cadeia animal (CIRCUNVIS, 2010).

Os compostos organoclorados são classificados como Dense Nonaqueous Phase *Liquids* (DNAPL), ou seja, além de serem substâncias pouco solúveis em água, possuem densidade superior a 1 g/cm³. Desta forma, quando liberados no solo superficial, os organoclorados penetram em subsuperfície até o contato com o lençol freático, e continuam migrando de forma vertical descendente, pois sua densidade é superior à da água. Além disso, também existe um

movimento horizontal, seguindo o fluxo d'água do aquífero (L'APICCIRELLA, 2009). Desta forma, estes contaminantes se espalham por grandes áreas, e podem impactar uma grande quantidade de receptores.

Dentro dos compostos organoclorados, existe uma classe denominada de solventes clorados. A decloração do composto tetracloroetano (PCE) e seus subprodutos, que são o tricloroetano (TCE), dicloroetano (cis/trans-DCE) e cloreto de vinila (CV), pode ocorrer de forma natural, dependendo das condições do ambiente. Este processo refere-se ao processo químico de remoção dos átomos de cloro das substâncias químicas citadas. Em condições naturais, estes compostos são pouco solúveis, e ao mesmo tempo, a ligação carbono-cloro é difícil de ser rompida, especialmente através de reações microbiológicas (FROEHNER et al., 2010). Entretanto, a decloração do PCE pode acontecer até atingir a mineralização do contaminante, gerando CO_2 e H_2O , através do esquema simplificado apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Etapas de decloração de compostos organoclorados.



Fonte: adaptado de FROEHNER et al. (2010).

4.3.1 Tetracloroetano (PCE)

De acordo com a Ficha de Informação Toxicológica (FIT), elaborada e atualizada pela CETESB em fevereiro de 2022, o tetracloroetano (PCE), também chamado de percloroetileno, é um líquido incolor e volátil à temperatura ambiente, de odor adocicado. Foi muito utilizado no passado em desengraxantes de peças metálicas, em lavagens à seco (CETESB, 2022).

As principais vias de exposição da população geral ao PCE são pela via inalatória e pela ingestão de água e alimentos contaminados. A exposição a altas doses de PCE pode causar depressão do sistema nervoso, com tontura, cefaleia, sonolência, náusea, dificuldade de fala, inconsciência e morte. Já a exposição crônica pode causar mudanças no humor, na memória, na atenção, no tempo de reação ou na visão, irritação da pele, e danos nos rins e no fígado

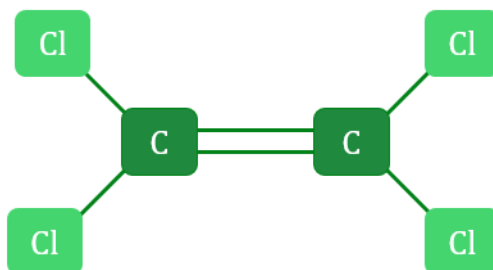
(CETESB, 2022). A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica o PCE como provável cancerígeno ao ser humano (Grupo 2A).

Por fim, às principais características físico-químicas deste composto são:

- Densidade: 1,60 g/cm³
- Viscosidade: 0,84 cP
- Solubilidade: 206 mg/L
- Pressão de vapor: 18,5 Pa
- Coeficiente de partição octano-água: 3,40

A Figura 6 apresenta a estrutura molecular do PCE.

Figura 6 – Estrutura molecular do PCE.



Fonte: adaptado de CETESB (2022).

4.3.2 Tricloroeteno (TCE)

O tricloroeteno (TCE) é um líquido incolor, volátil e altamente inflamável, com odor adocicado. Foi muito utilizado como solvente para graxas, óleos, gorduras e ceras (CETESB, 2022).

As principais vias de exposição da população geral ao composto são pela via inalatória e pela ingestão de água e alimentos contaminados. A exposição em altas doses de TCE pode causar depressão do sistema nervoso, com dor de cabeça, náusea, sonolência, cansaço, coma e até a morte. Também pode causar danos aos nervos e palpitação. Já à exposição crônica pode causar esclerodermia, e afetar os níveis hormonais das pessoas afetadas (CETESB, 2022). A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica o tricloroeteno como cancerígeno para o ser humano (Grupo 1).

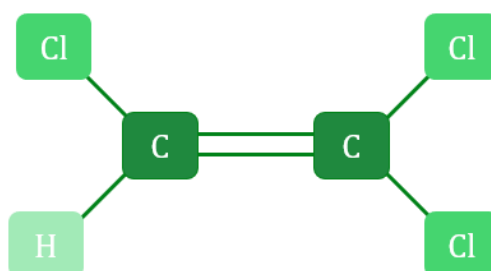
Por fim, às principais características físico-químicas deste composto são:

- Densidade: 1,50 g/cm³

- Viscosidade: 0,58 cP
- Solubilidade: 1280 mg/L
- Pressão de vapor: 69,0 Pa
- Coeficiente de partição octano-água: 2,42

A Figura 7 apresenta a estrutura molecular do TCE.

Figura 7 – Estrutura molecular do TCE.



Fonte: adaptado de CETESB (2022).

4.3.3 Dicloroeteno (cis/trans-DCE)

O dicloroeteno (1,2-DCE) é um líquido incolor, volátil e altamente inflamável, com odor forte similar ao clorofórmio. Foi muito utilizado como intermediários químicos na síntese de compostos e solventes clorados. Também é usado como solvente para graxas, resinas, perfumes, corantes, lacas, termoplásticos, gorduras e fenóis (CETESB, 2022). Sua estrutura molecular pode se apresentar de duas formas: cis ou trans. A forma cis é mais frequentemente encontrada como contaminante da água. O isômero cis é degradado mais rapidamente que o isômero trans (CETESB, 2022).

As principais vias de exposição da população geral ao 1,2-DCE são pela via inalatória e pela ingestão de água e alimentos contaminados. A exposição em altas doses de DCE pode causar depressão do sistema nervoso, com náusea, sonolência e cansaço. Também pode causar sensação de queimação dos olhos e levar à morte. Já a exposição crônica pode causar efeitos no sangue, como diminuição da quantidade de hemácias, e danos no fígado, pulmão e coração (CETESB, 2022). A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) não avaliou o potencial cancerígeno do dicloroeteno (cis/trans) por ausência de informações suficientes.

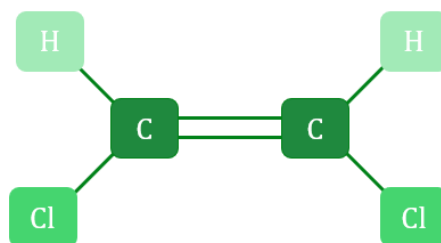
Por fim, às principais características físico-químicas deste composto são:

- Densidade: 1,30 g/cm³

- Viscosidade: dado não disponível
- Solubilidade (cis): 6410 mg/L
- Solubilidade (trans): 4520 mg/L
- Pressão de vapor (cis): 200,0 Pa
- Pressão de vapor (trans): 331,0 Pa
- Coeficiente de partição octano-água (cis): 1,86
- Coeficiente de partição octano-água (trans): 2,09

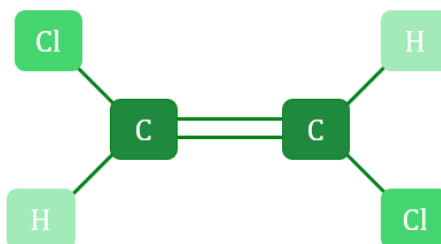
As Figuras 8 e 9 apresentam a estrutura molecular do 1,2-DCE (cis/trans).

Figura 8 – Estrutura molecular do 1,2-DCE (cis)



Fonte: adaptado de CETESB (2022).

Figura 9 – Estrutura molecular do 1,2-DCE (trans)



Fonte: adaptado de CETESB (2022).

4.3.4 Cloreto de vinila (CV)

O cloreto de vinila (CV) é um líquido incolor, estável e volátil à temperatura ambiente. Foi muito utilizado no passado na fabricação de tubos PVC e na composição de solventes (CETESB, 2022).

A principal via de exposição da população geral ao CV é através da via inalatória. A exposição em altas doses de CV pode causar efeitos narcóticos, fenômeno de Raynaud (branqueamento e dormência dos dedos e desconforto por exposição a temperaturas frias), alterações hepatocelulares, desenvolvimento de angiosarcoma hepático, alterações cutâneas esclerodermiformes e acroosteólise. Já a exposição crônica pode causar efeitos neurológicos, no fígado, na reprodução, no desenvolvimento e câncer (CETESB, 2022). A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica o cloreto de vinila como cancerígeno para o ser humano (Grupo 1).

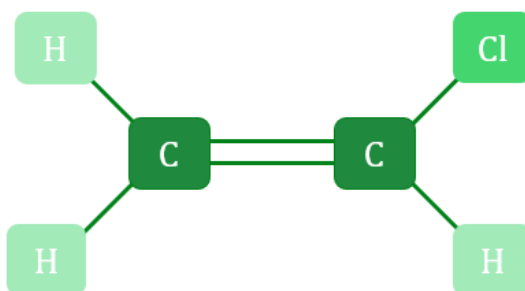
Por fim, às principais características físico-químicas deste composto são:

- Densidade: 0,91 g/cm³
- Viscosidade: 0,280 cP
- Solubilidade: 8800 mg/L
- Pressão de vapor: 2980 Pa
- Coeficiente de partição octano-água: 1,38

A Figura 7 apresenta a estrutura molecular do TCE.

A Figura 10 apresenta a estrutura molecular do CV.

Figura 10 – Estrutura molecular do CV.



Fonte: adaptado de CETESB (2022).

4.4 Estado da arte

Vários trabalhos abordam o gerenciamento de áreas contaminadas por diversos tipos de contaminantes, dentre eles solventes organoclorados. Ainda, na literatura existem muitos estudos relacionados à avaliação de risco à saúde humana, tema que vem sendo cada vez mais discutido no Brasil e de extrema importância para garantir segurança e qualidade de vida para

a população. A seguir, serão apresentados os principais trabalhos que inspiraram e auxiliaram o desenvolvimento deste estudo de caso.

Kolesnikovas et al. (2002) realizou uma ARSH para uma área contaminada com frações de hidrocarbonetos totais de petróleo, outro tipo de contaminante característico no Brasil. Este estudo realizou a coleta de amostras superficiais e subsuperficiais de resíduos de hidrocarbonetos totais de petróleo em uma área contaminada há mais de 20 anos. Os autores levantaram os principais parâmetros químicos e toxicológicos destas substâncias para realizar a avaliação de risco à saúde humana, e consideraram apenas cenários de contato dermal com solo contaminado e ingestão de solo contaminado, sendo descartadas as rotas através da inalação e da ingestão/contato com água subterrânea. Em relação aos receptores, foram considerados transeuntes eventuais ou trabalhadores locais. Adicionalmente, foram definidos parâmetros de exposição para os receptores, com base em referências internacionais. Neste estudo, as planilhas da CETESB não foram utilizados para a quantificação dos riscos, mas sim um *software* de apoio, denominado RISC 4.0. O estudo concluiu que a contaminação existente não resulta em um risco para os receptores, e que a área de interesse não deveria ser remediada. Adicionalmente, afirmou que a somente utilização de listas com valores orientadores de concentrações, como a difundida pela CETESB (2023) ou pela EPA (2023), pode levar a decisões equivocadas. A ARSH é uma ferramenta fundamental para determinar se uma área contaminada apresenta risco real e deve ser remediada ou não. E de fato, a ARSH é fundamental para a determinação da existência real de riscos para a população local e no entorno da área contaminada estudada. Realizar a ARSH é o principal objetivo deste trabalho.

Franzini (2005) comparou os manuais de avaliação de risco de áreas contaminadas elaborados pela ATSDR (2022), USEPA (1989) e CETESB (2001). De acordo com o autor, os três manuais apresentam aspectos e abordagens diferentes, entretanto, sem serem divergentes, e sim complementares. Eles fornecem informações e diretrizes para auxiliar a quantificação de riscos e as tomadas de decisões para um gerenciamento eficaz de áreas contaminadas. Entretanto, a unificação de procedimentos e manuais entre todos os órgãos internacionais é algo que pode ser considerado muito complexo. Portanto, o ponto mais importante destes manuais é o entendimento de toda a metodologia por traz da realização da quantificação de riscos. A obtenção de dados próprios em vez da utilização de dados fornecidos pelos órgãos é algo valioso, se obtidos de forma acurada e representativa (FRANZINI, 2005). Neste trabalho, foram considerados parâmetros locais da unidade industrial de interesse, com a função de obter resultados de riscos e de CMA acurados. Para isso, a consultoria ambiental contratada pela indústria realizou visitas de campo com o objetivo de avaliar e levantar as características físicas

da unidade industrial, e adicionalmente foram realizados alguns ensaios de campo, como ensaio de granulometria, de porosidade, hidráulicos, teor de sólidos, teor de umidade, entre outros.

L'Apicciarella (2009) descreve a contaminação por solventes organoclorados na região do canal Jurubatuba, localizada em São Paulo, local no qual diversas indústrias se instalaram há décadas, e como resultado de suas operações, contaminaram a água subterrânea por solventes organoclorados alifáticos. Esta grande pluma de contaminação expõe a população da região a diversos riscos. O principal objetivo desse trabalho foi contextualizar a contaminação existente na área do canal Jurubatuba e apresentar uma metodologia para a delimitação de restrição e controle de uso de água subterrânea. Para atingir a meta proposta, foi realizado um levantamento do histórico das áreas de interesse, seguido pela apresentação das legislações brasileiras aplicáveis, pela caracterização de uso e ocupação de solo na região, pelo levantamento e interpretação de dados existentes e proposta de definição de medidas para o gerenciamento destas áreas contaminadas (L'APICCIRELLA, 2009). Foi concluído que é necessário realizar a restrição e controle de uso de água subterrânea considerando a densidade de atividades potenciais de contaminação, classificando as áreas como Alta, Média e Baixa restrição. Da mesma forma, nesta monografia, serão detalhadas as conclusões da ARSH, que pode incluir a restrição do consumo de água subterrânea ou até a necessidade da realização de medidas de intervenção.

Nardocci (2010) realizou uma ARSH com o enfoque na utilização de ferramentas probabilísticas para auxiliar a avaliação de riscos à saúde humana. Uma área contaminada por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) foi avaliada, considerando os cenários de inalação, ingestão de água e ingestão de alimentos. Concluiu-se que os parâmetros mais sensíveis foram a taxa de ingestão de água, a concentração dos HPA na água subterrânea, e o peso corpóreo para adultos. Isto significa que, quanto mais precisos e acurados forem estes parâmetros, mais representativo será o risco à saúde humana obtido. A adoção de valores genéricos para os parâmetros que fazem parte do processo de quantificação de risco podem, muitas vezes, superestimar ou subestimar os riscos calculados, o que atrapalha a tomada de decisões para o gerenciamento de áreas contaminadas (NARDOCCI, 2010). Neste trabalho, o uso de parâmetros do meio físico e de exposição específicas coletados na unidade industrial permitiu a obtenção de resultados mais precisos e acurados.

Por fim, Hacon (2016) realizou uma ARSH em uma área contaminada por HPA com o objetivo avaliar a sensibilidade dos parâmetros do meio físico na quantificação dos riscos existentes, para o cenário de futuros trabalhadores na área, e recomendar quais parâmetros deveriam ser melhor investigados para a quantificação mais acurada e realista. O autor concluiu

que a rota de exposição mais crítica foi a de inalação de vapores em ambientes fechados, considerando que os contaminantes são compostos extremamente voláteis e tóxicos. Em relação ao parâmetro do meio físico que mais teve influência sobre a quantificação dos riscos, a fração de carbono orgânico foi a que se destacou, sendo inversamente proporcional aos riscos calculados (HACON, 2016). Neste caso, percebe-se como cada parâmetro do meio físico e de exposição tem influência sobre os riscos calculados. Da mesma forma que nas dissertações e estudos anteriores, destaca-se a importância de realizar uma coleta e validação de dados da área de interesse robusta e completa.

5. METODOLOGIA

A ARSH foi realizada com base na metodologia apresentada na norma ABNT NBR nº 16.209:2013 (ABNT, 2013). Desta maneira, as etapas sequenciais foram:

- Compilação de validação de dados históricos da área de interesse;
- Avaliação da exposição:
 - Identificação das substâncias químicas de interesse;
 - Identificação dos receptores;
 - Identificação dos cenários e vias de exposição;
 - Quantificação da exposição e das doses de ingresso;
 - Concentração no ponto de exposição;
 - Parâmetros adotados;
 - Elaboração do Modelo Conceitual de Exposição;
- Avaliação da toxicidade;
- Cálculo de riscos; e
- Cálculo das concentrações máximas aceitáveis.

As primeiras etapas foram realizadas através da obtenção de dados ambientais históricos do site, como avaliações ambientais preliminares, confirmatórias e detalhadas, campanhas de monitoramento de água subterrânea e ar ambiente, e outros relatórios ambientais pertinentes.

Após a definição de parâmetros do meio físico, parâmetros característicos da unidade industrial, e o estabelecimento de concentrações das SQI, os riscos foram calculados através da planilha disponibilizadas pela agência ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2023).

A quantificação de riscos para efeitos carcinogênicos para uma dada SQI e cenário de exposição é calculada através da multiplicação do fator de carcinogenicidade da substância pela dose de ingresso obtida. O critério de risco aceitável adotado pela Resolução CONAMA nº 420 é de um caso adicional de câncer a cada cem mil indivíduos (CONAMA, 2009). A Equação 1 (ABNT, 2013) indica o cálculo de risco para substâncias classificadas como carcinogênicas.

$$R = In \times SF \quad (1)$$

Onde:

R: Risco para a SQI

In: Dose de ingresso da SQI

SF: Fator de carcinogenicidade da SQI

Já a quantificação de riscos para efeitos não carcinogênicos é realizada através da obtenção do quociente de risco, que é a comparação entre dose de ingresso e a dose de referência, cujo resultado deve ser acima de 1,0 para indicar um risco para os receptores. A Equação 2 (ABNT, 2013) representa esta relação e cálculo de risco.

$$QR = \frac{In}{RfD} \quad (2)$$

Onde:

QR: Quociente de risco para a SQI

In: Dose de ingresso da SQI

RfD: Dose de referência da SQI

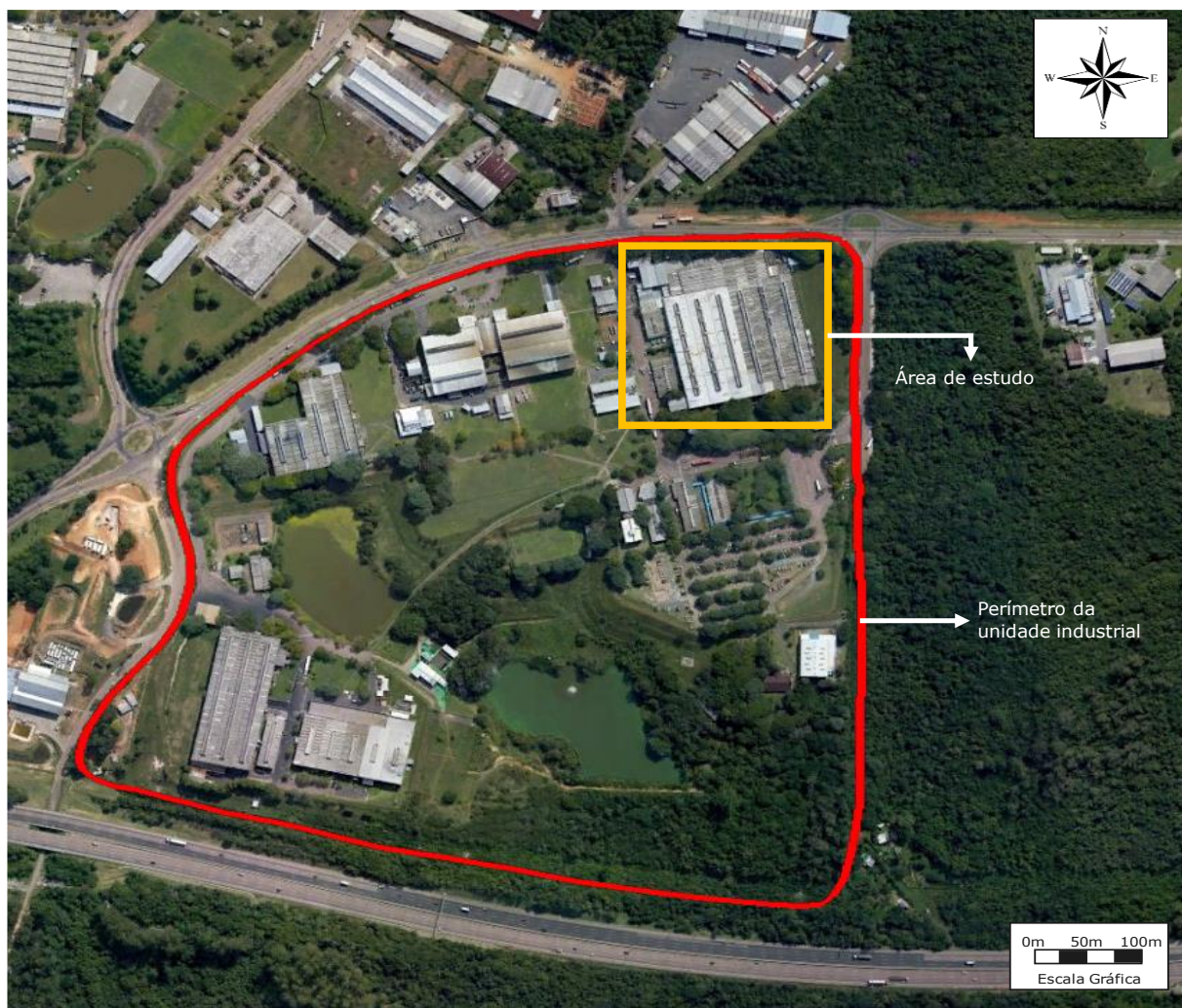
Para múltiplos cenários de exposição e multiplas SQI, o quociente de risco é obtido através da soma de todas as possibilidades apresentadas. Entretanto, deve-se considerar apenas os casos nos quais as substâncias possuam efeitos ou mecanismos de ação semelhantes no organismo exposto (ABNT, 2013).

Após a obtenção dos riscos carcinogênicos e não carcinogênicos, é possível concluir se a área estudada apresenta riscos aceitáveis ou não aceitáveis para os receptores expostos. Adicionalmente, é possível calcular as CMA para as SQI no solo, água subterrânea e ar ambiente. Por fim, caso os riscos calculados estejam acima daqueles preconizados por norma, são definidas ações institucionais, medidas de engenharia ou de remediação necessárias para gerenciar a contaminação e exposição aos receptores expostos.

6. ÁREA DE ESTUDO

O complexo industrial onde está a área de estudo deste trabalho fica localizado em Gravataí, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A Figura 11 mostra a imagem de satélite da propriedade e o seu entorno, que é ocupado por diversas indústrias, pequenas porções residenciais, áreas de vegetação e campos antrópicos.

Figura 11 – Mapa de localização da unidade industrial.



Fonte: Google Earth Pro (imagem de 2022), com marcações do autor.

A instalação industrial ocupa uma área total de aproximadamente 360.000 m², sendo 86.000 m² de área construída. Esta unidade é especializada na fabricação de componentes automotivos e está em operação desde o ano de 1978. A propriedade engloba edifícios industriais, estruturas administrativas, áreas de refeitório, uma estação de tratamento de

efluentes industriais, lagoas, espaços para o armazenamento de produtos inflamáveis, e uma central de armazenamento de resíduos sólidos.

A área de interesse deste estudo de caso é uma planta industrial localizado na porção nordeste deste complexo industrial, no qual são produzidas peças automotivas de eixos cardans, cruzetas e colunas de direção, conforme destaque em amarelo na Figura 11. No local, são manipulados produtos de fluidos de corte semissintéticos e sintéticos destinados à retificação e usinagem. Entre os equipamentos e estruturas presentes, destacam-se máquinas e prensas hidráulicas que requerem óleo para lubrificação e refrigeração, além de tanques destinados ao descarte de soluções de óleo sintético usado.

6.1 Histórico ambiental

Desde 2004, diversos estudos ambientais foram desenvolvidos na unidade industrial, listados abaixo:

- Avaliação Preliminar / Investigação Confirmatória (2004);
- Instalação de Poços de Monitoramento (2012);
- Avaliação Preliminar (2016);
- Campanhas de Monitoramento de Água Subterrânea (entre 2012 e 2017);
- Investigações Confirmatória e Detalhada (entre 2017 e 2022).

Os principais resultados de todo este acervo de estudos e investigações indicam que há impactos no solo, água subterrânea e ar ambiente por compostos voláteis organoclorados. Foi concluído que a contaminação ocorreu através da utilização de solventes clorados para a limpeza de pisos e lavagem de equipamentos, além do vazamento de antigos tanques de PCE presentes no local. Os principais compostos de interesse identificados nestes meios físicos foram PCE, TCE, 1,2-DCE e CV.

6.2 Contexto geológico e hidrogeológico

A unidade industrial está localizada na região metropolitana de Porto Alegre. O contexto geológico regional em que a unidade está inserida é associado à Bacia do Paraná, no período permiano, caracterizada por rochas sedimentares da Formação Rio Bonito em contato com o embasamento cristalino de idade Neoproterozoica, Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro

Machado. A partir de sondagens realizadas e da instalação de poços de monitoramento na unidade industrial, foi possível identificar quatro unidades geológicas principais:

- Solo residual de formação sedimentar, composto por argila a argila-siltosa, de coloração marrom avermelhado;
- Formação Rio Bonito: composto por uma sucessão de siltitos e folhelhos carbonosos de cor cinza escuro;
- Saprólito composto por silte areno-argiloso; e
- Rochas do embasamento cristalino.

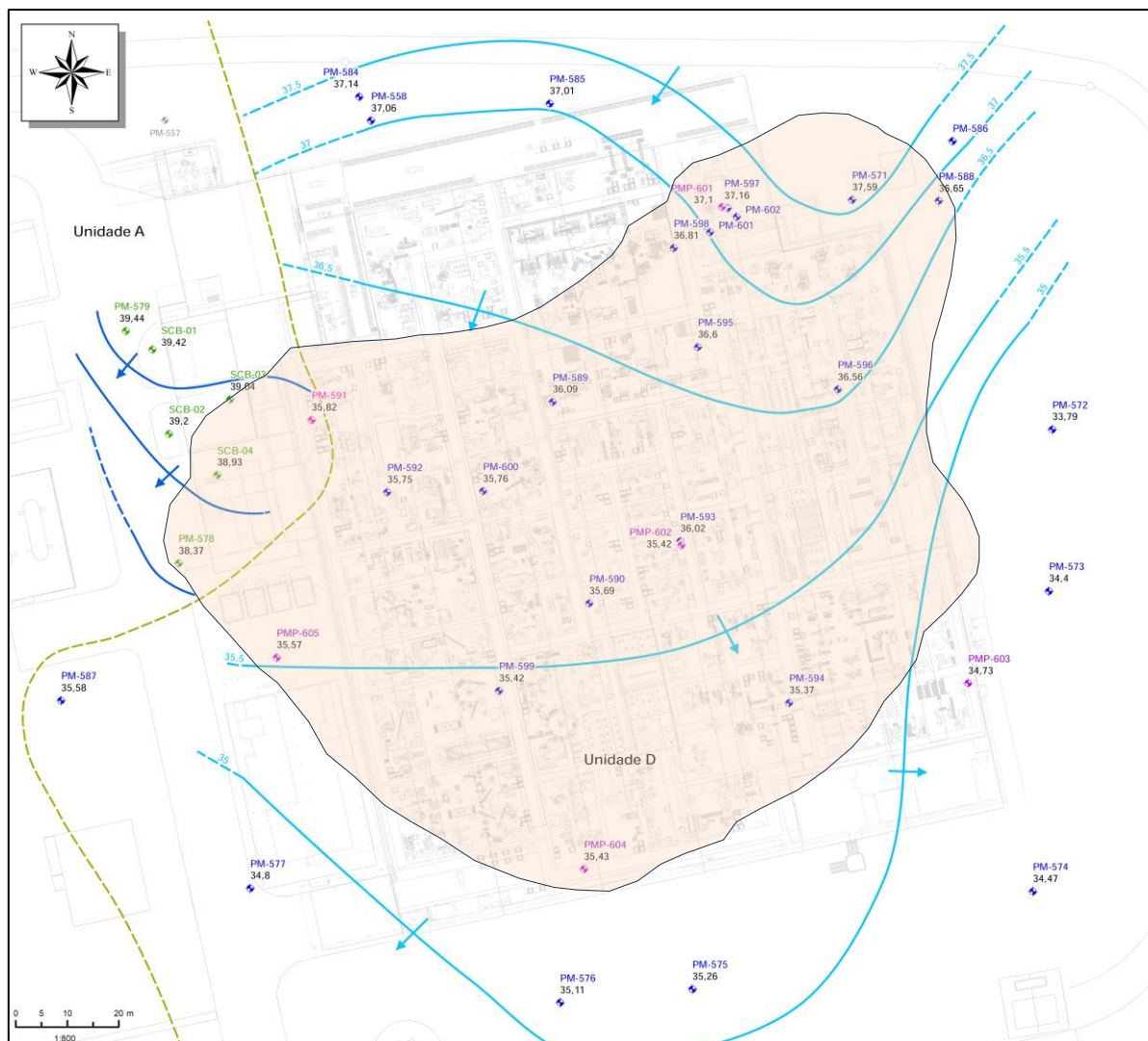
Foram coletadas amostras de solo para a determinação de diversos parâmetros do meio físico, como porosidade total, porosidade efetiva, teor de umidade e granulometria. Foram realizados ensaios complementares para obtenção da condutividade hidráulica da área de interesse.

Sob o ponto de vista hidrogeológico, o mapa potenciométrico apresentado na Figura 12 indica que o fluxo de água subterrânea na área de estudo tem sentido predominante na Unidade D de norte para sul. Destaca-se que as plumas de contaminação estão localizadas dentro da Unidade geológica D, que refere-se ao aquífero freático associado a camada de solo residual formado a partir do intemperismo do embasamento do Complexo Granítico-Gnáissico Pinheiro Machado.

Em relação a condutividade hidráulica, ensaios hidráulicos indicaram valores na ordem de grandeza de 11,23 cm por dia, valor que foi adotado na planilha da CETESB. Já em relação a profundidade do nível d'água, adotou-se um valor aproximado de 510 cm, que representa a média dos poços existentes na área de interesse.

Por fim, destaca-se que o rio mais próximo da propriedade é o Rio Gravatí, localizado a aproximadamente 500 metros da indústria.

Figura 12 – Mapa potenciométrico e contorno das plumas de contaminantes..



Fonte: acervo ERM Brasil (2023).

6.3 Dados ambientais

Para a realização da ARSH, foram utilizados dados ambientais provenientes de campanhas pretéritas realizadas na área de interesse, por consultorias ambientais. Tais dados foram obtidos em relatórios ambientais compartilhados pela unidade industrial, cuja área contaminada é foco do estudo deste trabalho.

Entre outubro de 2017 e maio de 2021 foram realizadas sondagens e MIP (“*membrane interface probe*”) com a coleta de amostras de solo. Tais amostras foram enviadas para um laboratório acreditado e analisadas para compostos orgânicos voláteis (VOC). Foram detectadas concentrações de cis-1,2-DCE e PCE acima dos limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 420/2009, que são 50 µg/L e 40 µg/L, respectivamente. A maior concentração de cis-1,2-DCE foi de 383 mg/kg, a 0,7 metros de profundidade, enquanto a maior concentração de PCE foi de 1391 mg/kg, a 0,4 metros de profundidade.

Entre setembro de 2016 e novembro de 2021 foram coletadas amostras de água subterrânea nos poços instalados na área de interesse. Tais amostras foram enviadas para um laboratório acreditado e analisadas para VOC. Foram detectadas concentrações de 1,1-DCE, cis-1,2-DCE, CV, estireno, tetracloreto de carbono, PCE, trans-1,2-DCE e TCE acima dos limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 420/2009. As maiores concentrações detectadas para os principais compostos de interesse foram: PCE (21,82 mg/L), TCE (2,77 mg/L), cis-1,2-DCE (325,4 mg/L), trans-1,2-DCE (0,10 mg/L), e CV (0,59 mg/L).

Em relação às amostras de ar ambiente e ar interno, estas foram coletadas em campanhas de monitoramento realizadas entre setembro de 2017 e fevereiro de 2022. Os resultados das análises laboratoriais foram comparadas aos limites preconizados pela US EPA, entretanto convertidos para o cenário brasileiro. Foram verificadas extrapolações dos seguintes compostos: 1,2-DCE, acroleína, clorofórmio, etilbenzeno, isopropanol, m-xileno, e PCE.

Para a utilização das concentrações nas planilhas de cálculo de risco da CETESB (CETESB, 2023), as concentrações das SQIs nos pontos de exposição foram estimadas através do limite superior de confiança de 95% da média aritmética das concentrações medidas em cada meio físico. A norma NBR 16209 (ABNT, 2013) indica esta metodologia como uma das opções viáveis a serem adotadas para representar a concentração no ponto de exposição. A principal exceção foi a detecção de PCE em solo superficial. Neste caso, considerou-se razoável adotar a concentração máxima obtida nas investigações ambientais, devido ao baixo número de detecções acima do limite de quantificação do laboratório, o que resultaria em uma incerteza elevada da real média deste composto no meio físico.

A Tabela 1 apresenta as SQIs identificadas em solo, água subterrânea e ar ambiente, a partir dos resultados das investigações ambientais e campanhas de monitoramento realizadas entre 2016 e 2022, juntamente com as concentrações adotadas no ponto de exposição.

Tabela 1 – Concentrações adotadas no ponto de exposição.

Meio Físico	SQI	Concentração
Solo Superficial	PCE	1.391 mg/kg
Solo Subsuperficial	Cis-1,2-DCE	13,99 mg/kg
	PCE	42,84 mg/kg
Ar Ambiente	Cis-1,2-DCE	4,324 µg/m³
	TCE	3,027 µg/m³
	PCE	29,32 µg/m³
Água Subterrânea	1,1-DCE	0,00326 mg/L
	CV	0,039 mg/L
	Cis-1,2-DCE	232,3 mg/L
	Trans-1,2-DCE	0,0162 mg/L
	TCE	0,183 mg/L
	PCE	2,367 mg/L

Fonte: autor.

6.4 Parâmetros adotados

A própria planilha de cálculo de riscos (CETESB, 2023) já apresentam valores padrões representativos da população brasileira para parâmetros utilizados na quantificação da exposição de contaminantes. Os parâmetros e valores adotados nesta ARSH são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros de exposição adotados.

Parâmetro	Descrição	Trabalhador Comercial	Trabalhador em Obras
ED	Duração da exposição (anos)	25	25
ExpVida	Expectativa de vida (anos)	78,4	78,4
ATc	Tempo médio para efeitos carcinogênicos (dias)	28.616	28.616
ATn	Tempo médio para efeitos não carcinogênicos (dias)	9.125	250
BW	Massa corpórea (kg)	69	69
ET	Tempo de exposição para inalação de partículas e vapores do solo superficial (horas/dia)	8	8

Parâmetro	Descrição	Trabalhador Comercial	Trabalhador em Obras
ET	Tempo de exposição para contato dérmico com água subterrânea (horas/dia)	2	2
ET	Tempo de exposição para inalação de vapores em ambientes abertos (horas/dia)	8	8
ET	Tempo de exposição para inalação de vapores em ambientes fechados (horas/dia)	8	8
EF	Frequência de exposição para contato dérmico com solosuperficial (dias)	250	250
EF	Frequência de exposição para contato dérmico com a águasubterrânea (dias)	250	250
EF	Frequência da exposição (dias)	250	250
EV	Frequência de eventos para contato dérmico com o solo (dias)	1	1
IRs	Taxa de ingestão de solo (mg/dia)	50	330
IRaesp	Taxa de inalação diária em ambientes fechados (m3/hora)	1,20	1,40
IRaamb	Taxa de inalação diária em ambientes abertos (m3/hora)	1,20	1,40
IRw	Taxa de ingestão diária de água (L/dia)	2,5	0,02
AF	Fator de aderência do solo na pele	0,12	0,30
SA	Área superficial da pele disponível para contato dérmico - solo e água subterrânea (cm2)	3.527	3.527
FI	Fração Ingerida da Fonte de Contaminação - Solo	1	1
FD	Fração da fonte em contato dérmico	1	1

Fonte: autor.

Em relação aos parâmetros do meio físico que são utilizados para o cálculo do risco à saúde humana, em alguns casos foram adotados valores padrões já definidos na planilha de cálculo de riscos (CETESB, 2023). Entretanto, a grande maioria dos valores foram estimados com base em visitas de campo e estudos ambientais previamente realizados nos anos anteriores. Os parâmetros considerados e seus respectivos valores são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros do meio físico adotados.

Parâmetro	Descrição	Unidade	Valor
Cenários Associados à Intrusão de Vapores			
Ab	Área das fundações - Escritório	cm ²	8,790E06

Parâmetro	Descrição	Unidade	Valor
	Área das fundações - Galpão	cm ²	1,954E08
Lb	Pé Direito - Escritório	cm	300
	Pé Direito - Galpão	cm	1.000
Lcrk	Espessura das fundações / paredes de construção	cm	20
Cenários Associados a Inalação de Vapores a partir do Solo e Água Subterrânea			
Lss	Profundidade da Fonte no Solo Subsuperficial	cm	110
Dss	Espessura do Solo Subsuperficial Impactado	cm	300
Wss	Largura do solo subsuperficial impactado	cm	4.500
Lgw	Profundidade do Nível d'Água	cm	510
T	Temperatura da Água Subterrânea	K	294,65
Ww	Largura da área fonte na direção paralela ao fluxo da água subterrânea	cm	1.500
δgw	Espessura da pluma dissolvida na água subterrânea	cm	800
θT	Porosidade Total	-	0,38
ρs	Densidade do Solo	g/cm ³	1,30
foc	Fração de Carbono Orgânico no Solo	g-C/g-solo	0,003
Cenários Associados a Lixiviação do Solo Subsuperficial para Água Subterrânea			
SIR	Taxa de Infiltração no Solo	cm/ano	66,10
Cenários Associados ao Contato Direto com Solo Superficial			
Ls	Espessura do Solo Superficial Impactado	cm	100
A	Área de Emissão de Vapores	cm ²	7.500.000
Ws	Largura do solo superficial impactado	cm	3.000
Cenários Associados ao Transporte de Contaminante em Meio Saturado			
Sd	Espessura da Fonte na Água Subterrânea	cm	800
Sw	Largura da Fonte	cm	1.500
i	Gradiente Hidráulico	-	0,012
K	Condutividade Hidráulica	cm/dia	7,54
x	Distância entre a área fonte na água subterrânea e o Ponto de Exposição	cm	4.500
θef	Porosidade Efetiva	cm ³ /cm ³	0,079

Fonte: autor.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Compilação e validação dos dados para ARSH

Dados obtidos em investigações ambientais e campanhas de monitoramento semestrais e anuais foram compartilhados pela unidade industrial. As investigações anteriores, realizadas por várias consultorias ambientais, seguiram diversas normas brasileiras, apresentadas no item 4.1 (“Normas Brasileiras Relacionadas à ARSH”). Dados de concentrações médias e máximas foram obtidas e utilizadas neste presente estudo de caso. Os valores foram brevemente apresentados no item 5.3 (“Dados Ambientais”).

7.2 Avaliação da exposição

7.2.1 Identificação das substâncias químicas de interesse

Para a seleção dos compostos químicos de interesse, foram consideradas as substâncias mais prováveis a causar risco à saúde, além dos compostos que ultrapassaram os valores orientadores preconizados. Todos os resultados analíticos de amostras de solo, água subterrânea e ar ambiente foram compilados e avaliados. Destaca-se que, para o cenário de intrusão de vapores, foram selecionadas as mesmas SQIs do aquífero raso, já que este compartimento é capaz de disponibilizar compostos voláteis para o ar ambiente.

Adicionalmente, foi considerado que o solo superficial compreende a camada de solo que vai da superfície até 1 metro de profundidade, enquanto o solo subsuperficial compreende a camada de solo sotoposta, ou seja, em profundidades superiores a 1 metro até o lençol freático.

A Tabela 4 apresenta os meios físicos e as respectivas SQIs selecionadas para esta ARSH. Ressalta-se que os outros compostos que ultrapassaram os limites preconizados, como estireno e tetracloreto de carbono, foram detectados de forma pontual e não foram confirmados em outras campanhas de monitoramento e investigações adicionais.

Tabela 4 – Substâncias químicas de interesse.

Meio Físico	Substâncias Química de Interesse
Solo Superficial	Tetracloreto (PCE)
Solo Subsuperficial	Tetracloreto (PCE) Cis-1,2-dicloroeteno (cis-1,2 DCE)

Meio Físico	Substâncias Química de Interesse
Água Subterrânea	Tetracloroeteno (PCE) Tricloroeteno (TCE) Cis-1,2-dicloroeteno (cis-1,2 DCE) Trans-1,2-dicloroeteno (trans-1,2 DCE) Cloroeto de vinila (CV) 1,1-dicloroeteno
Ar Ambiente	Tetracloroeteno (PCE) Tricloroeteno (TCE) Cis-1,2-dicloroeteno (cis-1,2 DCE)

Fonte: autor.

7.2.2 Identificação dos receptores

A área industrial estudada está atualmente em operação, sem previsão de alterações no uso em um futuro próximo. Nesse contexto, a avaliação dos potenciais receptores humanos levou em conta a utilização atual dos armazéns e escritórios, e as características ambientais do meio físico e da contaminação existente e identificada no local. Adicionalmente, as plumas que foram caracterizadas estão restritas ao interior da unidade industrial, sendo assim, receptores externos não foram considerados. A Tabela 5 apresenta os potenciais receptores existentes e identificados.

Tabela 5 – Receptores humanos.

Área	Potenciais Receptores
Galpões	Trabalhadores industriais / comerciais (adultos) Trabalhadores de obras civis (adultos)
Escritórios	Trabalhadores industriais / comerciais (adultos) Trabalhadores de obras civis (adultos)

Fonte: autor.

7.2.3 Identificação dos cenários e vias de exposição

Um cenário de exposição detalha o trajeto de uma SQI desde a fonte de contaminação, que pode estar localizada no solo, na água subterrânea ou no ar, até o ponto de exposição, para uma determinada via de ingresso. Desta maneira, o cenário de exposição é composto por cinco elementos:

- Fonte ou meio de contaminação;

- Mecanismos de transporte, como a advecção, difusão ou dispersão;
- Ponto de exposição;
- Via de ingresso; e
- Receptor.

Um cenário considerado completo ocorre no caso em que todos os elementos supracitados estão presentes. Portanto, existe a conexão entre o contaminante e o receptor. É importante destacar que, na ausência de qualquer um destes elementos, o cenário é considerado incompleto. Ou seja, não há risco real para a saúde humana. Adicionalmente, as exposições hipotéticas podem ser utilizadas para avaliar cenários potenciais, porém atualmente incompletos. Por exemplo, sabe-se que pode haver obras no futuro, mas a exposição não existe atualmente; sendo assim, a exposição por trabalhadores de obras civis é hipotética. As Tabelas 6, 7 e 8 apresentam as vias de exposição consideradas nesta ARSH.

Tabela 6 – Cenários e vias de exposição associadas à água subterrânea.

Local	Receptores	Via de Ingresso	Cenário
Galpões e Escritórios	Trabalhadores industriais e comerciais (adultos)	Ingestão e contato dérmico	Hipotético
		Inalação de vapores	Completo
	Trabalhadores de obras civis (adultos)	Ingestão e contato dérmico	Hipotético
		Inalação de vapores	Completo

Fonte: autor.

No caso de exposição associada à água subterrânea (Tabela 6), o cenário de a inalação por receptores é considerado completo, enquanto o cenário de ingestão e contato dérmico é considerado hipotético, pois atualmente há uma restrição na utilização de água subterrânea dentro da unidade industrial.

Tabela 7 – Cenários e vias de exposição associadas ao solo superficial e subsuperficial.

Local	Receptores	Via de Ingresso	Cenário
Galpões e Escritórios	Trabalhadores industriais e comerciais (adultos)	Ingestão e contato dérmico	Incompleto
		Inalação de vapores	Completo
		Inalação de partículas	Incompleta
		Ingestão de água subterrânea resultante da lixiviação do solo subsuperficial	Hipotético
	Trabalhadores de obras civis (adultos)	Ingestão e contato dérmico	Completo
		Inalação de vapores	Completo
		Inalação de partículas	Completo
		Ingestão de água subterrânea resultante da lixiviação do solo subsuperficial	Hipotético

Fonte: autor.

No caso de exposição associada ao solo superficial e subsuperficial para receptores industriais e comerciais (Tabela 7), o cenário de ingestão e contato dérmico, e o cenário de inalação de partículas são considerados incompletos, pois não há um contato direto entre o meio físico e os receptores, devido a existência de lajes de concreto tanto no escritório quanto no galpão. O cenário de ingestão de água subterrânea resultante da lixiviação do solo subsuperficial é considerado hipotético, devido à restrição e ausência na utilização de água subterrânea dentro da unidade industrial. Por fim, o cenário de inalação de vapores é considerado completo, pois os vapores podem atravessar a laje de concreto através de fissuras e caminhos preferenciais.

Já para o caso de exposição associada ao solo superficial e subsuperficial para receptores de obras civis (Tabela 7), os cenários de ingestão e contato dérmico, de inalação de vapores e de inalação de partículas são considerados completos, pois há um contato direto entre os receptores e o meio físico. Por fim, o cenário de ingestão de água subterrânea resultante da lixiviação do solo subsuperficial é considerado hipotético, devido à restrição na utilização de água subterrânea dentro da unidade industrial.

Tabela 8 – Cenários e vias de exposição associadas ao ar ambiente.

Local	Receptores	Via de Ingresso	Cenário
Galpões e Escritórios	Trabalhadores industriais e comerciais (adultos)	Inalação de vapores	Completo
	Trabalhadores de obras civis (adultos)	Inalação de vapores	Completo

Fonte: autor.

No caso de exposição associada ao ar ambiente (Tabela 8), o cenário de a inalação por receptores é considerado completo, tanto para receptores industriais quanto para trabalhadores de obras civis.

7.2.4 Quantificação da exposição e das doses de ingresso

A quantificação das concentrações de ingresso de SQI ao longo do tempo, por quilograma de peso corporal, é fundamental para o cálculo de riscos à saúde humana. As doses de ingresso representam a quantidade de substância que foi absorvida pelo corpo, através de diferentes vias de exposição. Tais doses de ingresso dos receptores foram estimadas por meio de equações matemáticas. Os valores de exposição foram calculados através da planilha da CETESB para cada receptor potencial e para cada via de exposição completa ou hipotética. Se a população está exposta a mais de uma via de exposição, a exposição total calculada é a somatória de todos os resultados obtidos para cada via de exposição.

As Tabelas 9 e 10 apresentam as doses de ingresso calculadas para trabalhadores comerciais e trabalhadores de obras civis, calculadas através da planilha de riscos da CETESB.

Tabela 9 – Doses de ingresso para trabalhadores comerciais e industriais

Meio Físico	Via de Ingresso	Unidade	Carcinogênico	Não Carcinogênico
Solo Superficial	Inalação de Vapores	m³/kg.dia	3,04E-02	9,53E-02
Solo Subsuperficial	Inalação de Vapores em Ambientes Abertos	m³/kg.dia	3,04E-02	9,53E-02
	Inalação de Vapores em Ambientes Fechados	m³/kg.dia	3,04E-02	9,53E-02
	Lixiviação para Água Subterrânea	L/kg.dia	7,91E-03	2,48E-02
Água Subterrânea	Inalação de Vapores em Ambientes Abertos	m³/kg.dia	3,04E-02	9,53E-02
	Inalação de Vapores em Ambientes Fechados	m³/kg.dia	3,04E-02	9,53E-02
	Contato Dérmico	cm².evento/kg.dia	2,23E-02	7,00E-02
	Ingestão	L/kg.dia	7,91E-03	2,48E-02

Fonte: autor.

Tabela 10 – Doses de ingresso para trabalhadores de obras civis.

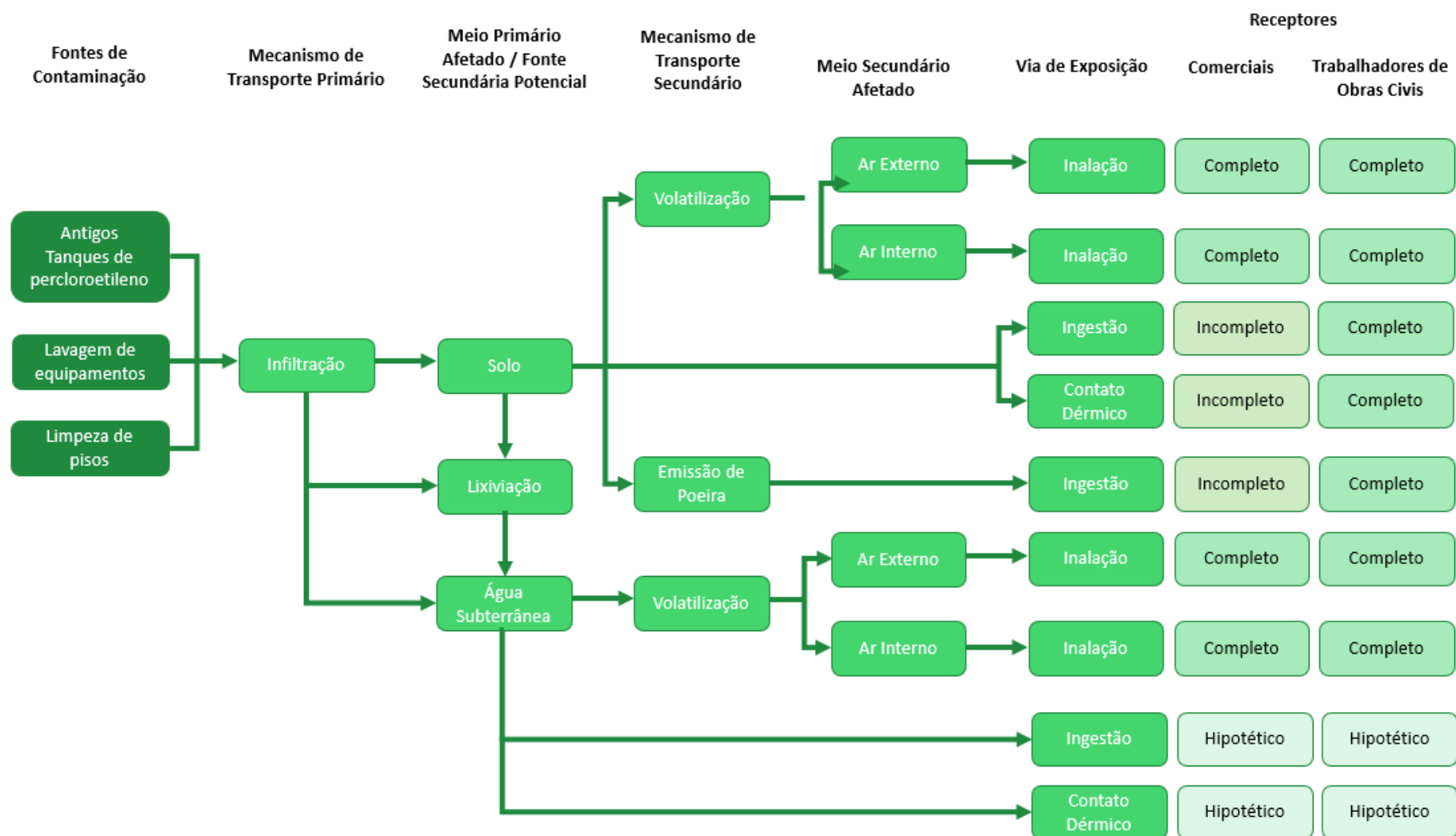
Meio Físico	Via de Ingresso	Unidade	Carcinogênico	Não Carcinogênico
Solo Superficial	Inalação de Vapores	m³/kg.dia	1,42E-03	1,62E-01
	Inalação de Partículas	m³/kg.dia	1,42E-03	1,62E-01
	Contato Dérmico	1/dia	1,34E-07	1,53E-05
	Ingestão	1/dia	4,18E-08	4,78E-06
Solo Subsuperficial	Inalação de Vapores em Ambientes Abertos	m³/kg.dia	1,42E-03	1,62E-01
	Inalação de Vapores em Ambientes Fechados	m³/kg.dia	1,42E-03	1,62E-01
	Lixiviação para Água Subterrânea	L/kg.dia	2,53E-06	2,90E-04
Água Subterrânea	Inalação de Vapores em Ambientes Abertos	m³/kg.dia	1,42E-03	1,62E-01
	Inalação de Vapores em Ambientes Fechados	m³/kg.dia	1,42E-03	1,62E-01
	Contato Dérmico	cm².evento/kg.dia	3,57E-03	4,09E-01
	Ingestão	L/kg.dia	2,53E-06	2,90E-04

Fonte: autor.

7.2.5 Modelo conceitual de exposição

O Modelo Conceitual de Exposição (MCE) foi elaborado com base nas informações descritas nos itens anteriores, e incluem as fontes potenciais de exposição das SQI, os mecanismos de liberação, os meios de transporte e meios físicos, as vias de exposição e os receptores. A Figura 13 apresenta o MCE da área de interesse.

Figura 13 – Modelo conceitual de exposição.



Fonte: acervo ERM Brasil (2023).

É importante destacar que atualmente não existe fonte primária ativa de contaminação conhecida na área de estudo. Entretanto, antigos tanques de percloroetileno e o uso de solventes clorados foram considerados fontes de contaminação.

7.3 Avaliação da toxicidade

A análise de toxicidade envolveu (1) a avaliação dos efeitos adversos à saúde associados às SQI selecionadas neste estudo, (2) a relação entre a magnitude da exposição e os efeitos adversos, bem como (3) as incertezas relacionadas aos dados empregados. Foram consultadas bases de dados das principais agências ambientais, de saúde e de pesquisa, sobre riscos que são reconhecidas globalmente: IARC e IRIS. Para cada substância, seus efeitos adversos são classificados como sendo carcinogênicos ou não carcinogênicos. Estas classificações são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Classificações dos efeitos adversos para as SQIs.

SQI	Classificação
1,1-Dicloroetano	Não Carcinogênico
Cloreto de Vinila	Carcinogênico
Cis-1,2-Dicloroetano	Não Carcinogênico
Trans-1,2-Dicloroetano	Não Carcinogênico
Tricloroetano	Carcinogênico
Tetracloroetano	Carcinogênico

Fonte: autor.

7.4 Riscos calculados

Os potenciais riscos carcinogênicos e não carcinogênicos associados às SQI identificadas na área de interesse são apresentados a seguir, nas Tabelas 12 a 15. As células destacadas em laranja indicam riscos calculados acima dos limites aceitáveis.

Tabela 12 – Risco cumulativo – solo superficial

Cenário	Receptor	Efeito	Solo Superficial			
			Inalação de Vapores	Inalação de Partículas	Contato Dérmico	Ingestão
Escritório / Galpão	Trabalhadores Industriais	C	9,51E-07	IN	IN	IN
		NC	2,87E-01	IN	IN	IN
	Trabalhadores em Obras	C	1,11E-06	1,86E-14	ND	1,22E-07
		NC	1,22E+01	2,04E-07	ND	1,11E+00

C: carcinogênico (limite aceitável: 1,0E-05)

NC: não carcinogênico (limite aceitável: 1,0E+00)

IN: via incompleta

ND: não disponível

Fonte: autor.

Na Tabela 12 é possível observar que foram identificados riscos hipotéticos não carcinogênicos acima dos limites preconizados aceitáveis pela CETESB (CETESB, 2017) para as vias de inalação de vapores a partir de solo superficial, e de ingestão de solo superficial para trabalhadores de obras, tanto para o cenário de escritório como para galpão. A SQI em solo superficial que apresentou risco acima do aceitável para inalação de vapores e ingestão de solo foi o tetracloroeteno (PCE).

Tabela 13 – Risco cumulativo – solo subsuperficial

Cenário	Receptor	Efeito	Solo Subsuperficial		
			Inalação de Vapores – Ambiente Aberto	Inalação de Vapores – Ambiente Fechado	Ingestão da Água a partir da Lixiviação
Escritório	Trabalhadores Industriais	C	1,32E-07	4,70E-06	1,25E-03
		NC	5,27E-02	1,88E+00	9,22E+02
	Trabalhadores em Obras	C	1,54E-07	4,18E-06	3,96E-07
		NC	2,25E+00	5,82E+01	1,07E+01
Galpão	Trabalhadores Industriais	C	1,32E-07	1,41E-06	1,25E-03
		NC	5,27E-02	5,63E-01	9,22E+02
	Trabalhadores em Obras	C	1,54E-07	1,25E-06	3,96E-07
		NC	2,25E+00	1,75E+01	1,07E+01

C: carcinogênico (limite aceitável: 1,0E-05)

NC: não carcinogênico (limite aceitável: 1,0E+00)

Fonte: autor.

Na Tabela 13 é possível observar que foram identificados riscos hipotéticos carcinogênicos e não carcinogênicos acima dos limites aceitáveis preconizados pela CETESB (CETESB, 2017) para as seguintes vias e receptores:

- Trabalhadores comerciais e industriais: inalação de vapores a partir de solo subsuperficial em escritórios com ambientes fechados;
- Trabalhadores comerciais e industriais: ingestão de água subterrânea a partir da lixiviação do solo subsuperficial em escritórios ou galpões (via hipotética);
- Trabalhadores em obras (cenário hipotético): inalação de vapores a partir de solo subsuperficial em escritórios ou galpões para ambientes abertos ou fechados; e
- Trabalhadores em obras (cenário hipotético): ingestão de água subterrânea a partir da lixiviação do solo subsuperficial em escritórios ou galpões (via hipotética).

As SQIs que apresentaram riscos acima do aceitável foram as seguintes:

- Tetracloroetano (PCE): inalação de vapores em ambiente aberto (trabalhador de obra em escritório e trabalhador de obra em galpão), inalação de vapores em ambiente fechado (trabalhador comercial em escritório, trabalhador de obra em escritório e trabalhador de obra em galpão), e ingestão de água a partir de lixiviação de solo (trabalhador comercial em escritório, trabalhador de obra em escritório, trabalhador comercial em galpão e trabalhador de obra em galpão); e
- Cis,1-2 dicloroetano (Cis-1,2-DCE): inalação de vapores em ambiente fechado (trabalhador de obra em escritório e trabalhador de obra em galpão), e ingestão de água a partir de lixiviação de solo (trabalhador comercial em escritório, trabalhador de obra em escritório, trabalhador comercial em galpão e trabalhador de obra em galpão).

Tabela 14 – Risco cumulativo – água subterrânea

Cenário	Receptor	Efeito	Inalação de Vapores		Contato Direto	
			Ambiente Aberto	Ambiente Fechado	Contato Dermal	Ingestão
Escritório	Trabalhadores Industriais	C	1,32E-08	9,40E-07	1,11E-05	3,28E-04
		NC	8,00E-02	5,07E+00	9,07E+01	2,90E+03
	Trabalhadores em Obras	C	6,29E-10	1,32E-07	1,78E-06	1,05E-07
		NC	1,39E-01	2,58E+01	5,30E+02	3,39E+01
Galpão	Trabalhadores Industriais	C	1,32E-08	2,82E-07	1,11E-05	3,28E-04
		NC	8,00E-02	1,52E+00	9,07E+01	2,90E+03
	Trabalhadores em Obras	C	6,29E-10	3,95E-08	1,78E-06	1,05E-07
		NC	1,39E-01	7,75E+00	5,30E+02	3,39E+01

C: carcinogênico (limite aceitável: 1,0E-05)

NC: não carcinogênico (limite aceitável: 1,0E+00)

Fonte: autor.

Na Tabela 14 é possível observar que foram identificados riscos hipotéticos carcinogênicos e não carcinogênicos acima dos limites aceitáveis preconizados pela CETESB (CETESB, 2017) para as seguintes vias e receptores:

- Trabalhadores comerciais e industriais: inalação de vapores a partir da água subterrânea em escritórios e galpões com ambientes fechados;
- Trabalhadores comerciais e industriais: Contato dermal em água subterrânea em escritórios e galpões (via hipotética);
- Trabalhadores comerciais e industriais: ingestão de água subterrânea em escritórios e galpões (via hipotética);
- Trabalhadores em obras (cenário hipotético): inalação de vapores a partir da água subterrânea em escritórios ou galpões para ambientes fechados;
- Trabalhadores em obras (cenário hipotético): contato dermal em água subterrânea em escritórios ou galpões; e
- Trabalhadores em obras (cenário hipotético): ingestão de água subterrânea em escritórios ou galpões;

As SQIs que apresentaram riscos acima do aceitável foram as seguintes:

- Tetracloroetano (PCE): contato dérmico com água subterrânea (trabalhador de obra em escritório e trabalhador de obra em galpão) e ingestão de água

subterrânea (trabalhador comercial em escritório e trabalhador comercial em galpão);

- Tricloroeteno (TCE): contato dérmico com água subterrânea (trabalhador de obra em escritório e trabalhador de obra em galpão) e ingestão de água subterrânea (trabalhador comercial em escritório e trabalhador comercial em galpão);
- Cis,1-2 dicloroeteno (Cis-1,2-DCE): inalação de vapores em ambiente fechado (trabalhador comercial em escritório, trabalhador de obra em escritório, trabalhador comercial em galpão e trabalhador de obra em galpão), contato dérmico com água subterrânea (trabalhador comercial em escritório, trabalhador de obra em escritório, trabalhador comercial em galpão e trabalhador de obra em galpão), e ingestão de água subterrânea (trabalhador comercial em escritório, trabalhador de obra em escritório, trabalhador comercial em galpão e trabalhador de obra em galpão);
- Cloreto de Vinila (CV): ingestão de água subterrânea (trabalhador comercial em galpão).

Tabela 15 – Risco cumulativo – ar ambiente.

Cenário	Receptor	Efeito	Ar Ambiente
			Inalação de Vapores
Escritório / Galpão	Trabalhadores Industriais	C	1,46E-06
		NC	5,38E-01
	Trabalhadores em Obras	C	5,83E-08
		NC	7,85E-01

C: carcinogênico (limite aceitável: 1,0E-05)

NC: não carcinogênico (limite aceitável: 1,0E+00)

Fonte: autor.

De acordo com a Tabela 15, é possível observar que não existem riscos acima dos limites aceitáveis preconizados pela CETESB (CETESB, 2017) para as vias associadas ao ar ambiente, através da inalação de vapores.

7.5 Concentrações máximas aceitáveis

Conforme apresentado anteriormente, a CMA é a concentração máxima aceitável das SQI e devem ser atingidas nos compartimentos do meio físico para que os riscos calculados sejam aceitáveis para garantir a saúde humana na área de interesse e em seu entorno. Após a realização do cálculo das CMA, os valores mais restritivos são escolhidos para servir como limite de proteção de qualquer população potencialmente exposta.

Nas Tabelas 16 a 19 são apresentadas as CMA calculadas para solo superficial e subsuperficial, água subterrânea e ar ambiente, para receptores comerciais e de obras civis, para as SQI que resultaram em riscos acima dos aceitáveis, apresentados no item 7.1 (“Riscos Calculados”). A Tabela 1, apresentada no capítulo 6.3 (“Dados Ambientais”) apresenta as concentrações detectadas previamente em investigações realizadas na área de interesse.

Tabela 16 – CMAs para solo superficial (mg/kg).

SQI	Receptor	Cenário	Inalação de Vapores	Inalação de Partículas	Ingestão	CMA Aplicáveis
PCE	Trabalhadores Industriais	Escritório	4,85E+03	IN	IN	4,85E+03
		Galpão		IN	IN	
	Trabalhadores em Obras	Escritório	1,14E+02	6,80E+09	1,25E+03	1,14E+02
		Galpão				

IN: via incompleta.

Fonte: autor.

De acordo com a Tabela 16, comparando as CMA calculadas para o composto PCE com a concentração adotada no ponto de exposição (1.391 mg/kg), é possível concluir que trabalhadores em obras futuras estarão expostos a riscos inaceitáveis. Para mitigar estes riscos, os trabalhadores deverão portar EPI adequados, como máscaras semifaciais com filtro para vapores orgânicos. Adicionalmente, outras medidas de remediação e de ações institucionais e de engenharia podem ser adotadas pela unidade industrial.

Tabela 17 – CMAs para solo subsuperficial (mg/kg).

SQI	Receptor	Cenário	Inalação de Vapores – Ambiente Aberto	Inalação de Vapores – Ambiente Fechado	Ingestão de Água a partir da Lixiviação do Solo	CMAs Aplicáveis
PCE	Trabalhadores Industriais	Escritório	1,08E+03	3,03E+01	1,38E-01	3,03E+01
		Galpão		1,01E+02		1,01E+02
	Trabalhadores em Obras	Escritório	2,53E+01	9,31E-01	1,19E+01	9,31E-01
		Galpão		3,10E+00		3,10E+00
Cis-1,2-DCE	Trabalhadores Industriais	Escritório	1,08E+03	3,03E+01	2,29E-02	3,03E+01
		Galpão		1,01E+02		1,01E+02
	Trabalhadores em Obras	Escritório	2,53E+01	1,15E+00	1,97E+00	1,15E+00
		Galpão		3,82E+00		3,82E+00

Fonte: autor.

De acordo com a Tabela 17, comparando as CMA calculadas para os compostos PCE e Cis-1.2-DCE com as concentrações adotadas no ponto de exposição (42,84 mg/kg e 13,99 mg/kg, respectivamente), é possível concluir que trabalhadores industriais estão atualmente expostos a riscos potencialmente inaceitáveis. Entretanto, na prática foram realizadas campanhas de monitoramento de ar ambiente, que não confirmaram este risco. Ainda assim, é importante a realização de campanhas anuais de intrusão de vapores em ambientes fechados, para garantir que os trabalhadores não estão expostos a riscos inaceitáveis. Adicionalmente, em obras futuras, estarão expostos a riscos inaceitáveis. Da mesma forma que no item anterior, os trabalhadores deverão portar EPI adequados, como máscaras semifaciais com filtro para vapores orgânicos. Outras medidas de remediação e de ações institucionais e de engenharia podem ser adotadas pela unidade industrial.

Tabela 18 – CMAs para água subterrânea (mg/l).

SQI	Receptor	Cenário	Inalação de Vapores – Ambiente Aberto	Inalação de Vapores – Ambiente Fechado	Contato Dérmico	Ingestão	CMAs Aplicáveis
PCE	Trabalhadores Industriais	Escritório	1,66E+03	2,35E+01	2,57E+00	2,42E-01	2,35E+01
		Galpão		7,84E+01			7,84E+01
	Trabalhadores em Obras	Escritório	9,60E+02	4,60E+00	4,39E-01	2,07E+01	4,60E+00
		Galpão		1,53E+01			1,53E+01

SQI	Receptor	Cenário	Inalação de Vapores – Ambiente Aberto	Inalação de Vapores – Ambiente Fechado	Contato Dérmico	Ingestão	CMAs Aplicáveis
TCE	Trabalhadores Industriais	Escritório	1,01E+02	1,47E+00	6,16E-01	2,01E-02	1,47E+00
		Galpão		4,90E+00			4,90E+00
	Trabalhadores em Obras	Escritório	5,83E+01	2,88E-01	1,05E-01	1,73E+00	2,88E-01
		Galpão		9,60E-01			9,60E-01
Cis-1,2-DCE	Trabalhadores Industriais	Escritório	3,03E+03	4,80E+01	2,60E+00	8,06E-02	4,80E+01
		Galpão		1,60E+02			1,60E+02
	Trabalhadores em Obras	Escritório	1,75E+03	9,42E+00	4,45E-01	6,90E+00	9,42E+00
		Galpão		3,14E+01			3,14E+01
Trans-1,2-DCE	Trabalhadores Industriais	Escritório	1,71E+03	2,46E+01	2,60E+01	8,06E-01	2,46E+01
		Galpão		8,21E+01			8,21E+01
	Trabalhadores em Obras	Escritório	9,85E+02	4,82E+00	4,45E+00	6,90E+01	4,82E+00
		Galpão		1,61E+01			1,61E+01
CV	Trabalhadores Industriais	Escritório	1,03E+02	1,39E+00	7,42E-02	1,76E-03	1,39E+00
		Galpão		4,62E+00			4,62E+00
	Trabalhadores em Obras	Escritório	6,66E+02	3,04E+00	4,64E-01	5,48E+00	3,04E+00
		Galpão		1,01E+01			1,01E+01
1,1-DCE	Trabalhadores Industriais	Escritório	3,74E+03	5,07E+01	6,10E+01	2,01E+00	5,07E+01
		Galpão		1,69E+02			1,69E+02
	Trabalhadores em Obras	Escritório	2,16E+03	9,91E+00	1,05E+01	1,73E+02	9,91E+00
		Galpão		3,30E+01			3,30E+01

Fonte: autor.

De acordo com a Tabela 18, comparando as CMA calculadas para os compostos PCE, TCE, Cis-1.2-DCE, Trans-1.2-DCE, CV e 1,1-DCE com as concentrações adotadas no ponto de exposição (2,367 mg/L, 0,183 mg/L, 232,3 mg/L, 0,0162 mg/L, 0,039 mg/L e 0,00326 mg/L, respectivamente), é possível concluir que atualmente trabalhadores industriais estão expostos à riscos potencialmente inaceitáveis. Exatamente o que foi apresentado no item anterior, as últimas campanhas de monitoramento de ar ambiente não indicaram a real existência para o risco de inalação, pois as concentrações das SQI identificadas estavam abaixo dos limites preconizados pela US EPA.

Tabela 19 – CMAs para ar ambiente e vapor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

SQI	Receptor	Cenário	Ar Ambiente	Ar do Solo	CMAs Aplicáveis
PCE	Trabalhadores Industriais	Escritório	1,75E+02	5,84E+03	1,75E+02
		Galpão			
	Trabalhadores em Obras	Escritório	1,20E+02	4,00E+03	1,20E+02
		Galpão			
TCE	Trabalhadores Industriais	Escritório	8,76E+00	2,92E+02	8,76E+00
		Galpão			
	Trabalhadores em Obras	Escritório	6,00E+00	2,00E+02	6,00E+00
		Galpão			
Cis-1,2-DCE	Trabalhadores Industriais	Escritório	1,75E+02	5,84E+03	1,75E+02
		Galpão			
	Trabalhadores em Obras	Escritório	1,20E+02	4,00E+03	1,20E+02
		Galpão			

Fonte: autor.

De acordo com a Tabela 19, comparando as CMA calculadas para os compostos PCE, TCE e Cis-1.2-DCE com as concentrações adotadas no ponto de exposição ($29,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $3,027 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $4,324 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente), é possível concluir que trabalhadores industriais e trabalhadores em obras civis não estão ou estarão expostos a riscos inaceitáveis.

8. CONCLUSÕES

A ARSH foi realizada em uma unidade industrial localizada em Gravataí, Rio Grande do Sul, em uma indústria automotiva ativa que está contaminada por compostos organoclorados. Foram avaliados cenários de ocupação de trabalhadores comerciais/industriais e trabalhadores de obras civis (cenário hipotético futuro) em escritórios e galpões.

Foi possível realizar o levantamento das SQI, que variou de acordo com os cenários de exposição. De forma geral, as SQI consideradas no estudo foram o PCE, TCE, Cis-1.2-DCE, Trans-1.2-DCE, CV e 1,1-DCE.

Em relação à população potencialmente afetada, é importante notar que a área industrial estudada está atualmente em operação, sem previsão de alterações no uso em um futuro próximo. Considerando que as plumas de contaminação estão restritas no interior do site, os receptores listados foram trabalhadores industriais e trabalhadores de obras civis, considerando possíveis cenários futuros.

Para o cálculo de riscos existentes, a utilização das planilhas de cálculo de risco da CETESB (CETESB, 2023) indicam que, nas condições atuais, existem riscos considerados acima dos aceitáveis. Por fim, as CMA foram calculadas através das planilhas da CETESB (CETESB, 2023), e indicaram a existência de concentrações acima das aceitáveis em até três ordens de grandeza, o que mostra um risco potencial para trabalhadores industriais e de obras civis.

Desta forma, percebe-se que a avaliação de risco à saúde humana é fundamental para o gerenciamento de áreas contaminadas, pois auxilia na verificação dos possíveis riscos existentes devido à exposição de substâncias químicas de interesse aos receptores na área de interesse.

Considerando que foram identificados riscos acima dos aceitáveis, recomenda-se elaborar um plano de intervenção, propondo medidas de engenharia e institucionais, para mitigar os cenários hipotéticos. Além disso, é fundamental a realização de campanhas anuais de intrusão de vapores, para confirmar que a migração de vapores orgânicos não está ocorrendo para os escritórios e galpões existentes.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). **Public health assessment guidance manual**. 2022. Atlanta: US Department of Health and Human Services. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/pha-guidance/index.html>. Acesso em 12 de dezembro de 2023.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 16.209:2013 - Avaliação de risco a saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas.

BENTO, CAMILA. **Despoluição de rios Londres – São Paulo: insights para a recuperação e reintegração dos rios paulistas ao ambiente urbano**. Osasco, 2021. Trabalho de conclusão de curso (Ciências Econômicas) - Universidade Federal de São Paulo - Escola Paulista de Política, Economia e Negócios.

CIRCUNVIS, BRUNO CESAR. **Organoclorados e organofosforados: principais características e seus efeitos potenciais à saúde**. Uningá Review. 2010 Abr. N° 03. p. 50-61.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. São Paulo, 2022.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Decisão de Diretoria nº 038, de 07 de fevereiro de 2017**. São Paulo, 2017.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Decisão de Diretoria N.º 125/2021/E Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2021.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Ficha de Informação Toxicológica**. São Paulo, 2022. Disponível em: [Informações toxicológicas » Laboratórios \(cetesb.sp.gov.br\)](https://cetesb.sp.gov.br/informacoes-toxicologicas-laboratorios). Acesso em: 12 de dezembro de 2023.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Planilhas de Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação**. São Paulo, 2023.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Planilhas para Avaliação de Risco**. São Paulo, 2023. Disponível em: [Planilhas para Avaliação de Risco » Áreas Contaminadas \(cetesb.sp.gov.br\)](https://cetesb.sp.gov.br/planilhas-avaliacao-de-risco-areas-contaminadas). Acesso em: 06 de dezembro de 2023.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Relatório de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://mapas.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/portal/apps/MapJournal/index.html?appid=28e7bb2238a443819447a8ec3ae4abe5>. Acesso em: 20 de abril de 2024.

Conselho Nacional do Meio Ambiente, dezembro de 2009. Resolução nº 420 - Critérios e Valores Orientadores de Qualidade do Solo e Água Subterrânea Quanto à Presença de Substâncias Químicas.

Environmental Resources Management (ERM). **Avaliação de Risco à Saúde Humana**. 04 de outubro de 2022. p. 234.

FARES, RODOLFO. **O desenvolvimento industrial e o crescimento populacional como fatores geradores do impacto ambiental**. Belo Horizonte, v.7, n.13/14, p.173-189, 2010.

FRANZINI, EDILSON DE CAMPOS. **Estudo de procedimentos para avaliação dos riscos para a saúde humana em áreas contaminadas por substâncias perigosas**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

FROEHNER, SANDRO; CARDOSO DA LUZ, ERISSSEN; SCURUPA MACHADO, KARINA. **Degradação de Compostos Organoclorados Através da Redução com Nano Partículas de Ferro Zero**. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. 2010.

GALVAN, C. T. G.; FLÁVIO, L. C. **Estudo bibliográfico sobre o processo de industrialização, a urbanização e o desenvolvimento da habitação no brasil**. Revista Faz Ciência, [S. l.], v. 9, n. 9, p. 127, 2000.

GOOGLE EARTH PRO. Imageamento aéreo. Disponível em:
<<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em janeiro de 2024.

HACON, BIACA D.S. **Influência do meio físico no risco à saúde em áreas contaminadas por HPA**. Rio de Janeiro, 2016. 183 f. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

HORTELLANI, MARCOS. **Avaliação da contaminação por mercúrio dos sedimentos do estuário Santos - São Vicente, no período de 1996-2000**. São Paulo, 2003. Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências na área de Tecnologia Nuclear-Materiais.

KOLESNIKOVAS, C.; DUARTE, U.. **Avaliação De Risco À Saúde Humana Utilizando-Se Frações De Hidrocarbonetos Totais De Petróleo**. águas subterrâneas. 12 f. 2002. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22335>. Acessado em 12 de dezembro de 2023.

L'APICCIRELLA, E. S.P. **Contaminação e Áreas de Restrição de Uso de Água Subterrânea no Entorno do Canal Jurubatuba em São Paulo – SP**. 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, São Paulo.

LASCHEFSKI, K.A. **Rompimento de barragens em Mariana e Brumadinho (MG): Desastres como meio de acumulação por despossessão**. 2020: Volume 2, Número 1, pp. 98-143. Artigo para Revista de Geografia e Ecologia Política Ambientes.

MACHADO, C. S. **Quantificação do risco à saúde humana pela exposição a poluentes químicos e potencial carcinogênico às comunidades adjacentes ao Rio Pardo, Brasil**. 2016. 175 f. Tese (Doutorado) – Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2016.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (MS), 2017. Portaria de Consolidação MS/GS nº 5, de 28 de setembro de 2017.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (MS), 2021. Portaria MS/GS nº 888, de 4 de maio de 2021.

NARDOCCI, ADELAIDE CASSIA. **Avaliação probabilística de riscos da exposição aos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) para a população da cidade de São Paulo**. 2010. 71f. Tese apresentada ao Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de

Saúde Pública da Universidade de São Paulo como pré-requisito ao concurso de Livre Docência.

PIAI, KAMILA DE ALMEIDA. **Avaliação de risco à saúde humana associada a exposição inalatória de arsênio, níquel e chumbo no MP10 de fonte veicular, na cidade de São Paulo, SP**. 2022. 102f. Dissertação – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo.

RABELO, C. A. **Desastres ambientais provocados por resíduos industriais: nos casos Cidade dos Meninos (RJ) e The Love Canal (EUA)**. Revista Digital Constituição e Garantia de Direitos, [S. l.], v. 12, n. 1, 2019.

SANTOS, EDSON; UNGARI, HELIO CESAR NASCIMENTO; SANTOS, MATILDE BARGA DOS. **Principais técnicas de remediação e gerenciamento de áreas contaminadas por hidrocarbonetos no estado de São Paulo**. 2008. 129 f. Monografia (Especialização) - Curso de Gestão Ambiental, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Estudos sobre a instabilidade do terreno nos bairros pinheiro, mutange e bebedouro, Maceió (AL)**. Relatório síntese dos resultados nº 1. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia.

TOLEDO, M.C. **Avaliação probabilística de riscos à saúde humana em área contaminada por compostos organoclorados**. 2015, 108p. Dissertação de mestrado – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo; 2016.

TORREZANI, NEIVA CAMARGO. **Vontade de saber: geografia**. Quinteto Editorial, 1ª Edição. São Paulo, 2018.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA), 1989. Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume I, Human Health Evaluation Manual (Part A), Interim Final. EPA 540/1-89/003.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA), 2023. Regional Screening Levels – Region IX.