# PROGRAMA EQ-ANP

## Processamento, Gestão e Meio Ambiente na Indústria do Petróleo e Gás Natural

# UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA RBCA EM ATIVIDADES DE REVENDA DE COMBUSTÍVEIS – ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO


**Débora de Barros**


**Dissertação de Mestrado**

**Orientador**

**Prof. Denize Dias de Carvalho, D.Sc.**

**Julho de 2009**

**UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA RBCA EM ATIVIDADES DE REVENDA DE COMBUSTÍVEIS – ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO**

**Débora de Barros**

Tese submetida ao Corpo Docente do Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Aprovado por:

_____

Prof[a.] Denize Dias de Carvalho, D.Sc.

_____

Prof[a.] Lídia Yokoyama, D.Sc.

_____

Prof[o.] Alexandre Castro Leiras Gomes, D.Sc.

_____

Prof[a] Lais Alencar de Aguiar, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Julho de 2009

BARROS, Débora.

Utilização da Metodologia RBCA em Atividades de Revenda de Combustíveis – Estudo de Caso no Município do Rio de Janeiro / Débora de Barros - Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2009.

133 p - Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós - Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, 2009.

Orientadora: Profª Denize Dias de Carvalho

1. Análise de risco. 2. RBCA. 3. Posto de abastecimento.

I. Utilização da Metodologia RBCA em Atividades de Revenda de Combustíveis – Estudo de Caso no Município do Rio de Janeiro

II. Tese (Mestrado – UFRJ / EQ)

## AGRADECIMENTOS

À minha família pelo apoio, afeto e carinho, durante as noites em claro.

Ao Vinicius de Oliveira, gerente da Gerência de Licenciamento Ambiental de Postos de Combustíveis da Cidade do Rio de Janeiro- SMAC, pela colaboração e incentivo, durante a elaboração desta dissertação.

Ao Prof$^{or}$ Mauro dos Santos de Carvalho, pelo auxílio e orientação durante toda a elaboração desta dissertação.

À SMAC, em particular a Elaine Barbosa, Erich Nenartavis e Eduardo Rodrigues, por permitirem a utilização dos relatórios dos postos de combustíveis analisados, possibilitando a elaboração desta dissertação.

À Elena Quevedo, pela compreensão, apoio e paciência, durante o período da realização desta dissertação.

A Prof$^{a}$ Denize Dias de Carvalho pelo incentivo e orientação.

A Zizi pela amizade e compreensão durante todo o período da elaboração desta dissertação.

Agradeço ao amigo Gilberto Camarinha pela colaboração e torcida durante a elaboração deste trabalho.

Ao apoio financeiro da **Agência Nacional do Petróleo** – ANP – e da **Financiadora de Estudos e Projetos** – FINEP – por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCT, em particular ao **PRH 13**, da Escola de Química - Processamento, Gestão e Meio Ambiente na Indústria do Petróleo e Gás Natural.

Resumo da Tese de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química/UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências, com ênfase na área de Petróleo e Gás Natural.

**UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA RBCA EM ATIVIDADES DE REVENDA DE COMBUSTÍVEIS – ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO**

Débora de Barros

Julho, 2009

Orientadora: Prof[a]. Denize Dias de Carvalho, D.Sc.

A atividade de abastecimento e revenda de combustíveis apresenta um grande potencial para a contaminação do meio ambiente. O meio ambiente, uma vez contaminado, representa uma fonte de risco à saúde humana. No município do Rio de Janeiro, o processo para o Licenciamento Ambiental da atividade de abastecimento e revenda de combustíveis, envolve a apresentação de uma Análise de Risco *Tier* 2, nos casos em que a Investigação Ambiental Preliminar do local aponte a necessidade de tal elaboração. O objetivo geral desta dissertação foi avaliar a utilização do programa - RBCA *Tool Kit for Chemical Releases v2.01*.como ferramenta de análise de risco para áreas de postos de abastecimento e revenda de combustíveis da cidade do Rio de Janeiro.

Os objetivos específicos foram desenvolver um método de abordagem e aplicá-lo em dois estudos de caso previamente selecionados e analisados pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro (SMAC), visando identificar os principais riscos potenciais aos receptores em cada cenário desenvolvido.

A partir da avaliação dos casos estudados concluiu-se que é necessário que o desenvolvimento de uma Análise de Risco para área de postos de revenda de combustíveis deva contemplar o cenário atual e os possíveis cenários futuros de exposição visando à segurança e a saúde tanto da população direta como da indiretamente exposta. Os resultados das simulações dos estudos de caso mostraram que não há necessidade de avaliar em uma única simulação todas as vias de exposição, pois de acordo com as condições estudadas, não houve interação dos mecanismos de transporte e dos modelos matemáticos em uma análise conjunta.

Abstract of a Thesis presented to Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos - EQ/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science with emphasis on Petroleum and Natural Gas.

**USE OF THE METHODOLOGY IN ACTIVITIES RBCA RESELLER FUELS - CASE STUDY IN THE CITY OF RIO DE JANEIRO**

Débora de Barros

July, 2009

Supervisor: Prof. Denize Dias de Carvalho, D.Sc.

The activity of supply and resale of fuel has great potential for contamination of the environment. The environment, once contaminated, is a source of risk to human health. In Rio de Janeiro, the process for the environmental licensing of the activity of supply and resale of fuel, involves the submission of a Risk Analysis of Tier 2, where the Environmental Research Preliminary site point to the need for such preparation. The aim of this dissertation was to evaluate the program - RBCA Tool Kit for Chemical Releases v2.01.como tool for risk analysis to areas of jobs and retail supply of fuel in the city of Rio de Janeiro.

The specific objectives were to develop a method of approach and apply it in two case studies previously selected and analyzed by the Municipal Secretary of Environment of the City of Rio de Janeiro (SMAC), to identify the main risks to recipients in each scenario developed .

From the evaluation of case studies concluded that it is necessary for the development of a risk analysis for the area made for resale of fuel should reflect the current scenario and the possible future scenarios of exposure to both the safety and health of the population directly and the indirectly exposed. The results of simulations of case studies showed that there is no need to evaluate in a single simulation all routes of exposure, because under the conditions studied, there was no interaction of transport mechanisms and mathematical models in a joint analysis.

**ÍNDICE**

1 - INTRODUÇÃO ..... 16
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..... 19
2.1- CARACTERÍSTICAS DO SOLO PARA ANÁLISE DE RISCO ..... 19
2.2 – EFEITO DO VAZAMENTO DE DERIVADOS DE PETRÓLEO NA ÁGUA SUBTERRÂNEA ..... 20
2.3- CARACTERIZAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DO SETOR DE ABASTECIMENTO E REVENDA DE COMBUSTÍVEIS ..... 22
2.4 - REGULAMENTAÇÃO DO SETOR DE ABASTECIMENTO E REVENDA DE COMBUSTÍVEIS ..... 24
2.5- MÉTODO RBCA (RISK-BASED CORRECTIVE ACTION - AÇAO CORRETIVA BASEADA NO RISCO): ..... 25
3 – RBCA TOOL KIT FOR CHEMICAL RELEASES ..... 29
3.1. TIPO DE ANÁLISES ..... 30
3.2 – MODOS DE ANÁLISE ..... 32
3.3- ALGORITMO DE DEPLEÇÃO NA FONTE ..... 33
**3.3.1-MÉTODO 1: AJUSTE PARA EXPOSIÇÕES FUTURAS** ..... 35
**3.3.2-MÉTODO 2: AJUSTE PARA CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE EXPOSIÇÃO** ..... 35
3.4 - IDENTIFICAÇÃO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO ..... 36
**3.4.1- EXPOSIÇÃO NA ÁGUA SUBTERRÂNEA** ..... 36
**3.4.2- EXPOSIÇÃO NA ÁGUA SUPERFICIAL** ..... 37
**3.4.3- EXPOSIÇÃO DO SOLO SUPERFICIAL** ..... 38
**3.4.4- EXPOSIÇÃO DO AR** ..... 38
**3.4.4.1- INALAÇÃO DO AR EM AMBIENTES ABERTOS** ..... 38
**3.4.4.2 - INALAÇÃO DO AR EM AMBIENTES FECHADOS** ..... 39
3.5- PARÂMETROS DE EXPOSIÇÃO ..... 40
**3.5.1- AJUSTE DE IDADE PARA COMPOSTOS CANCERÍGENOS** ..... 42
**3.1.5.2- RECEPTOR EXPOSTO A COMPOSTO NÃO CARCINOGÊNICO** ..... 42
**3.5.3- LIMITE DE RISCO ALVO À SAÚDE** ..... 43
3.6 – SELEÇÃO DOS CQI ..... 43
3.7-MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS NO RBCA ..... 45

**3.7.1 - FATOR DE LIXIVIAÇÃO DO SOLO SUB-SUPERFICIAL PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA (LF)** ..... 47
**3.7.2-FATORES DE VOLATILIZAÇÃO (VF)** ..... 48
**3.7.2.1- FATOR DE VOLATILIZAÇÃO DO SOLO SUPERFICIAL NA ZONA DE RESPIRAÇAO (VFssamb)** ..... 49
**3.7.2.2 - FATOR DE VOLATILIZAÇÃO DO SOLO SUB-SUPERFICIAL NA ZONA DE RESPIRAÇAO EM AMBIENTES ABERTOS (VFsamb)** . 50
**3.7.2.3-FATOR DE VOLATILIZAÇÃO DO SOLO SUB-SUPERFICIAL NA ZONA DE RESPIRAÇAO EM AMBIENTES FECHADOS ($VF_{sesp}$)** ... 52
**3.7.2.4-FATOR DE VOLATILIZAÇÃO DA AGUA SUBTERRANEA NA ZONA DE RESPIRAÇAO EM AMBIENTES ABERTOS ( $VF_{wamb}$)** ..... 54
**3.7.2.5-FATOR DE VOLATILIZAÇÃO DA AGUA SUBTERRANEA EM AMBIENTES FECHADOS ($VF_{wesp}$)** ..... 55
**3.7.2.6-FATOR DE EMISSÃO DE PARTÍCULAS (PEF)** ..... 56
**3.7.3-FATOR DE ATENUAÇÃO POR DISPERSÃO LATERAL DO AR (ADF)** ..... 57
**3.7.4 - MODELO ANALÍTICO DE TRANSPORTE** ..... 58
**3.7.5-PARÂMETROS ESPECÍFICOS PARA O SOLO** ..... 59
**3.7.6 - PARÂMETROS ESPECÍFICOS PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA** ..... 62
**3.7.7-PARÂMETROS ESPECÍFICOS PARA O AR** ..... 63
4– METODOLOGIA APLICADA ..... 64
4.1- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO ..... 64
4.2. - ESTUDOS DE CASO ANALISADOS ..... 66
**4.2.1-ESTUDO DE CASO A** ..... 66
**4.2.1.1 - BREVE HISTÓRICO DA CONTAMINAÇÃO – POSTO A** ..... 66
**4.2.1.2 - DADOS DE ENTRADA DA ANÁLISE DE RISCO** ..... 67
**4.2.1.3 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO LOCAL** ..... 68
**4.2.2 - ESTUDO DE CASO B** ..... 71
**4.2.2.1 - BREVE HISTÓRICO DA CONTAMINAÇÃO – POSTO B** ..... 71
**4.2.2.2 - DADOS DE ENTRADA DA ANÁLISE DE RISCO** ..... 74
**4.2.2.3 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO LOCAL** ..... 75
5 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DOS CENARIOS ANALISADOS NO ESTUDO DE CASO DO POSTO A E DO POSTO B ..... 79
5.1- SIMULAÇÕES DO POSTO A ..... 79

**5.1.1- RECEPTORES E VIAS DE EXPOSIÇÃO CONSIDERADAS NO MODELO DE EXPOSIÇÃO CONCEITUAL DO LOCAL (MECL)** ..... 79
**5.1.1.1- DADOS DE ENTRADA DA SIMULAÇÃO DO CENARIO 1 – POSTO A** ..... 81
**5.1.1.2- IDENTIFICAÇÃO E RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1 – POSTO A** ..... 82
**5.1.1.3 – DETERMINAÇÃO DO RISCO ALVO A SAUDE E DA MODELAGEM MATEMÁTICA ADOTADA PARA O CENÁRIO 1- POSTO A** ..... 84
**5.1.1.4 – FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 1:** ..... 85
**5.1.1.5 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1 - MODO REVERSO DE ANÁLISE** ..... 86
**5.1.1.6 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1 - MODO DIRETO DE ANÁLISE** ..... 88
**5.1.1.7- RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2 – POSTO A** ..... 88
**5.1.1.8- FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 2** . 89
**5.1.1.9 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2 - MODO REVERSO DE ANÁLISE** ..... 90
**5.1.1.10 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2 - MODO DIRETO DE ANÁLISE** ..... 90
**5.1.1.11- RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3 – POSTO A** ..... 90
**5.1.1.12- FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 3** 91
**5.1.1.13 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3 - MODO REVERSO DE ANÁLISE** ..... 92
**5.1.1.14 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3 - MODO DIRETO DE ANÁLISE** ..... 93
**5.1.1.15- RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4 – POSTO A** ..... 94
**5.1.1.16- FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 4** 94

**5.1.1.17 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4 - MODO REVERSO DE ANÁLISE** ..... 95
**5.1.1.18 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4 - MODO DIRETO DE ANÁLISE** ..... 96
**5.1.1.19- RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5 – POSTO A** ..... 97
**5.1.1.20- FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 5** 98
**5.1.1.21 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5 - MODO REVERSO DE ANÁLISE** ..... 98
**5.1.1.22 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5 - MODO DIRETO DE ANÁLISE** ..... 100
5.2- SIMULAÇÕES DO POSTO B ..... 100
5.2.1- RECEPTORES E VIAS DE EXPOSIÇÃO CONSIDERADAS NO MODELO DE EXPOSIÇÃO CONCEITUAL DO LOCAL (MECL) ..... 100
**5.2.1.1- DADOS DE ENTRADA DA SIMULAÇÃO DO CENARIO 1 – POSTO B** ..... 101
**5.2.1.2- IDENTIFICAÇÃO E RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1 – POSTO B** ..... 102
**5.2.1.3- FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 1** 103
**5.2.1.4 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1 - MODO REVERSO DE ANÁLISE** ..... 104
**5.2.1.5 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1 - MODO DIRETO DE ANÁLISE** ..... 104
**5.2.1.6- IDENTIFICAÇÃO E RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2 – POSTO B** ..... 105
**5.2.1.7- FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 2** 105
**5.2.1.8 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2 - MODO REVERSO DE ANÁLISE** ..... 106
**5.2.1.9 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2 - MODO DIRETO DE ANÁLISE** ..... 107

**5.2.1.10- IDENTIFICAÇÃO E RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3 – POSTO B** ..... 107
**5.2.1.11- FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 3** ..... 108
**5.2.1.12 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3 - MODO REVERSO DE ANÁLISE** ..... 109
**5.2.1.13 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3 - MODO DIRETO DE ANÁLISE** ..... 110
**5.2.1.14- IDENTIFICAÇÃO E RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4 – POSTO B** ..... 110
**5.2.1.15- FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 4** ..... 111
**5.2.1.16 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4 - MODO REVERSO DE ANÁLISE** ..... 112
**5.2.1.17 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4 - MODO DIRETO DE ANÁLISE** ..... 112
**5.2.1.18- IDENTIFICAÇÃO E RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5 – POSTO B** ..... 112
**5.2.1.19- FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 5** ..... 113
**5.2.1.20 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5 - MODO REVERSO DE ANÁLISE** ..... 114
**5.2.1.21 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5 - MODO DIRETO DE ANÁLISE** ..... 114
6- CONCLUSÕES ..... 115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: ..... 118

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Caracterização esquemática das zonas não saturada e saturada no subsolo.... 19
Figura 2: Comportamento do NAPL na água subterrânea. ..... 20
Figura 3: Fluxograma de Avaliação de Cenário de Exposição ..... 28
Figura 4: Tela inicial do programa RBCA Tool Kit for Chemical Releases v2.01..... 30
Figura 5: Elementos da Análise de Risco em Níveis-..... 31
Figura 6: Ilustração dos modos de análises disponíveis no programa. ..... 32
Figura 7: Modos de diminuição da massa do contaminante na fonte devido a volatilização, dissolução ou lixiviação, e da biodegradação, na zona insaturada. ..... 34
Figura 8: Modos de diminuição da massa do contaminante na fonte devido a volatilização, dissolução ou lixiviação, e da biodegradação, na zona saturada. ..... 35
Figura 9: Tela de caracterização das vias de exposição..... 36
Figura 10: Tela dos parâmetros de exposição e dos limites de risco alvo. ..... 41
Figura 11: Caixa de seleção dos CQI..... 44
Figura 12: Fator de lixiviação do solo para água subterrânea – LF..... 47
Figura 13: Fator de volatilização para o solo superficial - $VF_{ssamb}$..... 49
Figura 14: Fator de volatilização do solo sub-superficial - $VF_{samb}$..... 51
Figura 15: Fator de volatilização para o solo sub-superficial em ambientes fechados - $VF_{sesp}$ ..... 52
Figura 16: Fator de volatilização da água subterrânea - $VF_{wamb}$. ..... 54
Figura 17: Fator de volatilização da água subterrânea para ambientes fechados($VF_{wesp}$) ..... 55
Figura 18: Fator de emissão de partículas do solo - PEF..... 56
Figura 19: Modelo Gaussiano 3-D..... 57
Figura 20: Ilustração esquemática do modelo de Domenico. ..... 59
Figura 21: Parâmetros específicos do solo..... 60
Figura 22: Parâmetros específicos para água subterrânea..... 62
Figura 23: Parâmetros específicos para o ar..... 63
Figura 24: Divisão do território municipal em áreas de planejamento..... 64
Figura 25: Arranjo físico das instalações do posto..... 68
Figura 26: Inalação de vapores provenientes do solo sub-superficial em ambientes abertos. ..... 69

Figura 27: Inalação de vapores provenientes do solo sub-superficial em ambientes fechados..... 69
Figura 28: Ingestão e;ou contato dérmico a partir do solo superficial impactado..... 70
Figura 29: Inalação de vapores provenientes do solo sub-superficial em ambientes abertos ..... 70
Figura 30: Ingestão de água subterrânea contaminada. ..... 71
Figura 31: Arranjo físico das instalações do posto ..... 76
Figura 32: Inalação de vapores e partículas a partir do solo superficial impactado. 77
Figura 33: Ingestão de água subterrânea contaminada. ..... 77
Figura 34: Lixiviação do solo para água subterrânea e escoamento superficial: contato por recreação..... 78
Figura 35: Descarga da pluma de fase dissolvida na água superficial: contato por recreação e;ouconsumo de peixes.. ..... 78
Figura 36: Inalação de vapores provenientes do solo sub-superficial em ambientes abertos. ..... 79
Figura 37: Identificação das vias de exposição. ..... 83
Figura 38: Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 1- posto A..... 83
Figura 39: Quadro com a distância do receptor da área fonte considerada..... 84
Figura 40: Valores do risco alvo a saúde. ..... 84
Figura 41: Modelos considerados na simulação do cenário 1 – posto A. ..... 85
Figura 42: Fluxograma da via de exposição completa considerada na simulação do cenário 1 - Posto A..... 86
Figura 43: Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 2- posto A..... 89
Figura 44: Fluxograma da via de exposição considerada na simulação do cenário 2 - Posto A ..... 89
Figura 45: Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 3- posto A..... 91
Figura 46: Fluxograma da via de exposição considerada na simulação do cenário 3 - Posto A. ..... 92
Figura 47: Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 4-posto A..... 94
Figura 48: Fluxograma da via de exposição considerada na simulação do cenário 4 - Posto A ..... 95
Figura 49: Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 5 –posto A ..... 97
Figura 50: Fluxograma da via de exposição considerada na simulação do cenário 5 - Posto A ..... 98

Figura 51: Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 1 – posto B. ..... 103
Figura 52: Fluxograma da via de exposição considerada na simulação do cenário 1 - Posto B ..... 103
Figura 53: Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 2-posto B..... 105
Figura 54: Fluxograma da via de exposição considerada na simulação 2 - Posto B .... 106
Figura 55: Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 3-posto B..... 108
Figura 56: Fluxograma da via de exposição considerada na simulação do cenário 3 - Posto B ..... 108
Figura 57: Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 4 – posto B. ..... 111
Figura 58: Fluxograma da via de exposição considerada na simulação do cenário 4 - Posto B ..... 111
Figura 59: Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 5-posto B..... 113
Figura 60: Fluxograma da via de exposição considerada na simulação do cenário 5 – Posto B ..... 113

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1– Efeitos sobre a saúde causados por alguns constituintes da gasolina ..... 17
Tabela 2- Exemplos de Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea ..... 18
Tabela 3: Causa dos Acidentes em Postos de Combustíveis..... 23
Tabela 4: Dados retirados do relatório de análise de risco e dados recomendados pela regulamentação local..... 67
Tabela 5- Valores orientadores para solos e para águas subterrâneas da FEEMA..... 72
Tabela 6: Dados retirados do relatório e dados recomendados pela regulamentação local. ..... 75
Tabela 7-MECL da Análise de Risco - posto A ..... 80
Tabela 8: Concentrações dos CQI – Posto A. ..... 82
Tabela 9-Resultado da simulação do cenário 1 – posto A -água subterrânea ..... 86
Tabela 10 - Resultado da simulação do cenário 1 - posto A- solo superficial ..... 86
Tabela 11 - Resultado da simulação do cenário 1 –posto A- solo sub-superficial..... 87
Tabela 12- Resultado da simulação do cenário 3 – posto A - água subterrânea ..... 92
Tabela 13- Resultado da simulação do cenário 3 – posto A - solo superficial..... 92
Tabela 14 - Resultado da simulação do cenário 3 – posto A - solo sub-superficial..... 93
Tabela 15- Resultado da simulação do cenário 4 –posto A - água subterrânea ..... 95
Tabela 16 - Resultado da simulação do cenário 4 –posto A - solo superficial..... 95
Tabela 17 - Resultado da simulação do cenário 4 - posto A- solo sub-superficial..... 96
Tabela 18- Resultado da simulação do cenário 5 – posto A- água subterrânea ..... 99
Tabela 19- Resultado da simulação do cenário 5 – posto A- solo superficial..... 99
Tabela 20- Resultado da simulação do cenário 5 – posto A- solo sub-superficial..... 99
Tabela 21- MECL da Análise de Risco - posto B ..... 101
Tabela 22 - Concentrações locais dos CQI-posto B. ..... 102
Tabela 23- Resultado da simulação do cenário 1 – posto B - água subterrânea ..... 104
Tabela 24- Resultado da simulação do cenário 2 –posto B- água subterrânea ..... 106
Tabela 25- Resultado da simulação do cenário 3 –posto B- água subterrânea ..... 109
Tabela 26- Resultado da simulação do cenário 4 –posto B- água subterrânea ..... 112
Tabela 27- Resultado da simulação do cenário 5 –posto B- água subterrânea ..... 114

## LISTA DE SIGLAS

POE - Ponto de exposição

CQI - Composto químico de interesse

MCL - Maximum concentration level

LNAPL- Light non-aqueous phase liquids - Fase Líquida Leve Não Aquosa

SSTL - Site Specific Target Level

SASC - Sistema de Armazenagem Subterrâneo de Combustíveis

FEEMA – Fundação Estadual de Meio Ambiente

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

SLAP - Sistema de licenciamento de atividades poluidoras

EPA - Environmental Protection Agency

NAPL - Non-aqueous phase liquids - Fase Líquida Não Aquosa

COHs - Contaminantes orgânicos hidrofóbicos

BTEX – Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno

PAH – Hidrocarbonetos poliaromatico

RBCA – Risk Based Corrective Action – Ação corretiva baseada no risco

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

ASTM – American Society for Testing and Materials

TWA – Time Weight Average – Tempo Médio Ponderado

PEL – Nível de exposição ocupacional admissível

RME – Exposição Máxima Razoável

NAF – Fator de Atenuação Natural

ADF - Fator de Dispersão Lateral do Ar

LDF – Fator de Diluição Lateral

VOC – Compostos Orgânicos Voláteis

PEF – Fator de Emissão de Partículas

# 1 - INTRODUÇÃO

A disposição inadequada de resíduos, o vazamento de produto durante seu manuseio, transporte e armazenamento são alguns dos exemplos que podem ser apontados como responsáveis por inúmeros casos de contaminação de solos e águas subterrâneas. De acordo com Silva (SILVA, 2005), os casos de vazamento em tanques subterrâneos de petróleo e derivados, têm sido ocorrências comuns e constitui em uma importante fonte de poluição ambiental, podendo modificar a qualidade do solo, ar e águas subterrâneas.

Os acidentes envolvendo vazamento de combustível em tanques de armazenamento subterrâneo merecem destaque devido à sua ocorrência, na maioria das vezes, em áreas urbanas densamente povoadas expondo a população a substâncias tóxicas à saúde humana como, por exemplo, os hidrocarbonetos aromáticos (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno - BTEX) (GOUVEIA, 2004).

Dentre os principais componentes dos combustíveis fósseis, os hidrocarbonetos aromáticos se destacam, pois possuem grande estabilidade em suas ligações químicas além de potencial cancerígeno. Os hidrocarbonetos poli-aromáticos (PAH) dos quais se destacam os pirenos, fenantrenos e antracenos são potencialmente precursores de câncer em seres humanos, segundo a U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (EPA, 2008).

Com o aumento do número de áreas contaminadas em regiões urbanas, houve a necessidade da realização da avaliação do local, cujo objetivo principal é a identificação e quantificação dos riscos a saúde humana, decorrentes de uma área contaminada. Na avaliação de risco em uma área contaminada, por derivados de petróleo, a saúde humana e a segurança da população devem ser priorizadas, dentre os bens expostos a proteger.

A Tabela 1 apresenta, qualitativamente, os efeitos sobre a saúde humana de alguns componentes da gasolina. A escala apresentada varia de nenhum efeito adverso (-) a efeitos altamente adversos (++++).

**Tabela 1– Efeitos sobre a saúde causados por alguns constituintes da gasolina**

| | Benzeno | Tolueno | Xileno |
|---|---|---|---|
| Carcinogenicidade | ++++ | +++ | +++ |
| Teratogenicidade | ++ | +++ | ++ |
| Efeitos genéticos | +++ | ++ | - |
| Efeitos crônicos | ++ | +++ | ++ |

Fonte: Guimarães, 2001.

De acordo com Silva (SILVA, 2002) os compostos BTEX, são os constituintes da gasolina que apresentam maior solubilidade e mobilidade e são os responsáveis pelos maiores problemas de contaminação da água subterrânea. Além dos impactos associados ao meio ambiente, eventos que envolvem contaminação por petróleo e derivados tem sido objeto de preocupação devido à possibilidade de incorrerem em riscos de explosão, incêndio além dos impactos à saúde pública (CNPQ, 2006).

Atualmente tem-se realizado no Brasil esforços no sentido de se desenvolverem estudos visando proteção do meio ambiente e de populações expostas a áreas contaminadas. Há a necessidade de estabelecer métodos de avaliação destas áreas com obtenção das informações importantes para o processo de tomada de decisão para seleção e priorização de áreas para aplicação de ações de remediação.

Os locais contaminados não possuem as mesmas características nem o mesmo tipo de exposição. O tratamento individualizado destes locais possibilita melhor alocação de recursos na remediação e maior proteção à população.

Alguns países já adotam padrões de remediação baseados no risco, como Holanda, Estados Unidos, Canadá e Alemanha, sendo Holanda e Estados Unidos os países em que essa prática encontra-se mais consolidada (CASARINI, 1996). Apesar do método adotado nesses dois países divergir em termos de abordagem ambiental, classificação dos solos e cenários de exposição, os objetivos e caminhos metodológicos se aproximam. Em ambos, a análise é usada para estimar os riscos à saúde humana e ao meio ambiente, com a caracterização e avaliação da exposição, seguida do uso de modelos matemáticos de transporte e degradação dos contaminantes.

Essas ferramentas usadas em conjunto permitem a previsão das concentrações dos contaminantes, bem como o grau de remediação necessário para que os padrões de riscos não sejam extrapolados e a saúde das populações envolvidas não seja ameaçada.

A Tabela 2 resume alguns valores orientadores em vigor em São Paulo, Holanda, Canadá e nos EUA, mostrando sua diversidade e ressaltando a importância desses números necessitarem de estudos específicos para cada região.

**Tabela 2- Exemplos de Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea**

| PAÍSES/ ESTADOS | BENZENO | | TOLUENO | | XILENO | | NAFTALENO | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | SOLO | ÁGUA | SOLO | ÁGUA | SOLO | ÁGUA | SOLO | ÁGUA |
| | ppm | ppb | ppm | ppb | ppm | ppb | ppm | ppb |
| SÃO PAULO | 0,6 | 5 | 30 | 170 | 3 | 300 | 15 | 100 |
| | 3 | | 140 | | 15 | | 90 | |
| HOLANDA | 1 | 30 | 130 | 1.000 | 25 | 70 | 40 | 70 |
| CANADÁ | 0,05 | 5 | 0,1 | 100 | 0,1 | 60 | 0,1 | 30 |
| | 5 | | 30 | | 50 | | 50 | |
| EUA | 22 | 5 | 16.000 | 40 | 160.000 | 20 | 3.100 | - |
| | 200 | | 410.000 | | 4.100.000 | | 41.000 | |

Fonte: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2001).

É importante ressaltar um aspecto relevante para os estudos no Brasil: os modelos foram desenvolvidos no hemisfério norte, em regiões predominantemente temperadas. O clima do Brasil oferece outros tipos de solos, o que exige um cuidadoso estudo das hipóteses assumidas nas modelagens de fluxo de águas subterrâneas e transporte de contaminantes embutidas nos métodos e nos programas, para que se garantam resultados mais próximos de nossa realidade.

O objetivo geral desta dissertação foi avaliar a utilização do programa - RBCA *Tool Kit for Chemical Releases v2.01*.como ferramenta de análise de risco para áreas de postos de abastecimento e revenda de combustíveis da cidade do Rio de Janeiro.

Os objetivos específicos foram desenvolver um método de abordagem e aplicá-lo em dois estudos de caso previamente selecionados e analisados pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro (SMAC), visando identificar os principais riscos potenciais aos receptores em cada cenário desenvolvido.

## 2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1- CARACTERÍSTICAS DO SOLO PARA ANÁLISE DE RISCO

O solo é um sistema multicomponente integrado por três fases: sólida, líquida e gasosa. Essas duas últimas ocupam o espaço poroso da fase sólida e caracterizam-se por ser complementares, ou seja, a ausência de uma implica na presença máxima da outra.

O solo é dito saturado (zona saturada) quando a fase líquida ocupa completamente os poros, caso contrário, diz-se que o solo é não saturado (zona não saturada ou zona vadosa) (PREVEDELLO, 1996 apud BAPTISTA, 2003).

Pode-se dividir a zona não saturada em três faixas, conforme esquematizado na Figura 1:

• **Zona de umidade do solo**: parte mais superficial, onde se constitui o suporte fundamental da biomassa vegetal e da interface atmosfera/litosfera.

• **Zona intermediária**: região compreendida entre a zona de umidade do solo e a franja capilar, onde apresenta a umidade inferior à da franja capilar e superior à apresentada pela zona de umidade do solo. A zona intermediária pode não existir em casos em que o nível do lençol freático encontra-se suficientemente próximo da superfície, isto é, casos em que a franja capilar atinge a superfície (brejos e alagadiços).

• **Zona capilar**: região mais próxima ao aquífero freático caracteriza-se por apresentar umidade mais elevada devido à presença da zona saturada logo abaixo.

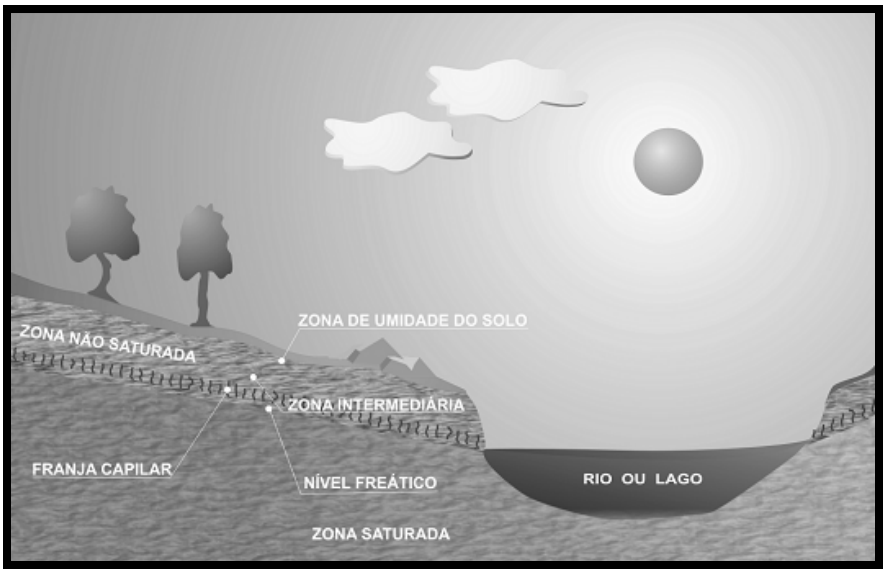


**Figura 1: Caracterização esquemática das zonas não saturada e saturada no subsolo.** Fonte: (ABAS, 2005).

## 2.2 – EFEITO DO VAZAMENTO DE DERIVADOS DE PETRÓLEO NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Um vazamento de gasolina ou óleo diesel se assemelha ao comportamento de um contaminante não miscível a água, também chamado de NAPL (Non Aqueous Phase Liquids – Fase Líquida Não Aquosa). Por serem menos densos que a água, ambos seguem o comportamento do LNAPL (Light Non Aqueous Phase Liquids - Fase Líquida Leve Não Aquosa), geralmente caracterizam-se por duas regiões na subsuperfície: a área da fonte (LNAPL puro) e uma pluma de contaminação, na qual os contaminantes orgânicos hidrofóbicos (COHs) vão se espalhar na franja capilar da zona saturada, enquanto a fração dissolvida é transportada com o fluxo da água subterrânea.

Após o derramamento de um NAPL na superfície do terreno, o líquido migra para baixo através da zona não saturada do subsolo, ficando retido nos poros do solo, criando uma fase denominada residual.

Uma vez que ocorram vazamentos ou derramamentos de NAPL no solo sub-superficial o contaminante poderá estar distribuído em até cinco fases distintas, denominadas fase livre; fase adsorvida; fase residual; fase dissolvida e fase vapor.

A Figura 2 esquematiza o comportamento do NAPL oriundo de um vazamento até atingir a água subterrânea.

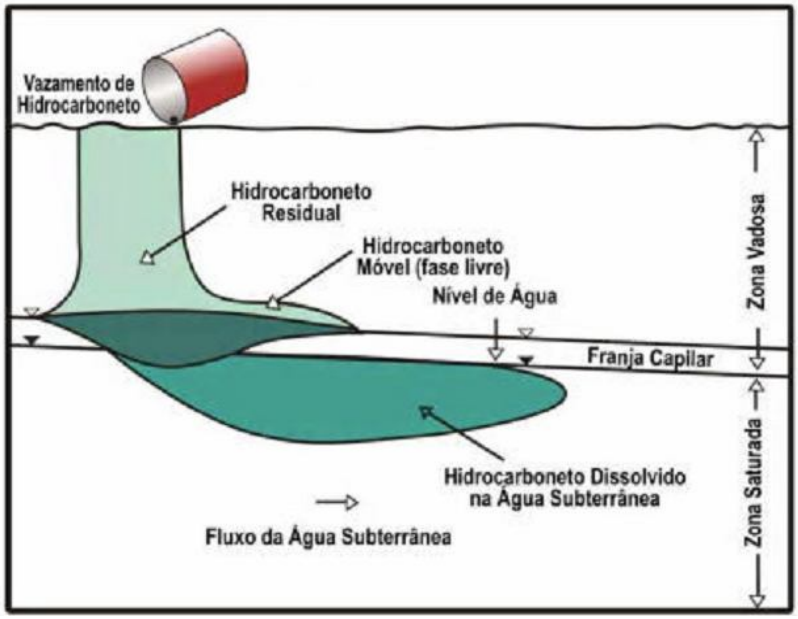


**Figura 2: Comportamento do NAPL na água subterrânea.**

Fonte: Modificado de Fetter, 1999.

A fase livre é representada pelo produto em fase separada que migra através do solo como uma frente contínua, apresentando mobilidade no meio poroso (IBP, 2006; SCHMIDT, 2004). Ao migrar pela zona não saturada o produto é parcialmente retido pelas partículas do solo. Parte do produto retido apresenta-se como pequenas quantidades isoladas no interior dos poros do solo, caracterizando a fase residual que não apresenta mobilidade no meio poroso.

A outra parte, fase adsorvida constitui as moléculas do produto que ficam aderidas às partículas sólidas do aquífero. Uma parcela do produto que atinge a zona saturada se dissolve na água formando uma pluma de contaminação designada fase dissolvida. A fase dissolvida apresenta mobilidade elevada e é responsável pelo transporte do contaminante a grandes distâncias da contaminação.

A fase vapor está presente eminentemente na zona não saturada e em quantidades desprezíveis na zona saturada. Esta fase apresenta mobilidade elevada e pode acumular-se em espaços confinados como, por exemplo, garagens subterrâneas, porões, caixas telefônicas subterrâneas, esgotos e galerias em geral (IBP, 2006; PENNER, 2000).

Devido à mobilidade apresentada pela fase residual, à elevada mobilidade da fase dissolvida e fase vapor e ainda à mobilidade desprezível que caracteriza a fase residual e adsorvida, com o tempo estas fases dos hidrocarbonetos tendem a se tornar cada vez mais distintas.

Segundo Penner (PENNER, 2000), em muitos casos chegam a aparecer como corpos distintos ou plumas de contaminação de hidrocarbonetos em fases diferentes no solo que podem migrar para direções diversas. Ao avaliar um sítio contaminado é importante que se identifiquem os potenciais destas plumas de afetarem as águas subterrâneas. A fase livre, residual e, em menor escala, a adsorvida constituem fontes de contaminação para as águas subterrâneas. Devido à sua baixíssima mobilidade, a fase residual é de difícil remoção e localização, mantendo-se como fonte permanente de contaminação das águas subterrâneas devido à liberação lenta e contínua do produto para a fase dissolvida.

Portanto, para que sejam entendidas as características das plumas de contaminação, é necessário o conhecimento do comportamento do combustível no solo e subsolo, bem como os mecanismos de transporte que envolve cada etapa de desagregação.

O transporte horizontal do combustível no aquífero é realizado pelo movimento da água subterrânea. Segundo Oliveira (OLIVEIRA, 1997) as forças que agem na migração dos fluidos em sub-superfície ocorrem em função do tempo.

O processo de dispersão através do meio poroso ocorre através de dois mecanismos: advecção e difusão, onde a força motriz para difusão é o gradiente de concentração enquanto que para advecção é o gradiente de pressão (OLIVEIRA,1997).

A dispersão é o espalhamento da fase dissolvida que é promovida pelo fluxo de água subterrânea em meio poroso (FETTER, 1999 e LAGREGA *et al*.,1994).

A advecção é o processo pelo qual a água, fase livre e fase dissolvida infiltram na zona não saturada sob ação da gravidade e pressão até chegar à zona saturada. A advecção transportará a fase dissolvida no sentido e direção das linhas de fluxo de água. Em meio saturado, a advecção envolve transporte de fase dissolvida pelo movimento da água subterrânea em função do potencial hidráulico e é o principal mecanismo responsável pela migração do contaminante em aquíferos.

A difusão é o processo através do qual os íons e moléculas dissolvidas passam da área de maior concentração para a de menor concentração. Ela ocorre sempre que é formado um gradiente de concentração e a massa difundida é proporcional a este gradiente (FETTER, 1999).

## 2.3- CARACTERIZAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DO SETOR DE ABASTECIMENTO E REVENDA DE COMBUSTÍVEIS

Os elevados índices de contaminação do ar, da água e do solo, aliados à crescente escassez dos recursos naturais e ao aumento da perda da biodiversidade, vêm ganhando cada vez mais destaque nos campos da política e da economia, demonstrando claramente a necessidade da sociedade buscar padrões ambientais adequados.

Os produtos derivados do petróleo, como a gasolina e o óleo diesel, representam uma importante fonte de contaminação do meio ambiente nos centros urbanos. Em todo mundo, em particular nas grandes metrópoles, tem crescido a preocupação ambiental com as atividades de revenda e de abastecimento de combustíveis líquidos, uma vez que tais atividades apresentam um alto potencial poluidor do solo e da água subterrânea, particularmente naquelas regiões onde os deslocamentos são fortemente estruturados por veículos de passeio (OLIVEIRA, 1992).

Além da queima dos combustíveis fósseis esta associada à poluição atmosférica, as instalações relativas ao sistema de armazenagem subterrâneos de combustíveis (SASC) para os derivados de petróleo, configuram-se como empreendimentos capazes de gerar passivos ambientais urbanos, em função de possíveis vazamentos nos tanques de armazenamento ou tubulações, assim como derramamentos produzidos por acidentes no transporte e manuseio destes produtos, criando assim uma grande preocupação não só com os riscos de incêndios e explosões, mas também com a contaminação ambiental do solo e da água subterrânea (BLACKMAN,1996).

De acordo com um estudo realizado pela CETESB, as causas dos acidentes nos postos de combustíveis em São Paulo, entre o período de 1984 até novembro de 2006, são apresentadas na Tabela 3:

**Tabela 3: Causa dos Acidentes em Postos de Combustíveis**

| Causas | % |
|---|---|
| Tanque | 31,5 |
| Passivo Ambiental | 17,7 |
| Tubulação | 16,3 |
| Extravasamento | 8,1 |
| Descarte | 5,4 |
| Outros | 5,4 |
| Desativado | 4,6 |
| Tubulação e Tanque | 4,0 |
| Bomba | 3,0 |
| Não identificada | 2,1 |
| Caixa separadora | 1,8 |

Fonte: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2006).

No município do Rio de Janeiro, alvo deste estudo, até a presente data não houve um estudo similar ao apresentado na Tabela 3.

Os tanques e instalações subterrâneas do SASC têm vida útil em média, de 25 anos, uma vez que de acordo com estatísticas internacionais, os tanques com mais de 20 anos de instalação estão mais suscetíveis a apresentar problemas de vazamentos devido à corrosão (COLE,1994). E por se tratarem de instalações subterrâneas, onde a observação direta dos equipamentos é impossível, historicamente sempre houve grande dificuldade na detecção de vazamentos em estágios iniciais.

## 2.4 - REGULAMENTAÇÃO DO SETOR DE ABASTECIMENTO E REVENDA DE COMBUSTÍVEIS

No mundo, a evolução da legislação e das regulamentações ambientais aplicáveis à atividade de abastecimento e revenda de combustíveis derivados de petróleo tem resultado em crescentes restrições, refletindo as pressões internas da sociedade e dos órgãos ambientais para sua adequação. Em decorrência do potencial poluidor dos combustíveis derivados de petróleo e álcool, promoveram-se as elaborações de leis, decretos, resoluções e normas para proteção e monitoramento da qualidade do solo e das águas subterrâneas nas áreas de influência dos postos de combustíveis.

No Brasil em 2000, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA publicou a Resolução n° 273, estabelecendo diretrizes para o licenciamento ambiental desta atividade de revenda de combustíveis, considerando que os vazamentos ocasionados por este tipo de empreendimento possam causar contaminação dos corpos de água subterrâneos e superficiais, do solo e do ar (BRASIL, 2000).

No Rio de Janeiro em 2002, a antiga Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente – FEEMA, atualmente Instituto Estadual do Ambiente - INEA - publicou a Diretriz 1841-R1 e a Instrução Técnica 1842-R1 relativas ao licenciamento ambiental e a autorização do encerramento das atividades de postos de serviço que disponham de sistemas de acondicionamento ou armazenamento de combustíveis, graxas, lubrificantes e seus respectivos resíduos.

Em 2004, a FEEMA publicou a segunda revisão tanto da Diretriz 1841-R2 quanto da Instrução Técnica 1842-R2 (RIO DE JANEIRO, 2004).

Atualmente, se encontra em estudo uma terceira revisão destas publicações. Esta diretriz teve como legislação de apoio diversas leis, decretos e resoluções federais e estaduais. Dentre estas, se destacam a Lei n.º 6.938/1981 que dispõe sobre a política nacional de meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, a Lei nº 9.433/1997, que institui a política nacional de recursos hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a Lei nº 9.478/1997, que dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio de petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional de Petróleo e dá outras providências e por fim o Decreto Estadual nº 1.633/1977 (FEEMA,2002), que institui o sistema de licenciamento de atividades poluidoras – SLAP.

## 2.5- MÉTODO RBCA (RISK-BASED CORRECTIVE ACTION - AÇAO CORRETIVA BASEADA NO RISCO):

A criação do método Risk-Based Corrective Action (RBCA) derivou da necessidade, nos Estados Unidos, de um guia que pudesse ser utilizado para nortear o programa de remediação de solos contaminados por resíduos perigosos. Este método tem sido amplamente empregado pelas autoridades ambientais norte-americanas visando aprimorar o gerenciamento de áreas contaminadas (CONNOR e McHUGH, 2002; CETESB, 2000). A abordagem adotada por este método incide na proteção da saúde humana e ao meio ambiente, mas também providencia as soluções custos-eficientes a serem adotadas para resolver os riscos, permitindo, muitas vezes, que recursos limitados sejam orientados para locais que apresentem níveis mais elevados de risco.

O grande desafio do método RBCA é o desenvolvimento de uma abordagem sequencial de critérios diferenciados para avaliação de risco em virtude das concentrações de contaminantes aceitáveis locais e dos compostos químicos considerados. Esta abordagem é amplamente aplicável aos locais que sejam localizados em diferentes configurações geográficas, geridos sob diversas autoridades reguladoras e que vivenciaram uma exposição ou derramamento local de produto químico.

A primeira norma que apresenta o detalhamento do método é a E 1739-95, Standard Guidelines for Risk-Based Corrective Action at Petroleum Release Sites, da ASTM (American Society for Testing and Materials), originalmente publicado como ES 38-94, que trata especificamente de contaminações por petróleo e derivados (ASTM, 2002). A norma E 1739-95 (ASTM, 2002), aprovada em setembro de 1995 e reaprovada em 2002, foi, portanto, a que primeiro detalhou o método RBCA para gerenciamento de áreas com solo e águas subterrâneas contaminadas (CONNOR e McHUGH, 2002). Após a publicação da E 1739-95, foram emitidos pela ASTM novos guias ampliando o método para outros compostos (E 2081/00 – Standard Guide for Risk-Based Corrective Action) e para risco ambiental de uma forma mais ampla (E 2205/02 – Standard Guide for Risk-Based Corrective Action for Protection of Ecological Resources – Eco-RBCA) (GUIMARÃES, 2003).

Um estudo desenvolvido com patrocínio da U.S. Environmental Protection Agency (EPA) e da ASTM avaliou o impacto do RBCA no desempenho dos programas de remediação dos estados norte americanos. De acordo com este estudo (CONNOR e

McHUGH, 2002), estatísticas pré e pós-implementação do programa de gerenciamento utilizando RBCA mostram o impacto positivo do método em termos de redução de tempo para solução dos casos, redução dos custos envolvidos na remediação e distribuição mais efetiva dos recursos em sítios que apresentam risco elevado.

Os próximos parágrafos abordarão especificamente o método RBCA descrito na norma E 1739-95, que se aplica a áreas com vazamento de petróleo e derivados, objeto de estudo desta dissertação.

Segundo a E 1739-95 (ASTM, 2002), RBCA é um procedimento consistente de tomada de decisão para avaliação e resposta a um vazamento de petróleo baseado na proteção à saúde humana e ao meio ambiente. Este procedimento reconhece a imensa variabilidade das características apresentadas pelos sítios contaminados com petróleo em relação à complexidade, características físicas e químicas e ao risco que representam. Este método permite que se quantifique o risco e estabeleça metas de remediação através da integração das características dos contaminantes (mobilidade, solubilidade, volatilização, etc.), do meio físico impactado (porosidade, gradiente hidráulico, condutividade hidráulica, etc.), dos meios de transporte (água subterrânea, solo superficial, solo sub-superficial e ar), das vias de exposição (ingestão, inalação e contato dermal) e das populações potencialmente receptoras (massa corpórea média, expectativa de vida, etc.) (CETESB, 2006a).

O método RBCA integra análise do sítio, seleção de ações de remediação e monitoramento às práticas de análise de risco e exposição recomendada pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA). De acordo com a norma E 1739 (ASTM, 2002), cria-se um processo em que as decisões relacionadas às ações corretivas são realizadas de modo a proteger a saúde e o meio ambiente.

O processo da ação corretiva baseado no risco desenvolvido pela ASTM é implementado em uma abordagem por etapas (níveis ou tiers), envolvendo sofisticação progressiva para coleta e análise de dados. Os dados utilizados em um determinado nível são substituídos sucessivamente por informações específicas da área. Na avaliação realizada em cada nível, decide-se, com base nos resultados e recomendações, se é apropriado ou não prosseguir a análise sítio-específica.

O que se objetiva através do emprego do RBCA é a definição dos limites toleráveis/aceitáveis das concentrações dos contaminantes no sítio, determinando

consequentemente os valores alvo para a etapa de remediação. Estes limites são estabelecidos de modo a não se extrapolar o risco no ponto de exposição.

O método é constituído por uma sequência de dez passos que vão desde a avaliação inicial da área até o monitoramento dos resultados. A sequência das principais tarefas e decisões associadas com o procedimento é delineada no Fluxograma de Ações Corretivas Baseadas no Risco.

Dentre os passos encontram-se três etapas que envolvem a avaliação propriamente dita do sítio contaminado, representadas pelos níveis 1, 2 e 3 (tier 1, 2 e 3). Estes níveis, são correspondentes aos passos 3, 5 e 7 do método completo cujo fluxograma é mostrado na Figura 3 e apresentam grau de complexidade crescente em termos de dados requeridos e da modelagem envolvida. Uma das características mais importante do método é que a análise prossegue até que cesse a necessidade de estudos mais aprofundados do local, não obrigatoriamente passando pelos três níveis de avaliação.

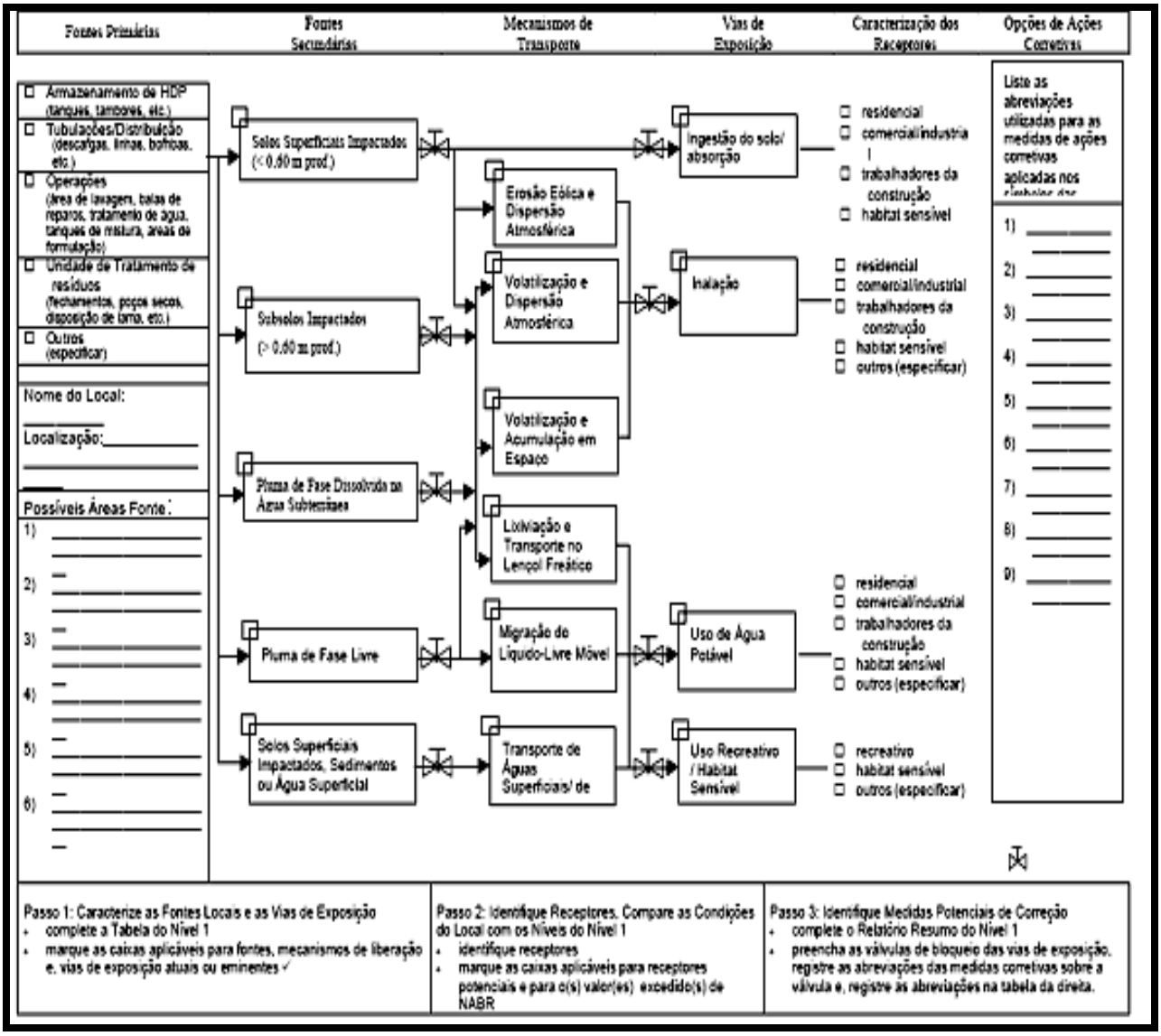


**Figura 3: Fluxograma de Avaliação de Cenário de Exposição (ASTM 204-01)**

Fonte: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2006a).

Baseado no método RBCA foi desenvolvido nos EUA uma ferramenta de apoio na ação corretiva baseada no risco denominada RBCA *Tool Kit for Chemical Releases*. Nesta dissertação foi utilizada a versão 2.01 desta ferramenta, para dois estudos de caso em área de postos de abastecimento de combustíveis, cujas funcionalidades da ferramenta serão apresentadas no item a seguir.

## 3 – RBCA TOOL KIT FOR CHEMICAL RELEASES

O pacote computacional utilizado nesta dissertação é o *RBCA Tool Kit for Chemical Releases*, versão 2.01, que foi concebido para apoiar na ação corretiva baseada no risco em locais que possuam contaminação por compostos químicos e assim, realizar a modelagem e a caracterização do risco abrangente no local.

Este pacote computacional se baseia no método RBCA, que é uma abordagem prática de gestão para resolver o real ou potencial risco associado à presença de substâncias químicas que suscitam preocupação ao meio ambiente (solo, água subterrânea e superficial, ar) e a saúde humana.

O pacote computacional *RBCA Tool Kit* foi projetado especificamente para completar todos os cálculos necessários para níveis 1 e 2 (tier 1 e 2) do processo de planejamento da ASTM-RBCA, tal como definido na ASTM E-2081-00 Standard Guide for Risk-Based Corrective Action (ASTM, 2004) e ASTM E-1739-95 Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied of Petroleum Release Sites (ASTM, 2002), e coerentes com as atuais orientações EPA para avaliação dos riscos para a saúde humana (EPA, 1989a, 1996).

No entanto, além desta funcionalidade básica, a Versão 2.01 fornece muitas opções adicionais de modelagem e de parâmetros para permitir avaliações mais sofisticadas e personalizadas, incluindo nível 3 (tier 3) e avaliações ecológicas.

A flexibilidade e a variedade de opções de modelagem e de parâmetros fornecidos na versão 2.01 permitem que o RBCA *Tool Kit* possa ser empregado fora do contexto específico da ASTM e que o processo de desenvolvimento de uma linha-base para o solo e as águas subterrâneas seja realizado através de níveis aceitáveis e compatíveis com o permitido pela regulamentação local ou pelos padrões utilizados em muitas partes do mundo.

O RBCA *Tool Kit* consiste em uma série de cálculos interligados e projetados para operarem dentro do Microsoft ® Excel, versões 2000 até 2003, para o cálculo do risco a partir dos níveis da linha-base, ou seja, através dos padrões adotados pela regulamentação local, e,ou níveis toleráveis/aceitáveis no solo e água subterrânea, com base nas informações fornecidas pelo usuário.

A característica-chave do RBCA *Tool Kit v2.01* inclui o cálculo do nível tolerável/aceitável baseado no risco à população local. Os cálculos necessários para avaliações completas RBCA nível 2 (tier 2), inclui em: o risco com base nos limites de

exposição, no fator atenuação natural e no simples transporte de derivados ou nos modelos baseados em valores especificados pelo usuário. As opções de avaliações incluem as considerações de concentração baseadas nas normas regulamentadoras, além do risco baseado em critérios e modelos de destino e transporte, tais como: modelos analíticos válidos para as vias de exposição no ar, água subterrânea e solo, baseado nos modelos utilizados no RBCA - ASTM.

### 3.1. TIPO DE ANÁLISES

A Figura 4, apresenta a tela inicial do programa RBCA *Tool Kit for Chemical Releases v2.01*. Nesta tela são inseridas as informações iniciais do projeto, define-se o tipo de análise RBCA e define-se os cálculos a serem realizados.

Progressivamente, inserem-se os demais dados para o processo de avaliação RBCA navegando para as telas de entrada e de saída apropriadas.

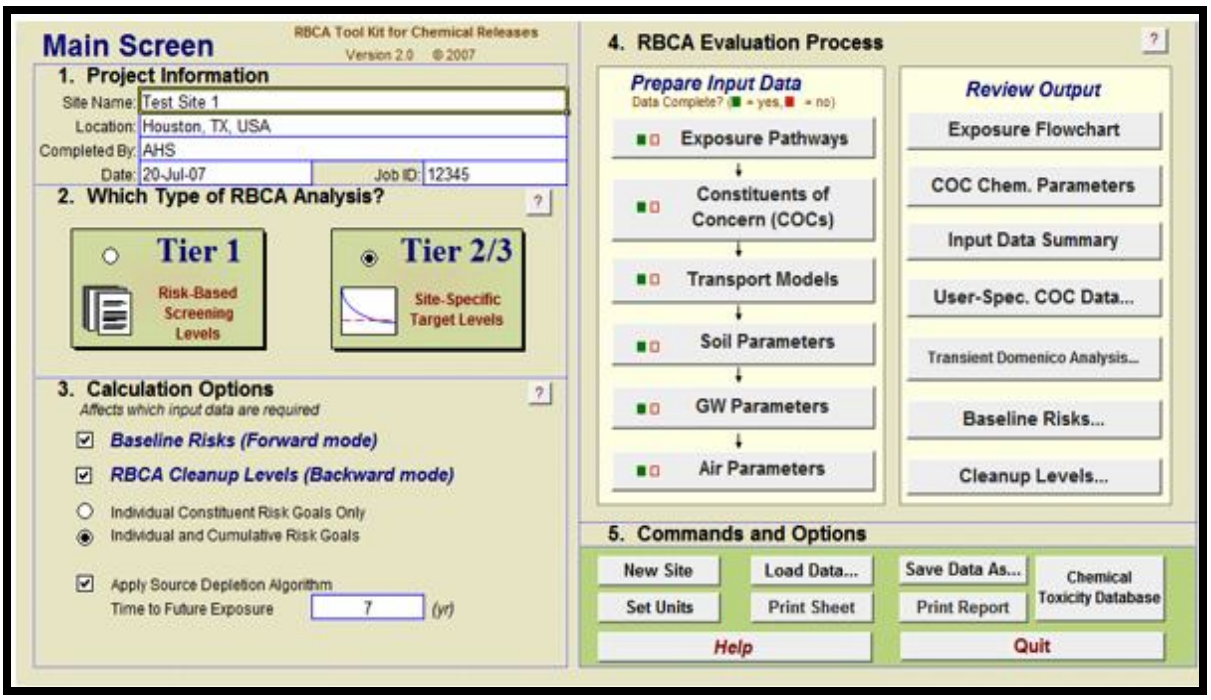


**Figura 4: Tela inicial do programa RBCA Tool Kit for Chemical Releases v2.01**

O programa RBCA *Tool Kit v2.01*, pode ser usado para executar qualquer nível de análise 1, 2 ou 3 (tier 1,2 ou 3), conforme esquematizado na Figura 5.

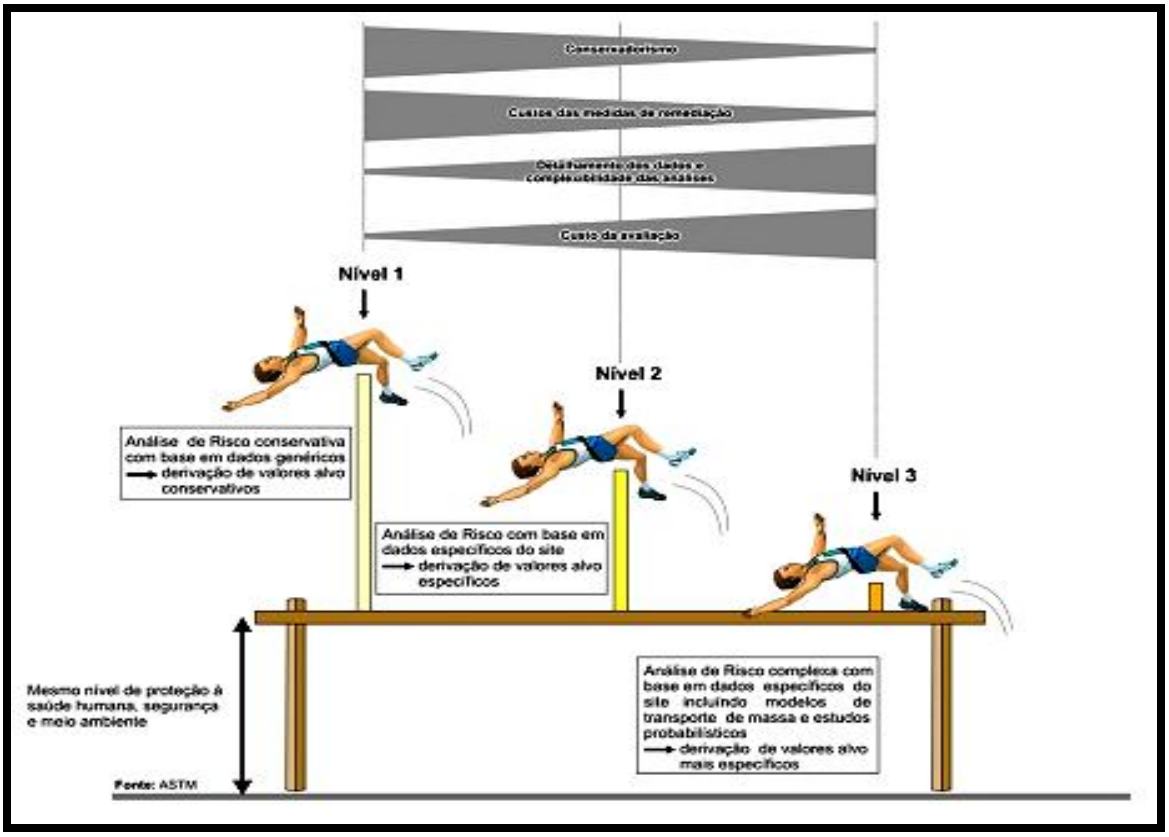


**Figura 5: Elementos da Análise de Risco em Níveis-** Fonte: ASTM.

- ✓ **Nível 1 (tier 1):** envolve o risco genérico para a exposição local, partindo do princípio da omissão de propriedades e de fatores exposição específicos do local.
- ✓ **Nível 2 (tier 2):** podem-se avaliar os riscos da linha-base e;ou os níveis-alvo específicos do local (SSTL's - Site Specific Target Level), tanto para o local "*on site*"[1] quanto para fora "*off site*"[2], baseado em dados específicos avaliados no local para cada meio de exposição (solo, água subterrânea e ar), utilizando os mesmos modelos do nível 1.
- ✓ **Nível 3 (tier 3):** é comparável a um cálculo nível 2, no RBCA *Tool Kit v2.01*, no entanto, ao invés de usar o modelo padrão do destino e

---

[1] No RBCA Tool Kit v2.01, o termo "*on-site* " se refere a um receptor localizado na zona da fonte da contaminação.

[2] No RBCA Tool Kit v2.01, o termo "*off-site*" refere-se a um receptor em qualquer ponto de distância fora da zona da fonte da contaminação, mesmo que sobre o mesmo imóvel. As análises permitem a utilização dos modelos de transporte para calcular os riscos relacionados com níveis e com os receptores "*off-site*".

transporte fornecido no RBCA *Tool Kit*, o usuário poderá realizar o cálculo utilizando o fator de atenuação natural determinado a partir de outro modelo externo ou a partir de medições específicas.

## 3.2 – MODOS DE ANÁLISE

O RBCA *Tool Kit* pode ser executado em dois modos, conhecido como modo direto "*Forward mode*" ou reverso "*Backward mode*", conforme ilustrado na Figura 6, que foi retirada diretamente do programa.

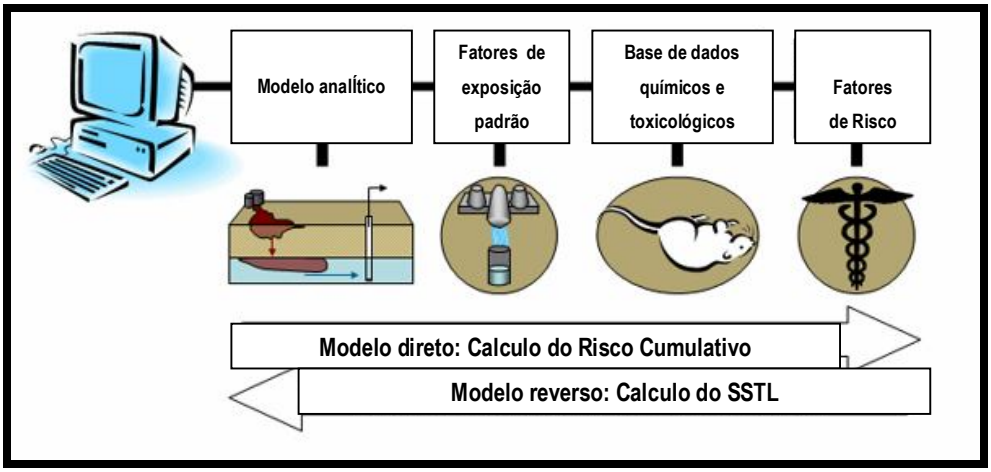


**Figura 6: Ilustração dos modos de análises disponíveis no programa.**

Fonte: RBCA *Tool Kit for Chemical Releases v2.01*

O modo reverso pode calcular as concentrações limites toleráveis/aceitáveis, denominadas SSTL's para cada composto químico de interesse (CQI) para o local a partir dos valores da linha base conforme o órgão regulamentador responsável.

O modo direto calcula o risco a exposição humana a partir de valores limites toleráveis/aceitáveis dos CQI, conforme especificado pelo usuário.

O risco calculado pelo RBCA pode ser individual ou cumulativo. O risco "individual" significa que as concentrações com nível de risco aceitável SSTL serão calculados com base na exposição individual dos CQI em separado. O risco "cumulativo" significa que as concentrações com nível de risco aceitável SSTL serão calculados com base nos efeitos cumulativos da exposição a todos os CQI em conjunto.

## 3.3- ALGORITMO DE DEPLEÇÃO NA FONTE

Nas simulações com o programa RBCA *Tool Kit for Chemical releases v2.01* há a possibilidade de se considerar o algoritmo para o esgotamento do constituinte na fonte da contaminação, que permite o ajuste dos SSTL levando em consideração as mudanças de massa na fonte ao longo do tempo.

A princípio, o programa trata os constituintes da fonte da contaminação como tendo massa infinita. No entanto, na realidade, todas as fontes contêm uma massa finita de cada constituinte e, por conseguinte, a liberação de um constituinte de uma fonte finita de contaminação irá diminuir ao longo do tempo. Como resultado, a concentração deste constituinte em qualquer ponto de exposição (POE) também irá eventualmente diminuir ao longo do tempo. Para alguns locais, esta diminuição da concentração do constituinte pode ser modelada cineticamente como um decaimento de primeira ordem.

O algoritmo da depleção na fonte aplica valores especificados pelo usuário para massa e dimensões da fonte da contaminação. O algoritmo pode também aplicar valores especificados pelo usuário ou valores padrão para as taxas de biodegradação dos componentes individualmente para determinar a constante de decaimento de primeira ordem da diminuição da massa da fonte baseado na taxa de volatilização, dissolução ou lixiviação, e de biodegradação.

Quando o algoritmo de depleção na fonte é selecionado durante a análise, uma constante primeira ordem de decaimento é calculada para cada composto químico de interesse (CQI) em cada meio da área fonte (solo e água subterrânea). Esta constante de decaimento de primeira ordem indica o grau de diminuição da massa do contaminante na fonte devido à volatilização, dissolução ou lixiviação, e da biodegradação, conforme exemplificado na Figura 7 e Figura 8, as quais foram retiradas diretamente do programa.

Ressalta-se que quando a meia-vida padrão é aplicada, deve-se verificar se as condições do local não impedirão ou restringirá severamente a biodegradação. Estas taxas de decaimento são de primeira ordem e então são aplicadas ao modelo fonte de concentração dos CQI's ao longo do tempo. A diminuição da concentração dos CQI's nos POE`s ao longo do tempo é assumida ser proporcional à diminuição da concentração dos CQI's na fonte. Assim, para exposições, que ocorrerão no futuro, os SSTL calculados utilizando o processo padrão RBCA (que assume todos os riscos que

ocorrem nas concentrações atuais dos CQI) pode ser ajustado para levar em conta a diminuição futura das concentrações dos CQI. [3]

Dois métodos são fornecidos para ajustar o SSTL:

1) Ajuste para exposições futuras e;
2) Ajuste para concentração média de exposição.

Os SSTL para os constituintes não-cancerígenos só podem ser ajustados através do método 1, enquanto que para os agentes cancerígenos os SSTL podem ser ajustados através do método1 e;ou método 2.

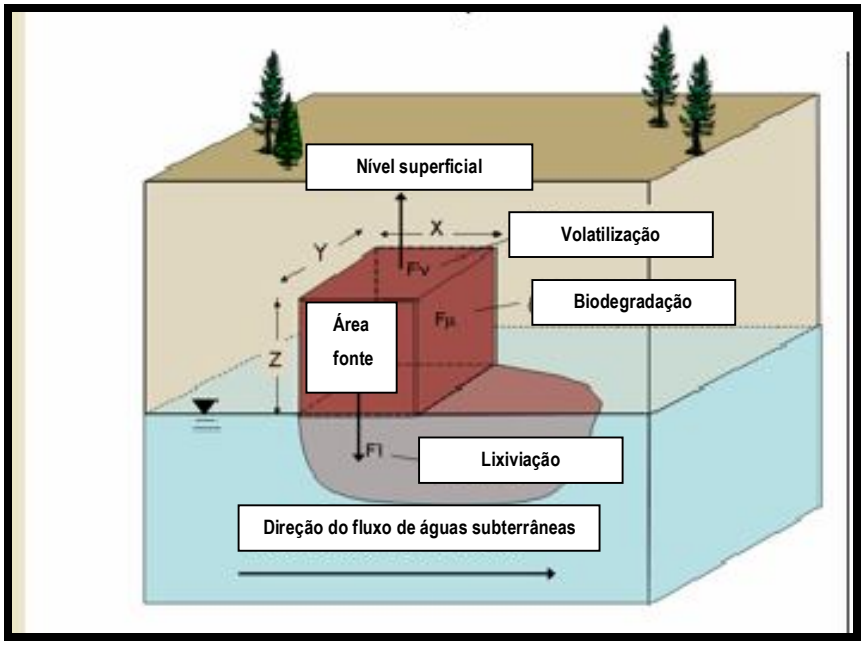


**Figura 7: Modos de diminuição da massa do contaminante na fonte devido a volatilização, dissolução ou lixiviação, e da biodegradação, na zona insaturada.**

[3] Nota: A relação de equilíbrio de partição utilizada no modelo fonte de decaimento é baseada no pressuposto de que a fase líquida não aquosa (NAPL) não está presente na área da fonte. O uso do algoritmo de depleção na fonte em locais que contêm NAPL irá resultar em valores de SSTL não-conservadores.

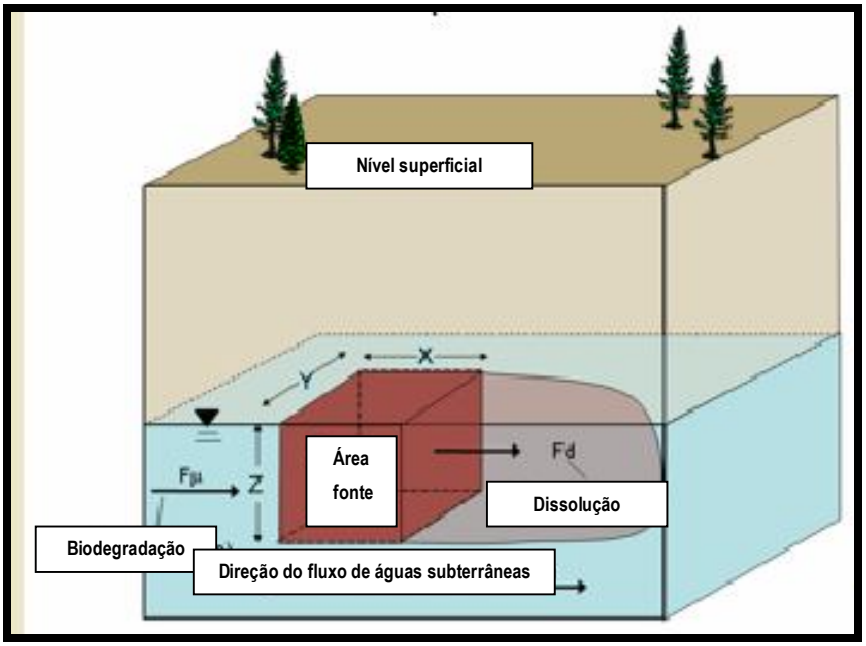


**Figura 8: Modos de diminuição da massa do contaminante na fonte devido a volatilização, dissolução ou lixiviação, e da biodegradação, na zona saturada.**

### 3.3.1-MÉTODO 1: AJUSTE PARA EXPOSIÇÕES FUTURAS

Os SSTL para todos os constituintes podem ser ajustados para levar em consideração a diminuição da concentração de risco de exposição que ocorrerá em algum momento no futuro. Quando se aplica o algoritmo de depleção na fonte, um valor para o "tempo de exposição futura" deve ser inserido. O valor padrão para este parâmetro é zero (ou seja, partindo do princípio do potencial de exposição que existe atualmente).

### 3.3.2-MÉTODO 2: AJUSTE PARA CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE EXPOSIÇÃO

Para os componentes cancerígenos, assume-se que o risco associado à exposição é proporcional à concentração média. Assim, quando o algoritmo de depleção na fonte é utilizado, os SSTL para os agentes cancerígenos são ajustados para levar em consideração a diferença entre a exposição da concentração inicial e a exposição da concentração média. Se um valor tenha sido inscrito a tempo para a futura exposição, a exposição da concentração inicial é considerada como sendo a concentração naquela

altura. Para os agentes não-cancerígenos, o risco é assumido em função da concentração máxima de exposição, pois, os SSTL para os agentes não-cancerígenos não estão ajustados para considerar a concentração média da exposição.

Nesta dissertação as análises foram realizadas de maneira conservadora para todos os dois estudos de caso, considerou-se que a fonte de contaminação possuía massa infinita, não levando em consideração a utilização do algoritmo de depleção na fonte.

## 3.4 - IDENTIFICAÇÃO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO

### 3.4.1- EXPOSIÇÃO NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

O programa possui uma janela específica para identificar as vias de exposição. A Figura 9 reproduz a tela do programa para a identificação das vias de exposição.

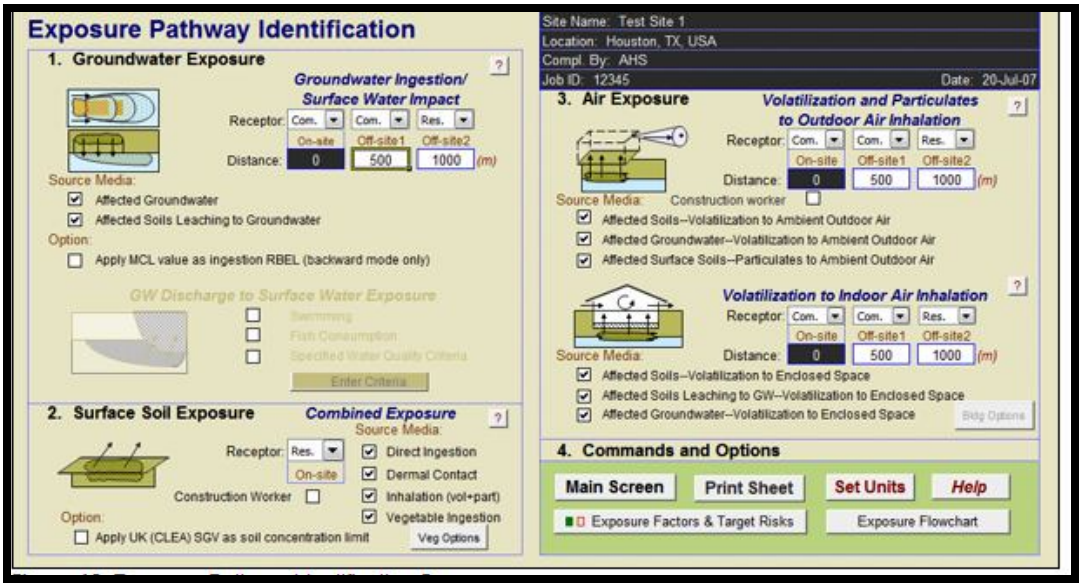


**Figura 9: Tela de caracterização das vias de exposição**

Na tela exemplificada na Figura 9 é possível especificar para as diferentes vias de exposição os seguintes fatores:

- Vias de exposição completa para o local;
- Tipo de receptores (residencial, comercial, etc) para cada percurso completo;
- Distância da fonte para cada receptor;

Para análise nível 1 (tier 1), considera-se apenas o receptor "*on site*" e todas as opções para receptor "*off site*" estão indisponíveis.

Para análise nível 2 (tier 2), pode-se utilizar os dados "*off-site*" para até dois receptores.

Para efeitos da avaliação RBCA, a "fonte da contaminação" é a área afetada do solo ou água subterrânea para o qual um receptor no local poderá ser exposto ou que poderia migrar para fora do local (por exemplo, através da volatilização, dissolução, advecção, dispersão, etc.) impactando outras áreas. Em termos simples, a "fonte" é a área do solo afetado no local onde ocorreu a liberação e;ou o coração da pluma na água subterrânea.

A via de ingestão de água subterrânea impactada e;ou contato com água superficial impactada envolve a ingestão direta de água subterrânea impactada ou exposição à água de superfície, a qual recebe uma descarga de água impactada. Por esta via, a água subterrânea pode ser afetada diretamente, por uma fonte contaminante em contato com a água subterrânea (por exemplo: NAPL) ou indiretamente, por lixiviação de solos impactados sobrejacente.

Como já foi descrito anteriormente, para análises nível 1 estão disponíveis apenas receptores "*on site*", enquanto para análises nível 2/3 estão disponíveis os receptores "*on site*" e até dois receptores *"off site"*.

Quatro tipos de receptores podem ser designados para a via de ingestão de água subterrânea: residencial, comercial, definido pelo usuario, e "MCL" (nível máximo de contaminante). O receptor de água superficial encontra-se disponível para um segundo receptor "*off site"*. Para os receptores residencial, comercial e o definido pelo usuário, os riscos da linha base e;ou níveis médios toleráveis/aceitáveis são calculados com base na exposição aplicável do fator de risco do nível-alvo específico do local - SSTL.

Normalmente, a zona fonte deve corresponder ao "núcleo" da pluma da zona afetada do solo ou água subterrânea onde são observadas as concentrações máximas dos CQI's.

### 3.4.2- EXPOSIÇÃO NA ÁGUA SUPERFICIAL

O percurso da água subterrânea para a água superficial envolve três mecanismos possíveis para a exposição humana ou ecológica:

i) Exposição humana por natação;

ii) Exposição humana através do consumo peixes;

iii) Exposição direta dos seres humanos ou de espécies aquáticas;

Para natação e consumo de peixes, o risco da linha base e;ou níveis toleráveis/aceitáveis são calculados com base na exposição humana através dos fatores de risco aplicáveis e os níveis-alvo específico do local. Há opção de se especificar os critérios para qualidade da água que permite que o usuário digite os critérios de qualidade aplicáveis à proteção da água superficial (por exemplo, conforme estabelecido pela regulamentação estadual ou federal), como sendo o limite de exposição para a água de superfície. Para as águas superficiais, os riscos da linha base são calculados apenas para os receptores de exposição humana através da natação e do consumo de peixes.

### 3.4.3- EXPOSIÇÃO DO SOLO SUPERFICIAL

Esta via de exposição aborda o percurso cujo efeito da exposição humana a solos superficiais afetados são combinados através contato dermal, ingestão acidental, inalação de vapores e poeiras, e (apenas para receptores residenciais) ingestão de vegetais. Assume-se que esta via de exposição ocorra na zona do solo afetado e, portanto, por definição, aplica-se apenas a receptores "*on site*". Três tipos de receptores "*on site*" poderão ser designados para esta via: residencial, comercial ou definida pelo usuário.

Quando um receptor é selecionado, devem-se especificar todos os mecanismos de exposição para este percurso. Além dos tipos de receptores selecionados, o trabalhador da construção no local também pode ser considerado como receptor. Esta opção permite o cálculo do risco para um trabalhador da construção com base no contato com solos afetados durante as atividades de escavação em curto prazo. Os parâmetros de distinção entre um trabalhador de uma construção e o trabalhador comercial estão especificados sobre os fatores de exposição e riscos alvos.

### 3.4.4- EXPOSIÇÃO DO AR

#### 3.4.4.1- INALAÇÃO DO AR EM AMBIENTES ABERTOS

Esta via de exposição envolve a inalação de vapores que emanam de solos afetados e;ou água subterrânea e das partículas que emanam solos superficiais afetados.

Quatro opções de receptores estão disponíveis para o percurso de inalação do ar em ambientes abertos: residencial, comercial, definido pelo usuário, e "TWA" (tempo médio ponderado).

Para os receptores residenciais e comerciais, os riscos da linha base e;ou níveis toleráveis/aceitáveis na fonte media, são calculados com base na exposição dos fatores de risco e níveis-alvo específicos do local.

Para definir o limite de exposição no local do receptor igual ao nível de exposição ocupacional admissível (PEL) ou limiares, conforme estabelecido nos critérios de exposição do trabalhador americano deve-se selecionar "TWA" como o tipo de receptor. Para esta opção, os riscos da linha base não são calculados, e os níveis toleráveis/aceitáveis são baseados estritamente na prevenção da superação dos limites da concentração atmosférica especificados para o receptor local. Além dos tipos de receptores selecionados, o trabalhador da construção no local também pode ser considerado um receptor. Esta opção permite cálculo de riscos para um trabalhador na construção com base no curto prazo de exposição por inalação de ar exterior durante as atividades de escavação.

A fonte média contribui para o percurso da via de inalação em ambientes abertos e são identificados através da volatilização de solos afetados, das águas subterrâneas e também da emissão de particulados dos solos superficiais afetados. O termo "fonte média" refere-se à zona de solos afetados ou água subterrânea para as quais os riscos da linha base e;ou níveis toleráveis/aceitáveis serão calculados.

### 3.4.4.2 - INALAÇÃO DO AR EM AMBIENTES FECHADOS

Este percurso envolve a exposição acumulada através da inalação de vapores que emanam de solos afetados e;ou água subterrânea.

Para análise nível 1 (tier 1), aplica-se a apenas receptores *"on site",* e todas as opções para receptores *"off site"* estão indisponíveis. Para análise nível 2 (tier 2), o usuário também pode digitar os dados "*off-site*" para até dois receptores. Os dois receptores *"off-site"* podem ser utilizados para avaliar os riscos e os níveis aceitáveis para ambos receptores (por exemplo, um real, já existente,) e de um potencial receptor (por exemplo, um hipotético) na mesma área.

Esta via de exposição representa a volatilização média de locais diretamente afetados em um espaço fechado. Há opções de quatro receptores disponíveis para a

inalação do ar em ambiente fechado: residencial, comercial, definido pelo usuário, e TWA (média ponderada no tempo). Para receptores residenciais e comerciais, o risco da linha base e;ou níveis médios toleráveis/aceitáveis são calculados com base na exposição dos fatores de risco e níveis-alvo aplicáveis. Para definir o limite de exposição do receptor no local igual aos níveis de exposição ocupacional admissível (PEL) ou limiares (TLV's), tal como estabelecido nos critérios de exposição do trabalhador, selecione "TWA" como o tipo de receptor. Para a opção TWA, os riscos da linha base não são calculados, e os níveis toleráveis/aceitáveis baseiam-se estritamente na prevenção da superação dos limites da concentração atmosférica especificados para o receptor local.

A fonte média contribui para a via de inalação do ar em ambientes fechados e são identificados através da volatilização do solo afetado e da água subterrânea e da emissão de particulados do solo superficial afetado. O termo "fonte média" refere-se à zona de solos afetados ou água subterrânea para as quais os riscos da linha base e;ou níveis toleráveis/aceitáveis serão calculados.

## 3.5- PARÂMETROS DE EXPOSIÇÃO

Para cada novo projeto os conjuntos de dados necessários para determinar os parâmetros de exposição está representada na tela do programa apresentada na Figura 10.

O projeto inicia-se com os valores padrão norte americano. O usuário pode alterar esses valores, adaptando-os para a realidade local:

**Figura 10: Tela dos parâmetros de exposição e dos limites de risco alvo.**

Inicialmente, a seção dos parâmetros de exposição contém os valores padrão correspondente à norma ASTM E-2081, se disponível, ou exposição máxima razoável (RME) onde os valores são especificados conforme orientação da US. EPA (E.U. EPA, 1997). Há seis colunas com fatores de exposição que representam os diferentes tipos de receptores que podem ser modelados com o RBCA *Tool Kit* v2.01. Estes tipos de receptores permitem calcular os riscos da linha base e os níveis toleráveis/aceitáveis baseados em níveis físicos diferentes (por exemplo, área da pele, peso corporal, etc), e relacioná-los com os parâmetros de exposição (por exemplo, taxa de ingestão de água e de consumo de peixe, etc). Todos estes parâmetros podem ser ajustados pelo usuário através dos fatores de exposição e dos limites de risco alvo.

De acordo com a faixa etária e o tipo do receptor, os parâmetros físicos são modificados. A seguir apresentam-se os diferentes tipos de receptores residenciais:

**Criança:** Modelos de lactantes e jovens crianças (idade padrão 6 e abaixo), com um baixo peso corporal e pequena área superficial da pele.

**Adolescente:** Modelo juvenil (idade padrão total = 12), com peso corporal e área superficial da pele intermediário.

**Adulto:** Modelos de um adulto com crescimento completo juntamente com o peso corporal e a área superficial da pele.

A seguir apresentam-se os diferentes tipos de receptores comerciais:

**Adulto:** Modelo de um adulto enquanto trabalha no emprego cuja jornada total é de 10 horas e a exposição à superfície do solo é limitada pelo tempo.

**Construção:** Modelo de um trabalhador da construção civil, onde, pelo padrão, a exposição do solo é aumentada, e a quantidade de tempo no local se presume ser menor do que de um trabalhador normal no local.

Pode-se definir um receptor próprio especificando os parâmetros (por exemplo, área superficial da pele, exposição dérmica, peso corporal, etc).

### 3.5.1- AJUSTE DE IDADE PARA COMPOSTOS CANCERÍGENOS

De acordo com o procedimento usual padrão do método RBCA, o ajuste da idade é aplicado para todos os agentes cancerígenos, mas esta opção pode não ser utilizada.

Para exposição cujo receptor considerado é residencial, a opção para o "ajuste de idade" calcula uma média dos valores entre a criança, o jovem e o adulto, a fim de ajustar os diferentes pesos corporais, durações das exposições, áreas superficiais da pele, etc. O ajuste de idade é aplicado apenas para os CQI cancerígenos, onde os riscos carcinogênicos são assumidos serem crônicos, ou seja, durante a vida do receptor. O ajuste em função da idade não se aplica aos cenários de exposição não-residenciais. Quando o ajuste da idade não for selecionado, o cálculo de risco para os agentes cancerígenos para o cenário residencial é realizado apenas para o receptor adulto. Os produtos químicos são identificados pelo RBCA *Tool Kit* como sendo cancerígenos para qualquer percurso da via de exposição em virtude da existência de um fator relacionado ao decaimento ou unidade de fator de risco especificado no banco de dados existente.

### 3.1.5.2- RECEPTOR EXPOSTO A COMPOSTO NÃO CARCINOGÊNICO

Para os receptores expostos a compostos não-carcinogênicos, os cálculos de risco são realizados padronizadamente, apenas para os cenários de exposição residenciais, onde o receptor escolhido é a criança, sendo o receptor mais sensível à exposição aguda de compostos não carcinogênicos. O ajuste de idade, normalmente não é realizado para os compostos não-carcinogênicos, devido à toxicidade não ser dependente da duração da exposição.

### 3.5.3- LIMITE DE RISCO ALVO À SAÚDE

Este parâmetro especifica os limites de risco durante o tempo de vida para efeitos cancerígenos e superiores vinculados aos valores de coeficiente de periculosidade para o efeito não-cancerígeno individual e;ou cumulativo dos CQI, conforme aplicabilidade.

O excesso dos limites de risco no tempo de vida para substâncias cancerígenas normalmente variam de 1 em 1.000.000 ($10^{-6}$) a 1 em 10000 ($10^{-4}$). Nesta dissertação, o risco de carcinogênico foi caracterizado quando as concentrações dos contaminantes presentes sejam superiores a $1x10^{-5}$, seguindo a recomendação da Cetesb (2006).

O coeficiente de periculosidade para os efeitos não-cancerígenos são comumente fixado em 1,0, enquanto que o índice de perigo para efeitos cumulativos está na faixa de 1 a 10. Nesta dissertação, seguindo a recomendação da CETESB (2006), admite-se como tolerável o índice 1 e valores acima deste configuram risco de toxicidade.

## 3.6 – SELEÇÃO DOS CQI

Nesta etapa identificam-se os componentes químicos de interesse (CQI) presentes no local e verifica se os riscos da linha base deverão ser calculados, e inserem-se as concentrações dos CQI relevantes da fonte média.

Para avaliação nível 1 (tier 1), quaisquer componentes associados à fonte que sejam detectados acima do limite de detecção do método e dos níveis da linha-base podem ser considerados possíveis CQI.

Para análise nível 2 (tier 2), apenas os componentes presentes na análise do nível 1 acima dos níveis toleráveis/aceitáveis são normalmente mantidos como CQI. A fim de executar uma análise RBCA, os produtos químicos que causam preocupação (CQI), devem ser identificados e selecionados através da base de dados do programa, mostrada na Figura 11.

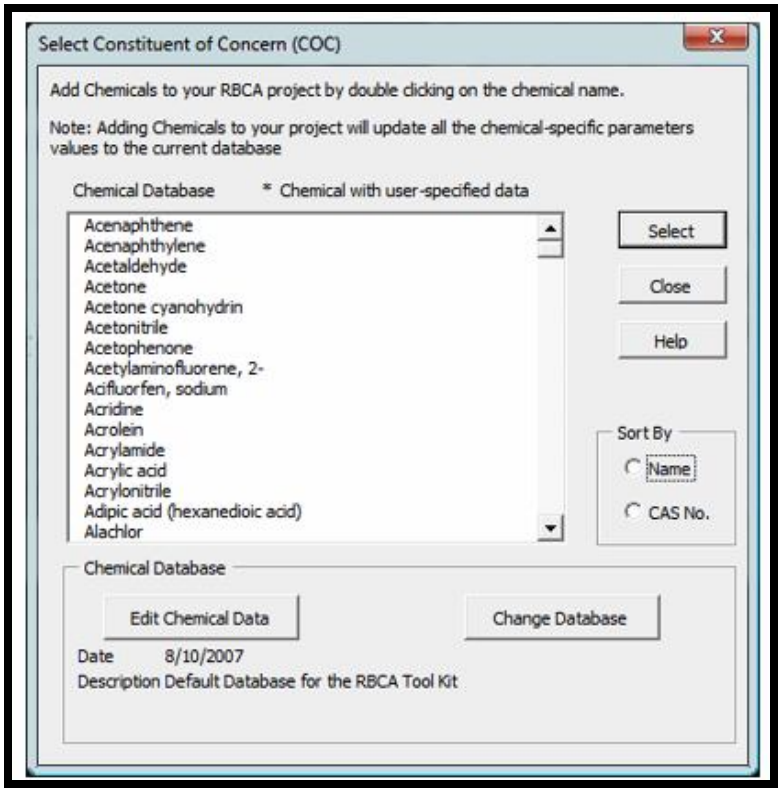


**Figura 11: Caixa de seleção dos CQI.**

Os modelos utilizados no RBCA *Tool Kit* podem ser utilizados em duas fases (ou seja, entre o solo e água) ou em três fases (ou seja, entre solo, água e vapor) relacionando o equilíbrio de partição, e negligenciando a presença de fase líquida não-aquosa (NAPL`s). Em geral, negligencia-se a presença da fase NAPL como um quarto do particionamento médio, o que é uma medida conservadora e que resulta em menor risco com base em valores toleráveis/aceitáveis para o solo ou a água subterrânea afetada. Se os materiais da NAPL são conhecidos ou suspeitos de estarem presentes na fonte média, o RBCA *Tool Kit* oferece uma opção para aplicar a Lei de Raoult para corrigir a concorrência de efeitos dos componentes múltiplos, e evitar a superestimação da solubilidade e pressão de vapor de cada constituinte.

Para os sítios onde não são detectadas ou suspeitas a NAPL, a Lei de Raoult não se aplica. A seleção da opção Lei de Raoult na análise de risco não afeta o risco da linha base ou cálculos dos níveis toleráveis/aceitáveis, somente afeta o valor máximo relatado sobre os níveis de toleráveis/aceitáveis de saída nas planilhas das respostas finais. Nestas planilhas, os níveis aceitáveis da exposição dos percursos indiretos (por exemplo, por vias de volatilização ou lixiviação, onde a exposição média é diferente da

fonte média), que ultrapassem os limites de saturação efetiva na fonte média são relatados como ">" quer para o constituinte com sua efetiva solubilidade para as águas subterrâneas ou para a concentração de saturação residual ($C_{sat}$) para o solo. Em termos práticos, este resultado significa que a concentração do constituinte especificado na fonte média não pode atingir níveis que representem um risco além da meta dos limites de risco especificados na exposição média correspondente.

## 3.7-MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS NO RBCA

Na análise RBCA são definidos os limites toleráveis das concentrações dos CQI na área de estudo para que o risco não seja extrapolado no ponto de exposição (*Tier 1* e *Tier 2* e 3).

Conforme foi mencionado anteriormente, o modelo RBCA segue o padrão de avaliação de risco da EPA (1989 e 1991) e, portanto, as expressões genéricas para os cálculos das concentrações aceitáveis no *Tier 1* e *Tier 2* obedecem às equações abaixo:

$$NABR = (TR \times BW \times AT) / (IR \times EF \times ED \times SF) -$$

**Equação 1 - Cálculo das concentrações aceitáveis no *Tier 1* e *Tier 2* – *Compostos Carcinogênicos***

$$NABR = THQ \times RfD \times [(BW \times AT)/(IR \times EF \times ED)$$

**Equação 2 - Cálculo das concentrações aceitáveis no *Tier 1* e *Tier 2* – *Compostos não Carcinogênicos***

Onde:

IR = taxa de ingresso correspondente a uma determinada via de exposição;

EF= freqüência de exposição;

ED = duração da exposição;

BW = massa corpórea;

AT = tempo médio da avaliação da exposição;

SF = fator de carcinogenicidade;

RfD = dose de referência;

TR = (target risk) meta de risco para efeitos carcinogênicos;

THQ = target hazard quotient) meta de coeficiente de periculosidade para efeitos não carcinogênicos.

A interferência dos mecanismos de transporte e os processos de transformação e atenuação natural dos contaminantes nos cálculos dessas concentrações aceitáveis são representados pelo fator de atenuação natural (NAF).

Para cada caminho de exposição, o NAF representa os efeitos cumulativos de várias partições e diluições e processos de atenuação, agindo na redução das concentrações dos constituintes durante o transporte da área fonte até o receptor. Os componentes do NAF envolvem fatores de transferência entre os meios físicos diferentes ($NAF_{CM}$), tais como a volatilização do solo para o ar ou lixiviação do solo para água subterrânea, e fatores de transporte lateral ($NAF_{LT}$), a exemplo da dispersão do ar ou advecção e dispersão da água subterrânea.

Para os cálculos das concentrações limites usando o NAF, têm-se:

$$\text{Tier 1: (RBSL)} = \text{NABR} \times NAF_{CM}$$

$$\text{Tier 2: (SSTL)} = \text{NABR} \times NAF_{LT}$$

É interessante destacar que os modelos matemáticos de transporte de contaminantes nos níveis *Tier* 1 e 2 consideram uma condição *steady-state*, ou seja, concentração constante na fonte e fluxo permanente, correspondendo a uma situação de máxima exposição. Da mesma forma, os modelos de atenuação natural assumem constância das concentrações e partições no solo e na água subterrânea e equilíbrio entre as fases dos constituintes orgânicos.

Os fatores de atenuação utilizados no *Tier* 1 são os referentes à transferência entre os meios. No caso da avaliação *Tier* 2, são utilizados dados específicos dos meios impactados para subsidiarem os cálculos dos NAF do *Tier* 1, além dos fatores exclusivos do nível 2, que são o fator de atenuação por diluição lateral da água subterrânea (DAF) e o fator de dispersão lateral do ar (ADF).

Cabe destacar que no *Tier* 2 podem-se desconsiderar os processos de atenuação natural em virtude de insuficiência ou incertezas dos dados, admitindo-se somente transporte por advecção e dispersão dos contaminantes. Nesta dissertação nos dois estudos analisados, os processos de atenuação natural foram desconsiderados, pois a avaliação foi realizada com caráter conservador.

### 3.7.1 - FATOR DE LIXIVIAÇÃO DO SOLO SUB-SUPERFICIAL PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA (LF)

O LF é a relação entre as concentrações dissolvidas na água subterrânea e as concentrações em fase retida no solo sub-superficial localizado imediatamente acima do nível d'água (CETESB,2006). A Figura 12 apresenta o modelo de previsão utilizado para a determinação do LF.

O fator de diluição por lixiviação do solo para a água subterrânea (LDF) representa a diluição de compostos químicos na água subterrânea a partir da lixiviação de um solo impactado (Groundwater Services Inc., 2007).

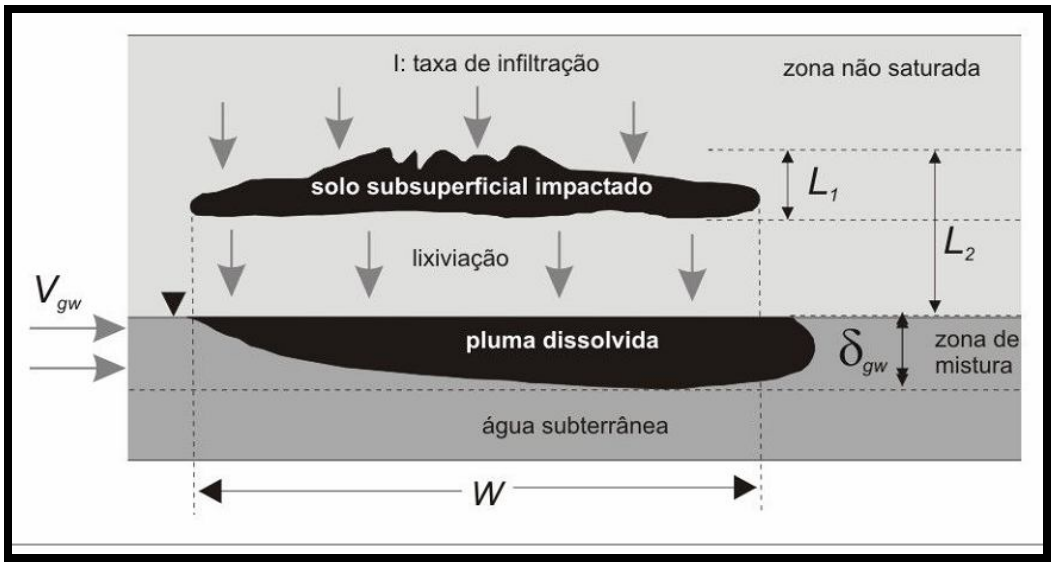


**Figura 12: Fator de lixiviação do solo para água subterrânea – LF.**

**Fonte: Groundwater Services Inc.,2007**.

O LF pode se calculado através da Equação 3:

$$LF\left[\left(\frac{mg/L - H_2O}{mg/Kg - soil}\right)\right] = \frac{K_{SW:}}{LDF} x10x^{cm3-kg/L-g}$$

**Equação 3**

Onde:

- $K_{sw}$: Coeficiente de Partição Fase Residual

Água intersticial do solo é calculada através da Equação 4:

$$K_{SW}\left[\left(\frac{mg/L - H_2O}{mg/Kg - soil}\right)\right] = \frac{\rho_S}{\theta_{WS} + K_S\rho_S + H\theta_{\alpha S}}$$

**Equação 4**

Onde:

$\rho_S$ = densidade de solo seco;

$\theta_{WS}$ = conteúdo volumétrico de água no solo;

$\theta_{\alpha S}$ = conteúdo volumétrico de ar no solo;

H= coeficiente da Lei de Henry

$K_s$ = coeficiente de partição solo-água;

O $K_{sw}$ representa a taxa de concentração de um constituinte orgânico presente na água intersticial decorrente da lixiviação da fase retida no solo afetado.

LDF: Fator de Diluição é calculado através da Equação 5

$$LDF = 1 + \frac{V_{gW}\delta_{gW}}{I.W}$$

**Equação 5**

Onde:

$V_{gW}$ = velocidade de Darcy (cm/ano);

$\delta_{gW}$ = espessura da pluma dissolvida (cm);

I = taxa de infiltração no solo (cm/ano);

W = maior medida da área fonte paralela á direção do fluxo subterrâneo (cm);

### 3.7.2-FATORES DE VOLATILIZAÇÃO (VF)

As associações entre as concentrações de um composto de interesse no ar e concentrações em quaisquer outros meios (ex: solo e água subterrânea contaminada) é dado pelos fatores de volatilização.

### 3.7.2.1- FATOR DE VOLATILIZAÇÃO DO SOLO SUPERFICIAL NA ZONA DE RESPIRAÇAO (VFssamb)

O fator de volatilização do solo superficial para zona de respiração ($VF_{ssamb}$) é uma relação na condição de estado estacionário "*steady-state*" entre as concentrações do composto de interesse na fase vapor em ambiente aberto (destino) e as concentrações no solo superficial (origem). A Figura 13 ilustra o modelo de previsão aplicado na elaboração do $VF_{ssamb}$.

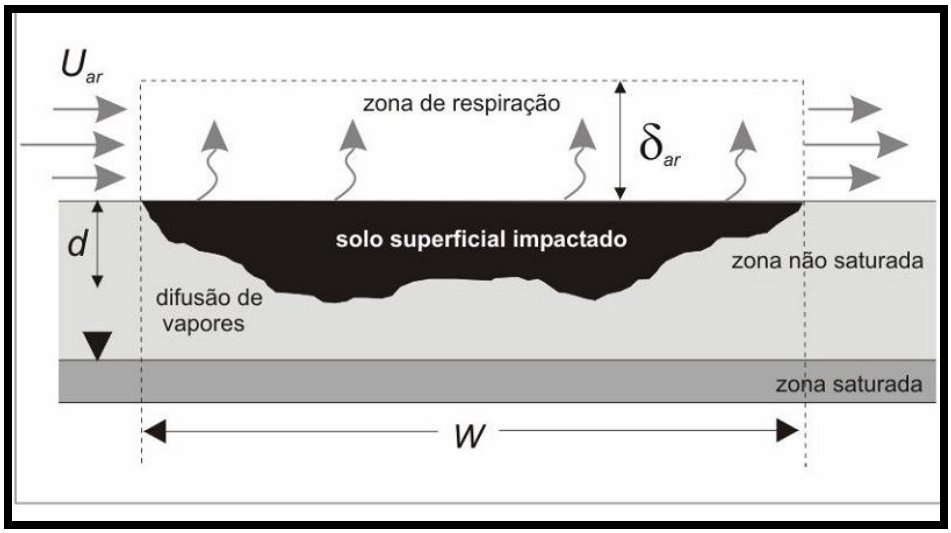


**Figura 13: Fator de volatilização para o solo superficial - $VF_{ssamb}$.**

Fonte: Groundwater Services Inc.,2007.

O fator de volatilização do solo superficial para zona de respiração de ambiente aberto $VF_{ssamb}$ é calculado pelas seguintes equações:

$$VF_{1S}\left[\left(\frac{mg/m^3 - air}{mg/Kg - soil}\right)\right] = \frac{2W\rho_S}{U_{air}\delta_{air}}\sqrt{\frac{D_s^{c\pi}H}{\pi\tau(\theta_{WS} + K_S\rho_S + H\theta_{aS})}} \times 10^3$$

**Equação 6**

$$VF_{1S}\left[\left(\frac{mg/m^3 - air}{mg/Kg - soil}\right)\right] = \frac{W\rho_S d}{U_{air}\delta_{air}\tau} \times 10^3$$

**Equação 7**

W = maior comprimento (medida) da área fonte paralela à direção do vento (cm)

$\rho_S$ = densidade de solo (g/cm$^3$)

$U_{air}$ = velocidade do ar na zona de mistura do ambiente aberto (cm/s)

$\delta_{air}$ = altura da zona de mistura do ambiente aberto (cm);

$D_s^{c\pi}$ = coeficiente de difusão efetiva na zona não saturada ($cm^2/s$);

H = coeficiente da Lei de Henry ($cm^3$-água / $cm^3$-ar);

$\theta_{WS}$ = conteúdo volumétrico de água na zona não saturada ($cm^3$-água / $cm^3$-solo);

$\theta_{\alpha S}$ = conteúdo volumétrico de ar na zona não saturada ($cm^3$-ar / $cm^3$-solo);

$K_S$ = coeficiente de partição solo-água ($cm^3$-água / g-solo);

$\tau$ = tempo médio de fluxo de vapor (s);

d = menor profundidade da zona de solo superficial (cm);

A Equação 6 controla os compostos de baixa volatilidade, admitindo-se uma fonte infinita de contaminantes no solo superficial e uma taxa baseada nas propriedades físico-químicas dos constituintes. A Equação 7 é utilizada para compostos orgânicos voláteis (VOC), calculadas por um balanço de massa, assumindo-se uma fonte finita de contaminante no solo superficial (baseada nas concentrações dos CQI), volatilizando-se com taxa constante durante o período de exposição considerado. De acordo com a ASTM, o $VF_{ssamb}$ mais apropriado é o menor valor resultante das duas equações.

### 3.7.2.2 - FATOR DE VOLATILIZAÇÃO DO SOLO SUB-SUPERFICIAL NA ZONA DE RESPIRAÇAO EM AMBIENTES ABERTOS (VFsamb)

O fator de volatilização do solo sub-superficial para a zona de respiração em ambientes abertos **($VF_{samb}$)** é um coeficiente de transferência das concentrações do composto químico no solo sub-superficial para o ambiente aberto em fase vapor. A Figura 14 ilustra o modelo conceitual aplicado na elaboração do **($VF_{samb}$).**

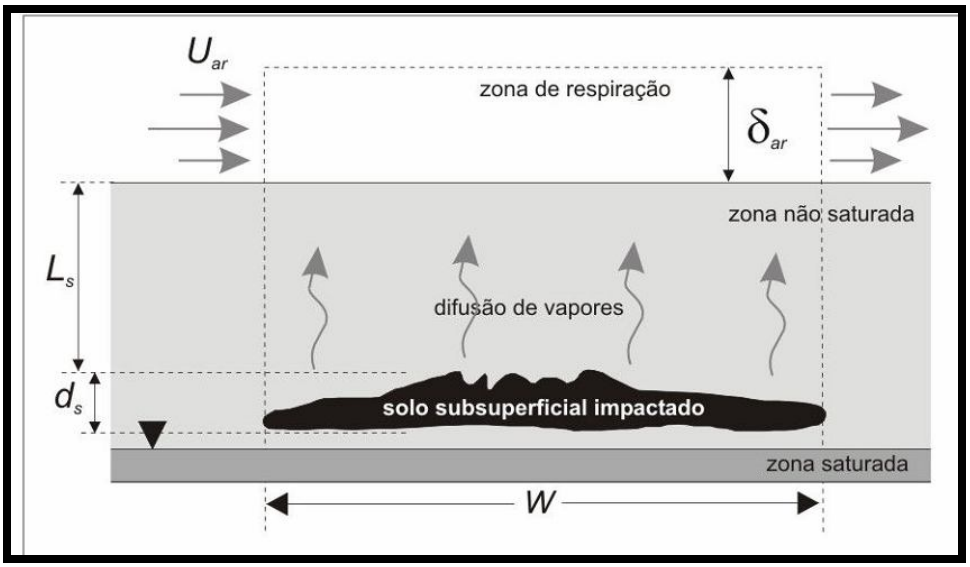


**Figura 14: Fator de volatilização do solo sub-superficial - $VF_{samb}$**

Fonte: Groundwater Services Inc.,2007.

O $VF_{samb}$ pode ser calculado pela Equação 8:

$$VF_{samb}\left[\left(\frac{mg/m^3-air}{mg/Kg-soil}\right)\right]=\frac{H\rho_S}{\left[\theta_{WS}+K_S\rho_S+H\theta_{\alpha S}\right]\left[1+\frac{U_{air}\delta_{air}L_S}{DW}\right]}\times 10^3$$

**Equação 8**

Onde:

W = maior comprimento (medida) da área fonte paralela à direção do vento (cm)

$\rho_S$ = densidade de solo (g/cm$^3$)

$U_{air}$ = velocidade do ar na zona de mistura do ambiente aberto (cm/s)

$\delta_{air}$ = altura da zona de mistura do ambiente aberto (cm);

$D_s^{c\pi}$ = coeficiente de difusão efetiva na zona não saturada (cm$^2$/s);

H = coeficiente da Lei de Henry (cm$^3$-água / cm$^3$-ar);

$\theta_{WS}$ = conteúdo volumétrico de água na zona não saturada (cm$^3$-água / cm$^3$-solo);

$\theta_{\alpha S}$ = conteúdo volumétrico de ar na zona não saturada (cm$^3$-ar / cm$^3$-solo);

$K_S$ = coeficiente de partição solo-água (cm$^3$-água / g-solo);

$L_s$ = profundidade do topo do solo sub-superficial contaminado (cm);

Para a Equação 8 se admite uma fonte constante de compostos no solo sub-superficial, o que ocasiona uma superestimação da taxa de fluxo dos vapores no solo. Assim a Groundwater Services Inc., incorporou a Equação 9 no software RBCA *Tool Kit.* O termo $d_s$ representa a espessura do solo impactado.

$$VF_{samb}\left[\left(\frac{mg/m^3 - air}{mg/Kg - soil}\right)\right] = \frac{W\rho_S d_S}{U_{air}\delta_{air}\tau}\times 10^3$$

**Equação 9**

### 3.7.2.3-FATOR DE VOLATILIZAÇÃO DO SOLO SUB-SUPERFICIAL NA ZONA DE RESPIRAÇAO EM AMBIENTES FECHADOS ($VF_{sesp}$)

O fator de volatilização do solo sub-superficial para a zona de respiração em ambientes fechados **($VF_{sesp}$)** representa uma relação de transferência das concentrações dos compostos no solo sub-superficial para ambientes fechados em fase vapor. A Figura 15 apresenta o modelo de previsão aplicado na determinação do **($VF_{sesp}$).**

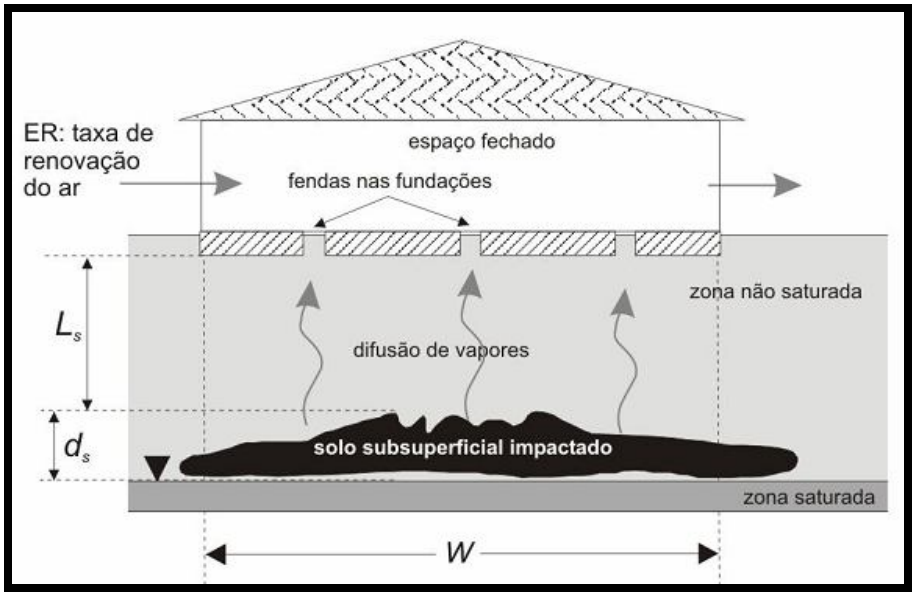


**Figura 15: Fator de volatilização para o solo sub-superficial em ambientes fechados - $VF_{sesp}$**

Fonte: Groundwater Services Inc.,2007.

O fator de volatilização do solo sub-superficial para ambientes fechados ($VF_{sesp}$) é calculado da seguinte forma.

**Para $Q_S = 0$:**

$$VF_{sesp}\left[\left(\frac{mg/m^3 - air}{mg/Kg - soil}\right)\right] = \frac{\dfrac{H\rho_S}{\theta_{WS} + K_S\rho_S + H\theta_{\alpha S}}\left[\dfrac{D_S^{eff}/L_S}{ERL_B}\right]}{1 + \left[\dfrac{D_S^{eff}/L_S}{ERL_B}\right] + \left[\dfrac{D_S^{eff}/L_S}{\left(D_{crack}^{eff}/L_{crack}\right)\eta}\right]} \times 10^3$$

**Equação 10**

**Para $Q_S > 0$:**

$$VF_{sesp}\left[\left(\frac{mg/m^3 - air}{mg/Kg - soil}\right)\right] = \frac{\dfrac{H\rho_S}{\theta_{WS} + K_S\rho_S + H\theta_{\alpha S}}\left[\dfrac{D_S^{eff}/L_S}{ERL_B}\right]e^{\xi}}{e^{\xi} + \left[\dfrac{D_S^{eff}/L_S}{ERL_B}\right] + \left[\dfrac{D_S^{eff}/L_S}{\left(Q_S/A_b\right)\left[e^{\xi} - 1\right]}\right]} \times 10^3$$

**Equação 11**

Onde:

$\rho_S$ = densidade de solo (g/cm$^3$)

$D_s^{c\pi}$ = coeficiente de difusão efetiva na zona não saturada (cm$^2$/s);

H = coeficiente da Lei de Henry (cm$^3$-água / cm$^3$-ar);

$\theta_{WS}$ = conteúdo volumétrico de água na zona não saturada (cm$^3$-água / cm$^3$-solo);

$\theta_{\alpha S}$ = conteúdo volumétrico de ar na zona não saturada (cm$^3$-ar / cm$^3$-solo);

$K_S$ = coeficiente de partição solo-água (cm$^3$-água / g-solo);

$L_s$ = profundidade do topo do solo sub-superficial contaminado (cm);

ER = taxa de renovação do ar em ambientes fechados (l/s)

$L_B$ = razão entre o volume de espaço fechado e a área de infiltração (cm);

$D_{crack}^{eff}$ = coeficiente de difusão efetiva através das fendas das fundações (cm$^2$/s);

$L_{crack}$ = espessura da fundação da construção (cm);

$\eta$ = fração da área da fundação com fendas (cm $^2$ - fendas /cm$^2$ -área total)

### 3.7.2.4-FATOR DE VOLATILIZAÇÃO DA AGUA SUBTERRANEA NA ZONA DE RESPIRAÇAO EM AMBIENTES ABERTOS ( $VF_{wamb}$)

O fator de volatilização da água subterrânea para a zona de respiração em ambientes abertos ($VF_{wamb}$) é uma relação entre as concentrações do composto na fase vapor em ambientes abertos (destino) e as concentrações dissolvidas na água subterrânea (origem). A Figura 16 ilustra o modelo conceitual para o cálculo do $VF_{wamb}$.

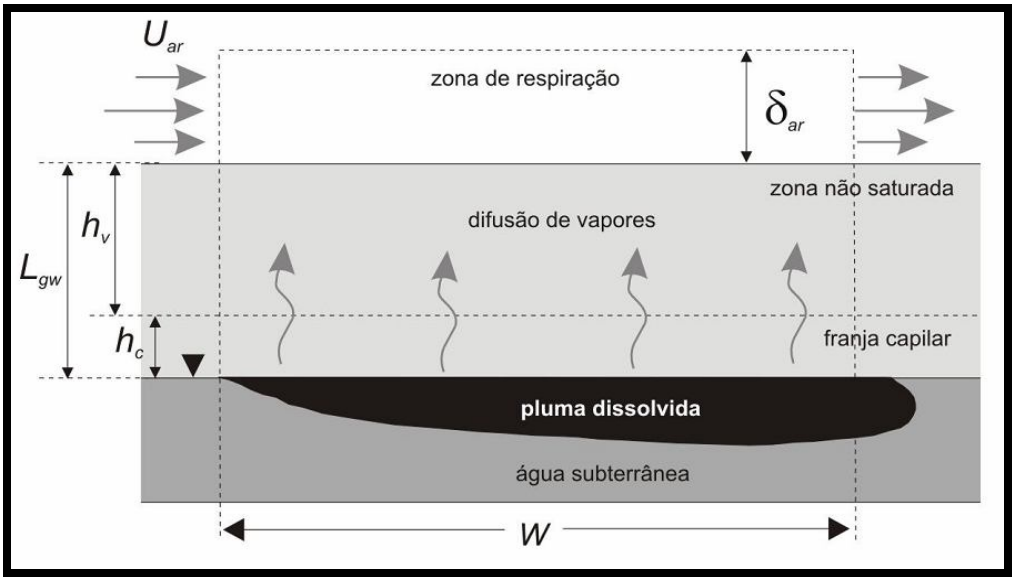


**Figura 16: Fator de volatilização da água subterrânea - $VF_{wamb}$.**

Fonte: Groundwater Services Inc.,2007.

A Equação 12 para o cálculo do $VF_{wamb}$. é:

$$VF_{samb}\left[\left(\frac{mg/m^3 - air}{mg/L - H_2O}\right)\right] = \frac{H}{1+\left[\frac{U_{aitr}\delta_{air}L_{GW}}{D_{WS}^{eff}W}\right]} \times 10^3$$

**Equação 12**

Onde:

W = comprimento da pluma de fase dissolvida, paralela ao fluxo (cm)

$U_{air}$ = velocidade do ar na zona de mistura do ambiente aberto (cm/s)

$\delta_{air}$ = altura da zona de mistura do ambiente aberto (cm);

$D_s^{c\pi}$ = coeficiente de difusão efetiva acima do nível d'água ($cm^2/s$);

H = coeficiente da Lei de Henry ($cm^3$-água / $cm^3$-ar);

$L_{gw}$ = profundidade do nível d'água ($h_{cap}$ +$h_v$) (cm);

### 3.7.2.5-FATOR DE VOLATILIZAÇÃO DA AGUA SUBTERRANEA EM AMBIENTES FECHADOS ($VF_{wesp}$)

O fator de volatilização da água subterrânea para ambientes fechados **($VF_{wesp}$)** é uma relação entre as concentrações do composto na fase vapor em ambientes fechados (destino) e as concentrações dissolvidas na água subterrânea (origem). A Figura 17 ilustra o modelo conceitual para o cálculo do **$VF_{wesp}$.**

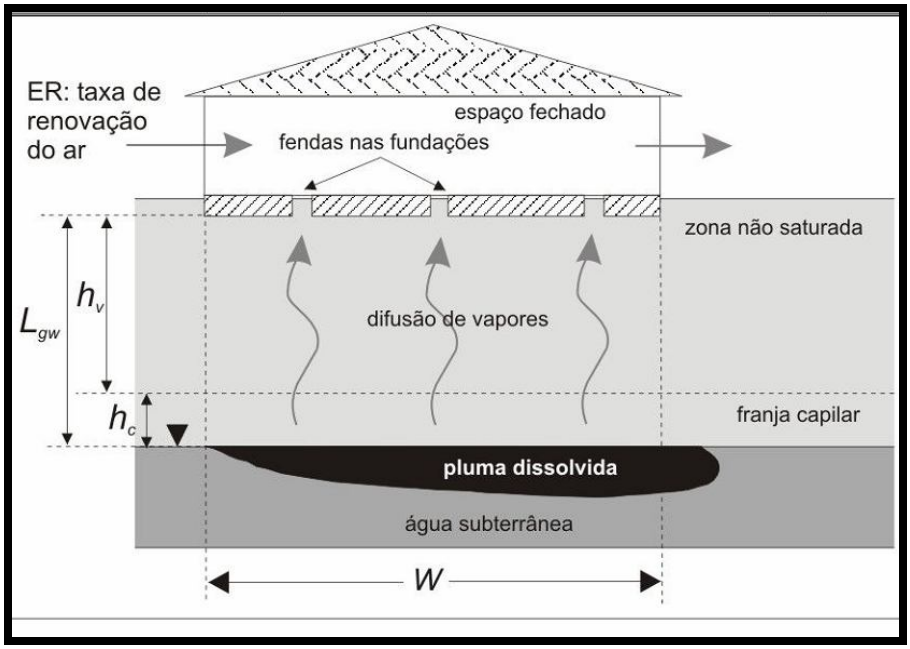


**Figura 17: Fator de volatilização da água subterrânea para ambientes fechados($VF_{wesp}$)**

Fonte: Groundwater Services Inc.,2007.

O $VF_{wesp}$ pode ser calculado pela seguinte equação:

$$VF_{wesp}\left[\left(\frac{mg/m^3 - air}{mg/Kg - soil}\right)\right] = \frac{2wn\sqrt{\frac{D_e LV}{\pi}}}{BV.ER}$$

**Equação 13**

### 3.7.2.6-FATOR DE EMISSÃO DE PARTÍCULAS (PEF)

O fator de emissão de partículas (PEF) é uma relação entre a emissão de partículas de compostos orgânicos para ambientes abertos (destino) e as concentrações no solo superficial (origem). Este fator incorpora dois elementos de transferência de meios; taxa de liberação de partículas (poeira) do solo e mistura desses particulados na zona de respiração diretamente acima do solo superficial contaminado. A Figura 18 ilustra o modelo conceitual para elaboração do PEF.

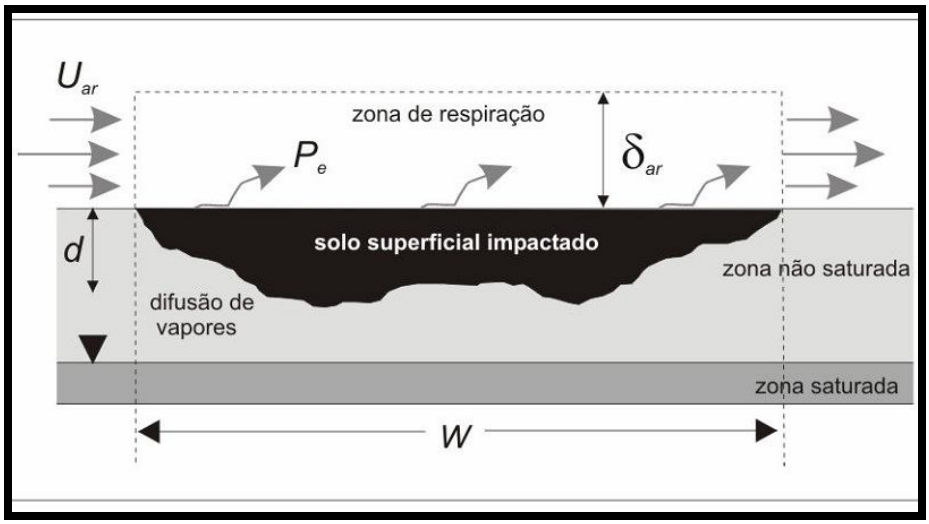


**Figura 18: Fator de emissão de partículas do solo - PEF.**

Fonte: Groundwater Services Inc.,2007.

O fator de emissão de particulados do solo (PEF) pode ser calculado através da Equação 14 e da Equação 15:

$$PEF\left[\left(\frac{mg/m^3 - air}{mg/Kg - soil}\right)\right] = \frac{(1-V)\left(U_m/U_t\right)F(x)}{\left(Q/C\right)} \times 10^{-5}$$

**Equação 14**

$$PEF\left[\left(\frac{mg/m^3 - air}{mg/Kg - soil}\right)\right] = \frac{P_e W}{U_{air}\delta_{air}} \times 10^3$$

**Equação 15**

Onde:

$P_e$ = taxa de emissão de partículas (g/ $cm^2$.s);

$U_{air}$ = velocidade do ar na zona de mistura do ambiente aberto (cm/s)

$\delta_{air}$ = altura da zona de mistura do ambiente aberto (cm);

W = maior comprimento (medida) da área fonte paralela à direção do vento (cm)

### 3.7.3-FATOR DE ATENUAÇÃO POR DISPERSÃO LATERAL DO AR (ADF)

Para o fator de atenuação por dispersão lateral do ar, podem ser utilizados modelos de transporte disponíveis em literatura. O RBCA *Tool kit* incorporou o modelo de dispersão 3-D Gaussiano para o calculo das concentrações máximas aceitáveis no ponto de exposição.

O modelo em questão considera duas suposições:

i. Altura da zona da área afetada equivalente a zona de respiração e,
ii. Receptor posicionado diretamente abaixo da zona do vento;

O modelo Gaussiano requer dados de entrada para as dimensões da área de solo impactada, velocidade do vento, coeficientes de dispersão horizontal e vertical do ar, conforme ilustrado na Figura 19.

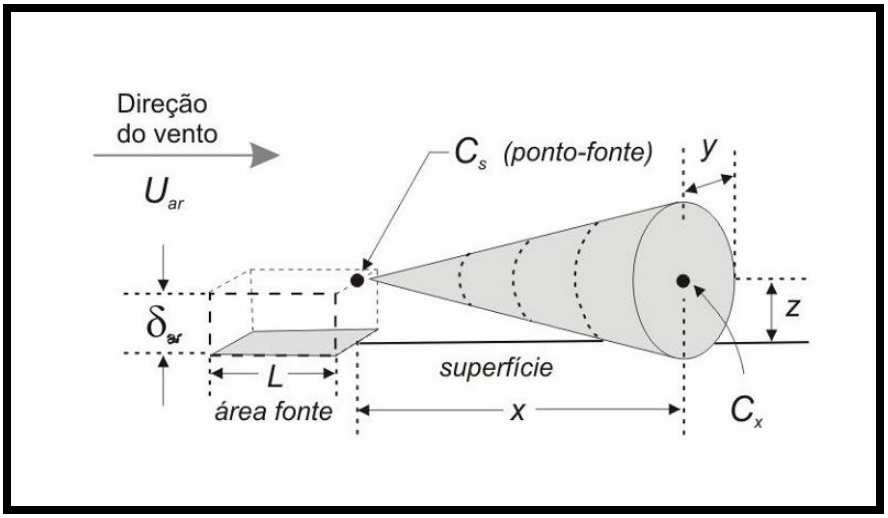


**Figura 19: Modelo Gaussiano 3-D**

Fonte: Groundwater Services Inc., 2007.

A dispersão lateral do ar pode ser modelada através do modelo Gaussiano 3-D:

$$\frac{C(x)_i}{C_{si}} = \left(\frac{Q}{2\pi U_{air}\sigma_y\sigma_z}\right)\exp\left(-\frac{y_{air}^{\ 2}}{2\sigma_y^{\ 2}}\right)\left[\left(\exp\left(-\frac{(z_{air}-\delta_{air})^2}{2\sigma_z^{\ 2}}\right)\right)+\left(\exp\left(-\frac{(z_{air}-\delta_{air})^2}{2\sigma_z^{\ 2}}\right)\right)\right]$$

**Equação 16**

$$Q = \frac{U_{air}.\delta_{air}.A}{L}$$

Onde:

$\delta_{air}$ = altura da zona de mistura do ambiente aberto (cm);

Q = taxa volumétrica do fluxo de ar na zona de mistura ($cm^3/s$);

$U_{air}$ = velocidade do vento (cm/s)

$\alpha_y$ = coeficiente de dispersão transversal do ar (cm);

$\alpha_z$ = coeficiente de dispersão vertical do ar (cm);

y = distância lateral da área fonte (cm);

z = altura da zona de respiração;

A = área da seção transversal da fonte ($cm^2$);

L = comprimento da fonte de emissão de ar paralela a direção do vento (cm);

### 3.7.4 - MODELO ANALÍTICO DE TRANSPORTE

A atenuação decorrente do transporte e degradação de contaminantes na água subterrânea é estimada no aplicativo RBCA *Tool Kit* por meio do fator de atenuação por diluição lateral (DAF), que utiliza o modelo de transporte de soluto Domenico (1985 e 1987).

O modelo Domenico considera um plano vertical na fonte, perpendicular ao fluxo, para simular a liberação de contaminante na zona de mistura para migração da água subterrânea, conforme ilustrado na Figura 20.

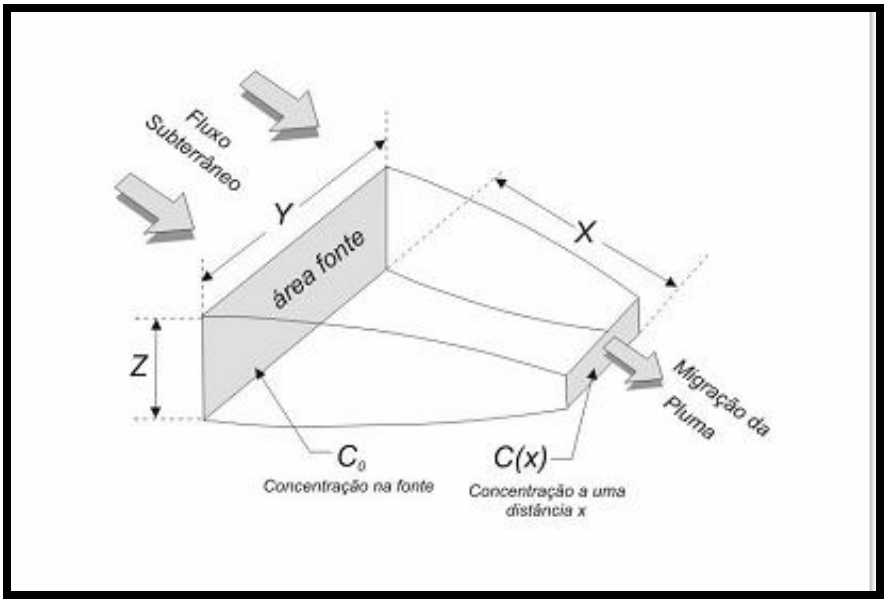


**Figura 20: Ilustração esquemática do modelo de Domenico.**

Fonte: Groundwater Services Inc., 2007

Esse modelo pode estimar as concentrações da pluma na condição *steady-state,* em qualquer ponto (x,y,z) no sistema de fluxo. No entanto, o modelo incorporado ao aplicativo RBCA prevê somente concentrações no centro da linha da pluma em qualquer distância x da fonte, baseado na advecção 1-D e dispersão 3-D. Neste contexto, assume-se que o receptor está localizado na linha central da pluma (Groundwater services Inc., 2007).

### 3.7.5-PARÂMETROS ESPECÍFICOS PARA O SOLO

A Figura 21 apresenta a tela do programa com os dados de entrada do RBCA *Toll Kit* específicos para o solo.

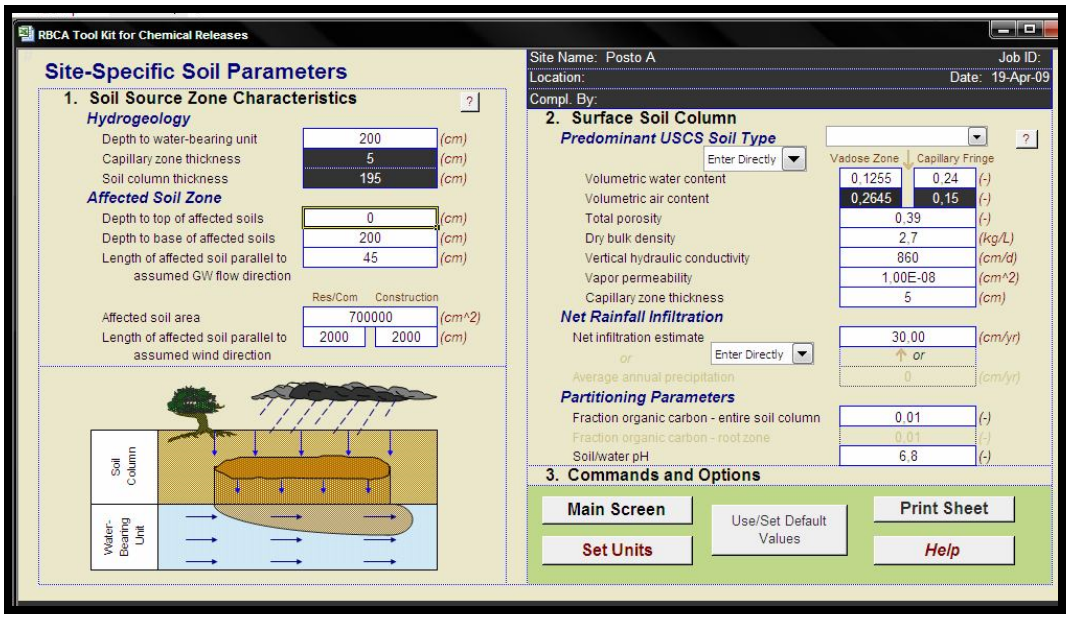


**Figura 21: Parâmetros específicos do solo**

É necessário caracterizar a hidrogeologia do solo, a qual é caracterizada no próprio local da análise através dos seguintes fatores:

- **Unidade de referência de profundidade de água:** é à distância do nível superficial para a unidade de referência de profundidade da água.
- **Espessura da zona capilar:** é à distância acima da zona saturada onde a água pode subir através da ação capilar.
- **Espessura da coluna de solo:** é à distância do nível superficial até o topo da zona capilar.

A zona do solo afetada caracteriza-se pelos seguintes fatores:

- **Profundidade do topo do solo afetado:** é à distância do nível superficial até o limite superior dos solos afetados pelos CQI. Para solos afetados no nível superficial, essa distância é zero.
- **Profundidade da base do solo afetado:** é à distância do nível superficial até o limite inferior dos solos afetados pelos CQI.
- **Área do solo afetado:** extensão lateral do solo afetado.

- **Comprimento paralelo do solo afetado para assumir a direção do vento:** é o comprimento da área paralela do solo afetado à direção do vento, que é usado para definir as dimensões e concentrações na zona de ar misto.
- **Comprimento paralelo do solo afetado para assumir a direção do fluxo da água subterrânea:** é o comprimento da área paralela do solo afetado à direção do fluxo da água subterrânea, que é usado para definir as dimensões e as concentrações na zona mista do solo afetado, onde o lixiviado com CQI pode atingir a água subterrânea.

A coluna de solo superficial é caracterizada pelos seguintes fatores:

- **Porosidade Total:** é a taxa volumar que o poro ocupa de cada vapor/água em relação ao volume total de uma amostra representativa do solo.
- **Densidade volumar seca:** é a massa seca do solo divida pelo volume.
-**Condutividade Vertical Hidráulica:** permeabilidade da água saturada da zona superficial do solo na direção vertical.
- **Permeabilidade do vapor:** permeabilidade da zona superficial do solo para migração do vapor.
- **Espessura da zona capilar:** é a distância acima a unidade de referência da água saturada que a água pode alcançar na coluna da zona insaturada do solo através da ação capilar.

Para zona vadosa (região insaturada acima do nível da água subterrânea) e a franja capilar (área do solo acima da zona onde a água pode alcançar através da ação capilar), considera-se também os seguintes fatores:

- **Conteúdo volumétrico de água**: é a fração d' água contida no solo pelo volume.
- **Conteúdo volumétrico de ar:** é a fração de ar contida no solo pelo volume.

A infiltração da precipitação da chuva pode ser estimada diretamente ou em função da média anual de precipitação e a predominância do tipo de solo, através da base de dados específica do programa.

Para se determinar os parâmetros de partição deve-se definir:

- **Fração de carbono orgânico – na coluna de solo:** fração mássica do carbono orgânico na zona insaturada do solo, utilizada nos modelos de lixiviação e volatilização.

- **Fração de carbono orgânico – na zona de origem:** fração mássica do carbono orgânico no solo superficial na zona de origem, utilizada no modelo de compreensão de vegetais.

-**pH solo/água:** utilizado para calcular a dependência da partição do pH solo/água com relação a alguns metais no solo.

### 3.7.6 - PARÂMETROS ESPECÍFICOS PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA

A Figura 22 representa os parâmetros de entrada específicos do RBCA *Tool Kit* para água subterrânea.

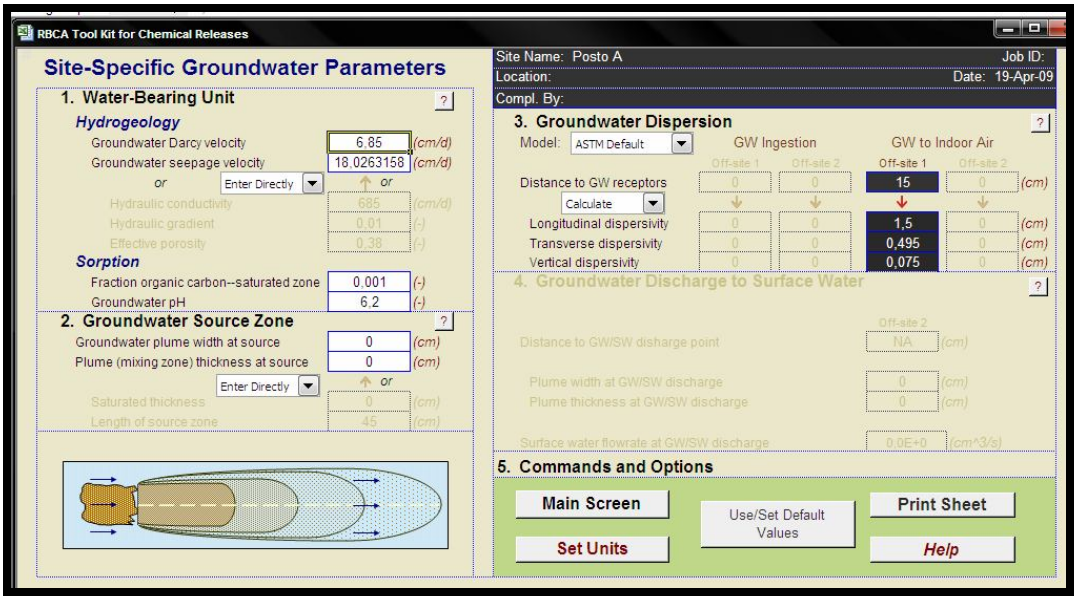


**Figura 22: Parâmetros específicos para água subterrânea.**

Para se definir a unidade de referência da água são necessárias algumas informações sobre hidrogeologia, que são calculados a partir dos dados coletados no próprio local da análise, tais como:

- **Velocidade de Darcy para água subterrânea (cm/dia):** é a descarga volumétrica total por unidade de área, definida como o produto da condutividade hidráulica e o gradiente hidráulico.

- **Velocidade de percolação da água subterrânea (cm/dia):** é a média do fluxo linear da velocidade calculado pela divisão da velocidade de Darcy pela porosidade.

A zona fonte da água subterrânea define-se pelos seguintes fatores:

- **Largura da pluma de água subterrânea da fonte**: é a largura da área fonte da água subterrânea perpendicular a direção do fluxo da água subterrânea.

- **Espessura da pluma (zona mista) da fonte:** é a espessura vertical da área fonte da água subterrânea ou a espessura vertical sobre a qual a infiltração do lixiviado é assumida para misturar a água subterrânea lateral com a unidade de referencia da água diretamente abaixo da zona fonte do solo.

### 3.7.7-PARÂMETROS ESPECÍFICOS PARA O AR

A Figura 23 apresenta tela com os parâmetros de entrada específicos do RBCA *Tool Kit* para o ar.

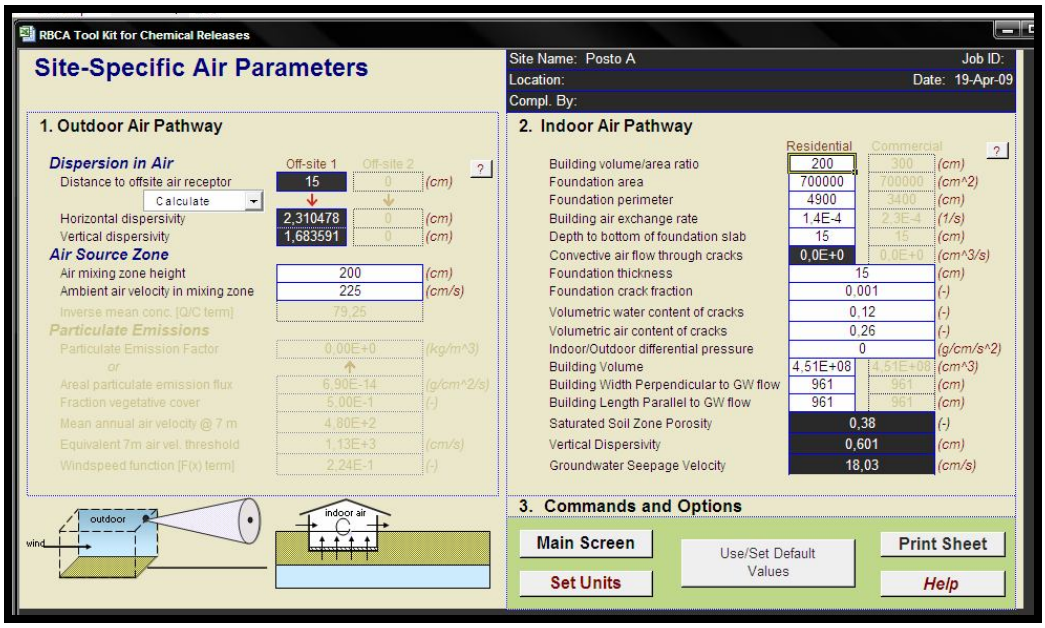


**Figura 23: Parâmetros específicos para o ar**

Os parâmetros necessários para caracterizar a dispersão no ar, para o percurso do ar em ambiente aberto, são:

- **Distância do receptor do ar *off site***

- **Dispersividade horizontal:** espalhamento horizontal da pluma na direção paralela para a direção do fluxo do ar.

- **Dispersividade vertical:** espalhamento transversal da pluma perpendicular para a direção do fluxo do ar.

Não há base de dados disponível para os parâmetros atmosféricos no município do RJ e devido à dificuldade de obtenção dos dados atmosféricos específicos no *site*, utiliza-se os valores *default* do programa.

## 4– METODOLOGIA APLICADA

### 4.1- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área objeto dos estudos de caso desta dissertação está contida na cidade do Rio de Janeiro, que se situa no sudeste do Brasil. Sua confrontação municipal se dá ao Norte com os municípios de Itaguaí, Nova Iguaçu, Nilópolis, São João de Meriti, Duque de Caxias e Magé; ao Sul com o Oceano Atlântico; a Leste, em confrontação pela Baía de Guanabara com os municípios de Itaboraí, São Gonçalo e Niterói e a Oeste em confrontação pela Baía de Sepetiba com o Município de Itaguaí. A cidade possui 1.224,56 $Km^2$ de área que se distribuem por um sítio com traços de relevo contrastantes pela presença de três grandes divisores de água constituídos pelos maciços montanhosos, de lagunas e extensas áreas de baixadas. De acordo com o Plano Urbanístico Básico do Rio de Janeiro (PUB-RIO), elaborado em 1977, o território municipal foi dividido em cinco áreas de planejamento – AP`s , conforme Figura 24.

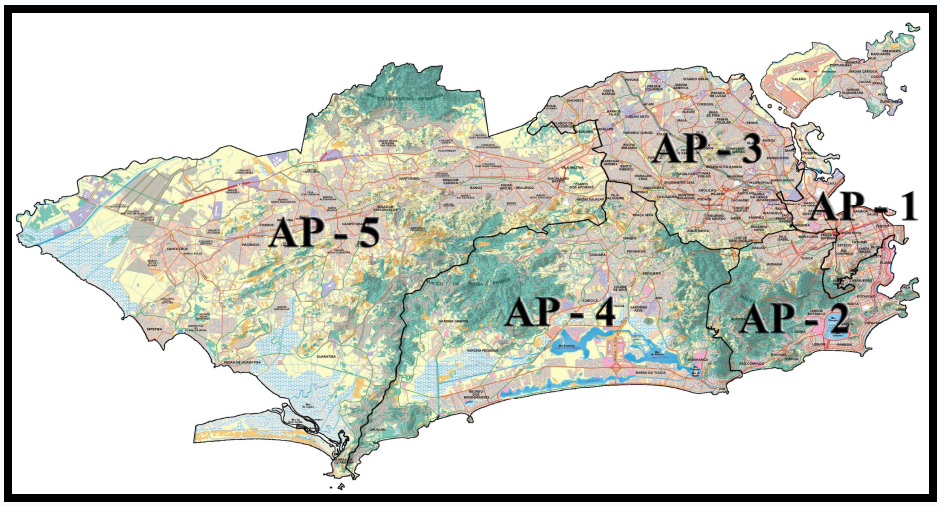


**Figura 24: Divisão do território municipal em áreas de planejamento**

Fonte:PUB-RIO, 1977.

A área abordada nos estudos é a AP-2, que concentra os núcleos habitacionais de classe alta e média e é marcada pela proximidade com o mar.

A metodologia utilizada nesta dissertação foi dividida em três etapas, que serão descritas a seguir:

1. **Determinação da área de estudo.**

Esta etapa envolveu a pesquisa junto a SMAC, para a determinação da região considerada crítica para análise de risco da atividade de posto de abastecimento e revenda de combustíveis, devido à proximidade com o mar, alta densidade populacional e a grande movimentação de encerramento desta atividade em função da valorização do mercado imobiliário nesta região.

2. **Desenvolvimento de um Método de Abordagem para Análise de Risco utilizando o programa RBCA *Tool Kit for Chemical Releases v2.01* para área de postos de abastecimento e revenda de combustíveis no município do Rio de Janeiro.**

O método de abordagem desenvolvido foi divido nos seguintes tópicos:

- Avaliação dos cenários atuais e futuros;

- Avaliação da influencia da mudança do tipo de uso do solo;

Ex: posto desativado que se torna uma residência. Esta mudança do tipo de uso do solo é um elemento importante na análise do passivo ambiental existente, implicando na revisão de valores aceitáveis obtidos através das ferramentas de análise de risco, para a concentração de contaminantes presentes no sítio, sem que haja prejuízo a saúde humana.

3. **Simulação de um total de cinco cenários para cada estudo de caso nos modos direto e reverso de análise.**

Na simulação do cenário 1 considerou-se a ocupação atual do local e os cenários 2, 3 e 4 simulados consideraram-se os cenários futuros prováveis baseados no entorno ou vizinhança e cenário 5 levou em consideração todos os cenários previamente analisados, em uma única simulação.

## 4.2. - ESTUDOS DE CASO ANALISADOS

Serão estudados nesta dissertação dois estudos de casos envolvendo postos de abastecimento e revenda de combustíveis no município do Rio de Janeiro com histórico de contaminação.

Destaca-se que os dois estudos de caso analisados nesta dissertação, são baseados nos dados contidos nos relatórios de análise de risco já analisados pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro – SMAC. Não foi realizado nenhum ensaio de campo, durante a elaboração desta dissertação. O relatório base para o estudo de caso do posto A foi elaborado no ano de 2003 e o relatório base para o estudo de caso do posto B foi elaborado no ano de 2005. Cabe ressaltar que os relatórios base foram elaborados por empresas de consultoria ambiental distintas, que utilizaram o pacote computacional RBCA *Tool Kit for Chemical Releases v1.3b*.

A seguir será apresentada uma caracterização de cada estudo de caso, denominados de Estudo de Caso A e Estudo de Caso B.

### 4.2.1-ESTUDO DE CASO A

- **Bairro:** Catumbi.
- **Área total aproximada:** 540 $m^2$
- **Status:** Desativado
- **Classe:** 2 - de acordo com a classificação ASTM E1739-95, onde existe o potencial para vapores explosivos ou concentrações de vapores que possam causar efeitos agudos ao se acumularem em uma residência ou em outra construção. A vizinhança da área é constituída por pequenos estabelecimentos comerciais e residências, além de igreja próxima ao posto.

#### 4.2.1.1 - BREVE HISTÓRICO DA CONTAMINAÇÃO – POSTO A

No ano de 1999, havia no local a contaminação do solo e da água subterrânea por gasolina a jusante das principais fontes de contaminação (tanques e bombas). Na ocasião da execução dos serviços de campo pela empresa que elaborou o relatório base, também foram detectados indícios organolépticos que indicavam a presença de álcool,

naquele momento. Não foi verificada a presença de fase livre no poço de monitoramento instalado.

Em não havendo presença de produto em fase livre ou níveis reportados de explosividade nas galerias, foi elaborada uma Análise de Risco nos moldes RBCA *Tier* 1, pela empresa que elaborou o relatório consultado nesta dissertação.

Esta análise *Tier* 1 possibilitou a avaliação preliminar dos riscos à saúde humana associados à contaminação no local e verificou-se que as concentrações de alguns compostos excediam os níveis de avaliação baseados no risco para via de exposição através da inalação de compostos orgânicos voláteis em ambiente fechado.

Neste caso, de acordo com metodologia RBCA, foi elaborada a análise de risco RBCA - *Tier* 2, utilizando dados específicos da área, levantados em campo pela empresa que elaborou o relatório consultado nesta dissertação.

#### 4.2.1.2 - DADOS DE ENTRADA DA ANÁLISE DE RISCO

Os dados de entrada relativos aos parâmetros do solo, água e ar utilizados nas simulações do Caso A que foram retirados do relatório base de análise de risco do posto A, assim como os dados adotados de acordo com a regulamentação local, são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4: Dados retirados do relatório de análise de risco e dados recomendados pela regulamentação local.**

| Parâmetro | Valor numérico | Justificativa/Fonte |
|---|---|---|
| Matéria Orgânica | 0,21% (0,001218) | Relatório |
| Porosidade | 0,3947 $cm^3/cm^3$ | Relatório |
| Densidade | 1,856 $g/cm^3$ | Relatório |
| Umidade da zona seca | 0,1255 | Relatório |
| Umidade na zona da franja capilar | 0,355 | Relatório - Correspondente a 90% do valor da porosidade |
| Condutividade hidráulica vertical | 1 E-6$m^2$ | Relatório - Valor *default* para argila arenosa |
| Permeabilidade de vapor | 1 E-16$m^2$ | Relatório - Valor *default* para argila arenosa |
| Espessura da franja capilar | 0,05 m | Valor recomendado pela Cetesb - ACBR |
| pH | 7,23 | Relatório |
| Permeabilidade | 2,13 E-5 cm/s | Relatório |
| Gradiente Hidráulico | 15,7% | Relatório |
| Porosidade Efetiva | 25% | Relatório |
| Todos os parâmetros de ar | - | Relatório - Valores *default* do programa |
| Parâmetros de exposição | ACBR/EPA | Valores recomendados pela Cetesb / Default do programa. |

### 4.2.1.3 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO LOCAL

A Figura 25 mostra uma representação esquemática do posto A, cujo entorno é misto, ou seja, possui residências e comércio e pode-se notar que o terreno possui um declive topográfico.

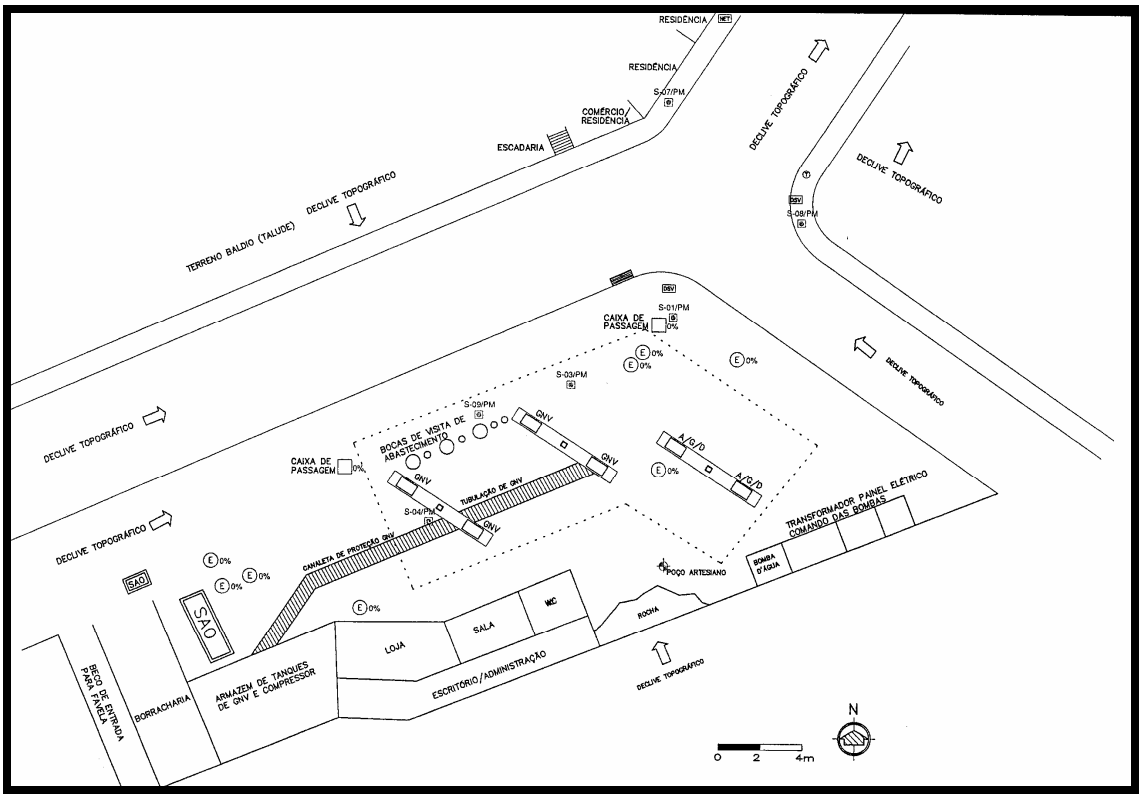


**Figura 25: Arranjo físico das instalações do posto.**

A área imediatamente a frente do posto é constituída por um talude com inclinação de $60^0$, não ocupado.

A partir das informações do relatório, o fluxo da água subterrânea se dá no sentido nordeste, sendo a geologia arenosa local bastante favorável para sua migração. Não há corpos hídricos superficiais nos arredores do posto. Os combustíveis comercializados são: Diesel, Álcool, Gasolina e Gás Natural Veicular – GNV.

A seguir, são apresentados os cenários das cinco (05) simulações do posto A:

**Cenário 1:** A aproximadamente 15m a jusante do posto há uma igreja. A via de exposição que apresentou risco a saúde humana na análise *Tier 1*, segundo o relatório base, foi à inalação, por receptores residenciais (na igreja), do ar ambiente contaminado

pela volatilização de compostos orgânicos a partir do solo e das águas subterrâneas. Portanto, considerou-se neste cenário apenas a via de exposição crítica no local, e o meio de transporte através do solo e águas subterrâneas contaminados.

A Figura 26 e a Figura 27 mostram uma representação esquemática do cenário 1.

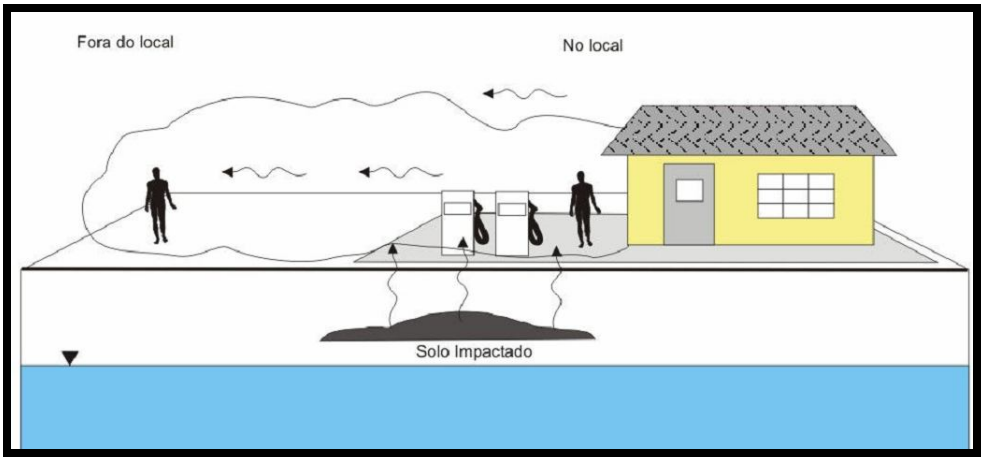


**Figura 26: Inalação de vapores provenientes do solo sub-superficial em ambientes abertos.** Fonte: CETESB, 2006.

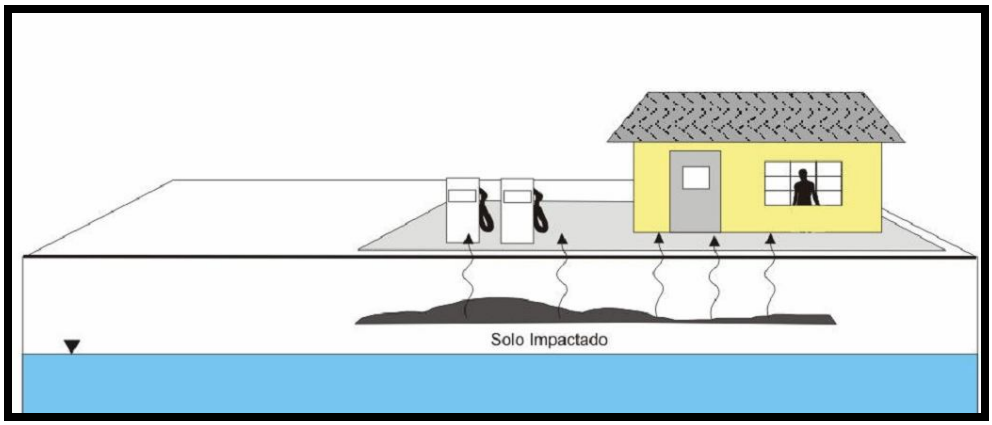


**Figura 27: Inalação de vapores provenientes do solo sub-superficial em ambientes fechados.** Fonte: CETESB, 2006.

**O uso futuro da área não é conhecido e, portanto os demais cenários foram considerados como sendo cenários prováveis de exposição:**

**Cenário 2:** Para qualquer uso futuro da área, considerou-se que o local seria reformado e que haveria trabalhadores de obras expostos à contaminação do local. Considerou-se

que os trabalhadores de obras estariam realizando apenas atividades relativas às obras, sem ingestão de águas subterrâneas do local.

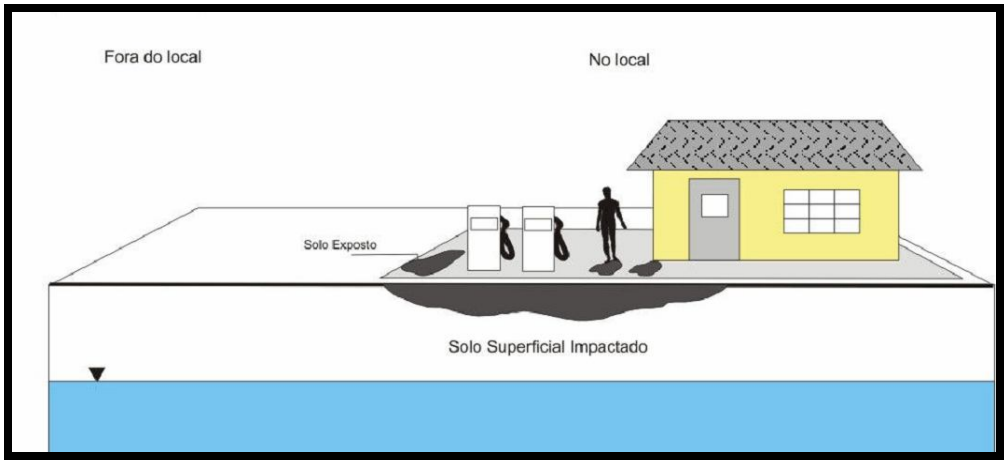


**Figura 28: Ingestão e;ou contato dérmico a partir do solo superficial impactado.** Fonte: CETESB, 2006.

**Cenário 3:** Uso futuro do local como área comercial, com pavimentação total da área e sem utilização da água subterrânea para quaisquer fins.

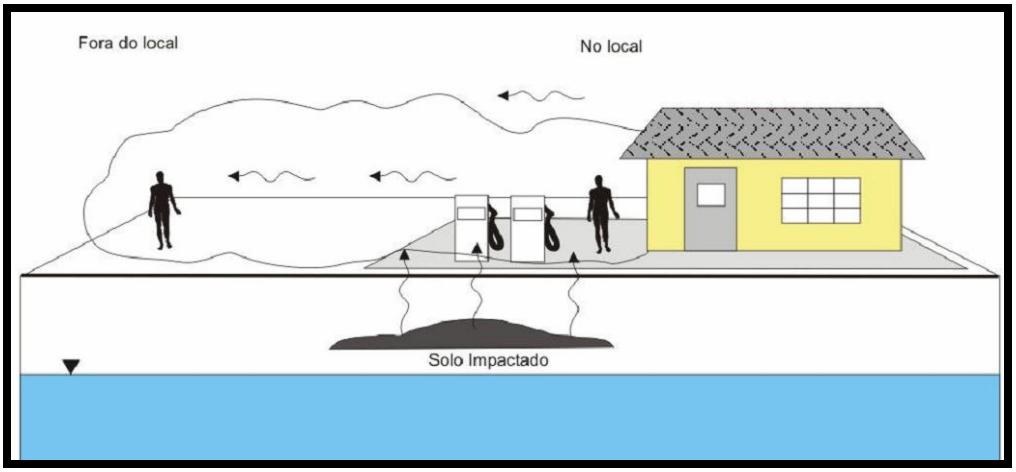


**Figura 29: Inalação de vapores provenientes do solo sub-superficial em ambientes abertos** Fonte: CETESB, 2006.

**Cenário 4:** Uso futuro do local como área residencial, com áreas não pavimentadas e sem utilização de água subterrânea para consumo humano.

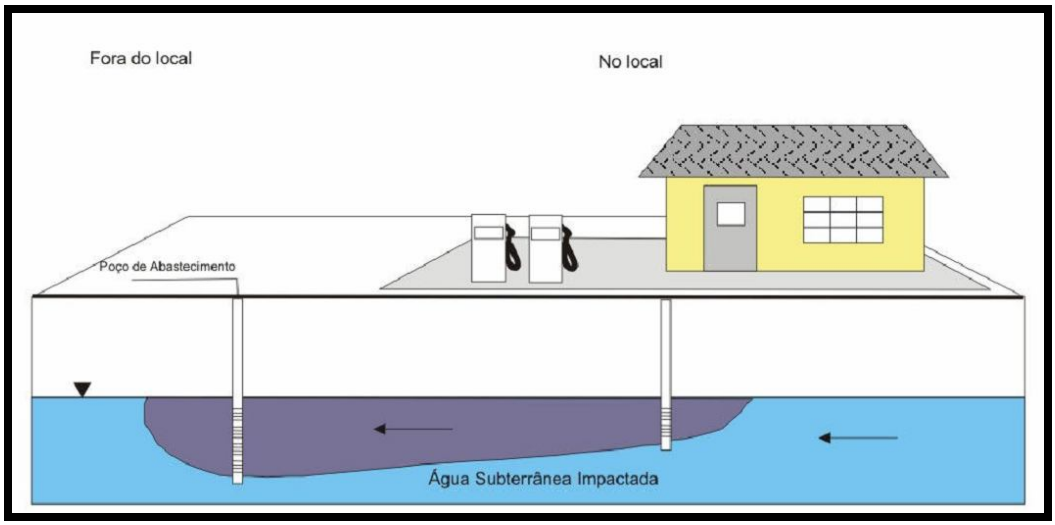


**Figura 30: Ingestão de água subterrânea contaminada**Fonte: CETESB, 2006.

**Cenário 5:** Todas as vias e os receptores considerados nos cenários anteriores, simultaneamente analisados neste cenário.

### 4.2.2 - ESTUDO DE CASO B

- **Bairro:** Ipanema.
- **Área total aproximada:** 1270 $m^2$
- **Status:** Ativo
- **Classe:** 3, de acordo com a Tabela de Classificação de Postos de Serviços da ABNT 13.786/01, devido a presença de garagens residenciais construídas em cota inferior a do solo e de corpo d'água superficial, destinado a recreação, á criação natural ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana e a proteção de comunidades aquáticas – Praia de Ipanema.

#### 4.2.2.1 - BREVE HISTÓRICO DA CONTAMINAÇÃO – POSTO B

No ano de 2004, foi realizada pela empresa que elaborou o relatório base, uma investigação ambiental preliminar e nesta ocasião identificou-se a contaminação em fase dissolvida por BTEX e PAH`s nas águas subterrâneas em concentrações classificadas acima do nível de intervenção das listas orientadoras utilizadas (Cetesb e Lista holandesa).

Na análise de risco *Tier 1*, foi identificada a presença de risco para a via de exposição da ingestão de água subterrânea para os compostos: Benzeno, Criseno e Benzo(a)pireno, todos para o receptor residencial *on-site*. As análises químicas, realizadas pela empresa que elaborou o relatório base, das amostras de solo identificaram concentrações de BTEX e PAH nos níveis de referência indicados pelas listas orientadoras (Cetesb/Lista holandesa) ou abaixo do limite de detecção do método/aparelho utilizado pelo laboratório.

No ano de 2005, foi realizada pela empresa responsável pela elaboração do relatório base, uma investigação ambiental complementar do solo e da água subterrânea e uma análise de risco RBCA *Tier 2,* identificando a contaminação em fase dissolvida por compostos BTEX e;ou naftaleno, segundo os padrões da lista orientadora da FEEMA (Tabela 5).

**Tabela 5- Valores orientadores para solos e para águas subterrâneas da FEEMA**

| Compostos | Valores orientadores | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Solos (mg/kg) | | | Águas (µg/L) |
| | Referência | Alerta | Intervenção | Intervenção |
| Benzeno | 0,05 | 0,53 | 1,00 | 5,00 |
| Tolueno | 0,05 | 65,00 | 130,00 | 170,00 |
| Etilbenzeno | 0,05 | 25,00 | 50,00 | 200,00 |
| Xilenos | 0,05 | 12,50 | 25,00 | 300,00 |
| **PAH ( Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos)** | | | | |
| Naftaleno | - | - | - | 70,00 |
| Fenantreno | - | - | - | 5,00 |
| Antraceno | - | - | - | 5,00 |
| Fluoranteno | - | - | - | 1,00 |
| Criseno | - | - | - | 0,05 |
| Benzo(a)Antraceno | - | - | - | 0,50 |
| Benzo(k)Fluorantreno | - | - | - | 0,05 |
| Benzo(a)Pireno | - | - | - | 0,70 |
| Indeno(123-cd)Pireno | - | - | - | 0,05 |
| Benzo(ghi)Perileno | - | - | - | 0,05 |
| PAH Total | 1,00 | 20,50 | 40,00 | - |

Nota: os valores considerados para os compostos: benzeno e benzo(a)pireno na água subterrânea são provenientes da norma de qualidade de água para o consumo humano aprovada pela portaria n 518/2004 do Ministério de Estado da Saúde.

Foi observada irisdescência na água subterrânea e as amostras de solo indicaram concentrações de BTEX abaixo do limite de detecção do método/aparelho utilizado pelo

laboratório. Na análise de risco *Tier 2*, foi identificada a presença de risco para a via de exposição da inalação de vapores em ambiente fechado para o composto benzeno a partir da água subterrânea, para o receptor residencial *on site*. Durante o ano de 2005 houve o relato de vazamento no posto e foram feitos testes de estanqueidade no empreendimento em questão, os quais indicaram não estanqueidade em um dos tanques de armazenamento de combustível. Foi necessária uma nova investigação ambiental do solo e da água subterrânea, que indicou a contaminação em fase dissolvida por compostos BTEX e;ou PAH`s, segundo os padrões da lista orientadora da FEEMA.

No final do ano de 2006, foi realizada uma nova investigação ambiental complementar do solo e da água subterrânea, onde se constatou a presença de contaminação em fase dissolvida na água subterrânea em concentrações que excederam os limites de intervenção da lista orientadora da FEEMA e os SSTL obtidos na análise de risco RBCA *Tier 2* de 2005. Os serviços de acompanhamento do processo de retirada dos tanques, gerenciamento do solo local contaminado, investigação complementar, instalação do sistema de remediação durou cerca de um mês. Foi realizada a coleta de amostras de solo pela empresa que realizou o relatório base para análises de BTEX e PAH`s, provenientes do fundo da cava a 3,5m de profundidade, cujos resultados não indicaram contaminação em fase residual no solo.

O método designado para descontaminação da área consistiu no método "*pump and treat*" [4] de alta vazão, operado por intermédio de uma bomba à vácuo, com o objetivo de efetuar o rebaixamento do lençol freático e a atração de eventuais contaminantes para tratamento em um sistema de filtragem composto por um conjunto de filtros de carvão ativado, responsáveis pela redução das concentrações dos compostos BTEX e PAH e pela garantia da qualidade das águas direcionadas para caixa separadora de água e óleo do empreendimento. Durante a execução dos serviços pela empresa, não foi observada a presença de hidrocarbonetos em fase livre.

O gerenciamento do solo foi realizado através de aeração manual, em área pavimentada em concreto, visando evitar a lixiviação dos contaminantes do solo retirado das cavas para o solo superficial e sub-superficial de outras áreas do empreendimento. O solo era considerado limpo quando o VOC das amostras era inferior a 500 ppm. Todas as amostragens de solo segregado após a aeração manual resultaram

---

[4] "*Pump and treat": sistema de bombeamento de contaminante e posterior tratamento.*

em concentrações classificadas abaixo da lista orientadora da FEEMA e dos SSTL calculados para o solo pela empresa que realizou o relatório base.

No início do ano de 2007 foram coletadas pela empresa, amostras na saída do sistema de filtragem e detectaram-se concentrações de benzeno classificadas acima dos níveis de intervenção da lista orientadora da FEEMA. Sendo assim, o sistema de filtragem foi aumentado para um total de oito filtros e novas amostras foram realizadas, e resultaram em concentrações abaixo dos limites de intervenção da lista orientadora da FEEMA, indicando a eficiência do processo de filtração ampliado, pela empresa que emitiu o relatório base.

Durante dois meses do ano de 2008 foi realizado um processo de descontaminação do lençol freático utilizando o reagente de Fenton na área do empreendimento.[5]

Esta técnica de remediação pode ser realizada *in situ*, sendo desnecessária a remoção do solo ou da água subterrânea contaminados para outros equipamentos para o posterior tratamento. É considerada uma tecnologia limpa, pois não há produção de rejeitos que necessitem de posterior destinação (como a filtração com carvão ativado, que necessita da destinação do carvão usado).

#### 4.2.2.2 - DADOS DE ENTRADA DA ANÁLISE DE RISCO

Os dados de entrada relativos aos parâmetros do solo, água e ar utilizados nas simulações do Caso B que foram retirados do relatório base de análise de risco do posto B, assim como os dados adotados de acordo com a regulamentação local, são apresentados na Tabela 6.

---

[5] O reagente de Fenton é um processo oxidativo avançado, que tem como princípio a produção do radical hidroxila ($OH^{\cdot}$) a partir de uma solução de peróxido de hidrogênio ($H_2O_2$) e sulfato ferroso ($FeSO_4$), o qual fornece os íons $Fe^{2+}$. As reações do tipo Fenton são reações exotérmicas. O radical hidroxila possui um potencial oxidativo relevante, sendo duas vezes mais reativo que o cloro e sua posição na série de potencial de oxidação é a segunda, sendo inferior apenas ao flúor. Os radicais hidroxilas formados são capazes de oxidar compostos orgânicos por abstração de hidrogênio, gerando radicais orgânicos. Posteriormente ocorre a adição de oxigênio molecular formando radicais peróxido, intermediários que iniciam reações térmicas em cadeia, levando a degradação até $CO_2$, água e sais orgânicos.

**Tabela 6: Dados retirados do relatório e dados recomendados pela regulamentação local.**

| Parâmetro | Valor numérico | Justificativa/Fonte |
|---|---|---|
| Matéria Orgânica | 0,89% | Relatório |
| Porosidade Total | 36,62% | Relatório |
| Porosidade Efetiva | 33,37% | Relatório |
| Umidade | 5,12% | Relatório |
| Massa Específica Real | 2,688g/cm$^3$ | Relatório |
| Massa Específica Aparente Úmida | 1,791g/cm$^3$ | Relatório |
| Massa Específica Aparente Seca | 1,704 g/cm$^3$ | Relatório |
| Espessura da franja capilar | 0,05 m | Valor recomendado pela Cetesb - ACBR |
| Todos os parâmetros de ar | - | Relatório - Valores *default* do programa |
| Parâmetros de exposição | ACBR/EPA | Valores recomendados pela Cetesb / Default do programa. |

### 4.2.2.3 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO LOCAL

A Figura 31 mostra uma representação esquemática do posto do segundo estudo de caso (Posto B). A área é classificada como zona urbana e marítima, com ocupação, predominantemente residencial.

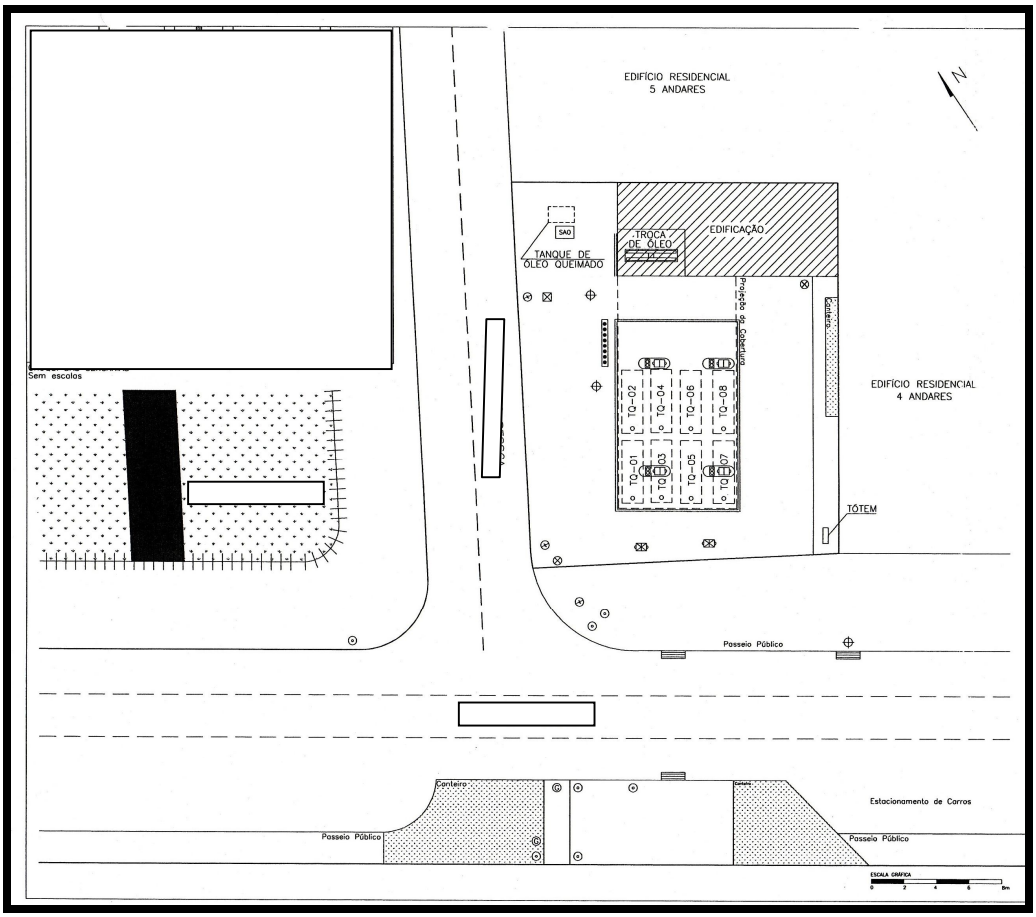


**Figura 31: Arranjo físico das instalações do posto**

A morfologia da região é plana e o sentido de fluxos das águas subterrâneas, segundo informações do relatório base, é para sudoeste. A água utilizada para consumo doméstico das cercanias é fornecida pela concessionária local, a Companhia Estadual de Água e Esgoto- CEDAE.

Existem no entorno um córrego e o mar. Os combustíveis comercializados são: Diesel, Álcool, Gasolina.

A seguir, serão apresentados os cenários das cinco (05) simulações do posto B:

**Cenário 1:** Representa o cenário real de um posto ativo, operando normalmente, onde o receptor em potencial é o trabalhador comercial do posto *"on site"* (frentista, loja de conveniências). Cabe ressaltar, que neste posto a água utilizada para consumo humano é fornecida exclusivamente pela concessionária local - CEDAE, não havendo poço de captação de água.

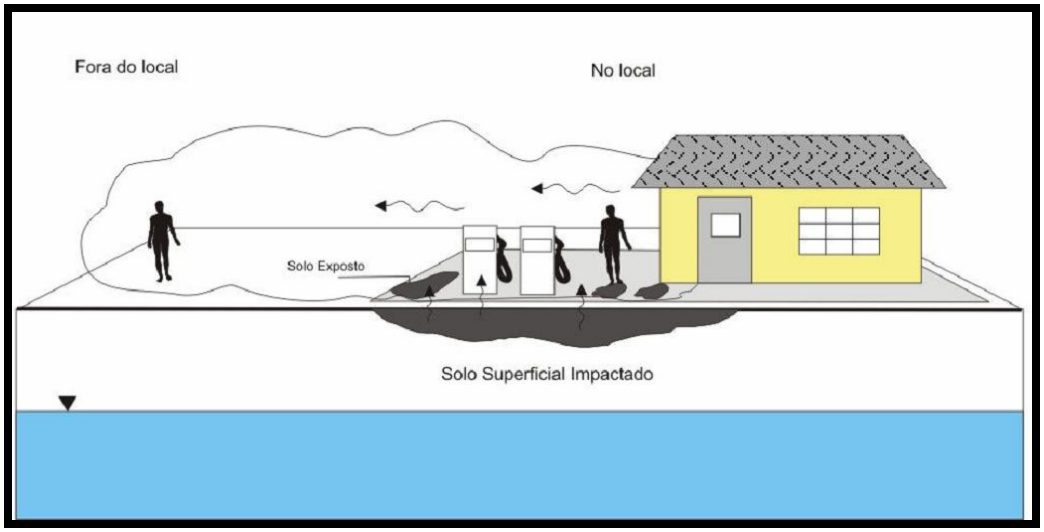


**Figura 32: Inalação de vapores e partículas a partir do solo superficial impactado.**Fonte: CETESB, 2006.

**Devido à proximidade de edifício residencial no entorno, assim como corpos hídricos, foram considerados outros cenários, como sendo cenários prováveis de exposição:**

**Cenário 2:** Representa uma intervenção no posto (troca de tanques, modificação de layout, remoção de solo contaminado, etc). Nesta situação, consideraram-se como receptores potenciais os receptores os trabalhadores das obras e os trabalhadores comerciais.

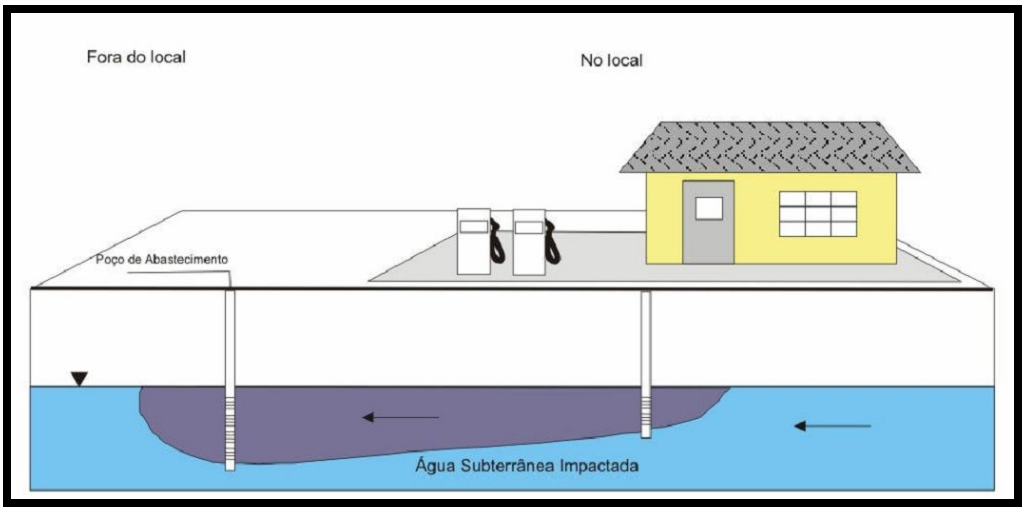


**Figura 33: Ingestão de água subterrânea contaminada.** Fonte: CETESB, 2006.

**Cenário 3:** Representa um cenário mais conservador, devido à proximidade dos edifícios residenciais ao posto, portanto, levaram-se em consideração apenas os receptores residenciais e suas possíveis atividades nas proximidades do posto (contato direto com água contaminada, ingestão de solo, etc. – Ex: crianças brincando no jardim).

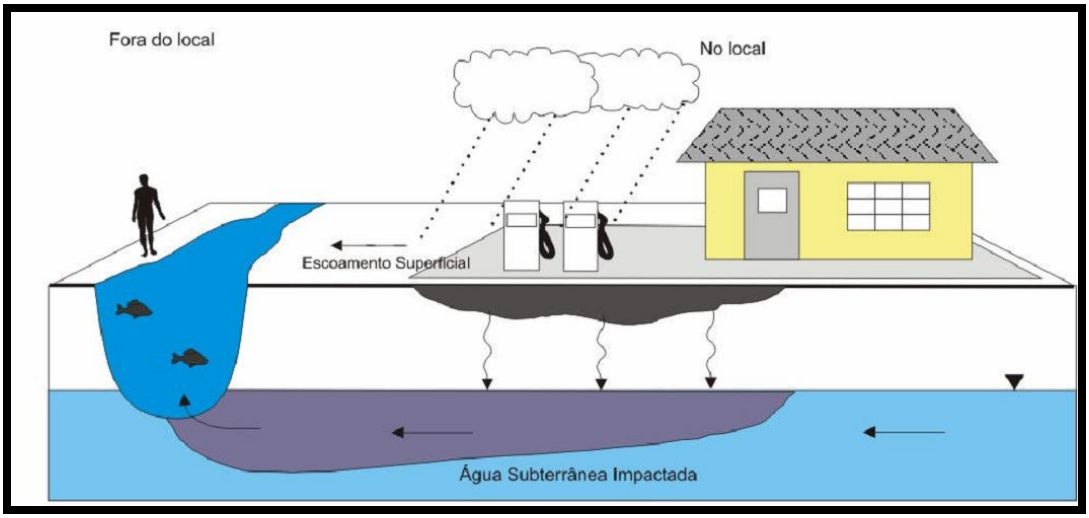


**Figura 34: Lixiviação do solo para água subterrânea e escoamento superficial: contato por recreação.** Fonte: CETESB, 2006.

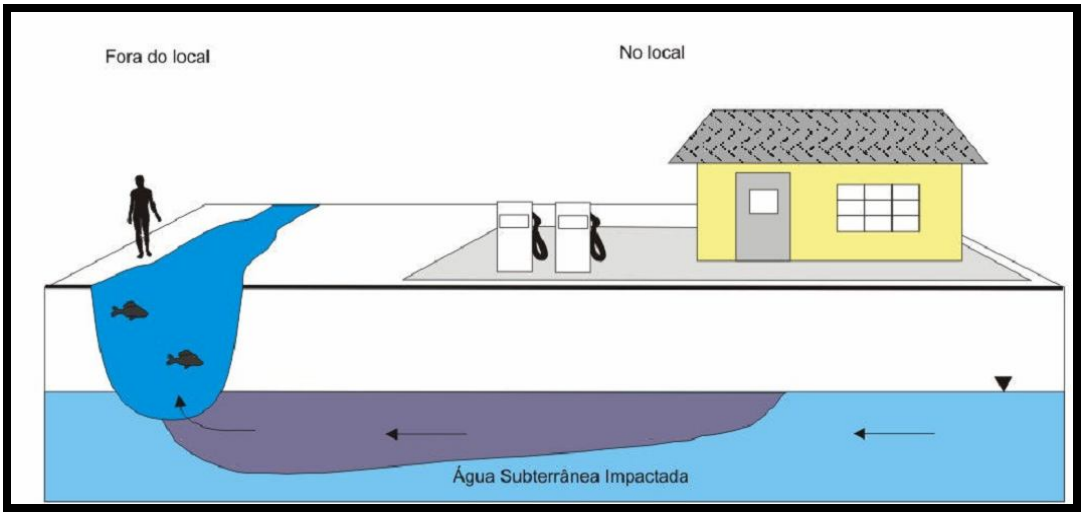


**Figura 35: Descarga da pluma de fase dissolvida na água superficial: contato por recreação e;ou consumo de peixes.**Fonte: CETESB, 2006.

**Cenário 4:** Considera-se os receptores residenciais *off site*, e simultaneamente os trabalhadores comerciais do posto.

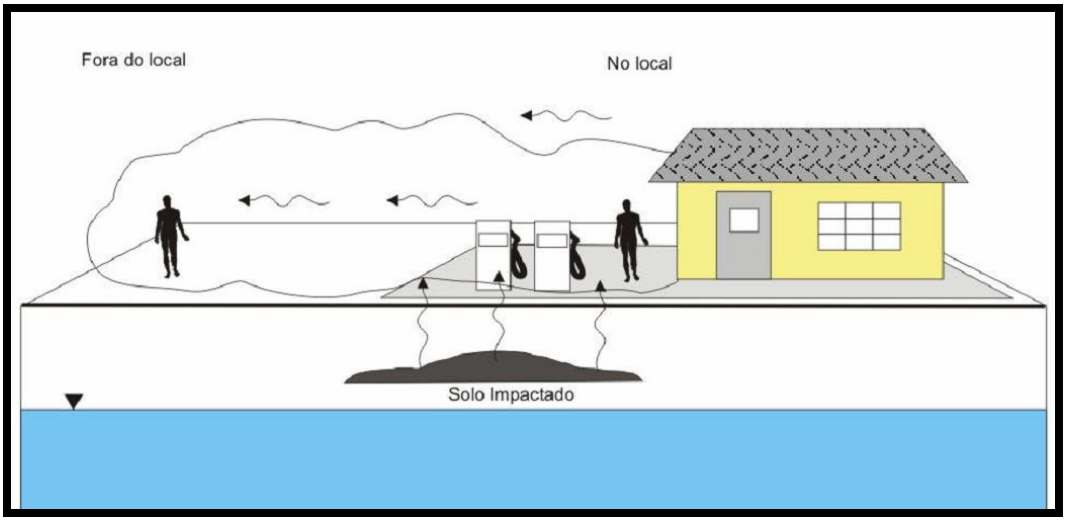


**Figura 36: Inalação de vapores provenientes do solo sub-superficial em ambientes abertos.** Fonte: CETESB, 2006.

**Cenário 5:** Todas as vias e os receptores considerados nos cenários anteriores, simultaneamente analisados neste cenário.

## 5 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DOS CENARIOS ANALISADOS NO ESTUDO DE CASO DO POSTO A E DO POSTO B

Os resultados apresentados a seguir abordarão separadamente a simulação utilizando o programa RBCA *Tool Kit for Chemical Releases v2.01*, de cada cenário para o posto A e para o posto B, respectivamente.

### 5.1- SIMULAÇÕES DO POSTO A

#### 5.1.1- RECEPTORES E VIAS DE EXPOSIÇÃO CONSIDERADAS NO MODELO DE EXPOSIÇÃO CONCEITUAL DO LOCAL (MECL)

O modelo de exposição conceitual do local (MECL) é desenvolvido pela analista do caso antes de iniciar o trabalho de análise de risco, e consiste em uma caracterização qualitativa do site. Baseado nas informações contidas no relatório base, sobre o entorno

do posto, seu histórico de contaminação e seu funcionamento, foi desenvolvido para este estudo de caso A um MECL, que está apresentado na Tabela 7 a seguir.

**Tabela 7-MECL da Análise de Risco - posto A**

| **Receptores** | | **Vias de exposição consideradas posto A** |
|---|---|---|
| **Tipo** | **Distância** | |
| Trabalhadores Comerciais | *On site* (dentro do empreendimento) | Inalação de vapores orgânicos provenientes do solo e da água subterrânea em ambientes fechados e abertos;<br>Ingestão e contato dermal com as águas subterrâneas provenientes do poço de produção; |
| | *Off site* | Inalação de vapores orgânicos provenientes do solo e da água subterrânea em ambientes abertos;<br>**Cenário hipotético:** Ingestão de águas subterrâneas (possibilidade da presença de poço de produção). |
| Trabalhadores de Obras | *On site* | Contato dermal e eventual ingestão do solo superficial;<br>Inalação de vapores orgânicos provenientes do solo e da água subterrânea em ambientes abertos;<br>Inalação de particulados provenientes do solo superficial em ambientes abertos;<br>Contato dermal com água subterrânea |
| Residentes | *Off site* | Inalação de vapores orgânicos provenientes do solo e da água subterrânea em ambientes abertos e fechados; |

**OBSERVAÇÕES:**

a. Existe um poço de produção na área do posto cujas águas eram utilizadas para fins gerais, tal como lavagem de veículos e uso sanitário. Portanto, são consideradas as vias de ingestão e contato dermal com a água subterrânea pelos trabalhadores comerciais *on site* a fim de avaliar a possibilidade da utilização da água para estas vias.

**b.** Não foram observados corpos hídricos no entorno do empreendimento.

### 5.1.1.1- DADOS DE ENTRADA DA SIMULAÇÃO DO CENARIO 1 – POSTO A

O cenário 1 do posto A, considerou-se principalmente os receptores residenciais *off-site*, para avaliar através da simulação o efeito tóxico e carcinogênico sob exposição sub-crônica dos frequentadores da igreja a 15m a jusante do posto, uma vez que esta via de exposição foi identificada na Investigação Ambiental Preliminar, como via crítica de exposição.

A Tabela 8 apresenta as concentrações dos compostos químicos de interesse em análise, na zona fonte da água subterrânea e do solo de cujos dados foram retirados do relatório de análise de risco do posto A.

Foram considerados na análise do posto A, os 04 compostos monoaromáticos BTEX e os 16 PAH, recomendados pela EPA como sendo os compostos químicos que oferecem risco a saúde humana, sob exposição.

De acordo com o relatório base de análise de risco, os valores apresentados na Tabela 8, são as máximas concentrações detectadas nas análises químicas de cada CQI. Para os compostos químicos que não foram detectados, considerou-se metade do limite de detecção da análise. Destaca-se que este foi o critério adotado pela empresa responsável pela elaboração da análise de risco do posto A, uma vez que não há padrão regulamentado para este parâmetro pelos órgãos ambientais, até a presente data.

**Tabela 8: Concentrações dos CQI – Posto A.**

| Composto | [água subterrânea] µg/L | [solo] µg/kg |
|---|---|---|
| Benzeno | 7,5E+0 | 3,4E+0 |
| Tolueno | 1,3E+0 | 1,0E+2 |
| Etil benzeno | 3,3E+0 | 2,9E+1 |
| Xilenos (isomeros) | 1,0E+1 | 2,7E+2 |
| Naftaleno | 7,5E-5 | 4,4E+0 |
| Acenaftileno | 7,5E-5 | 5,0E-3 |
| Acenafteno | 7,5E-5 | 5,0E-2 |
| Fluoreno | 7,5E-5 | 1,0E-1 |
| Fenantreno | 7,5E-5 | 1,0E+0 |
| Antraceno | 7,5E-5 | 1,1E-1 |
| Fluoranteno | 7,5E-5 | 6,6E-1 |
| Pireno | 7,5E-5 | 5,6E-1 |
| Benzo-a-antraceno | 7,5E-5 | 1,5E-1 |
| Criseno | 7,5E-5 | 1,9E-1 |
| Benzo-b-fluoranteno | 7,5E-5 | 2,1E-1 |
| Benzo-k-fluoranteno | 7,5E-5 | 5,0E-3 |
| Benzo-a-pireno | 7,5E-5 | 9,0E-2 |
| Indeno-1,2,3-cd-pireno | 7,5E-5 | 4,0E-2 |
| Dibenzo-a,h-antraceno | 7,5E-5 | 8,0E-2 |
| Benzo-g,h,i-perileno | 7,5E-5 | 5,0E-2 |

Após a análise das concentrações apresentadas na Tabela 8, destaca-se que os compostos monoaromáticos estão mais concentrados na zona fonte, tanto na água subterrânea quanto no solo, quando comparados com os demais CQI.

Ao se iniciar o estudo de análise de risco no modo de análise reverso é necessário inserir as concentrações dos CQI que se encontram acima dos valores aceitáveis da regulamentação para o local, as quais foram determinadas através das análises químicas laboratoriais das amostras coletadas no próprio *site*.

### 5.1.1.2- IDENTIFICAÇÃO E RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1 – POSTO A

A Figura 37 mostra a tela de identificação das vias de exposição consideradas na simulação do cenário 1, no formato real do programa RBCA *Tool Kit for Chemical Releases v2.01*:

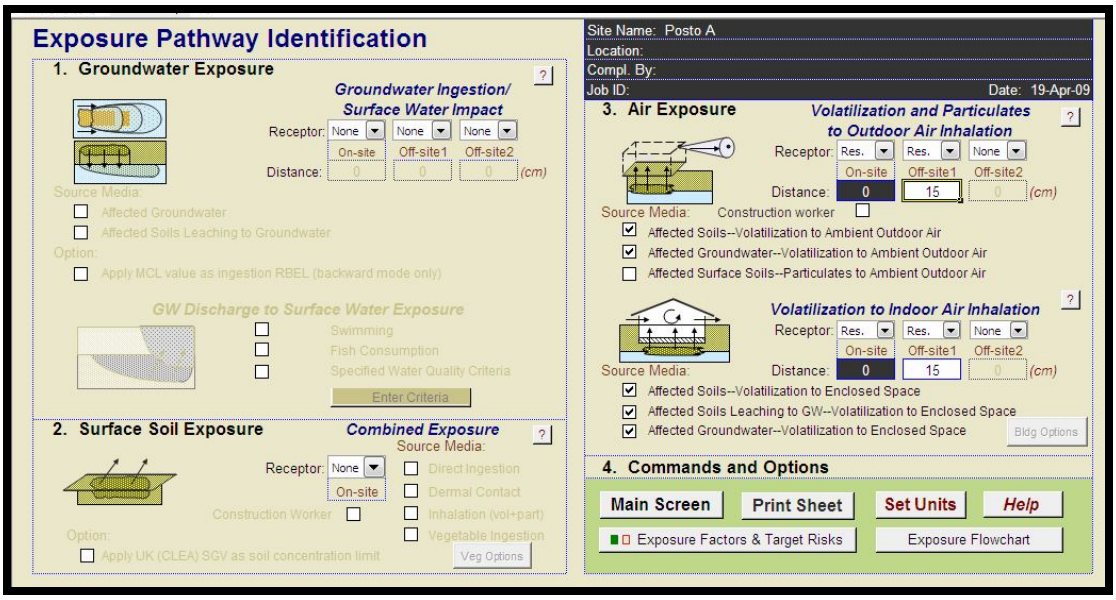


**Figura 37: Identificação das vias de exposição.**

Na simulação do cenário 1, considerou-se apenas a via de exposição crítica para inalação de vapores no ar interno e externo, por receptores residenciais (adultos e crianças), a partir da água subterrânea e solo contaminado por compostos orgânicos voláteis, pois o posto encontra-se desativado e há ocupação sensível (igreja) 15m a jusante do posto.

A Figura 38 apresenta a tela de saída do programa com o resumo das vias de exposição completas e seus respectivos receptores considerados na análise do cenário 1.

| Complete Exposure Pathways and Receptors | On-site | Off-site 1 | Off-site 2 |
|---|---|---|---|
| **Groundwater:** | | | |
| Groundwater Ingestion | None | None | None |
| Soil Leaching to Groundwater Ingestion | None | None | None |
| Apply Secondary MCLs | No | No | No |
| **Applicable Surface Water Exposure Routes:** | | | |
| Swimming | NA | NA | None |
| Fish Consumption | NA | NA | None |
| Aquatic Life Protection | NA | NA | None |
| **Soil:** | | | |
| Direct Contact: direct combined pathways | None | NA | NA |
| Apply CLEA- UK SGV levels | | No | |
| **Outdoor Air:** | | | |
| Particulates from Surface Soils | None | None | None |
| Volatilization from Soils | Residential | Residential | None |
| Volatilization from Groundwater | Residential | Residential | None |
| **Indoor Air:** | | | |
| Volatilization from Soils | Residential | NA | NA |
| Volatilization from Groundwater | Residential | Residential | None |
| Soil Leaching to Groundwater Volatilization | Residential | Residential | None |

**Figura 38: Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 1- posto A**

. A Figura 39 apresenta o quadro com a distância do receptor a área fonte considerada.

| Receptor Distance from Source Media | On-site | Off-site 1 | Off-site 2 | (Units) |
|---|---|---|---|---|
| Groundwater receptor | NA | NA | NA | (cm) |
| Outdoor air inhalation receptor | 0 | 15 | NA | (cm) |
| Indoor air inhalation receptor | 0 | 15 | NA | (cm) |

**Figura 39: Quadro com a distância do receptor da área fonte considerada.**

A distância máxima considerada para um receptor *off-site* na simulação do cenário 1 foi de 15m e deveu-se na distância do posto a ocupação sensível mais próxima, que neste caso foi a igreja.

### 5.1.1.3 – DETERMINAÇÃO DO RISCO ALVO A SAUDE E DA MODELAGEM MATEMÁTICA ADOTADA PARA O CENÁRIO 1- POSTO A

O risco de carcinogênico fica caracterizado quando as concentrações dos contaminantes presentes sejam superiores a $1.10^{-5}$ µg/l, ou seja, que esta contaminação eleve a incidência natural carcinogênica em 1 caso em uma população de 100.000 indivíduos. O coeficiente de periculosidade permite fazer uma estimativa da taxa de exposição aos ocupantes do site que estão expostos, comparando-se os resultados com os valores máximos toleráveis. Admite-se como tolerável o índice 1 e valores acima deste configuram risco de toxicidade.

Os valores utilizados nesta simulação para o risco carcinogênico (TR) e o coeficiente de periculosidade (THQ) individual e cumulativo, são apresentados na Figura 40.

| Target Health Risk Values | | Individual | Cumulative |
|---|---|---|---|
| TR | Target Risk (carcinogens) | 1,0E-5 | 1,0E-5 |
| THQ | Target Hazard Quotient (non-carcinogenic risk) | 1,0E+0 | 1,0E+0 |

**Figura 40: Valores do risco alvo a saúde.**

Os modelos matemáticos adotados na simulação do cenário 1 são apresentados na Figura 41.

.

| Modeling Options | |
|---|---|
| RBCA tier | Tier 2 |
| Outdoor air volatilization model | Surface & Subsurface Models: ASTM Model |
| Indoor air volatilization model | Mass Flux/Johnson & Ettinger model |
| Soil leaching model | ASTM leaching model |
| Use soil attenuation model (SAM) for leachate? | No |
| Use dual equilibrium desorption model? | No |
| Apply Mass Balance Limit for Soil Volatilization? | No |
| Apply UK (CLEA) SGV as soil concentration limit | No |
| Vegetable calculation options | NA |
| Air dilution factor | 3-D Gaussian dispersion |

**Figura 41: Modelos considerados na simulação do cenário 1 – posto A.**

De acordo com a Figura 41 foram adotados para a simulação do cenário 1, os seguintes modelos matemáticos:

- Tipo de Análise: Tier 2.
- Modelo de Volatilização do ar em ambientes abertos: Modelo ASTM superficial e subsuperficial.
- Modelo de Volatilização do ar em ambientes fechados: Modelo de Fluxo de massa Johnson & Ettinger
- Fator de diluição do ar: Dispersão Gaussiana 3D.

-

As figuras com os valores numéricos utilizados para cada parâmetro do cenário 1 específico para o *site* avaliado encontram-se no anexo.

### 5.1.1.4 – FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 1:

O fluxograma permite identificar as fontes de contaminação, os mecanismos de transporte, as vias de exposição e os receptores adotados para o cenário 1, possibilitando uma visão global da análise.

A Figura 42 contém o percurso completo da simulação do cenário 1, demonstrada através de um fluxograma, no formato real do programa:

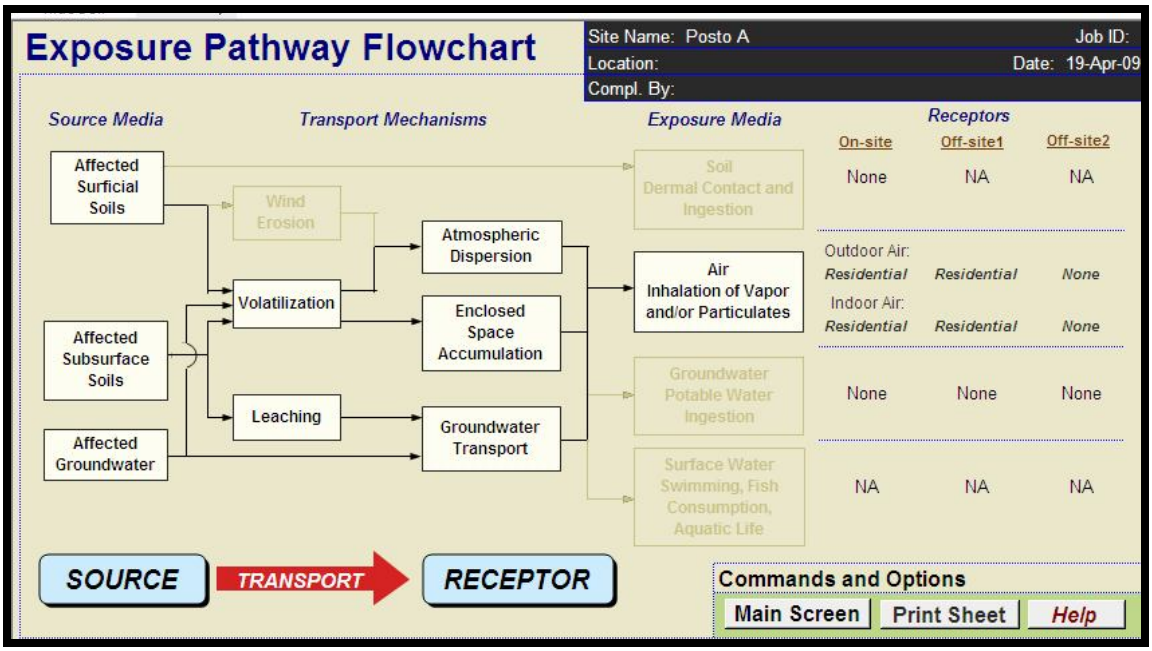


**Figura 42: Fluxograma da via de exposição completa considerada na simulação do cenário 1 - Posto A**

Uma vez determinado o percurso completo da análise, inicia-se a simulação, cujos resultados serão apresentados nos itens a seguir.

### 5.1.1.5 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1 - MODO REVERSO DE ANÁLISE

Os dados de saída apresentados a seguir nas tabelas 9, 10 e 11, contem apenas os CQI que ultrapassaram os SSTL calculados.

**Tabela 9-Resultado da simulação do cenário 1 – posto A -água subterrânea**

| Água subterrânea - cenário 1 | | |
|---|---|---|
| **Substancia** | **SSTL aplicável – µg/L** | **SSTL excedente µg/L** |
| Benzeno | 2,8E-1 | 2,7E+1 |
| Xilenos (isômeros) | 2,7E+0 | 3,7E+0 |

**Tabela 10 - Resultado da simulação do cenário 1 - posto A- solo superficial**

| Solo superficial - cenário1 (0-100cm) | | |
|---|---|---|
| **Substancia** | **SSTL aplicável µg/kg** | **SSTL excedente µg/kg** |
| Benzeno | 2,0E-1 | 1,7E+1 |
| Xilenos (isômeros) | 6,6E+0 | 4,1E+1 |
| Naftaleno | 1,3E+0 | 3,5E+0 |

**Tabela 11 - Resultado da simulação do cenário 1 –posto A- solo sub-superficial**

| Solo sub-superficial - cenario1 (100 - 200cm) | | |
|---|---|---|
| **Substancia** | **SSTL aplicável µg/kg** | **SSTL excedente µg/kg** |
| Benzeno | 2,0E-1 | 1,7E+1 |
| Xilenos (isômeros) | 6,6E+0 | 4,1E+1 |
| Naftaleno | 1,3E+0 | 3,5E+0 |

Nesta simulação apenas o benzeno e os xilenos (orto, meta e para), ultrapassaram as concentrações alvo limite aceitáveis para o *site* (SSTL), tanto na água subterrânea quanto no solo superficial e sub superficial. O naftaleno ultrapassou o SSTL aplicável somente no solo superficial e sub superficial.

As Tabelas 10 e 11 destacam que os SSTL tanto para o solo superficial quanto o sub superficial são os mesmos. Este fato pode indicar um espalhamento uniforme dos contaminantes tanto no solo superficial quanto no sub-superficial, sendo recomendável que a remediação a ser adotada para este local atinja até a profundidade de 200 cm.

O benzeno excedeu com maior predominância na água subterrânea do que nos demais meios analisados, o que reforça o risco quanto a possível deslocamento deste composto cancerígeno para regiões com ocupações sensíveis (creches, escolas, igrejas, etc), aumentando a necessidade de remediação imediata do meio. No caso dos xilenos, o meio que apresentou maior restrição quanto ao nível de remediação necessário para o *site* foi o solo tanto superficial quanto sub-superficial.

A toxicologia de um composto químico (benzeno, por exemplo) é tipicamente estabelecida com base em estudos de dose-resposta que estimulam relação entre diferentes níveis de dose e a magnitude dos seus efeitos adversos (EPA, 1989). A toxicidade dos hidrocarbonetos é avaliada em função do tipo de exposição, que está relacionada ao caminho de entrada do composto no organismo e pode ser aguda, crônica ou subcrônica, diferenciando-se pelo tempo e duração da exposição do indivíduo/receptor. As faixas de variação de tempo admitida pela EPA para estes estudos são: para toxicidade crônica de 7 anos ao tempo de vida, toxicidade subcrônica de semanas a 7 anos (EPA,1989).

A toxicologia de uma mistura complexa de compostos químicos (gasolina ou diesel) também é estabelecida com base em estudos de dose resposta, porém utiliza-se uma amostra pura da mistura. Uma alternativa utilizada nos casos de mistura é a análise

toxicológica de um constituinte individual ou grupo de constituintes que fazem parte desta mistura. Estes constituintes são chamados compostos indicadores (ASTM, 1995).

De acordo característica carcinogênica dos CQI (monoaromáticos) que apresentaram concentrações excedentes aos SSTL calculados e também os receptores considerados nesta simulação, as medidas de remediação são indicadas para o *site* nos três meios de contaminação (água subterrânea, solo superficial e solo sub-superficial) a fim de mitigar problemas à saúde humana sob exposição sub-crônica, uma vez que o cenário 1 envolve receptores residenciais (frequentadores da igreja) com diferentes faixas etárias.

### 5.1.1.6 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1 - MODO DIRETO DE ANÁLISE

A avaliação do risco carcinogênico e do efeito tóxico foi obtida através da simulação no modo direto de análise.

As vias de exposição completas na simulação do cenário 1 foram as vias de inalação de ar em ambientes abertos e fechados, sendo que a via de exposição para inalação do ar em ambientes fechados excedeu o limite de risco carcinogênico e apresentou toxicidade acima do limite, sendo portanto a via de exposição crítica. Este resultado confirma a necessidade de se remediar o site verificado no modo reverso de análise e indica a necessidade de se efetuar o monitoramento da qualidade do ar para evitar que a longo prazo haja problemas à saúde humana dos futuros ocupantes do local. A figura com o resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico para o cenário 1, do posto A encontra-se no anexo.

### 5.1.1.7- RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2 – POSTO A

Na simulação do cenário 2, considerou-se apenas o contato dermal e ingestão do solo contaminado por trabalhadores comerciais e de obras, assim como a inalação de vapores ou de particulados oriundos do solo e das águas subterrâneas contaminadas no ar externo.

A Figura 43 apresenta a tela do programa com as vias de exposição completas e seus respectivos receptores considerados na simulação do cenário 2- posto A.

| Complete Exposure Pathways and Receptors | On-site | Off-site 1 | Off-site 2 |
|---|---|---|---|
| **Groundwater:** | | | |
| Groundwater Ingestion | None | None | None |
| Soil Leaching to Groundwater Ingestion | None | None | None |
| Apply Secondary MCLs | No | No | No |
| **Applicable Surface Water Exposure Routes:** | | | |
| Swimming | NA | NA | None |
| Fish Consumption | NA | NA | None |
| Aquatic Life Protection | NA | NA | None |
| **Soil:** | | | |
| Direct Contact: Ingestion, Dermal, Inhalation | Com./Constr. | NA | NA |
| Apply CLEA- UK SGV levels | | No | |
| **Outdoor Air:** | | | |
| Particulates from Surface Soils | Com./Constr. | None | None |
| Volatilization from Soils | Com./Constr. | None | None |
| Volatilization from Groundwater | Commercial | None | None |
| **Indoor Air:** | | | |
| Volatilization from Soils | None | NA | NA |
| Volatilization from Groundwater | None | None | None |
| Soil Leaching to Groundwater Volatilization | None | None | None |

Figura 43: Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 2- posto A.

Os CQI desta simulação são os mesmos considerados para o cenário 1 a única diferença consiste nas vias de exposição consideradas.

### 5.1.1.8- FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 2

A seguir apresenta-se o percurso completo da simulação do cenário 2, demonstrada através de um fluxograma, no formato real do programada através da Figura 44.

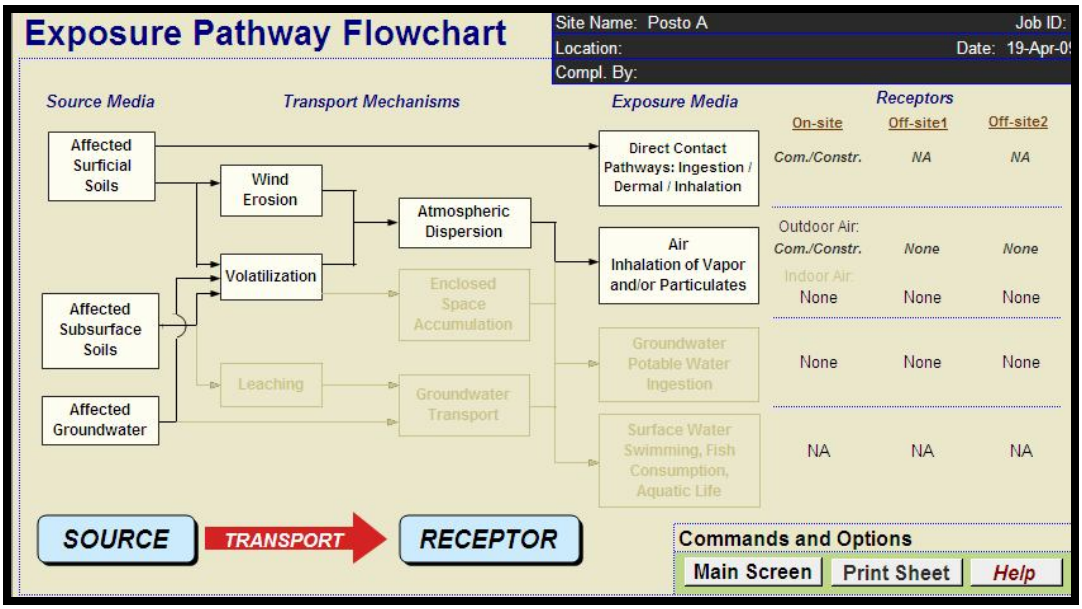


**Figura 44: Fluxograma da via de exposição considerada na simulação do cenário 2 - Posto A**

Uma vez determinado o percurso completo da análise, inicia-se a simulação, cujos resultados serão apresentados nos itens a seguir.

#### 5.1.1.9 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2 - MODO REVERSO DE ANÁLISE

Na simulação do cenário 2 no modo reverso de análise, dos vinte CQI analisados, nenhum apresentou SSTL acima do aceitável. Este resultado indica que não há necessidade de remediação para o *site* de acordo com o cenário avaliado.

#### 5.1.1.10 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2 - MODO DIRETO DE ANÁLISE

As vias de exposição completas na simulação do cenário 2 foram as vias de inalação de ar em ambientes abertos e contato direto com o solo contaminado(contato dermal, ingestão e inalação). Nenhuma via de exposição excedeu o limite de risco carcinogênico e apresentou efeito tóxico acima do limite, portanto não ha via de exposição crítica para este cenário, não prevendo risco durante a execução de obras para modificação do uso futuro do local. Destaca-se que os trabalhadores de obras realizariam apenas atividades relativas às obras, sem ingestão de águas subterrâneas do local.

De acordo com resultado da simulação no modo direto para o cenário 2, não há excesso de risco e de toxicidade, em uma possível intervenção de obra no local. A figura com o resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico para o cenário 2-posto A, encontra-se no anexo.

#### 5.1.1.11- RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3 – POSTO A

Na simulação do cenário 3, só foi considerado a inalação de ar externo e interno, por receptores comerciais, com volatilização de compostos orgânicos a partir do solo e das águas subterrâneas.

A Figura 45 apresenta a tela do programa com as vias de exposição completas e seus respectivos receptores considerados.

| Complete Exposure Pathways and Receptors | On-site | Off-site 1 | Off-site 2 |
|---|---|---|---|
| **Groundwater:** | | | |
| Groundwater Ingestion | None | None | None |
| Soil Leaching to Groundwater Ingestion | None | None | None |
| Apply Secondary MCLs | No | No | No |
| **Applicable Surface Water Exposure Routes:** | | | |
| Swimming | *NA* | *NA* | None |
| Fish Consumption | *NA* | *NA* | None |
| Aquatic Life Protection | *NA* | *NA* | None |
| **Soil:** | | | |
| Direct Contact: direct combined pathways | None | *NA* | *NA* |
| Apply CLEA- UK SGV levels | | No | |
| **Outdoor Air:** | | | |
| Particulates from Surface Soils | Commercial | None | None |
| Volatilization from Soils | Commercial | None | None |
| Volatilization from Groundwater | Commercial | None | None |
| **Indoor Air:** | | | |
| Volatilization from Soils | Commercial | *NA* | *NA* |
| Volatilization from Groundwater | Commercial | None | None |
| Soil Leaching to Groundwater Volatilization | None | None | None |

**Figura 45: Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 3- posto A**

Os CQI são os mesmos considerados na simulação 1 e 2 a diferença consiste apenas nas vias de exposição consideradas.

### 5.1.1.12- FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 3

A seguir apresenta-se o percurso completo da simulação do cenário 3, demonstrada através de um fluxograma, no formato real do programada através da Figura 46.

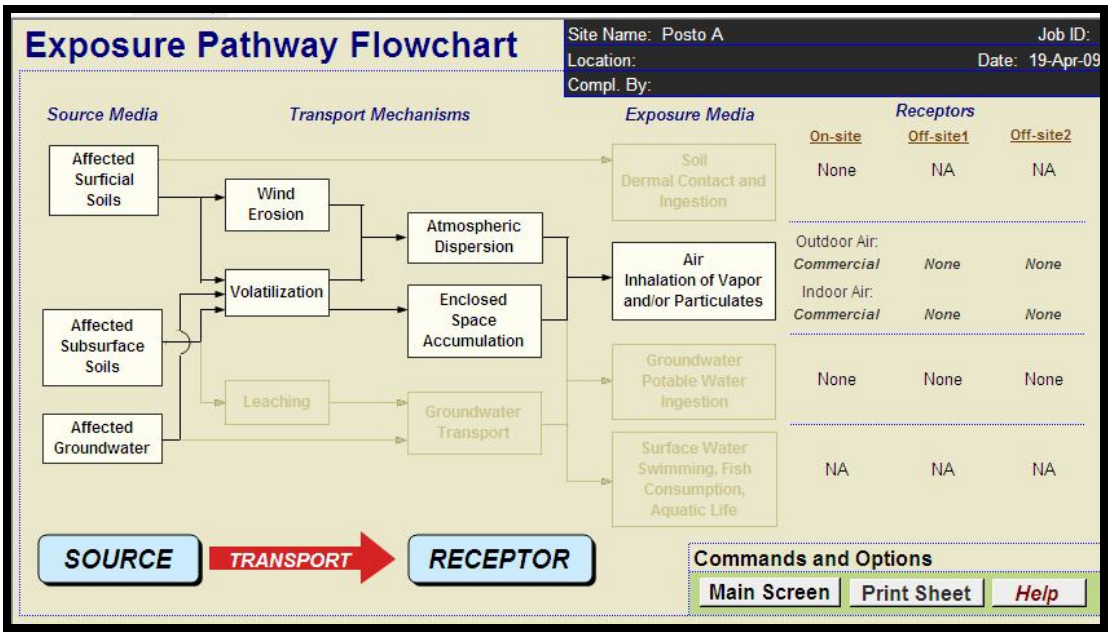


**Figura 46: Fluxograma da via de exposição considerada na simulação do cenário 3 - Posto A.**

Uma vez determinado o percurso completo da análise, inicia-se a simulação, cujos resultados serão apresentados nos itens a seguir.

### 5.1.1.13 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3 - MODO REVERSO DE ANÁLISE

Os dados de saída apresentados a seguir nas tabelas 12, 13 e 14, contem apenas os CQI que ultrapassaram os SSTL calculados.

**Tabela 12- Resultado da simulação do cenário 3 – posto A - água subterrânea**

| Água subterrânea – cenário 3 | | |
|---|---|---|
| **Substancia** | **SSTL aplicável µg/L** | **SSTL excedente µg/L** |
| Benzeno | 7,6E-1 | 9,8E+0 |
| Xilenos (isômeros) | 6,1E+0 | 1,6E+0 |

**Tabela 13- Resultado da simulação do cenário 3 – posto A - solo superficial**

| Solo superficial cenário3 (0-100 cm) | | |
|---|---|---|
| **Substancia** | **SSTL aplicável µg/kg** | **SSTL excedente µg/kg** |
| Xilenos (isômeros) | 2,2E+2 | 1,2E+0 |

**Tabela 14 - Resultado da simulação do cenário 3 – posto A - solo sub-superficial**

| Solo sub-superficial cenário 3 (100 – 200 cm) | | |
|---|---|---|
| **Substancia** | **SSTL aplicável µg/kg** | **SSTL excedente µg/kg** |
| Xilenos (isômeros) | 2,2E+2 | 1,2E+0 |

Nesta simulação apenas os xilenos ultrapassaram os SSTL em todos os meios de exposição (água subterrânea, solo superficial e sub-superficial). Na água subterrânea o benzeno também excedeu o SSTL calculado.

A água subterrânea é o meio que apresentou maior concentração excedente de contaminante, indicando a necessidade de remediação. Porém como o cenário 2, prevê o uso futuro do local como área comercial, com pavimentação total da área e sem utilização da água subterrânea para quaisquer fins, não será necessário a remediação deste meio de exposição (água subterrânea) do *site*, pois este fato não completa a via de exposição considerada.

### 5.1.1.14 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3 - MODO DIRETO DE ANÁLISE

As vias de exposição completas na simulação do cenário 3 foram as vias de inalação de ar em ambientes abertos e fechados, sendo que a via de exposição para inalação do ar em ambientes fechados excedeu o limite de risco carcinogênico e apresentou toxicidade acima do limite, sendo portanto a via de exposição crítica

O resultado da simulação no modo direto para o cenário 3 alerta a necessidade da verificação do risco em todos os meios de exposição da contaminação, mesmo que a análise de risco no modo reverso alerte apenas para um meio que não é prevista sua utilização como cenário futuro.

Neste caso, apesar da água subterrânea apresentar uma concentração limite aceitável bem restritiva, os demais meios de exposição analisados também oferecem risco a saúde humana. O que mostra há a necessidade de ser simular análise de risco no modo de análise direto e no modo de análise reverso. Este fato se destacou, pois foi excedido o limite de risco carcinogênico para inalação em ambientes fechados, mesmo que o cenário hipotético analisado considere a pavimentação total do *site*, não sendo recomendável o uso comercial neste local, sem que haja a remediação dos meios de exposição (água, solo superficial e sub superficial). A figura com o resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico para o cenário 3-posto A, encontra-se no anexo.

### 5.1.1.15- RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4 – POSTO A

A Figura 47 apresenta a tela do programa com as vias de exposição completas e seus respectivos receptores considerados no cenário 4.

| Complete Exposure Pathways and Receptors | On-site | Off-site 1 | Off-site 2 |
|---|---|---|---|
| **Groundwater:** | | | |
| Groundwater Ingestion | None | None | None |
| Soil Leaching to Groundwater Ingestion | None | None | None |
| Apply Secondary MCLs | No | No | No |
| **Applicable Surface Water Exposure Routes:** | | | |
| Swimming | NA | NA | None |
| Fish Consumption | NA | NA | None |
| Aquatic Life Protection | NA | NA | None |
| **Soil:** | | | |
| Direct Contact: Ingestion, Dermal, Inhalation | Residential | NA | NA |
| Apply CLEA- UK SGV levels | | No | |
| **Outdoor Air:** | | | |
| Particulates from Surface Soils | Residential | None | None |
| Volatilization from Soils | Residential | None | None |
| Volatilization from Groundwater | Residential | None | None |
| **Indoor Air:** | | | |
| Volatilization from Soils | Residential | NA | NA |
| Volatilization from Groundwater | Residential | None | None |
| Soil Leaching to Groundwater Volatilization | None | None | None |

**Figura 47: Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 4-posto A.**

Na simulação do cenário 4, só foram considerados receptores residenciais. Avaliou-se o contato dermal e ingestão do solo contaminado, por receptores residenciais (adultos e crianças), a inalação de vapores ou de particulados no ar externo e interno, por receptores (adultos e crianças), a partir do solo e águas subterrâneas contaminados por compostos orgânicos voláteis. Os CQI são os mesmos considerados na simulação 1, 2 e 3 a diferença consiste apenas nas vias de exposição consideradas.

### 5.1.1.16- FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 4

A seguir apresenta-se o percurso completo da simulação do cenário 4, demonstrada através de um fluxograma, no formato real do programada através da Figura 48.

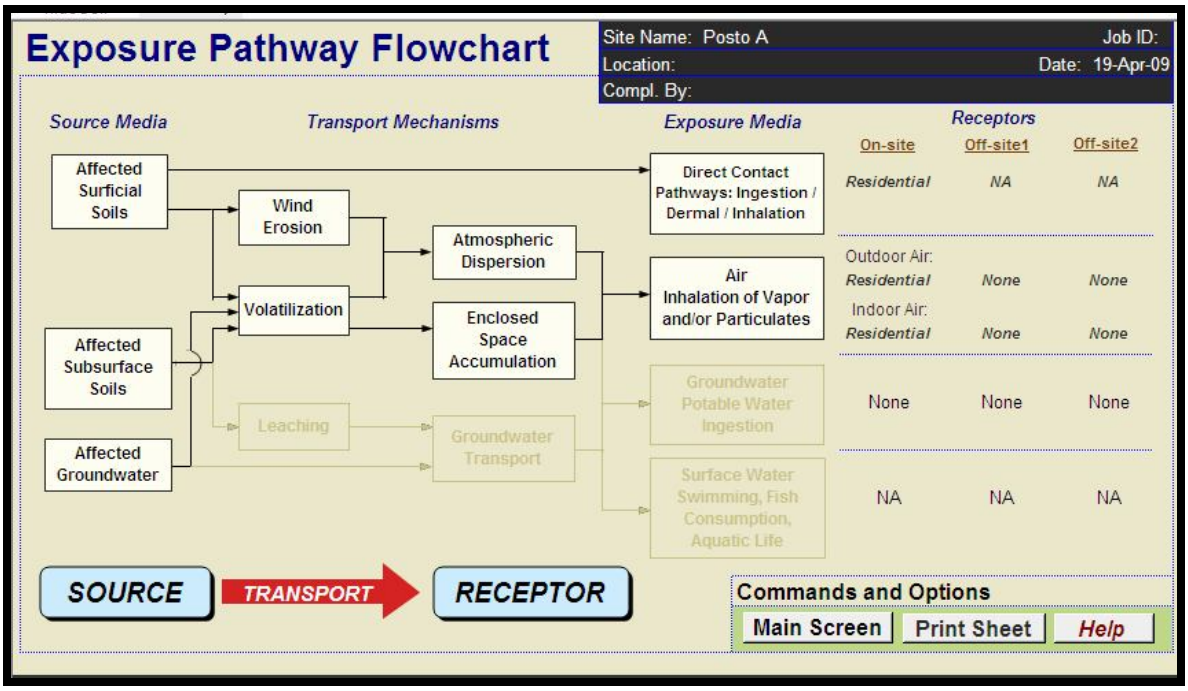


**Figura 48: Fluxograma da via de exposição considerada na simulação do cenário 4 - Posto A**

Uma vez determinado o percurso completo da análise, inicia-se a simulação, cujos resultados serão apresentados nos itens a seguir.

### 5.1.1.17 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4 - MODO REVERSO DE ANÁLISE

Os dados de saída apresentados a seguir nas tabelas 15, 16 e 17 contem apenas os CQI que ultrapassaram os SSTL calculados.

**Tabela 15- Resultado da simulação do cenário 4 –posto A - água subterrânea**

| Água subterrânea - cenário 4 | | |
|---|---|---|
| **Substancia** | **SSTL aplicável µg/L** | **SSTL excedente µg/L** |
| Benzeno | 2,8E-1 | 2,7E+1 |
| Xilenos (isômeros) | 2,7E+0 | 3,7E+0 |

**Tabela 16 - Resultado da simulação do cenário 4 –posto A - solo superficial**

| Solo superficial cenário 4 (0-100cm) | | |
|---|---|---|
| **Substancia** | **SSTL aplicável µg/kg** | **SSTL excedente µg/kg** |
| Benzeno | 2,2E+0 | 1,6E+0 |
| Xilenos (isômeros) | 6,4E+1 | 4,2E+0 |

**Tabela 17 - Resultado da simulação do cenário 4 - posto A- solo sub-superficial**

| Solo sub-superficial cenário 4 (100 - 200cm) | | |
|---|---|---|
| **Substancia** | **SSTL aplicável µg/kg** | **SSTL excedente µg/kg** |
| Benzeno | 2,2E+0 | 1,6E+0 |
| Xilenos (isômeros) | 6,4E+1 | 4,2E+0 |

Nesta simulação no modo de análise reverso, os CQI excedentes foram o Benzeno e os Xilenos para os três meios de exposição (água subterrânea, solo superficial e sub-superficial).

A água subterrânea apresentou uma concentração mais restritiva quando comparada com os demais meios de exposição (solo superficial e sub-superficial), porém o cenário em questão prevê o uso futuro do local como área residencial, com áreas não pavimentadas e sem utilização de água subterrânea para consumo humano. Portanto, destaca-se uma preocupação maior com a contaminação destes compostos químicos no solo.

### 5.1.1.18 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4 - MODO DIRETO DE ANÁLISE

As vias de exposição completas na simulação do cenário 4 foram as vias de inalação de ar em ambientes abertos e fechados e contato direto com solo contaminado (contato dermal, ingestão, inalação), sendo que a via de exposição para inalação do ar em ambientes fechados excedeu o limite de risco carcinogênico e apresentou toxicidade acima do limite, sendo portanto a via de exposição crítica

Conforme foi verificado nas simulações dos cenários anteriores, novamente os resultados apontaram a necessidade da avaliação do risco em todos os meios de exposição, independente do resultado apresentado no modo reverso de análise. Este fato se destacou, pois há risco carcinogênico acima do limite para inalação em ambientes fechados, o que alerta para o processo de remediação deste *site*, uma vez que o cenário hipotético prevê a mudança do tipo de uso de solo para residencial. Esta simulação retratou também o excesso de toxicidade em ambiente fechado, o que pode implicar em uma exposição crônica destes CQI pelos futuros residentes no local, podendo ocasionar sérios problemas a saúde destas pessoas, indicando a necessidade da remediação em todos os meios de exposição (água, solo superficial e sub-superficial). A figura com o

resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico para o cenário 4-posto A, encontra-se no anexo.

### 5.1.1.19- RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5 – POSTO A

Na simulação do cenário 5, só não foi considerado receptor na via de exposição para água superficial e subterrânea, com intuito de verificar a influencia global simultânea e cumulativa da contaminação pelos CQI.

A Figura 49 apresenta a tela do programa com as vias de exposição completas e seus respectivos receptores considerados no cenário 5.

| Complete Exposure Pathways and Receptors | On-site | Off-site 1 | Off-site 2 |
|---|---|---|---|
| **Groundwater:** | | | |
| Groundwater Ingestion | None | None | None |
| Soil Leaching to Groundwater Ingestion | None | None | None |
| Apply Secondary MCLs | No | No | No |
| **Applicable Surface Water Exposure Routes:** | | | |
| Swimming | *NA* | *NA* | None |
| Fish Consumption | *NA* | *NA* | None |
| Aquatic Life Protection | *NA* | *NA* | None |
| **Soil:** | | | |
| Direct Contact: Ingestion, Dermal, Inhalation | Res./Constr. | *NA* | *NA* |
| Apply CLEA- UK SGV levels | | No | |
| **Outdoor Air:** | | | |
| Particulates from Surface Soils | Res./Constr. | Residential | None |
| Volatilization from Soils | Res./Constr. | Residential | None |
| Volatilization from Groundwater | Residential | Residential | None |
| **Indoor Air:** | | | |
| Volatilization from Soils | Residential | *NA* | *NA* |
| Volatilization from Groundwater | Residential | Residential | None |
| Soil Leaching to Groundwater Volatilization | Residential | Residential | None |

**Figura 49: Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 5 –posto A**

Os CQI em questão são os mesmos considerados na simulação 1, 2, 3 e 4 a diferença consiste apenas nas vias de exposição consideradas.

### 5.1.1.20- FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 5

A seguir apresenta-se o percurso completo da simulação do cenário 5, demonstrada através de um fluxograma, no formato real do programada através da Figura 50.

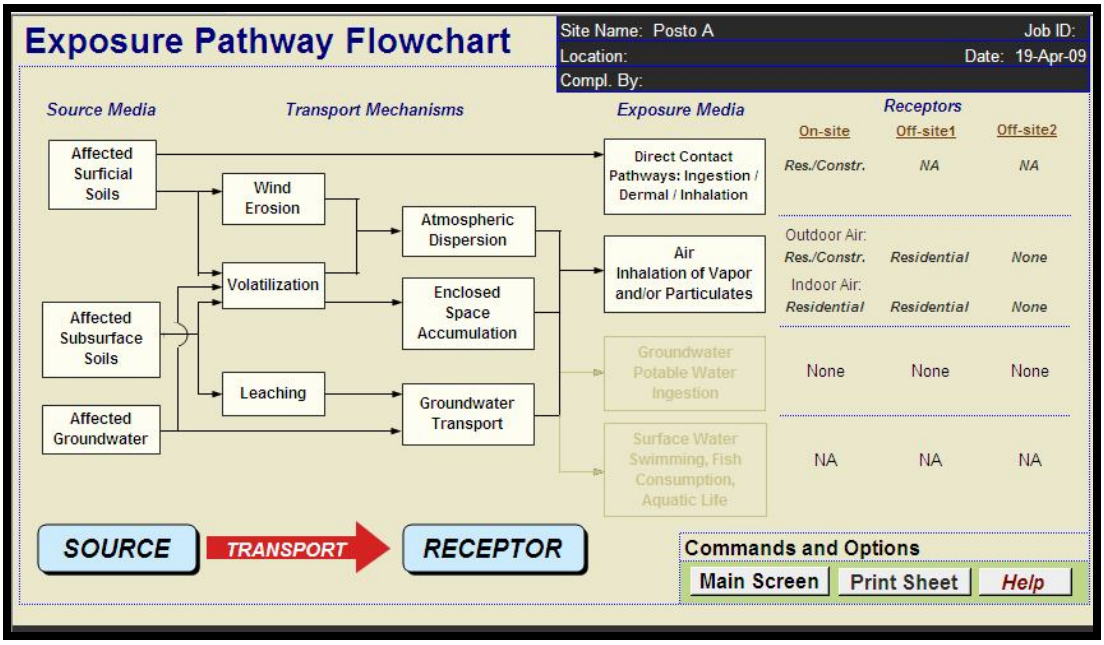


**Figura 50: Fluxograma da via de exposição considerada na simulação do cenário 5 - Posto A**

Nesta simulação, levou se em consideração o efeito cumulativo das simulações acima, considerando em uma única simulação todas as vias de exposição analisadas separadamente.

### 5.1.1.21 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5 - MODO REVERSO DE ANÁLISE

O resultado da simulação demonstra que não houve modificação dos CQI excedentes e da ordem de grandeza dos SSTL calculados. Este fato indica que não houve interação dos modelos matemáticos na análise conjunta de todos os cenários, de acordo com as condições consideradas neste estudo de caso A.

Os resultados apresentados a seguir nas tabelas 18, 19 e 20 contem apenas os CQI que ultrapassaram os SSTL calculados.

**Tabela 18- Resultado da simulação do cenário 5 – posto A- água subterrânea**

| Água subterrânea - cenário 5 | | |
|---|---|---|
| **Substancia** | **SSTL aplicável µg/L** | **SSTL excedente µg/L** |
| Benzeno | 2,8E-1 | 2,7E+1 |
| Xilenos (isômeros) | 2,7E+0 | 3,7E+0 |

**Tabela 19- Resultado da simulação do cenário 5 – posto A- solo superficial**

| Solo superficial cenário 5 (0-100 cm) | | |
|---|---|---|
| **Substancia** | **SSTL aplicável µg/kg** | **SSTL excedente µg/kg** |
| Benzeno | 2,0E-1 | 1,7E+1 |
| Xilenos (isômeros) | 6,6E+0 | 4,1E+1 |
| Naftaleno | 1,3E+0 | 3,5E+0 |

**Tabela 20- Resultado da simulação do cenário 5 – posto A- solo sub-superficial**

| Solo sub-superficial cenário 5 (100 – 200 cm) | | |
|---|---|---|
| **Substancia** | **SSTL aplicável µg/kg** | **SSTLexcedente µg/kg** |
| Benzeno | 2,0E-1 | 1,7E+1 |
| Xilenos (isômeros) | 6,6E+0 | 4,1E+1 |
| Naftaleno | 1,3E+0 | 3,5E+0 |

Os resultados mostram que os compostos monoaromáticos excederam os SSTL aceitáveis, em todos os diferentes meios de exposição. Segundo a ASTM, o comportamento do contaminante em um meio de exposição depende das propriedades físico-químicas do CQI, pois estas determinam como este interage com o meio, influenciando diretamente sua mobilidade, degradação e possibilidade de remoção do meio impactado (ASTM, 1998). As propriedades físico-químicas e o particionamento dos hidrocarbonetos são influenciados pela pressão e temperatura do ambiente. Neste contexto, destaca-se a solubilidade aquosa de alguns compostos, uma vez que a solubilidade aquosa do benzeno a 25 $^{o}$C é 1770 mg.L$^{-1}$ e a dos Xilenos é de 198 mg.L$^{-1}$, fato que está de acordo com o resultado da Tabela 18.

Cabe destacar que os valores numéricos finais dos SSTL não sofreram alterações significativas que mereçam destaque, quando simulados em uma única simulação.

#### 5.1.1.22 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5 - MODO DIRETO DE ANÁLISE

As vias de exposição completas na simulação do cenário 5 foram as vias de inalação de ar em ambientes abertos e fechados e contato direto com solo contaminado (contato dermal, ingestão, inalação), sendo que a via de exposição para inalação do ar em ambientes fechados excedeu o limite de risco carcinogênico e apresentou toxicidade acima do limite, sendo portanto a via de exposição crítica

Cabe destacar que o risco associado à contaminação em uma determinada via de exposição independe dos CQI analisados, para ser calculado. Para verificar o risco do site para as vias de exposição basta simular no modo direto de análise, sem a necessidade de se especificar quais os compostos foram identificados com concentração acima do limite regulamentado para o local na etapa *Tier 1*.

O resultado da simulação do cenário 5 para o posto A, permitiu a verificação do efeito cumulativo para todas as vias de exposição em uma única simulação. Verificou-se que não houve alteração quanto ao risco carcinogênico e seu efeito tóxico, mantendo-se o alerta para inalação em ambientes fechados. Este fato indica que não há interação entre os modelos matemáticos dos cenários, que alterem os resultados finais dos SSTL calculados levando em consideração a influencia de todos os parâmetros físicos do local e da vizinhança de uma só vez, de acordo com as condições adotadas para o estudo de caso A.

A figura com o resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico para o cenário 5-posto A, encontra-se no anexo.

## 5.2- SIMULAÇÕES DO POSTO B

### 5.2.1- RECEPTORES E VIAS DE EXPOSIÇÃO CONSIDERADAS NO MODELO DE EXPOSIÇÃO CONCEITUAL DO LOCAL (MECL)

Baseado nas informações contidas no relatório base, sobre o entorno do posto, seu histórico de contaminação e seu funcionamento, foi desenvolvido para este estudo de caso B um MECL, que está apresentado na Tabela 21 a seguir.

**Tabela 21- MECL da Análise de Risco - posto B**

| Receptores | | Vias de Exposição |
|---|---|---|
| **Tipo** | **Distância** | |
| Trabalhadores Comerciais | *On site* | Inalação de vapores orgânicos e;ouparticulados provenientes do solo e da água subterrânea em ambientes abertos e fechados;<br>Contato dermal e ingestão de solo superficial contaminado; |
| Trabalhadores de Obras | *On site* | Contato dermal e eventual ingestão do solo superficial;<br>Inalação de vapores orgânicos e;ouparticulados provenientes do solo e da água subterrânea em ambientes abertos; |
| Residentes | *Off site* | Inalação de vapores orgânicos e;ouparticulados provenientes do solo e da água subterrânea em ambientes abertos e fechados;<br>Ingestão de água subterrânea contaminada, uma vez que esteja em recreação em corpo hídrico próximo da fonte |

### 5.2.1.1- DADOS DE ENTRADA DA SIMULAÇÃO DO CENARIO 1 – POSTO B

A Tabela 2222 apresenta as concentrações dos compostos químicos de interesses (CQI) em análise, na zona fonte da água subterrânea e do solo superficial e sub-superficial. Esses dados da Tabela 30 foram retirados do relatório de análise de risco do posto B.

Neste estudo de caso, consideraram-se as máximas concentrações detectadas nas análises químicas de cada CQI e para os compostos químicos que não foram detectados, considerou-se o limite de detecção da análise. Este foi o critério adotado pela empresa que elaborou o relatório base de análise de risco do posto B, uma vez que não há um padrão regulamentado pelos órgãos ambientais para este parâmetro, até a presente data.

**Tabela 22 - Concentrações locais dos CQI-posto B.**

| Substância | [Agua subterrânea ] µg/L | [solo] µg/L |
|---|---|---|
| Benzeno | 1,2E+0 | 3,0E-3 |
| Tolueno | 1,6E-1 | 1,0E-3 |
| Etil benzeno | 2,0E+0 | 3,0E-3 |
| Xilenos (isômeros) | 1,9E+0 | 6,0E-3 |
| Naftaleno | 2,2E-1 | 1,0E-5 |
| Fenantreno | 3,3E-4 | 1,0E-5 |
| Antraceno | 4,0E-5 | 1,0E-5 |
| Fluoranteno | 4,3E-4 | 2,0E-5 |
| Benzo-a-antraceno | 2,3E-4 | 2,0E-5 |
| Criseno | 1,1E-4 | 1,0E-5 |
| Benzo-k-fluoranteno | 2,5E-4 | 2,0E-5 |
| Benzo-a-pireno | 2,6E-4 | 1,0E-5 |
| Indeno-1,2,3-cd-pireno | 2,4E-4 | 1,0E-5 |
| Benzo-g,h,i-perileno | 3,7E-4 | 2,0E-5 |

Os compostos monoaromáticos se destacam estando mais concentrados na zona fonte, tanto na água subterrânea quanto no solo, quando comparados com os demais CQI.

### 5.2.1.2- IDENTIFICAÇÃO E RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1 – POSTO B

Na simulação do cenário 1, considerou-se apenas a via de exposição para inalação de vapores e; ou particulados no ar interno e externo, e diretamente do solo superficial por receptores comerciais (frentistas e funcionários da administração do empreendimento), a partir da água subterrânea e solo contaminado por compostos orgânicos voláteis.

A Figura 51 apresenta a tela do programa com as vias de exposição completas e seus respectivos receptores considerados no cenário1 do posto B.

| Complete Exposure Pathways and Receptors | On-site | Off-site 1 | Off-site 2 |
|---|---|---|---|
| **Groundwater:** | | | |
| Groundwater Ingestion | None | None | None |
| Soil Leaching to Groundwater Ingestion | None | None | None |
| Apply Secondary MCLs | No | No | No |
| **Applicable Surface Water Exposure Routes:** | | | |
| Swimming | NA | NA | None |
| Fish Consumption | NA | NA | None |
| Aquatic Life Protection | NA | NA | None |
| **Soil:** | | | |
| Direct Contact: Inhalation | Commercial | NA | NA |
| Apply CLEA- UK SGV levels | | No | |
| **Outdoor Air:** | | | |
| Particulates from Surface Soils | Commercial | None | None |
| Volatilization from Soils | Commercial | None | None |
| Volatilization from Groundwater | Commercial | None | None |
| **Indoor Air:** | | | |
| Volatilization from Soils | Commercial | NA | NA |
| Volatilization from Groundwater | Commercial | None | None |
| Soil Leaching to Groundwater Volatilization | Commercial | None | None |

**Figura 51: Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 1 – posto B.**

### 5.2.1.3- FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 1

A seguir apresenta-se o percurso completo da simulação do cenário 1 do posto B, demonstrada através de um fluxograma, no formato real do programada através da Figura 52.

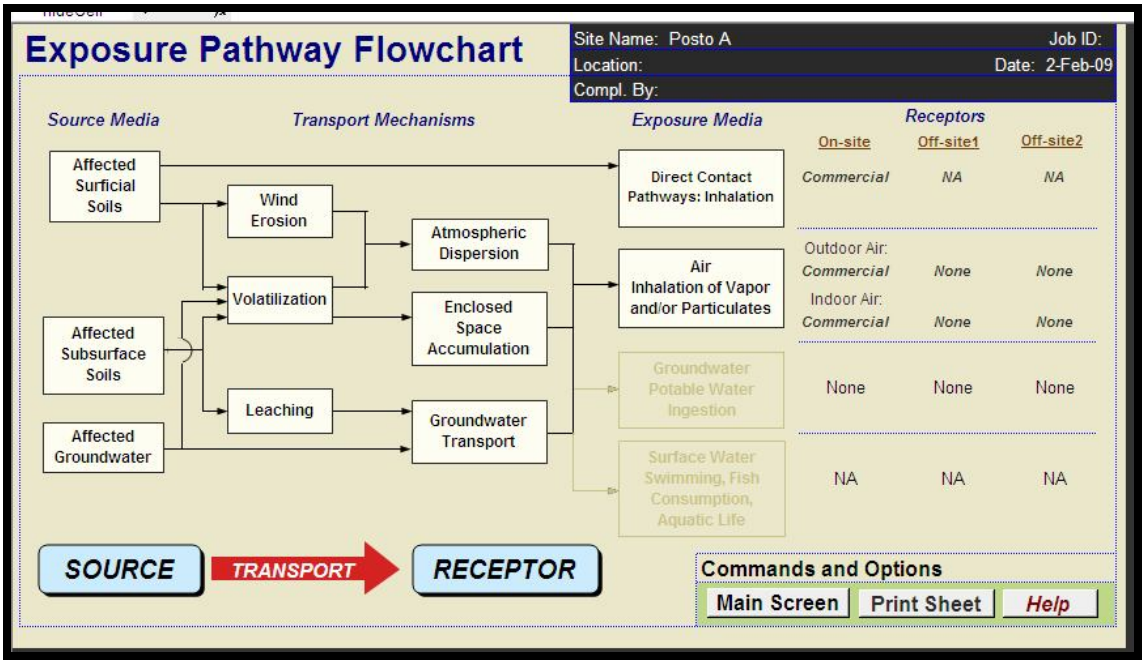


**Figura 52: Fluxograma da via de exposição considerada na simulação do cenário 1 - Posto B**

Neste fluxograma, é possível identificar as fontes de contaminação, os mecanismos de transporte, as vias de exposição e os receptores do cenário analisado, possibilitando uma visão global da análise em questão.

### 5.2.1.4 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1 - MODO REVERSO DE ANÁLISE

De todos os CQI analisados apenas o Benzeno excedeu o SSTL para a água subterrânea, nos demais meios de exposição (solo superficial e sub-superficial) nenhum CQI excedeu os SSTL aplicável para o *site*.

A Tabela 233 apresenta o resultado do SSTL apenas do benzeno na via de exposição para água subterrânea, pois foi o único meio que excedeu o SSTL calculado.

**Tabela 23- Resultado da simulação do cenário 1 – posto B - água subterrânea**

| Água subterrânea cenario1 | | |
|---|---|---|
| **Substancia** | **SSTL aplicável** | **SSTL excedente** |
| | **µg/L** | **µg/L** |
| Benzeno | 7,2E-1 | 1,7E+0 |

### 5.2.1.5 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1 - MODO DIRETO DE ANÁLISE

As vias de exposição completas na simulação do cenário 1 foram as vias de inalação de ar em ambientes abertos e fechados e contato direto com solo contaminado (contato dermal, ingestão, inalação), sendo que a via de exposição para inalação do ar em ambientes fechados excedeu o limite de risco carcinogênico e apresentou toxicidade acima do limite, sendo portanto a via de exposição crítica

Como o cenário 1, representa a situação real do posto em atividade, recomenda-se a adoção de medidas mitigadoras para não proporcionar problemas à saúde dos trabalhadores comerciais no *site* nos ambientes abertos e fechados, além de indicar a necessidade de remediação imediata da água subterrânea, de acordo com o resultado do cenário 1 análise no modo reverso. A figura com o resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico para o cenário 1-posto B, encontra-se no anexo.

### 5.2.1.6- IDENTIFICAÇÃO E RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2 – POSTO B

Na simulação do cenário 2, considerou-se a via de exposição para inalação de vapores e;ou particulados no ar interno e externo a partir da água subterrânea e solo contaminado por compostos orgânicos voláteis, e contato diretamente com o solo superficial, ingestão de solo por receptores comerciais (frentistas e funcionários da administração do empreendimento) e trabalhadores de obra.

A Figura 53 apresenta a tela do programa com as vias de exposição completas e seus respectivos receptores considerados.

.

| Complete Exposure Pathways and Receptors | On-site | Off-site 1 | Off-site 2 |
|---|---|---|---|
| **Groundwater:** | | | |
| Groundwater Ingestion | Commercial | None | None |
| Soil Leaching to Groundwater Ingestion | Commercial | None | None |
| Apply Secondary MCLs | No | No | No |
| **Applicable Surface Water Exposure Routes:** | | | |
| Swimming | NA | NA | None |
| Fish Consumption | NA | NA | None |
| Aquatic Life Protection | NA | NA | None |
| **Soil:** | | | |
| Direct Contact: Ingestion, Dermal, Inhalation | Com./Constr. | NA | NA |
| Apply CLEA- UK SGV levels | | No | |
| **Outdoor Air:** | | | |
| Particulates from Surface Soils | Com./Constr. | None | None |
| Volatilization from Soils | Com./Constr. | None | None |
| Volatilization from Groundwater | Commercial | None | None |
| **Indoor Air:** | | | |
| Volatilization from Soils | Commercial | NA | NA |
| Volatilization from Groundwater | Commercial | None | None |
| Soil Leaching to Groundwater Volatilization | Commercial | None | None |

**Figura 53**: **Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 2-posto B**

### 5.2.1.7- FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 2

A seguir apresenta-se o percurso completo da simulação do cenário 2 do posto B, demonstrada através de um fluxograma, no formato real do programa através da Figura 54

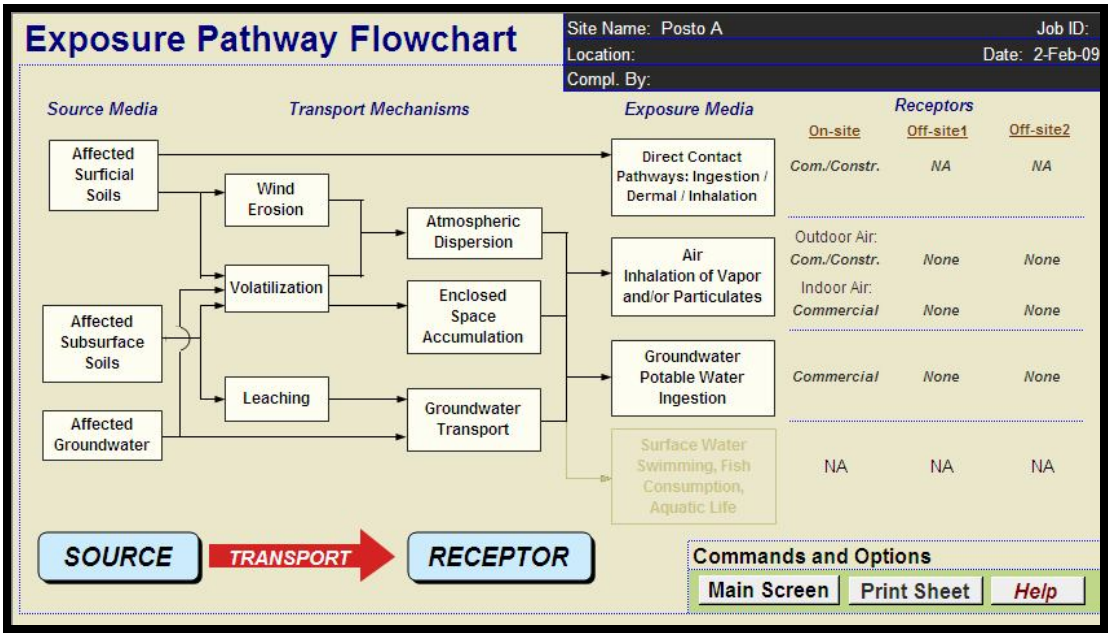


**Figura 54: Fluxograma da via de exposição considerada na simulação 2 - Posto B**

Neste fluxograma, é possível identificar as fontes de contaminação, os mecanismos de transporte, as vias de exposição e os receptores do cenário analisado possibilitando uma visão global da análise em questão.

### 5.2.1.8 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2 - MODO REVERSO DE ANÁLISE

Dos CQI analisados o Benzeno, Etil benzeno e Benzo-a-Pireno ultrapassaram os SSTL aplicáveis para o *site* apenas na água subterrânea.

A seguir a Tabela 24 apresenta os resultados dos SSTL calculados apenas para água subterrânea dos CQI excedentes.

**Tabela 24 - Resultado da simulação do cenário 2 –posto B- água subterrânea**

| Água subterrânea - cenário 2 | | |
|---|---|---|
| **Substancia** | **SSTL aplicável µg/L** | **SSTL excedente µg/L** |
| Benzeno | 5,0E-3 | 2,4E+2 |
| Etil benzeno | 7,0E-1 | 2,9E+0 |
| Benzo-a-pireno | 2,0E-4 | 1,3E+0 |

. Os demais meios de exposição (solo superficial e sub-superficial) não apresentaram CQI acima do aplicável, indicando a necessidade de remediação apenas na

água subterrânea, porém há necessidade de se avaliar a análise no modo direto , pois se caracteriza o risco real em cada via de exposição.

### 5.2.1.9 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2 - MODO DIRETO DE ANÁLISE

As vias de exposição completas na simulação do cenário 2 foram as vias de inalação de ar em ambientes abertos e fechados, contato direto com solo contaminado (contato dermal, ingestão, inalação), ingestão de água subterrânea sendo que a via de exposição para inalação do ar em ambientes fechados e a de ingestão de água subterrânea excederam o limite de risco carcinogênico e apresentaram toxicidade acima do limite, porém a via de exposição mais crítica para este cenário foi a ingestão de água subterrânea contaminada. Este fato preocupa a exposição dos eventuais receptores durante a execução de uma obra no local, o que pode vir a ocasionar problemas a saúde humana sob exposição subcrônica.

A análise no modo direto e no reverso aponta a necessidade de remediação da água subterrânea, uma vez que se apresentou como a via crítica de exposição e também alerta quanto à necessidade de adotar meios de mitigação para ambientes fechados, como por exemplo, adoção de ventilação forçada para o local.

A figura com o resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico para o cenário 2-posto B, encontra-se no anexo.

### 5.2.1.10- IDENTIFICAÇÃO E RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3 – POSTO B

Na simulação do cenário 3 levaram-se em consideração apenas os receptores residenciais *on site* e *off site.* A Figura 55 apresenta a tela do programa com as vias de exposição completas e seus respectivos receptores considerados.

| Complete Exposure Pathways and Receptors | On-site | Off-site 1 | Off-site 2 |
|---|---|---|---|
| **Groundwater:** | | | |
| Groundwater Ingestion | Residential | Residential | None |
| Soil Leaching to Groundwater Ingestion | Residential | Residential | None |
| Apply Secondary MCLs | No | No | No |
| **Applicable Surface Water Exposure Routes:** | | | |
| Swimming | NA | NA | None |
| Fish Consumption | NA | NA | None |
| Aquatic Life Protection | NA | NA | None |
| **Soil:** | | | |
| Direct Contact: Ingestion, Dermal, Inhalation | Residential | NA | NA |
| Apply CLEA- UK SGV levels | | No | |
| **Outdoor Air:** | | | |
| Particulates from Surface Soils | Residential | Residential | None |
| Volatilization from Soils | Residential | Residential | None |
| Volatilization from Groundwater | Residential | Residential | None |
| **Indoor Air:** | | | |
| Volatilization from Soils | Residential | NA | NA |
| Volatilization from Groundwater | Residential | Residential | None |
| Soil Leaching to Groundwater Volatilization | Residential | Residential | None |

**Figura 55: Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 3-posto B.**

O item a seguir apresenta-se o percurso completo da simulação do cenário 3 do posto B, demonstrada através de um fluxograma.

### 5.2.1.11- FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 3

A Figura 56 mostra a identificação das vias de exposição consideradas na simulação do cenário 3, no formato de saída do programa RBCA *Tool Kit for Chemical Releases* v2.01:

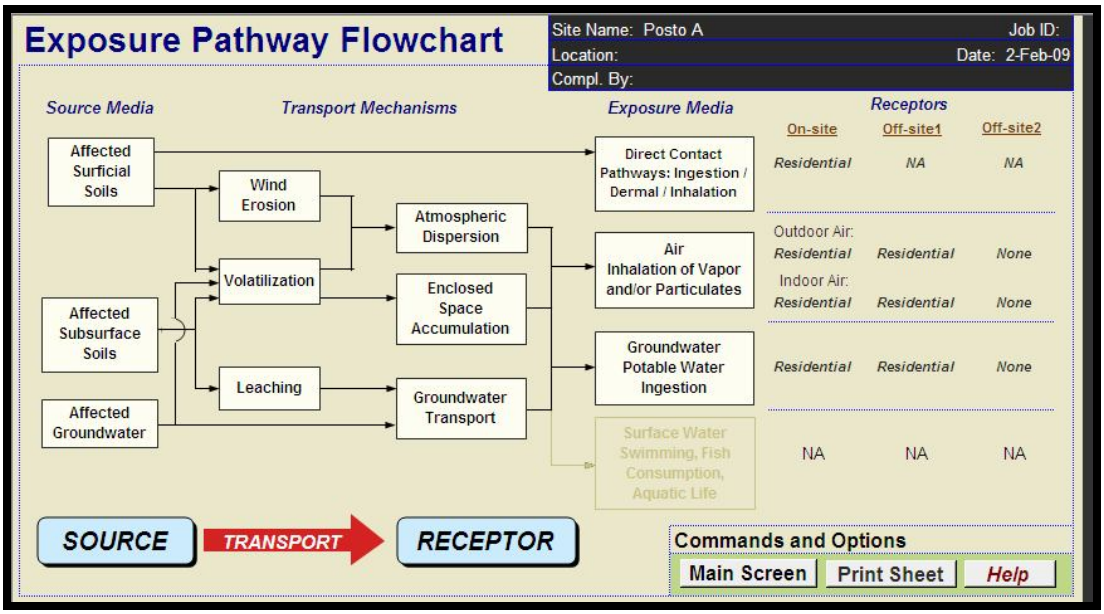


**Figura 56: Fluxograma da via de exposição considerada na simulação do cenário 3 - Posto B**

Neste fluxograma, é possível identificar as fontes de contaminação, os mecanismos de transporte, as vias de exposição e os receptores do cenário analisado, possibilitando uma visão global da análise em questão.

### 5.2.1.12 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3 - MODO REVERSO DE ANÁLISE

Dos CQI analisados apenas Benzo-a-Pireno ultrapassou o SSTL aplicável para o *site* na água subterrânea.

A seguir a Tabela 25 apresenta os resultados dos SSTL obtidos para água subterrânea apenas dos CQI excedentes.

**Tabela 25- Resultado da simulação do cenário 3 –posto B- água subterrânea**

| Água subterrânea - cenário 3 | | |
|---|---|---|
| **Substancia** | **SSTL aplicável** | **SSTL excedente** |
| Benzo-a-pireno | 2,4E-4 | 1,1E+0 |

Os demais meios de exposição (solo superficial e sub-superficial) não apresentaram CQI acima do aplicável.

Para a simulação deste cenário, utilizou-se na modelagem do transporte o modelo de Domenico. O modelo de Domenico no estado estacionário determina a concentração ao longo da linha central da pluma (se tal existe realmente). Uma vez que o modelo se aplica em estado estacionário, as concentrações não se alteram com o tempo. O modelo parte do princípio da concentração "central" a partir de uma fonte infinita, com parâmetros imutáveis de transporte (isto é, velocidade e direção das águas subterrâneas nunca mudam)

Recomenda-se o uso deste modelo quando há receptores *off site,* para água subterrânea, localizados ao longo da linha central do fluxo de água subterrânea oriunda da zona fonte (pluma).

### 5.2.1.13 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3 - MODO DIRETO DE ANÁLISE

As vias de exposição completas na simulação do cenário 3 foram as vias de inalação de ar em ambientes abertos e fechados, contato direto com solo contaminado (contato dermal, ingestão, inalação), ingestão de água subterrânea sendo que a via de exposição para inalação do ar em ambientes fechados e a de ingestão de água subterrânea excederam o limite de risco carcinogênico e via de inalação de ar em ambientes fechados apresentou toxicidade acima do limite, porém a via de exposição mais crítica para risco carcinogênico foi a ingestão de água subterrânea contaminada e para o efeito tóxico foi a via de exposição.para inalação de ar em ambientes fechados

Destacam-se as vias de água subterrânea e de ar em ambientes fechados, uma vez que os receptores avaliados englobam crianças em possível recreação no jardim, possibilitando o contato dermal e até mesmo a ingestão de água e solo contaminado, o que eleva a preocupação com o risco no *site*.

Cabe ressaltar, que segundo Domenico & Schwartz (1990), o simples fato de beber água contaminada por compostos orgânicos pode causar câncer em humanos e propiciar outros problemas como danos no fígado, prejuízo da função cardio-vascular, depressão do sistema nervoso, desordem intelectual e vários outros tipos de lesões.

Os máximos valores das vias de exposição completa analisadas indicam que a água subterrânea apresenta valores críticos quanto ao risco carcinogênico, enfatizando o alto risco a saúde humana dos residentes vizinhos ao posto em análise. Ao avaliar o efeito tóxico da inalação crônica dos contaminantes, ha quantificação do prejuízo a exposição crônica e subcrônica em ambientes fechados.

A figura com o resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico para o cenário 3-posto B, encontra-se no anexo.

### 5.2.1.14- IDENTIFICAÇÃO E RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4 – POSTO B

Na simulação do cenário 4, considerou-se apenas receptores adultos *on-site* (frentistas e trabalhadores administrativos) e *off-site* os receptores residenciais. Figura 57 apresenta a tela do programa com as vias de exposição completas e seus respectivos receptores considerados no cenário 3.

| Complete Exposure Pathways and Receptors | On-site | Off-site 1 | Off-site 2 |
|---|---|---|---|
| **Groundwater:** | | | |
| Groundwater Ingestion | Commercial | Residential | None |
| Soil Leaching to Groundwater Ingestion | Commercial | Residential | None |
| Apply Secondary MCLs | No | No | No |
| **Applicable Surface Water Exposure Routes:** | | | |
| Swimming | NA | NA | None |
| Fish Consumption | NA | NA | None |
| Aquatic Life Protection | NA | NA | None |
| **Soil:** | | | |
| Direct Contact: direct combined pathways | None | NA | NA |
| Apply CLEA- UK SGV levels | | No | |
| **Outdoor Air:** | | | |
| Particulates from Surface Soils | Commercial | Residential | None |
| Volatilization from Soils | Commercial | Residential | None |
| Volatilization from Groundwater | Commercial | Residential | None |
| **Indoor Air:** | | | |
| Volatilization from Soils | Commercial | NA | NA |
| Volatilization from Groundwater | Commercial | Residential | None |
| Soil Leaching to Groundwater Volatilization | Commercial | Residential | None |

**Figura 57: Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 4 – posto B.**

O item a seguir apresenta-se o percurso completo da simulação do cenário 4 do posto B, demonstrada através de um fluxograma.

### 5.2.1.15- FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 4

A Figura 58 mostra a identificação das vias de exposição consideradas na simulação do cenário 4, no formato de saída real do programa.

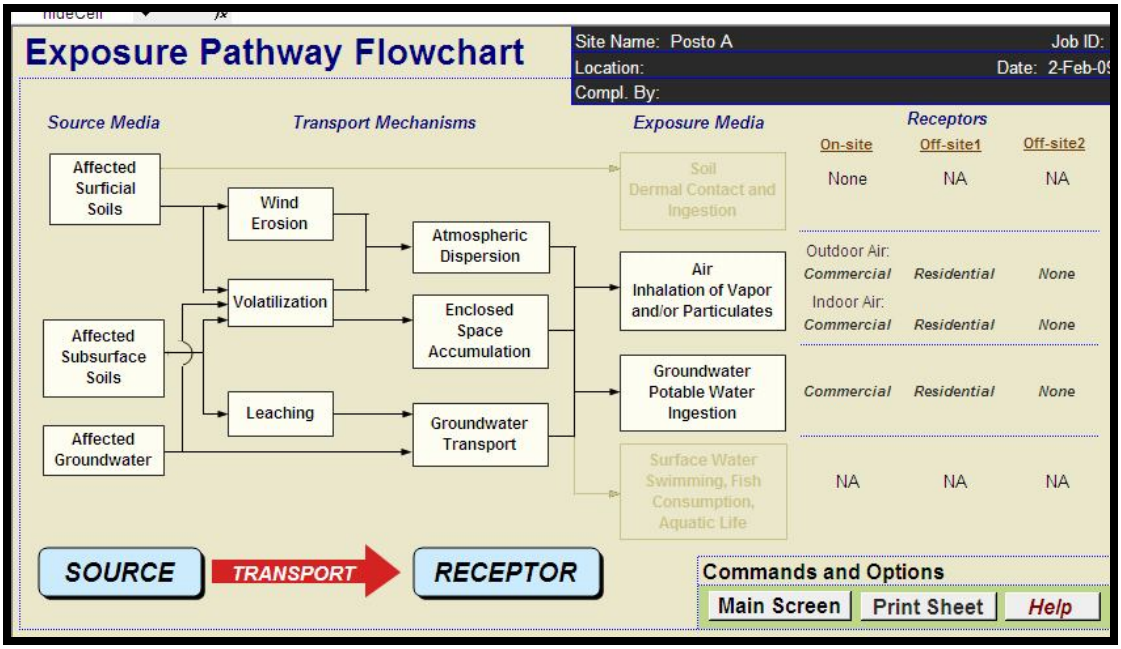


**Figura 58: Fluxograma da via de exposição considerada na simulação do cenário 4 - Posto B**

### 5.2.1.16 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4 - MODO REVERSO DE ANÁLISE

**Dos CQI analisados apenas Benzo-a-Pireno ultrapassou o SSTL aplicável para o *site* na água subterrânea. A seguir a**

Tabela 26 apresenta os SSTL obtidos para água subterrânea apenas dos CQI excedentes.

**Tabela 26- Resultado da simulação do cenário 4 –posto B- água subterrânea**

| Água subterrânea – cenário 4 | | |
|---|---|---|
| **Substancia** | **SSTL aplicável** | **SSTL excedente** |
| | **µg/L** | **µg/L** |
| Benzo-a-pireno | 2,3E-4 | 1,1E+0 |

. Os demais meios de exposição (solo superficial e sub-superficial) não apresentaram CQI acima do aplicável.

### 5.2.1.17 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4 - MODO DIRETO DE ANÁLISE

As vias de exposição completas na simulação do cenário 4 foram as vias de inalação de ar em ambientes abertos e fechados e ingestão de água subterrânea sendo que a via de exposição para inalação do ar em ambientes fechados e a de ingestão de água subterrânea excederam o limite de risco carcinogênico e via de ingestão de água subterrânea apresentou toxicidade acima do limite, porém a via de exposição mais crítica para risco carcinogênico e para o efeito tóxico foi a via de exposição.para ingestão de água subterrânea contaminada.

Neste caso recomenda-se uma intervenção imediata no local, para remediar a água subterrânea do *site,* até que retorne aos padrões de potabilidade e não ofereça risco à saúde dos receptores. A figura com o resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico para o cenário 4-posto B, encontra-se no anexo.

### 5.2.1.18- IDENTIFICAÇÃO E RESUMO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO E OS RECEPTORES CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5 – POSTO B

Nesta simulação do cenário 5 considerou o efeito cumulativo da presença de trabalhadores de obras durante uma intervenção no posto, trabalhadores comerciais (frentistas e trabalhadores comerciais) e ainda a presença da vizinhança residencial.

A Figura 59 apresenta a tela do programa com as vias de exposição completas e seus respectivos receptores considerados.

| Complete Exposure Pathways and Receptors | On-site | Off-site 1 | Off-site 2 |
|---|---|---|---|
| **Groundwater:** | | | |
| Groundwater Ingestion | Commercial | Residential | None |
| Soil Leaching to Groundwater Ingestion | Commercial | Residential | None |
| Apply Secondary MCLs | No | No | No |
| **Applicable Surface Water Exposure Routes:** | | | |
| Swimming | *NA* | *NA* | None |
| Fish Consumption | *NA* | *NA* | None |
| Aquatic Life Protection | *NA* | *NA* | None |
| **Soil:** | | | |
| Direct Contact: Ingestion, Dermal, Inhalation | Com./Constr. | *NA* | *NA* |
| Apply CLEA- UK SGV levels | | No | |
| **Outdoor Air:** | | | |
| Particulates from Surface Soils | Com./Constr. | Residential | None |
| Volatilization from Soils | Com./Constr. | Residential | None |
| Volatilization from Groundwater | Commercial | Residential | None |
| **Indoor Air:** | | | |
| Volatilization from Soils | Commercial | *NA* | *NA* |
| Volatilization from Groundwater | Commercial | Residential | None |
| Soil Leaching to Groundwater Volatilization | Commercial | Residential | None |

**Figura 59: Vias de exposição e receptores da simulação do cenário 5-posto B.**

O item a seguir apresenta-se o percurso completo da simulação do cenário 5 do posto B, demonstrada através de um fluxograma.

### 5.2.1.19- FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 5

A Figura 60 mostra a identificação das vias de exposição consideradas na simulação 5, no formato de saída do programa RBCA *Tool Kit for Chemical Releases* v2.01:

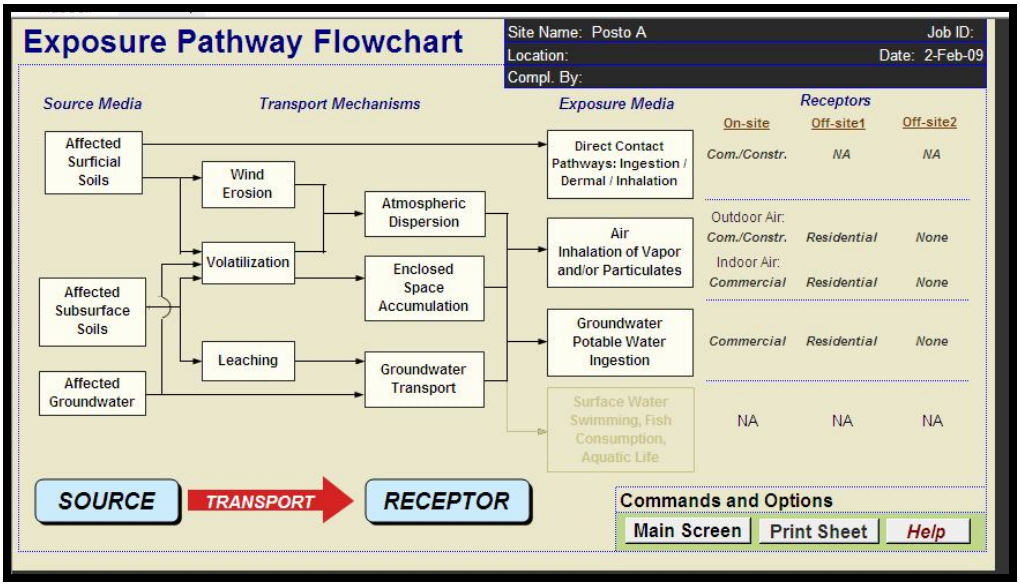


**Figura 60: Fluxograma da via de exposição considerada na simulação do cenário 5 – Posto B**

A Figura 60 mostra todas as vias que foram simuladas de uma só vez.

### 5.2.1.20 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5 - MODO REVERSO DE ANÁLISE

A seguir a Tabela 27 apresenta os resultados dos SSTL obtidos para água subterrânea apenas dos CQI excedentes.

**Tabela 27- Resultado da simulação do cenário 5 –posto B- água subterrânea**

| Água subterrânea cenário 5 | | |
|---|---|---|
| **Substancia** | **SSTL aplicável** | **SSTL excedente** |
| | **µg/L** | **µg/L** |
| Benzo-a-pireno | 2,3E-4 | 1,1E+0 |

Pode-se verificar que, assim como no estudo de caso do posto A, não houve efeito sinérgico quando as vias de exposição foram avaliadas em uma única simulação para o posto B. Apenas Benzo-a-Pireno ultrapassou o SSTL aplicável para o *site* na água subterrânea. Os demais meios de exposição (solo superficial e sub-superficial) não apresentaram CQI acima do aplicável. Destaca-se que benzo(a)pireno, ao contrário do benzeno, é um composto pouco volátil. Quando presente no solo apresenta baixa ou nenhuma mobilidade. Quando presente na água é pouco solúvel e adsorve aos sólidos suspensos e ao sedimento na coluna d'água. Os fatores de bioconcentração do benzo(a)pireno podem variar de baixos a muito altos, aumentando a preocupação quanto

a saúde humana exposta a tal composto. O benzo(a)pireno é considerado o composto mais carcinogênico dentre os PAH. Em alguns estudos de toxicidade em ratos, o benzo(a)pireno mostrou-se embriotóxico, teratogênico e causou diminuição na fertilidade (CHEMINFO, 2004).

### 5.2.1.21 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5 - MODO DIRETO DE ANÁLISE

As vias de exposição completas na simulação do cenário 5 foram as vias de inalação de ar em ambientes abertos e fechados, contato direto com solo contaminado (contato dermal, ingestão e inalação) e ingestão de água subterrânea sendo que a via de exposição para inalação do ar em ambientes fechados e a de ingestão de água subterrânea excederam o limite de risco carcinogênico e via de ingestão de água subterrânea apresentou toxicidade acima do limite, porém a via de exposição mais crítica para risco carcinogênico e para o efeito tóxico foi a via de exposição.para ingestão de água subterrânea contaminada.

Da mesma maneira que não pode ser verificada interação entre as vias de exposição quando consideradas simultaneamente em uma única simulação no modo de análise reverso e direto, não houve variação significativa na avaliação de risco, permanecendo o alerta imediato a via de exposição para água subterrânea. A figura com o resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico para o cenário 5-posto B, encontra-se no anexo.

## 6- CONCLUSÕES

Após o entendimento geral de todos os mecanismos e parâmetros envolvidos na análise desde a zona fonte da contaminação passando pelo meio de transporte até chegar aos receptores finais, a utilização do programa RBCA *Tool Kit for Chemical Releases v 2.01* nos estudos de caso, não apresentou grandes dificuldades para a realização das simulações.

Foi desenvolvido um método de abordagem para área de postos de abastecimento e revenda de combustível que possibilitou a avaliação dos cenários atuais e futuros, além de permitir a avaliação da influencia da mudança do tipo de uso do solo, Ex: posto desativado que se torna uma residência. Foi simulado um total de cinco cenários para

cada estudo de caso, que apontaram em diferentes níveis de risco carcinogênico e toxicológico para as possíveis ocupações futuras.

A versão 2.01 do programa apresentou opções adicionais de modelagem e de parâmetros permitindo avaliações mais sofisticadas e personalizadas, incluindo nível 3 (tier 3) e avaliações ecológicas. Portanto a utilização da versão 2.01 do RBCA *Tool Kit for Chemical Releases* permitiu a escolha do uso ou não de parâmetros que conferem a análise um caráter menos conservador, como por exemplo, a utilização do fator de atenuação natural. Embora o método de análise proposto nesta dissertação independente do modo de análise tenha sido o caráter mais conservador de análise. A flexibilidade e a variedade de opções de modelagem e de parâmetros fornecidos na versão 2.01 permitiram que o RBCA *Tool Kit* pudesse ser empregado fora do contexto específico da ASTM e que o processo de desenvolvimento de uma linha-base para o solo e as águas subterrâneas fosse realizado em acordo com o permitido pela regulamentação local brasileira.

Os resultados dos estudos de caso analisados permitiram concluir que o pacote computacional de análise de risco utilizado, RBCA *Toll Kit for Chemical Releases v2.01,* mostrou ser uma ferramenta adequada para alertar quanto ao risco à saúde humana e também orientar quanto à recuperação de áreas já contaminadas, ou áreas que possam ser potencialmente contaminadas, com o estabelecimento de limites de concentração dos contaminantes aceitáveis para o *site*.

A análise de risco para o posto A, que se encontra desativado, indicou que o posto pode apresentar risco a curto prazo à saúde humana devido à presença de utilidades subterrâneas nos arredores do posto e elevadas concentrações dos compostos no solo e nas águas subterrâneas, que poderiam gerar risco potencial de níveis de explosividade ou concentração de vapores nestas utilidades. A avaliação dos riscos crônicos carcinogênicos e tóxicos para o posto A, indicou que futuros receptores poderiam estar expostos a concentrações de benzeno críticas a saúde humana, através das vias de exposição por volatilização de compostos da água subterrânea em ambiente interno (receptores residenciais e comerciais) e volatilização de compostos do solo em ar interno (receptores residenciais). As ações corretivas a serem tomadas na área estarão diretamente influenciadas pelo uso futuro do local, pois a avaliação de risco dos possíveis cenários futuros apresentou alerta quanto ao risco e também quanto a toxicidade à saúde humana.

A análise de risco para o posto B do cenário atual (cenário 1) indicou a existência de risco para a via de acúmulo de vapores para ambientes fechados, ultrapassando o SSTL proposto para o composto benzeno em água subterrânea. Os valores para o solo não ultrapassaram os SSTL calculados. A análise do posto B no modo direto, indicou a existência de risco carcinogênico e tóxico à saúde humana, para a via de exposição de inalação em ambiente confinado. Estes resultados apontaram para o risco iminente do local, uma vez que a área analisada é predominantemente residencial.

Foi possível verificar com os resultados dos estudos de caso, a necessidade de se avaliar no mínimo quatro cenários possíveis de exposição para o local, nos dois modos de análise (direto e reverso), pois os resultados apontaram risco em diferentes meios e vias de exposição. A avaliação de cenários atual e futuros apresentaram resultados de alerta quanto à presença de risco carcinogênico aos potenciais receptores. Portanto, é relevante que a análise de risco para área de postos de abastecimento e revenda contemple o cenário real e os futuros, com a finalidade de assegurar a saúde e segurança da população vizinha ao empreendimento analisado e principalmente para prever o risco quanto à possibilidade da modificação do uso do solo.

Os estudos de casos analisados mostraram que, de acordo com as condições de analise consideradas nesta dissertação, não há necessidade de simular todos os cenários em uma única simulação, pois não se identificou a interação entre estes cenários avaliados que modificasse a ordem de grandeza dos SSTL calculados e as vias de exposição critica para cada estudo.

Com intuito de padronizar a forma de apresentação e execução da análise de risco na atividade de postos de abastecimento na cidade do Rio de Janeiro, visando o auxílio ao processo de Licenciamento Ambiental desta atividade, este trabalho apontou os aspectos relevantes que devem ser contemplados na análise de risco à saúde humana em postos de combustíveis, tais como:

- Simulação de cenários atual e futuros, de acordo com a vizinhança;
- Simulação individuais para cada cenário;
- Simulação nos modos de análise (direto e reverso);
- Identificação das vias de exposição completas para cada analise no modo direto;

- Identificação dos modelos matemáticos e de transporte utilizados para cada cenário com a devida justificativa;

De acordo com os aspectos envolvidos nesta dissertação pode-se concluir que a análise de risco mostrou-se ser um instrumento importante para o gerenciamento de risco, possibilitando uma visão abrangente do destino e do efeito do contaminante, possibilitando a escolha adequada do processo de remediação que vise à proteção à saúde humana e a todos os organismos presentes no ecossistema que contribuem para o equilíbrio do meio ambiente.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

ABAS (Associação Brasileira de águas Subterrâneas) Disponível em: http://abas.org.br/index.php?PG=aguas_subterraneas&SPG=aguas_subterraneas_as
Acesso em fevereiro de 2009.

ASTM, Norma ASTM–E–17–38, *Emergency Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Sites,* Philadelphia, 07/1994.

ASTM, Norma ASTM–E–1739–65, *Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Sites*, Philadelphia, 1995.

ASTM, *RBCA Fate and Transport Models: Compendium and Selection Guidance*,1998.

ASTM, *Standard Guidelines for Risk-Based Corrective Action at Petroleum Release Sites.* Designação ASTM: E 1739-95, 2002.

ASTM, *Guide for Risk-Based Corrective Action at Chemical Release Sites.* Designação ASTM: 204-01, 2001 *apud* CETESB, Decisão de Diretoria nº 010-2006-C (ANEXO VII: *Ações Corretivas Baseadas em Risco (ACBR) aplicadas a áreas contaminadas com hidrocarbonetos derivados de petróleo e outros combustíveis líquidos – procedimentos*), São Paulo, SP, 2006a.

CASARINI, D. C. P., "Padrões de Qualidade de Solos e Águas Subterrâneas, Anais Workshop sobre biodegradação", pp. 21 – 38, EMBRAPA, Campinas, SP, Brasil, 14 a 16/10/1996.

CETESB, Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas, 2001.

CETESB, Manual de Gerenciamento de áreas contaminadas. Coleta de amostras de água, 2001. 2 volumes, capítulo VI, SEÇÕES 6300 e 6400.

CNPq, Edital MCT/CNPq/MS-SCTIE-DECIT nº 024/2006: "Seleção pública de propostas para apoio às atividades de pesquisa direcionadas a estudos em populações expostas à contaminação ambiental", 2006.

CONCAWE – CONSERVATION OF CLEAN AIR AND WATER IN EUROPE – Oil Companies European Association. Oil Industry Guideline for Risk-Based Assessment of Contaminated Sites (revised). Brussels: Report no. 3/03, 2003, 96 p. Disponível em: http://www.concawe.org/Content/Default.aspID=31

CONNOR, J. A.; BOWERS, R. L.; PAQUETTE, S. M.; NEWELL, C.J. Soil Attenuation Model for Derivations os Risk-Based Soil Remediation Standards. Houston, Texas: Groundwater Services, Inc 1997. Disponível em: <http://www.gsi-net.com/publications/papers2.asp>

DOMENICO, P. A., "An Analytical Model for Multidimensional Transport of Decaying Contaminant Species", In: *Journal of Hydrology* , v. 91, pp. 49 - 58,1987.

FEEMA, DZ-1841.R-2 – Diretriz para o licenciamento ambiental e para a autorização do encerramento de postos de serviços, que disponham de sistemas de acondicionamento ou armazenamento de combustíveis, graxas, lubrificantes e seus respectivos resíduos, 2004.

FEEMA, NT-213.R-4 – Critérios e padrões para controle da toxicidade em efluentes líquidos industriais, 1990.

FETTER, C.W., *Contaminant Hydrogeology,* 2.ed., New Jersey, Prentice Hall, 1999, 500pg.

GROUNDWATER SERVICES INC. Guidance Manual for RBCA toll Kit for Chemical Releases. Houston-Texas, 2007.

GOUVEIA, J.L.N. Atuação de equipes de atendimento emergencial em vazamentos de combustíveis em postos e sistemas retalhistas. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública/USP (Universidade de São Paulo), São Paulo, 2004.

GUIMARÃES, C.H.D. *Avaliação de Risco Ambiental de Sítios Contaminados por Hidrocarbonetos de Petróleo.* Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, 2003.

IRIS – INTEGRADED RISK INFORMATION SYSTEM. Banco de dados toxicoloógicos da USEPA. Disponível em: <http://www.epa.gov/iris/>

SILVA, M. A. B. Sistema de classificação fuzzy para áreas contaminadas, Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, 2005.

SILVA, R. L. B. Contaminação de poços rasos no bairro Brisamar, Itaguaí, RJ, por derramamento de gasolina: concentração de BTEX e avaliação da qualidade da água consumida pela população. Tese (Doutorado em Ciências na área de Saúde Pública) –

Departamento de Saneamento Ambiental/Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2002.

MATTOS, I. L., et al., Peróxido de Hidrogênio: importância e determinação, Quim. Nova, Vol. 26, N 3, pp. 373-380, 2003.

NOGUEIRA, R.F.P., et al., Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e Foto-Fenton, Quim. Nova, Vol. 30, n 2, pp 400-408, 2007.

PREVEDELLO, C. L., *Física do solo com problemas resolvidos*. Curitiba, 1996 *apud* BAPTISTA, S. J. *Seleção das melhores condições de biodegradação de petróleo em solo argiloso*. Dissertação (Mestrado) – EQ/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

# ANEXOS

## SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1 – POSTO A:

| Exposure Parameters | | Residential | | | | Commercial/Industrial | | User Defined |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Child* | Adolescent | Adult | Age Adjusted** | Adult | Construction | |
| ATc | Averaging time for carcinogens (yr) | 70 | 70 | 70 | | | | - |
| ATn | Averaging time for non-carcinogens (yr) | 0 | 0 | 30 | | 25 | 1 | - |
| BW | Body weight (kg) | 15 | 35 | 70 | | 70 | 70 | - |
| ED | Exposure duration (yr) | 6 | 16 | 30 | | 25 | 1 | - |
| τ | Averaging time for vapor flux (yr) | 45 | 45 | 45 | | 45 | 1 | - |
| EF | Exposure frequency (days/yr) | 350 | 350 | 350 | | 250 | 120 | - |
| EFD | Exposure frequency for dermal exposure | 350 | 350 | 350 | | 250 | 0 | - |
| IRw | Ingestion rate of water (L/day) | 0 | 0 | 2 | NS | 1 | | - |
| IRs | Ingestion rate of soil (mg/day) | 200 | 0 | 100 | 213 | 50 | 100 | - |
| SA | Skin surface area (dermal) (cm^2) | 2023 | 2023 | 3160 | 843 | 3160 | 3160 | - |
| M | Soil to skin adherence factor | 0 | 0 | 1 | | | | - |
| ETswim | Swimming exposure time (hr/event) | 0 | 0 | 3 | | | | |
| EVswim | Swimming event frequency (events/yr) | 12 | 12 | 12 | | | | |
| IRswim | Water ingestion while swimming (L/hr) | 0,5 | 0 | 0,05 | 0,2 | | | |
| SAswim | Skin surface area for swimming (cm^2) | 0 | 8100 | 23000 | 14773 | | | |
| IRfish | Ingestion rate of fish (kg/yr) | 0 | 0 | 0,025 | NS | | | |
| FIfish | Contaminated fish fraction (unitless) | 1 | 1 | 1 | | | | |
| IRbg | Below-ground vegetable ingestion | 0,002 | 0,002 | 0,006 | NS | | | |
| IRabg | Above-ground vegetable ingestion | 0,001 | 0,001 | 0,002 | NS | | | |
| VGbg | Above-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | | |
| VGabg | Below-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | | |

| Modeling Options | |
|---|---|
| RBCA tier | Tier 2 |
| Outdoor air volatilization model | Surface & Subsurface Models: ASTM Model |
| Indoor air volatilization model | Mass Flux/Johnson & Ettinger model |
| Soil leaching model | ASTM leaching model |
| Use soil attenuation model (SAM) for leachate? | No |
| Use dual equilibrium desorption model? | No |
| Apply Mass Balance Limit for Soil Volatilization? | No |
| Apply UK (CLEA) SGV as soil concentration limit | No |
| Vegetable calculation options | NA |
| Air dilution factor | 3-D Gaussian dispersion |

## Resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico - simulação do cenário 1 – Posto A

| TIER 2 BASELINE RISK SUMMARY TABLE | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | BASELINE CARCINOGENIC RISK | | | | | BASELINE TOXIC EFFECTS | | | | |
| | Individual COC Risk | | Cumulative COC Risk | | Risk | Hazard Quotient | | Hazard Index | | Toxicity |
| EXPOSURE PATHWAY | Maximum Value | Target Risk | Total Value | Target Risk | Limit(s) Exceeded? | Maximum Value | Applicable Limit | Total Value | Applicable Limit | Limit(s) Exceeded? |
| *OUTDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 5,2E-8 | 1,0E-5 | 5,3E-8 | 1,0E-5 | ☐ | 4,4E-2 | 1,0E+0 | 5,2E-2 | 1,0E+0 | ☐ |
| *INDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 2,7E-4 | 1,0E-5 | 2,7E-4 | 1,0E-5 | ■ | 4,1E+1 | 1,0E+0 | 4,6E+1 | 1,0E+0 | ■ |
| *SOIL EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| *GROUNDWATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| *SURFACE WATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| CRITICAL EXPOSURE PATHWAY (Maximum Values From Complete Pathways) | | | | | | | | | | |
| | ***2,7E-4*** | ***1,0E-5*** | ***2,7E-4*** | ***1,0E-5*** | ■ | ***4,1E+1*** | ***1,0E+0*** | ***4,6E+1*** | ***1,0E+0*** | ■ |
| | ***Indoor Air*** | | ***Indoor Air*** | | | ***Indoor Air*** | | ***Indoor Air*** | | |

## SIMULAÇÀO DO CENÁRIO 2 – POSTO A:

| Exposure Parameters | | Residential | | | | Commercial/Industrial | | User Defined |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Child* | Adolescent | Adult | Age Adjusted** | Adult | Construction | |
| ATc | Averaging time for carcinogens (yr) | 70 | 70 | 70 | | | | - |
| ATn | Averaging time for non-carcinogens (yr) | 0 | 0 | 30 | | 25 | 1 | - |
| BW | Body weight (kg) | 15 | 35 | 70 | | 70 | 70 | - |
| ED | Exposure duration (yr) | 6 | 16 | 30 | | 25 | 1 | - |
| τ | Averaging time for vapor flux (yr) | 45 | 45 | 45 | | 45 | 1 | - |
| EF | Exposure frequency (days/yr) | 350 | 350 | 350 | | 250 | 120 | - |
| EFD | Exposure frequency for dermal exposure | 350 | 350 | 350 | | 250 | 0 | - |
| IRw | Ingestion rate of water (L/day) | 2 | 2 | 2 | NS | 1 | | - |
| IRs | Ingestion rate of soil (mg/day) | 200 | 0 | 100 | NS | 50 | 100 | - |
| SA | Skin surface area (dermal) (cm^2) | 0 | 2023 | 5800 | NS | 5800 | 5800 | - |
| M | Soil to skin adherence factor | 1 | 1 | 1 | | | | - |
| ETswim | Swimming exposure time (hr/event) | 0 | 0 | 3 | | | | |
| EVswim | Swimming event frequency (events/yr) | 12 | 12 | 12 | | | | |
| IRswim | Water ingestion while swimming (L/hr) | 0.5 | 0 | 0.05 | NS | | | |
| SAswim | Skin surface area for swimming (cm^2) | 0 | 8100 | 23000 | NS | | | |
| IRfish | Ingestion rate of fish (kg/yr) | 0.025 | 0.025 | 0.025 | NS | | | |
| Flfish | Contaminated fish fraction (unitless) | 1 | 1 | 1 | | | | |
| IRbg | Below-ground vegetable ingestion | 0.002 | 0.002 | 0.006 | NS | | | |
| IRabg | Above-ground vegetable ingestion | 0.001 | 0.001 | 0.002 | NS | | | |
| VGbg | Above-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0.01 | 0.01 | 0.01 | | | | |
| VGabg | Below-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0.01 | 0.01 | 0.01 | | | | |

| Modeling Options | |
|---|---|
| RBCA tier | Tier 2 |
| Outdoor air volatilization model | Surface & Subsurface Models: ASTM Model |
| Indoor air volatilization model | NA |
| Soil leaching model | NA |
| Use soil attenuation model (SAM) for leachate? | NA |
| Use dual equilibrium desorption model? | No |
| Apply Mass Balance Limit for Soil Volatilization? | No |
| Apply UK (CLEA) SGV as soil concentration limit | No |
| Vegetable calculation options | NA |
| Air dilution factor | NA |

## Resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico - simulação do cenário 2 – Posto A

**TIER 2 BASELINE RISK SUMMARY TABLE**

| | BASELINE CARCINOGENIC RISK | | | | | BASELINE TOXIC EFFECTS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Individual COC Risk | | Cumulative COC Risk | | Risk | Hazard Quotient | | Hazard Index | | Toxicity |
| EXPOSURE PATHWAY | Maximum Value | Target Risk | Total Value | Target Risk | Limit(s) Exceeded? | Maximum Value | Applicable Limit | Total Value | Applicable Limit | Limit(s) Exceeded? |
| *OUTDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 4,5E-8 | 1,0E-5 | 4,6E-8 | 1,0E-5 | ☐ | 4,9E-1 | 1,0E+0 | 5,3E-1 | 1,0E+0 | ☐ |
| *INDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| *SOIL EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 2,1E-6 | 1,0E-5 | 4,8E-6 | 1,0E-5 | ☐ | 1,9E-3 | 1,0E+0 | 4,4E-3 | 1,0E+0 | ☐ |
| *GROUNDWATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| *SURFACE WATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| CRITICAL EXPOSURE PATHWAY (Maximum Values From Complete Pathways) | | | | | | | | | | |
| | ***2,1E-6*** | ***1,0E-5*** | ***4,8E-6*** | ***1,0E-5*** | ☐ | ***4,9E-1*** | ***1,0E+0*** | ***5,3E-1*** | ***1,0E+0*** | ☐ |
| | ***Soil*** | | ***Soil*** | | | ***Outdoor Air*** | | ***Outdoor Air*** | | |

## SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3 – POSTO A:

| Exposure Parameters | | Residential | | | | Commercial/Industrial | | User Defined |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Child* | Adolescent | Adult | Age Adjusted** | Adult | Construction | |
| ATc | Averaging time for carcinogens (yr) | 70 | 70 | 70 | | | | - |
| ATn | Averaging time for non-carcinogens (yr) | 0 | 0 | 30 | | 25 | 1 | - |
| BW | Body weight (kg) | 15 | 35 | 70 | | 70 | 70 | - |
| ED | Exposure duration (yr) | 6 | 16 | 30 | | 25 | 1 | - |
| τ | Averaging time for vapor flux (yr) | 45 | 45 | 45 | | 45 | 1 | - |
| EF | Exposure frequency (days/yr) | 350 | 350 | 350 | | 250 | 120 | - |
| EFD | Exposure frequency for dermal exposure | 350 | 350 | 350 | | 250 | 0 | - |
| IRw | Ingestion rate of water (L/day) | 2 | 2 | 2 | NS | 1 | | - |
| IRs | Ingestion rate of soil (mg/day) | 200 | 0 | 100 | NS | 50 | 100 | - |
| SA | Skin surface area (dermal) (cm^2) | 0 | 2023 | 5800 | NS | 5800 | 5800 | - |
| M | Soil to skin adherence factor | 1 | 1 | 1 | | | | - |
| ETswim | Swimming exposure time (hr/event) | 0 | 0 | 3 | | | | |
| EVswim | Swimming event frequency (events/yr) | 12 | 12 | 12 | | | | |
| IRswim | Water ingestion while swimming (L/hr) | 0,5 | 0 | 0,05 | NS | | | |
| SAswim | Skin surface area for swimming (cm^2) | 0 | 8100 | 23000 | NS | | | |
| IRfish | Ingestion rate of fish (kg/yr) | 0,025 | 0,025 | 0,025 | NS | | | |
| Flfish | Contaminated fish fraction (unitless) | 1 | 1 | 1 | | | | |
| IRbg | Below-ground vegetable ingestion | 0,002 | 0,002 | 0,006 | NS | | | |
| IRabg | Above-ground vegetable ingestion | 0,001 | 0,001 | 0,002 | NS | | | |
| VGbg | Above-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | | |
| VGabg | Below-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | | |

| Modeling Options | |
|---|---|
| RBCA tier | Tier 2 |
| Outdoor air volatilization model | Surface & Subsurface Models: ASTM Model |
| Indoor air volatilization model | Mass Flux/Johnson & Ettinger model |
| Soil leaching model | NA |
| Use soil attenuation model (SAM) for leachate? | NA |
| Use dual equilibrium desorption model? | No |
| Apply Mass Balance Limit for Soil Volatilization? | No |
| Apply UK (CLEA) SGV as soil concentration limit | No |
| Vegetable calculation options | NA |
| Air dilution factor | NA |

## Resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico - simulação do cenário 3 – Posto A

**TIER 2 BASELINE RISK SUMMARY TABLE**

| EXPOSURE PATHWAY | BASELINE CARCINOGENIC RISK | | | | | BASELINE TOXIC EFFECTS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Individual COC Risk | | Cumulative COC Risk | | Risk Limit(s) Exceeded? | Hazard Quotient | | Hazard Index | | Toxicity Limit(s) Exceeded? |
| | Maximum Value | Target Risk | Total Value | Target Risk | | Maximum Value | Applicable Limit | Total Value | Applicable Limit | |
| *OUTDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 4,5E-8 | 1,0E-5 | 4,6E-8 | 1,0E-5 | ☐ | 4,5E-2 | 1,0E+0 | 5,4E-2 | 1,0E+0 | ☐ |
| *INDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 9,8E-5 | 1,0E-5 | 9,9E-5 | 1,0E-5 | ■ | 1,6E+0 | 1,0E+0 | 2,1E+0 | 1,0E+0 | ■ |
| *SOIL EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| *GROUNDWATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| *SURFACE WATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| CRITICAL EXPOSURE PATHWAY (Maximum Values From Complete Pathways) | | | | | | | | | | |
| | ***9,8E-5*** | ***1,0E-5*** | ***9,9E-5*** | ***1,0E-5*** | ■ | ***1,6E+0*** | ***1,0E+0*** | ***2,1E+0*** | ***1,0E+0*** | ■ |
| | ***Indoor Air*** | | ***Indoor Air*** | | | ***Indoor Air*** | | ***Indoor Air*** | | |

## SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4-POSTO A:

| Exposure Parameters | | Residential | | | | Commercial/Industrial | | User Defined |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Child* | Adolescent | Adult | Age Adjusted** | Adult | Construction | |
| ATc | Averaging time for carcinogens (yr) | 70 | 70 | 70 | | | | - |
| ATn | Averaging time for non-carcinogens (yr) | 0 | 0 | 30 | | 25 | 1 | - |
| BW | Body weight (kg) | 15 | 35 | 70 | | 70 | 70 | - |
| ED | Exposure duration (yr) | 6 | 16 | 30 | | 25 | 1 | - |
| τ | Averaging time for vapor flux (yr) | 45 | 45 | 45 | | 45 | 1 | - |
| EF | Exposure frequency (days/yr) | 350 | 350 | 350 | | 250 | 120 | - |
| EFD | Exposure frequency for dermal exposure | 350 | 350 | 350 | | 250 | 0 | - |
| IRw | Ingestion rate of water (L/day) | 2 | 2 | 2 | NS | 1 | | - |
| IRs | Ingestion rate of soil (mg/day) | 200 | 0 | 100 | 213 | 50 | 100 | - |
| SA | Skin surface area (dermal) (cm^2) | 0 | 2023 | 5800 | 3705 | 5800 | 5800 | - |
| M | Soil to skin adherence factor | 1 | 1 | 1 | | | | - |
| ETswim | Swimming exposure time (hr/event) | 0 | 0 | 3 | | | | |
| EVswim | Swimming event frequency (events/yr) | 12 | 12 | 12 | | | | |
| IRswim | Water ingestion while swimming (L/hr) | 0.5 | 0 | 0.05 | 0.2 | | | |
| SAswim | Skin surface area for swimming (cm^2) | 0 | 8100 | 23000 | 14773 | | | |
| IRfish | Ingestion rate of fish (kg/yr) | 0.025 | 0.025 | 0.025 | NS | | | |
| Flfish | Contaminated fish fraction (unitless) | 1 | 1 | 1 | | | | |
| IRbg | Below-ground vegetable ingestion | 0.002 | 0.002 | 0.006 | NS | | | |
| IRabg | Above-ground vegetable ingestion | 0.001 | 0.001 | 0.002 | NS | | | |
| VGbg | Above-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0.01 | 0.01 | 0.01 | | | | |
| VGabg | Below-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0.01 | 0.01 | 0.01 | | | | |

| Modeling Options | |
|---|---|
| RBCA tier | Tier 2 |
| Outdoor air volatilization model | Surface & Subsurface Models: ASTM Model |
| Indoor air volatilization model | Mass Flux/Johnson & Ettinger model |
| Soil leaching model | NA |
| Use soil attenuation model (SAM) for leachate? | NA |
| Use dual equilibrium desorption model? | No |
| Apply Mass Balance Limit for Soil Volatilization? | No |
| Apply UK (CLEA) SGV as soil concentration limit | No |
| Vegetable calculation options | NA |
| Air dilution factor | NA |
| Groundwater dilution-attenuation factor | Domenico model w/ biodeg. |

## Resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico - simulação do cenário 4 – Posto A

**TIER 2 BASELINE RISK SUMMARY TABLE**

| EXPOSURE PATHWAY | BASELINE CARCINOGENIC RISK: Individual COC Risk Maximum Value | Individual COC Risk Target Risk | Cumulative COC Risk Total Value | Cumulative COC Risk Target Risk | Risk Limit(s) Exceeded? | BASELINE TOXIC EFFECTS: Hazard Quotient Maximum Value | Hazard Quotient Applicable Limit | Hazard Index Total Value | Hazard Index Applicable Limit | Toxicity Limit(s) Exceeded? |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *OUTDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| Complete: | 7,5E-8 | 1,0E-5 | 7,6E-8 | 1,0E-5 | ☐ | 6,3E-2 | 1,0E+0 | 7,6E-2 | 1,0E+0 | ☐ |
| *INDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| Complete: | 2,7E-4 | 1,0E-5 | 2,7E-4 | 1,0E-5 | ■ | 4,2E+0 | 1,0E+0 | 5,4E+0 | 1,0E+0 | ■ |
| *SOIL EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| Complete: | 2,9E-6 | 1,0E-5 | 7,0E-6 | 1,0E-5 | ☐ | NC | 1,0E+0 | NC | 1,0E+0 | ☐ |
| *GROUNDWATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| Complete: | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| *SURFACE WATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| Complete: | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| CRITICAL EXPOSURE PATHWAY (Maximum Values From Complete Pathways) | | | | | | | | | | |
| | *2,7E-4* | *1,0E-5* | *2,7E-4* | *1,0E-5* | ■ | *4,2E+0* | *1,0E+0* | *5,4E+0* | *1,0E+0* | ■ |
| | *Indoor Air* | | *Indoor Air* | | | *Indoor Air* | | *Indoor Air* | | |

## SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5- POSTO A:

| Exposure Parameters | | Residential | | | | Commercial/Industrial | | User Defined |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Child* | Adolescent | Adult | Age Adjusted** | Adult | Construction | |
| ATc | Averaging time for carcinogens (yr) | 70 | 70 | 70 | | | | - |
| ATn | Averaging time for non-carcinogens (yr) | 0 | 0 | 30 | | 25 | 1 | - |
| BW | Body weight (kg) | 15 | 35 | 70 | | 70 | 70 | - |
| ED | Exposure duration (yr) | 6 | 16 | 30 | | 25 | 1 | - |
| τ | Averaging time for vapor flux (yr) | 45 | 45 | 45 | | 45 | 1 | - |
| EF | Exposure frequency (days/yr) | 350 | 350 | 350 | | 250 | 120 | - |
| EFD | Exposure frequency for dermal exposure | 350 | 350 | 350 | | 250 | 0 | - |
| IRw | Ingestion rate of water (L/day) | 0 | 0 | 2 | NS | 1 | | - |
| IRs | Ingestion rate of soil (mg/day) | 200 | 0 | 100 | 213 | 50 | 100 | - |
| SA | Skin surface area (dermal) (cm^2) | 2023 | 2023 | 3160 | 843 | 3160 | 3160 | - |
| M | Soil to skin adherence factor | 0 | 0 | 1 | | | | - |
| ETswim | Swimming exposure time (hr/event) | 0 | 0 | 3 | | | | |
| EVswim | Swimming event frequency (events/yr) | 12 | 12 | 12 | | | | |
| IRswim | Water ingestion while swimming (L/hr) | 0,5 | 0 | 0,05 | 0,2 | | | |
| SAswim | Skin surface area for swimming (cm^2) | 0 | 8100 | 23000 | 14773 | | | |
| IRfish | Ingestion rate of fish (kg/yr) | 0 | 0 | 0,025 | NS | | | |
| FIfish | Contaminated fish fraction (unitless) | 1 | 1 | 1 | | | | |
| IRbg | Below-ground vegetable ingestion | 0,002 | 0,002 | 0,006 | NS | | | |
| IRabg | Above-ground vegetable ingestion | 0,001 | 0,001 | 0,002 | NS | | | |
| VGbg | Above-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | | |
| VGabg | Below-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | | |

| Modeling Options | |
|---|---|
| RBCA tier | Tier 2 |
| Outdoor air volatilization model | Surface & Subsurface Models: ASTM Model |
| Indoor air volatilization model | Mass Flux/Johnson & Ettinger model |
| Soil leaching model | ASTM leaching model |
| Use soil attenuation model (SAM) for leachate? | No |
| Use dual equilibrium desorption model? | No |
| Apply Mass Balance Limit for Soil Volatilization? | No |
| Apply UK (CLEA) SGV as soil concentration limit | No |
| Vegetable calculation options | NA |
| Air dilution factor | 3-D Gaussian dispersion |

## Resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico - simulação do cenário 5 – Posto A

**TIER 2 BASELINE RISK SUMMARY TABLE**

| EXPOSURE PATHWAY | BASELINE CARCINOGENIC RISK | | | | | BASELINE TOXIC EFFECTS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Individual COC Risk | | Cumulative COC Risk | | Risk Limit(s) Exceeded? | Hazard Quotient | | Hazard Index | | Toxicity Limit(s) Exceeded? |
| | Maximum Value | Target Risk | Total Value | Target Risk | | Maximum Value | Applicable Limit | Total Value | Applicable Limit | |
| *OUTDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 5,2E-8 | 1,0E-5 | 5,3E-8 | 1,0E-5 | ☐ | 3,4E-1 | 1,0E+0 | 3,7E-1 | 1,0E+0 | ☐ |
| *INDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 2,7E-4 | 1,0E-5 | 2,7E-4 | 1,0E-5 | ■ | 4,1E+1 | 1,0E+0 | 4,6E+1 | 1,0E+0 | ■ |
| *SOIL EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 1,3E-6 | 1,0E-5 | 3,3E-6 | 1,0E-5 | ☐ | 6,3E-4 | 1,0E+0 | 1,9E-3 | 1,0E+0 | ☐ |
| *GROUNDWATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| *SURFACE WATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| CRITICAL EXPOSURE PATHWAY (Maximum Values From Complete Pathways) | | | | | | | | | | |
| | ***2,7E-4*** | ***1,0E-5*** | ***2,7E-4*** | ***1,0E-5*** | ■ | ***4,1E+1*** | ***1,0E+0*** | ***4,6E+1*** | ***1,0E+0*** | ■ |
| | ***Indoor Air*** | | ***Indoor Air*** | | | ***Indoor Air*** | | ***Indoor Air*** | | |

## SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1-POSTO B:

| Exposure Parameters | | Residential | | | | Commercial/Industrial | | User Defined |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Child* | Adolescent | Adult | Age Adjusted** | Adult | Construction | |
| ATc | Averaging time for carcinogens (yr) | 64 | 64 | 64 | | | | - |
| ATn | Averaging time for non-carcinogens (yr) | 0 | 0 | 35 | | 35 | 1 | - |
| BW | Body weight (kg) | 15 | 35 | 68 | | 68 | 0 | - |
| ED | Exposure duration (yr) | 6 | 16 | 35 | | 35 | 1 | - |
| τ | Averaging time for vapor flux (yr) | 35 | 35 | 35 | | 35 | 1 | - |
| EF | Exposure frequency (days/yr) | 350 | 350 | 350 | | 270 | 180 | - |
| EFD | Exposure frequency for dermal exposure | 350 | 350 | 350 | | 270 | 0 | - |
| IRw | Ingestion rate of water (L/day) | 0 | 0 | 2 | 0,7 | 1 | | - |
| IRs | Ingestion rate of soil (mg/day) | 200 | 0 | 100 | 193 | 100 | 100 | - |
| SA | Skin surface area (dermal) (cm^2) | 2023 | 2023 | 3160 | 1174 | 3160 | 3160 | - |
| M | Soil to skin adherence factor | 0 | 0 | 0,5 | | | | - |
| ETswim | Swimming exposure time (hr/event) | 0 | 0 | 3 | | | | |
| EVswim | Swimming event frequency (events/yr) | 12 | 12 | 12 | | | | |
| IRswim | Water ingestion while swimming (L/hr) | 0,5 | 0 | 0,05 | 0,1 | | | |
| SAswim | Skin surface area for swimming (cm^2) | 0 | 9500 | 16600 | 14603 | | | |
| IRfish | Ingestion rate of fish (kg/yr) | 0 | 0 | 0,025 | 0,009 | | | |
| Flfish | Contaminated fish fraction (unitless) | 1 | 1 | 1 | | | | |
| IRbg | Below-ground vegetable ingestion | 0,002 | 0,002 | 0,006 | 1,946 | | | |
| IRabg | Above-ground vegetable ingestion | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,843 | | | |
| VGbg | Above-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | | |
| VGabg | Below-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | | |

| Modeling Options | |
|---|---|
| RBCA tier | Tier 2 |
| Outdoor air volatilization model | Surface & Subsurface Models: ASTM Model |
| Indoor air volatilization model | Mass Flux/Johnson & Ettinger model |
| Soil leaching model | ASTM leaching model |
| Use soil attenuation model (SAM) for leachate? | Yes |
| Use dual equilibrium desorption model? | No |
| Apply Mass Balance Limit for Soil Volatilization? | No |
| Apply UK (CLEA) SGV as soil concentration limit | No |
| Vegetable calculation options | NA |
| Air dilution factor | NA |

## Resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico - simulação do cenário 1 – posto B

**TIER 2 BASELINE RISK SUMMARY TABLE**

| EXPOSURE PATHWAY | BASELINE CARCINOGENIC RISK | | | | | BASELINE TOXIC EFFECTS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Individual COC Risk | | Cumulative COC Risk | | Risk Limit(s) Exceeded? | Hazard Quotient | | Hazard Index | | Toxicity Limit(s) Exceeded? |
| | Maximum Value | Target Risk | Total Value | Target Risk | | Maximum Value | Applicable Limit | Total Value | Applicable Limit | |
| *OUTDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 5,1E-8 | 1,0E-5 | 5,1E-8 | 1,0E-5 | ☐ | 6,8E-4 | 1,0E+0 | 1,5E-3 | 1,0E+0 | ☐ |
| *INDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 1,7E-5 | 1,0E-5 | 1,8E-5 | 1,0E-5 | ■ | 8,0E-1 | 1,0E+0 | 1,1E+0 | 1,0E+0 | ■ |
| *SOIL EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | NC | 1,0E-5 | NC | 1,0E-5 | ☐ | NC | 1,0E+0 | NC | 1,0E+0 | ☐ |
| *GROUNDWATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| *SURFACE WATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| CRITICAL EXPOSURE PATHWAY (Maximum Values From Complete Pathways) | | | | | | | | | | |
| | ***1,7E-5*** | ***1,0E-5*** | ***1,8E-5*** | ***1,0E-5*** | ■ | ***8,0E-1*** | ***1,0E+0*** | ***1,1E+0*** | ***1,0E+0*** | ■ |
| | ***Indoor Air*** | | ***Indoor Air*** | | | ***Indoor Air*** | | ***Indoor Air*** | | |

## SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2 – POSTO B:

| Exposure Parameters | | Residential | | | | Commercial/Industrial | | User Defined |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Child* | Adolescent | Adult | Age Adjusted** | Adult | Construction | |
| ATc | Averaging time for carcinogens (yr) | 64 | 64 | 64 | | | | - |
| ATn | Averaging time for non-carcinogens (yr) | 0 | 0 | 35 | | 35 | 1 | - |
| BW | Body weight (kg) | 15 | 35 | 68 | | 68 | 0 | - |
| ED | Exposure duration (yr) | 6 | 16 | 35 | | 35 | 1 | - |
| τ | Averaging time for vapor flux (yr) | 35 | 35 | 35 | | 35 | 1 | - |
| EF | Exposure frequency (days/yr) | 350 | 350 | 350 | | 270 | 180 | - |
| EFD | Exposure frequency for dermal exposure | 350 | 350 | 350 | | 270 | 0 | - |
| IRw | Ingestion rate of water (L/day) | 0 | 0 | 2 | 0,7 | 1 | | - |
| IRs | Ingestion rate of soil (mg/day) | 200 | 0 | 100 | 193 | 100 | 100 | - |
| SA | Skin surface area (dermal) (cm^2) | 2023 | 2023 | 3160 | 1174 | 3160 | 3160 | - |
| M | Soil to skin adherence factor | 0 | 0 | 0,5 | | | | - |
| ETswim | Swimming exposure time (hr/event) | 0 | 0 | 3 | | | | |
| EVswim | Swimming event frequency (events/yr) | 12 | 12 | 12 | | | | |
| IRswim | Water ingestion while swimming (L/hr) | 0,5 | 0 | 0,05 | 0,1 | | | |
| SAswim | Skin surface area for swimming (cm^2) | 0 | 9500 | 16600 | 14603 | | | |
| IRfish | Ingestion rate of fish (kg/yr) | 0 | 0 | 0,025 | 0,009 | | | |
| Flfish | Contaminated fish fraction (unitless) | 1 | 1 | 1 | | | | |
| IRbg | Below-ground vegetable ingestion | 0,002 | 0,002 | 0,006 | 1,946 | | | |
| IRabg | Above-ground vegetable ingestion | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,843 | | | |
| VGbg | Above-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | | |
| VGabg | Below-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | | |

| Modeling Options | |
|---|---|
| RBCA tier | Tier 2 |
| Outdoor air volatilization model | Surface & Subsurface Models: ASTM Model |
| Indoor air volatilization model | Mass Flux/Johnson & Ettinger model |
| Soil leaching model | ASTM leaching model |
| Use soil attenuation model (SAM) for leachate? | Yes |
| Use dual equilibrium desorption model? | No |
| Apply Mass Balance Limit for Soil Volatilization? | No |
| Apply UK (CLEA) SGV as soil concentration limit | No |
| Vegetable calculation options | NA |
| Air dilution factor | NA |

## Resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico - simulação do cenário 2 – posto B

| TIER 2 BASELINE RISK SUMMARY TABLE | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | BASELINE CARCINOGENIC RISK | | | | | BASELINE TOXIC EFFECTS | | | | |
| | Individual COC Risk | | Cumulative COC Risk | | Risk | Hazard Quotient | | Hazard Index | | Toxicity |
| EXPOSURE PATHWAY | Maximum Value | Target Risk | Total Value | Target Risk | Limit(s) Exceeded? | Maximum Value | Applicable Limit | Total Value | Applicable Limit | Limit(s) Exceeded? |
| *OUTDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 5,1E-8 | 1,0E-5 | 5,1E-8 | 1,0E-5 | ☐ | 6,8E-4 | 1,0E+0 | 1,5E-3 | 1,0E+0 | ☐ |
| *INDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 1,7E-5 | 1,0E-5 | 1,8E-5 | 1,0E-5 | ■ | 8,0E-1 | 1,0E+0 | 1,1E+0 | 1,0E+0 | ■ |
| *SOIL EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 9,8E-11 | 1,0E-5 | 1,6E-10 | 1,0E-5 | ☐ | 8,2E-7 | 1,0E+0 | 9,0E-7 | 1,0E+0 | ☐ |
| *GROUNDWATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 3,9E-4 | 1,0E-5 | 4,1E-4 | 1,0E-5 | ■ | 3,3E+0 | 1,0E+0 | 3,7E+0 | 1,0E+0 | ■ |
| *SURFACE WATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| CRITICAL EXPOSURE PATHWAY (Maximum Values From Complete Pathways) | | | | | | | | | | |
| | ***3,9E-4*** | ***1,0E-5*** | ***4,1E-4*** | ***1,0E-5*** | ■ | ***3,3E+0*** | ***1,0E+0*** | ***3,7E+0*** | ***1,0E+0*** | ■ |
| | *Groundwater* | | *Groundwater* | | | *Groundwater* | | *Groundwater* | | |

## SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3 – POSTO B:

| Exposure Parameters | | Residential | | | | Commercial/Industrial | | User Defined |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Child* | Adolescent | Adult | Age Adjusted** | Adult | Construction | |
| ATc | Averaging time for carcinogens (yr) | 64 | 64 | 64 | | | | - |
| ATn | Averaging time for non-carcinogens (yr) | 0 | 0 | 35 | | 35 | 1 | - |
| BW | Body weight (kg) | 15 | 35 | 68 | | 68 | 0 | - |
| ED | Exposure duration (yr) | 6 | 16 | 35 | | 35 | 1 | - |
| τ | Averaging time for vapor flux (yr) | 35 | 35 | 35 | | 35 | 1 | - |
| EF | Exposure frequency (days/yr) | 350 | 350 | 350 | | 270 | 180 | - |
| EFD | Exposure frequency for dermal exposure | 350 | 350 | 350 | | 270 | 0 | - |
| IRw | Ingestion rate of water (L/day) | 0 | 0 | 2 | 0,7 | 1 | | - |
| IRs | Ingestion rate of soil (mg/day) | 200 | 0 | 100 | 193 | 100 | 100 | - |
| SA | Skin surface area (dermal) (cm^2) | 2023 | 2023 | 3160 | 1174 | 3160 | 3160 | - |
| M | Soil to skin adherence factor | 0 | 0 | 0,5 | | | | - |
| ETswim | Swimming exposure time (hr/event) | 0 | 0 | 3 | | | | |
| EVswim | Swimming event frequency (events/yr) | 12 | 12 | 12 | | | | |
| IRswim | Water ingestion while swimming (L/hr) | 0,5 | 0 | 0,05 | 0,1 | | | |
| SAswim | Skin surface area for swimming (cm^2) | 0 | 9500 | 16600 | 14603 | | | |
| IRfish | Ingestion rate of fish (kg/yr) | 0 | 0 | 0,025 | 0,009 | | | |
| Flfish | Contaminated fish fraction (unitless) | 1 | 1 | 1 | | | | |
| IRbg | Below-ground vegetable ingestion | 0,002 | 0,002 | 0,006 | 1,946 | | | |
| IRabg | Above-ground vegetable ingestion | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,843 | | | |
| VGbg | Above-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | | |
| VGabg | Below-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | | |

| Modeling Options | |
|---|---|
| RBCA tier | Tier 2 |
| Outdoor air volatilization model | Surface & Subsurface Models: ASTM Model |
| Indoor air volatilization model | Mass Flux/Johnson & Ettinger model |
| Soil leaching model | ASTM leaching model |
| Use soil attenuation model (SAM) for leachate? | Yes |
| Use dual equilibrium desorption model? | No |
| Apply Mass Balance Limit for Soil Volatilization? | No |
| Apply UK (CLEA) SGV as soil concentration limit | No |
| Vegetable calculation options | NA |
| Air dilution factor | 3-D Gaussian dispersion |
| Groundwater dilution-attenuation factor | Domenico model |

## Resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico - simulação do cenário 3 – posto B

**TIER 2 BASELINE RISK SUMMARY TABLE**

| | BASELINE CARCINOGENIC RISK | | | | | BASELINE TOXIC EFFECTS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Individual COC Risk | | Cumulative COC Risk | | Risk | Hazard Quotient | | Hazard Index | | Toxicity |
| EXPOSURE PATHWAY | Maximum Value | Target Risk | Total Value | Target Risk | Limit(s) Exceeded? | Maximum Value | Applicable Limit | Total Value | Applicable Limit | Limit(s) Exceeded? |
| *OUTDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 7,4E-8 | 1,0E-5 | 7,4E-8 | 1,0E-5 | ☐ | 9,9E-4 | 1,0E+0 | 2,1E-3 | 1,0E+0 | ☐ |
| *INDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 3,0E-5 | 1,0E-5 | 3,3E-5 | 1,0E-5 | ■ | 1,4E+0 | 1,0E+0 | 2,0E+0 | 1,0E+0 | ■ |
| *SOIL EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 2,5E-10 | 1,0E-5 | 4,2E-10 | 1,0E-5 | ☐ | NC | 1,0E+0 | NC | 1,0E+0 | ☐ |
| *GROUNDWATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 3,8E-4 | 1,0E-5 | 3,9E-4 | 1,0E-5 | ■ | NC | 1,0E+0 | NC | 1,0E+0 | ☐ |
| *SURFACE WATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| CRITICAL EXPOSURE PATHWAY (Maximum Values From Complete Pathways) | | | | | | | | | | |
| | ***3,8E-4*** | ***1,0E-5*** | ***3,9E-4*** | ***1,0E-5*** | ■ | ***1,4E+0*** | ***1,0E+0*** | ***2,0E+0*** | ***1,0E+0*** | ■ |
| | *Groundwater* | | *Groundwater* | | | *Indoor Air* | | *Indoor Air* | | |

## SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4 – POSTO B:

| Exposure Parameters | | Residential | | | | Commercial/Industrial | | User Defined |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Child* | Adolescent | Adult | Age Adjusted** | Adult | Construction | |
| ATc | Averaging time for carcinogens (yr) | 64 | 64 | 64 | | | | - |
| ATn | Averaging time for non-carcinogens (yr) | 0 | 0 | 35 | | 35 | 1 | - |
| BW | Body weight (kg) | 15 | 35 | 68 | | 68 | 0 | - |
| ED | Exposure duration (yr) | 6 | 16 | 35 | | 35 | 1 | - |
| τ | Averaging time for vapor flux (yr) | 35 | 35 | 35 | | 35 | 1 | - |
| EF | Exposure frequency (days/yr) | 350 | 350 | 350 | | 270 | 180 | - |
| EFD | Exposure frequency for dermal exposure | 350 | 350 | 350 | | 270 | 0 | - |
| IRw | Ingestion rate of water (L/day) | 0 | 0 | 2 | 0,7 | 1 | | - |
| IRs | Ingestion rate of soil (mg/day) | 200 | 0 | 100 | 193 | 100 | 100 | - |
| SA | Skin surface area (dermal) (cm^2) | 2023 | 2023 | 3160 | 1174 | 3160 | 3160 | - |
| M | Soil to skin adherence factor | 0 | 0 | 0,5 | | | | - |
| ETswim | Swimming exposure time (hr/event) | 0 | 0 | 3 | | | | |
| EVswim | Swimming event frequency (events/yr) | 12 | 12 | 12 | | | | |
| IRswim | Water ingestion while swimming (L/hr) | 0,5 | 0 | 0,05 | 0,1 | | | |
| SAswim | Skin surface area for swimming (cm^2) | 0 | 9500 | 16600 | 14603 | | | |
| IRfish | Ingestion rate of fish (kg/yr) | 0 | 0 | 0,025 | 0,009 | | | |
| Flfish | Contaminated fish fraction (unitless) | 1 | 1 | 1 | | | | |
| IRbg | Below-ground vegetable ingestion | 0,002 | 0,002 | 0,006 | 1,946 | | | |
| IRabg | Above-ground vegetable ingestion | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,843 | | | |
| VGbg | Above-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | | |
| VGabg | Below-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | | |

| Modeling Options | |
|---|---|
| RBCA tier | Tier 2 |
| Outdoor air volatilization model | Surface & Subsurface Models: ASTM Model |
| Indoor air volatilization model | Mass Flux/Johnson & Ettinger model |
| Soil leaching model | ASTM leaching model |
| Use soil attenuation model (SAM) for leachate? | Yes |
| Use dual equilibrium desorption model? | No |
| Apply Mass Balance Limit for Soil Volatilization? | No |
| Apply UK (CLEA) SGV as soil concentration limit | No |
| Vegetable calculation options | NA |
| Air dilution factor | 3-D Gaussian dispersion |

## Resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico - simulação do cenário 4 – posto B

| TIER 2 BASELINE RISK SUMMARY TABLE | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | BASELINE CARCINOGENIC RISK | | | | | BASELINE TOXIC EFFECTS | | | | |
| | Individual COC Risk | | Cumulative COC Risk | | Risk | Hazard Quotient | | Hazard Index | | Toxicity |
| EXPOSURE PATHWAY | Maximum Value | Target Risk | Total Value | Target Risk | Limit(s) Exceeded? | Maximum Value | Applicable Limit | Total Value | Applicable Limit | Limit(s) Exceeded? |
| *OUTDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 7,4E-8 | 1,0E-5 | 7,4E-8 | 1,0E-5 | ☐ | 9,9E-4 | 1,0E+0 | 2,1E-3 | 1,0E+0 | ☐ |
| *INDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 1,4E-5 | 1,0E-5 | 1,5E-5 | 1,0E-5 | ■ | 6,8E-1 | 1,0E+0 | 9,2E-1 | 1,0E+0 | ☐ |
| *SOIL EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| *GROUNDWATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | 3,9E-4 | 1,0E-5 | 4,1E-4 | 1,0E-5 | ■ | 3,3E+0 | 1,0E+0 | 3,7E+0 | 1,0E+0 | ■ |
| *SURFACE WATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| **Complete:** | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| CRITICAL EXPOSURE PATHWAY (Maximum Values From Complete Pathways) | | | | | | | | | | |
| | ***3,9E-4*** | ***1,0E-5*** | ***4,1E-4*** | ***1,0E-5*** | ■ | ***3,3E+0*** | ***1,0E+0*** | ***3,7E+0*** | ***1,0E+0*** | ■ |
| | *Groundwater* | | *Groundwater* | | | *Groundwater* | | *Groundwater* | | |

## SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5 - POSTO B:

| Exposure Parameters | | Residential | | | | Commercial/Industrial | | User Defined |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Child* | Adolescent | Adult | Age Adjusted** | Adult | Construction | |
| ATc | Averaging time for carcinogens (yr) | 64 | 64 | 64 | | | | - |
| ATn | Averaging time for non-carcinogens (yr) | 0 | 0 | 35 | | 35 | 1 | - |
| BW | Body weight (kg) | 15 | 35 | 68 | | 68 | 0 | - |
| ED | Exposure duration (yr) | 6 | 16 | 35 | | 35 | 1 | - |
| τ | Averaging time for vapor flux (yr) | 35 | 35 | 35 | | 35 | 1 | - |
| EF | Exposure frequency (days/yr) | 350 | 350 | 350 | | 270 | 180 | - |
| EFD | Exposure frequency for dermal exposure | 350 | 350 | 350 | | 270 | 0 | - |
| IRw | Ingestion rate of water (L/day) | 0 | 0 | 2 | 0,7 | 1 | | - |
| IRs | Ingestion rate of soil (mg/day) | 200 | 0 | 100 | 193 | 100 | 100 | - |
| SA | Skin surface area (dermal) (cm^2) | 2023 | 2023 | 3160 | 1174 | 3160 | 3160 | - |
| M | Soil to skin adherence factor | 0 | 0 | 0,5 | | | | - |
| ETswim | Swimming exposure time (hr/event) | 0 | 0 | 3 | | | | |
| EVswim | Swimming event frequency (events/yr) | 12 | 12 | 12 | | | | |
| IRswim | Water ingestion while swimming (L/hr) | 0,5 | 0 | 0,05 | 0,1 | | | |
| SAswim | Skin surface area for swimming (cm^2) | 0 | 9500 | 16600 | 14603 | | | |
| IRfish | Ingestion rate of fish (kg/yr) | 0 | 0 | 0,025 | 0,009 | | | |
| FIfish | Contaminated fish fraction (unitless) | 1 | 1 | 1 | | | | |
| IRbg | Below-ground vegetable ingestion | 0,002 | 0,002 | 0,006 | 1,946 | | | |
| IRabg | Above-ground vegetable ingestion | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,843 | | | |
| VGbg | Above-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | | |
| VGabg | Below-ground Veg. Ingest. Correction Factor | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | | |

| Modeling Options | |
|---|---|
| RBCA tier | Tier 2 |
| Outdoor air volatilization model | Surface & Subsurface Models: ASTM Model |
| Indoor air volatilization model | Mass Flux/Johnson & Ettinger model |
| Soil leaching model | ASTM leaching model |
| Use soil attenuation model (SAM) for leachate? | Yes |
| Use dual equilibrium desorption model? | Yes |
| Apply Mass Balance Limit for Soil Volatilization? | No |
| Apply UK (CLEA) SGV as soil concentration limit | No |
| Vegetable calculation options | NA |
| Air dilution factor | 3-D Gaussian dispersion |
| Groundwater dilution-attenuation factor | Domenico model |

## Resumo do risco carcinogênico e o efeito tóxico - simulação do cenário 5 – posto B

| TIER 2 BASELINE RISK SUMMARY TABLE | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | BASELINE CARCINOGENIC RISK | | | | | BASELINE TOXIC EFFECTS | | | | |
| | Individual COC Risk | | Cumulative COC Risk | | Risk | Hazard Quotient | | Hazard Index | | Toxicity |
| EXPOSURE PATHWAY | Maximum Value | Target Risk | Total Value | Target Risk | Limit(s) Exceeded? | Maximum Value | Applicable Limit | Total Value | Applicable Limit | Limit(s) Exceeded? |
| *OUTDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| Complete: | 7,4E-8 | 1,0E-5 | 7,4E-8 | 1,0E-5 | ☐ | 9,9E-4 | 1,0E+0 | 2,1E-3 | 1,0E+0 | ☐ |
| *INDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| Complete: | 1,4E-5 | 1,0E-5 | 1,5E-5 | 1,0E-5 | ■ | 6,8E-1 | 1,0E+0 | 9,2E-1 | 1,0E+0 | ☐ |
| *SOIL EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| Complete: | 9,8E-11 | 1,0E-5 | 1,6E-10 | 1,0E-5 | ☐ | 8,2E-7 | 1,0E+0 | 9,0E-7 | 1,0E+0 | ☐ |
| *GROUNDWATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| Complete: | 3,9E-4 | 1,0E-5 | 4,1E-4 | 1,0E-5 | ■ | 3,3E+0 | 1,0E+0 | 3,7E+0 | 1,0E+0 | ■ |
| *SURFACE WATER EXPOSURE PATHWAYS* | | | | | | | | | | |
| Complete: | NA | NA | NA | NA | ☐ | NA | NA | NA | NA | ☐ |
| CRITICAL EXPOSURE PATHWAY (Maximum Values From Complete Pathways) | | | | | | | | | | |
| | *3,9E-4* | *1,0E-5* | *4,1E-4* | *1,0E-5* | ■ | *3,3E+0* | *1,0E+0* | *3,7E+0* | *1,0E+0* | ■ |
| | *Groundwater* | | *Groundwater* | | | *Groundwater* | | *Groundwater* | | |