

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

BIANCA VAZZOLER ALVES DE OLIVEIRA SQUISSATO

**APLICAÇÃO DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES
GEOGRÁFICAS PARA AVALIAÇÃO DE RISCO À
SAÚDE HUMANA**

Orientador: Prof. Dr. Chang Hung Kiang

Rio Claro – SP

Maio/2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

BIANCA VAZZOLER ALVES DE OLIVEIRA SQUISSATO

**APLICAÇÃO DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES
GEOGRÁFICAS PARA AVALIAÇÃO DE RISCO À
SAÚDE HUMANA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Chang Hung Kiang

Rio Claro – SP

Maio/2012

910.0285 Squissato, Bianca Vazzoler Alves de Oliveira
S774a Aplicação de sistema de informações geográficas para avaliação de
risco à saúde humana / Bianca Vazzoler Alves de Oliveira Squissato. - Rio
Claro : [s.n.], 2012
74 f. : il., figs., tabs. + 1 Memorial de Cálculos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de
Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Chang Hung Kiang

1. Geografia – Programas de computador. 2. Avaliação de risco á
saúde humana. 2. Metodologia RBCA. 3. Áreas contaminadas. 4. ArcGis
Desktop. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

BIANCA VAZZOLER ALVES DE OLIVEIRA SQUISSATO

**APLICAÇÃO DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES
GEOGRÁFICAS PARA AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE
HUMANA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. CHANG HUNG KIANG – Orientador
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. FERNANDO DE MELO KRAHENBUHL
Petrobras/São Paulo (SP)

Prof. Dr. ELTON GLOEDEN
CETESB/São Paulo (SP)

Rio Claro, SP – 18 de Maio de 2012.

Resultado: APROVADA

*Dedico este trabalho para meu amado filho Henrique,
meu adorado marido Thiago e meus queridos pais,
Lucinha e Marelo.*

AGRADECIMENTOS

A DEUS por estar sempre junto de mim e iluminar meu caminho.

Ao Prof. Dr. Chang Hung Kiang, o qual admiro e respeito pela pessoa, ética e competência profissional, pela orientação e por todos esses anos de convivência e ensinamento.

À Valéria Prisco, pelo apoio durante a elaboração do aplicativo.

À Joseli Tinen, grande amiga, pelas às correções e palavras de incentivo durante todos esses anos de convívio.

À Juliana Broggio Basso, pelo apoio e amizade cultivada ao longo desses anos.

À Prof^a. Dr^a Maria Rita Caetano Chang, pelas correções finais e sugestões sobre o trabalho.

Ao Laboratório de Estudos de Bacias (LEBAC) e ao Laboratório de Remediação de Áreas Impactadas por Hidrocarbonetos (RAIH), pela disponibilização dos dados para realização deste trabalho.

Aos amigos do LEBAC/RAIH, em especial à Eliana, Cristiane W., Miguel, Marco, Elias Teramoto, Didier, Elias Isler, Davi, Patrícia, Márcio, Sílvia, Lélia, Elisa, Vinícius S., Vinícius P., Cristiane A. e Rachila, pelo apoio e carinho.

Ao meu marido Thiago e meu filho Henrique, pelo amor, carinho, compreensão e paciência durante todos esses anos.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Esta pesquisa analisa o uso de sistemas de informações geográficas no gerenciamento de áreas contaminadas, com ênfase na avaliação de risco à saúde humana, tendo como estudo de caso uma área industrial na região do município de Paulínia-SP. Este estudo, realizado por meio do desenvolvimento de um aplicativo em ambiente ArcGIS Desktop 10.0®, teve por objetivos integrar as informações geoambientais de uma área em um único banco de dados e quantificar o risco à saúde humana em função da presença de contaminantes nesse local. Para essas finalidades, a modelagem do banco de dados e posterior criação foram realizadas utilizando ArcCatalog, o qual possibilitou o cadastro de informações tais como caracterização dos contaminantes, dos meios afetados e do transporte, dados associados aos receptores e às vias de exposição. O aplicativo de avaliação de risco à saúde humana, denominado de RISCO-CETESB, baseou-se nas Planilhas de Avaliação de Risco da CETESB, assumindo como valores de referência, alerta e intervenção os Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo, estabelecidos pela CETESB (2005). Os dados da Área de Estudo foram obtidos dos trabalhos de Alberto (2005) e Squissato (2008), os quais foram utilizados para exemplificar uma simulação de avaliação de risco à saúde humana com o aplicativo desenvolvido. O aplicativo revelou-se uma importante ferramenta nesta etapa do gerenciamento de áreas contaminadas, uma vez que permite maior agilidade na manipulação dos resultados. Além disso, o aplicativo gera relatório com os resultados obtidos na simulação, além de destacar especialmente se uma área de estudo possui risco aceitável ou não.

Palavras Chaves: Avaliação de Risco à Saúde Humana, Sistemas de Informações Geográficas, Metodologia RBCA.

ABSTRACT

The present research investigates the use of geographic information systems in the management of contaminated sites, emphasizing the human health risk assessment in an industrial area in Paulínia-SP. This study has been performed by developing an application in ArcGIS Desktop 10.0, with the purpose of integrating geo-environmental information from a selected area on a single database and quantify the human health risk due to the presence of contaminants at site. Database modeling and subsequent creation were performed using ArcCatalog, which led to the information registration such as contaminants characterization, affected media and transport data, information related to the receptors and exposure pathways. The application of human health risk assessment, named RISK CETESB, was constructed based on the Risk Assessment Worksheets developed by CETESB, which use as reference values those defined in the Guiding Values for Soil and Groundwater of the State of São Paulo established by CETESB (2005). Data from the study area were obtained from previous works of Alberto (2005) and Squissato (2008) to illustrate a simulation of human health risk assessment with the application developed. The application proved to be an important tool in contaminated site management, since it allows greater flexibility to manipulate the results. Furthermore, the application generates report presenting the results obtained by the simulation and it highlights the zones in the study area whether an acceptable risk is present or not.

Keywords: Human Health Risk Assessment, Geographic Information Systems, RBCA methodology.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01 – Componentes de um SIG	17
Figura 02 – Esquema da Metodologia de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.....	19
Figura 03 – Esquema da Metodologia para Avaliação de Risco à Saúde Humana.....	23
Figura 04 – Estágios da Avaliação de Exposição.....	25
Figura 05 – Tela para Definição do Modelo Conceitual de Exposição.....	31
Figura 06 – Tela para Definição das Substâncias Químicas de Interesse	31
Figura 07 – Tela para Definição dos Parâmetros do Meio Físico	32
Figura 08 – Tela da Tabela de Resultado do Risco para Solo Superficial e Subsuperficial	32
Figura 09 – Tabela de Concentrações Máximas Aceitáveis para Solo Superficial e Subsuperficial	33
Figura 10 – ArcGIS ArcMap.....	36
Figura 11 – ArcGIS ArcCatalog.....	37
Figura 12 – ArcGIS ArcToolbox.....	37
Figura 13 – Mapa de Localização da Área	40
Figura 14 – Mapa de Localização dos Poços de Monitoramento.....	45
Figura 15 – Mapa Potenciométrico	46
Figura 16 – Pluma de Benzeno em Fase Dissolvida	48
Figura 17 – Pluma de Manganês em Fase Dissolvida.....	49
Figura 18 – Distribuição em Planta das Concentrações de Bário em Água Subterrânea.....	50
Figura 19 – Distribuição em Planta das Concentrações de Chumbo em Água Subterrânea....	51
Figura 20 – Distribuição em Planta das Concentrações de Cobalto em Água Subterrânea	52
Figura 21 – Caracterização da Área do Entorno.....	54
Figura 22 – Fluxograma de Avaliação de Cenário de Exposição.....	55
Figura 23 – Diagrama Estrutural do Aplicativo RISCO-CETESB	58

Figura 24 – Barra de Ferramentas do Aplicativo RISCO-CETESB	59
Figura 25 – Interface de Conexão com o Banco de Dados	59
Figura 26 – Ferramenta “Calcular Risco”	60
Figura 27 – Interface para Definição do Raio de Influência da Área do Entorno	60
Figura 28 – Interface de Inicialização do Aplicativo	61
Figura 29 – Modelo Conceitual de Exposição – Solo Superficial.....	62
Figura 30 – Modelo Conceitual de Exposição – Solo Subsuperficial	62
Figura 31 – Modelo Conceitual de Exposição – Água Subterrânea.....	63
Figura 32– Modelo Conceitual de Exposição – Água Superficial	63
Figura 33 – Interface Meio Físico (1).....	64
Figura 34 – Interface Meio Físico (2).....	65
Figura 35 – Interface Substância Química de Interesse	65
Figura 36 – Cadastro da SQI – Características da Contaminação (1)	66
Figura 37 – Cadastro da SQI – Características da Contaminação (2)	67
Figura 38 – Cadastro da SQI – Concentração na Fonte	67
Figura 39 – Barra de Progresso durante o Processamento dos Cálculos.....	68
Figura 40 – Acesso à Ferramenta Consultar.....	68
Figura 41 – Ferramenta Consultar	69
Figura 42 – Resultado da Ferramenta Consultar	70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01 – Parâmetros Físicos do Solo.....	44
Tabela 02 – Análises Geoquímicas Utilizadas na Simulação do Risco	47
Tabela 03 – Rota de Exposição	57

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE TABELAS	11
SUMÁRIO.....	12
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1. Sistema de Informações Geográficas	16
3.1.1. Componentes de um SIG.....	17
3.2. Metodologia de Avaliação de Risco à Saúde Humana	18
3.2.1. Metodologia para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas	18
3.2.1.1. Avaliação de risco à saúde humana	20
3.2.2. Etapas para a Avaliação de Risco à Saúde Humana	23
3.3. Planilhas de Avaliação de Risco	30
4. MATERIAIS E MÉTODOS	34
4.1. <i>Software</i> ArcGIS Desktop 10.0.....	35
4.2. Ajustes Realizados nas Planilhas de Avaliação de Risco	38
5. ÁREA DE ESTUDO UTILIZADA NA SIMULAÇÃO	40
5.1. Localização da Área e Histórico Ambiental	40
5.2. Geomorfologia Regional.....	41
5.3. Geologia e Unidades Hidrofaciológicas.....	42
5.4. Parâmetros Físicos do Solo/Rocha.....	44
5.5. Poços de Monitoramento	44
5.6. Mapa Potenciométrico	45
5.7. Caracterização Química	47
5.7.1. Resultados analíticos do solo	47
5.7.2. Caracterização química da água	47
5.8. Avaliação de Risco à Saúde Humana	53
5.8.1. Modelo Conceitual De Exposição (MCE).....	53
5.8.1.1. Características do uso e ocupação do entorno.....	53
5.8.1.2. Fontes potenciais de contaminação	54

5.8.1.3. Vias de ingresso, receptores e cenário de exposição.....	56
5.8.2. Resultados da simulação com o RBCA <i>Tool Kit</i>	57
6. RESULTADOS	58
6.1. Aplicativo RISCO-CETESB.....	58
6.2. Funcionalidades do aplicativo RISCO-CETESB.....	59
7. CONCLUSÕES.....	71
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

ANEXOS

ANEXO A – 1. LISTA DE SIGLAS; 2. MEMORIAL DOS CÁLCULOS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DE RISCO

1. INTRODUÇÃO

Em todo o mundo é crescente a preocupação relacionada à contaminação do meio físico, em decorrência de atividades desenvolvidas em áreas industriais.

Segundo CETESB (2001), uma área contaminada pode ser definida como uma área, local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural. Nessa área, os poluentes ou contaminantes podem concentrar-se em subsuperfície nos diferentes compartimentos do ambiente, como por exemplo no solo, nos sedimentos, nas rochas, nos aterros, nas águas subterrâneas ou, de uma forma geral, nas zonas não saturada e saturada, além de poderem concentrar-se em paredes, pisos e estruturas de construções.

Vários problemas são gerados pelas áreas contaminadas. Um dos problemas de grande importância é a contaminação das águas subterrâneas utilizadas para abastecimento público e domiciliar, além do comprometimento de aquíferos. Isto porque, um dos fatores que faz com que a contaminação de água subterrânea seja tão séria é sua natureza de longo termo. Resíduos enterrados há muito tempo podem causar contaminação da água subterrânea e sua descoberta pode levar décadas. Embora muitas áreas contaminadas sejam inicialmente pequenas, em longo prazo elas tendem a ficar extensas, pois com o passar do tempo o contaminante pode migrar para locais distantes da fonte de contaminação (FETTER, 1999).

Como consequência, os processos de recuperação em geral demandam muito tempo e consomem muitos recursos. Portanto, a decisão de se remediar ou não um determinado local contaminado deve ser criteriosa, procurando-se, desse modo, evitar o desperdício de recursos.

Nesse contexto, os órgãos de controle ambiental sugerem que a tomada de decisão sobre o gerenciamento ambiental de uma área sob suspeita de contaminação seja baseada em avaliação de risco. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) determinou, em sua Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007, a elaboração de planilhas para avaliação de risco em áreas contaminadas sob investigação, objetivando padronizar e otimizar a execução dos estudos de avaliação de risco realizados no estado. Essas planilhas são aplicadas na quantificação do risco à saúde humana em áreas contaminadas sob investigação e no estabelecimento de Concentrações Máximas Aceitáveis (CMAs).

Esta pesquisa apresenta e discute a proposta de executar a etapa de avaliação de risco à saúde humana em um sistema de informações geográficas, com base nos procedimentos

sugeridos pela CETESB (2007), exemplificada por um estudo de caso em uma área industrial, na região do município de Paulínia-SP. Para isto, foi desenvolvido o aplicativo RISCO-CETESB, em ambiente ArcGis Desktop 10.0®, baseado nas quatro planilhas de avaliação de risco, em Excel, elaboradas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2009)

A avaliação de risco representa uma das etapas mais importantes do gerenciamento ambiental de áreas contaminadas em relação à liberação de compostos químicos no meio ambiente. A tomada de decisão baseada no risco permite avaliar a necessidade de aplicação de ações corretivas adequadas ao local, em função do risco real ou potencial de uma área específica, possibilitando, assim, uma melhor alocação dos recursos para remediação e garantindo a proteção da saúde humana e do meio ambiente.

2. OBJETIVOS

Esta pesquisa teve como objetivos:

✓ Desenvolver um aplicativo em ambiente ArcGis Desktop 10.0® que permitisse integrar as informações geoambientais de uma área contaminada em um único banco de dados e executar a Avaliação de Risco à Saúde Humana.

✓ Exemplificar o uso do aplicativo desenvolvido, utilizando um estudo de caso de uma área industrial contaminada por hidrocarbonetos de petróleo e metais no solo e na água subterrânea.

✓ Avaliar as vantagens e desvantagens de se utilizar sistemas de informações geográficas na etapa de Avaliação de Risco à Saúde Humana do Gerenciamento de Áreas Contaminadas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Sistema de Informações Geográficas

Há muitas maneiras de se definir o que é um Sistema de Informações Geográficas (SIG), uma vez que elas são relacionadas à forma de utilização ou à aplicação principal que se deseja. Assim, o Sistema de Informações Geográficas pode ser definido como “um poderoso conjunto de ferramentas para a coleta, armazenamento, fácil recuperação, transformação e exibição de dados espaciais do mundo real” (BURROUGH; McDONNELL, 1998). Dessa forma, SIG é um sistema que processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase em análises espaciais e modelagens de superfícies.

Segundo Câmara *et al.* (2004), um Sistema de Informação Geográfica realiza o tratamento computacional de dados geográficos e recupera informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também por meio de sua localização espacial. Isso oferece ao usuário uma visão de seu ambiente de estudo, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, inter-relacionadas com base no que lhes é comum – a localização geográfica. Para que isto seja possível, a geometria e os atributos dos dados num SIG devem estar georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica.

Dessa maneira, o SIG integra, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno. Além disso, oferece mecanismos para combinar as várias informações, por meio de algoritmos de manipulação e análise, para consultar, recuperar e visualizar o conteúdo da base de dados e gerar mapas.

Três grandes aplicações de um SIG são:

- ✓ Produção de mapas;
- ✓ Suporte para análise espacial de fenômenos;
- ✓ Banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Segundo Hamada e Gonçalves (2007), as vantagens mais comuns da utilização do SIG são que os dados, uma vez inseridos no sistema, são manipulados com rapidez, o que permite diferentes análises dos dados de forma mais eficiente, utilizando ferramentas matemáticas e

estatísticas sofisticadas e também com menor subjetividade do que se fossem realizadas manualmente. Além disso, o SIG também possibilita processos de tomada de decisão, facilita a atualização dos dados e produz mapas com rapidez.

3.1.1. Componentes de um SIG

Na Figura 01, estão representados os elementos que compõem um SIG. O banco de dados é o elemento central para o funcionamento do sistema, já que armazena dados espaciais e alfanuméricos no formato digital.

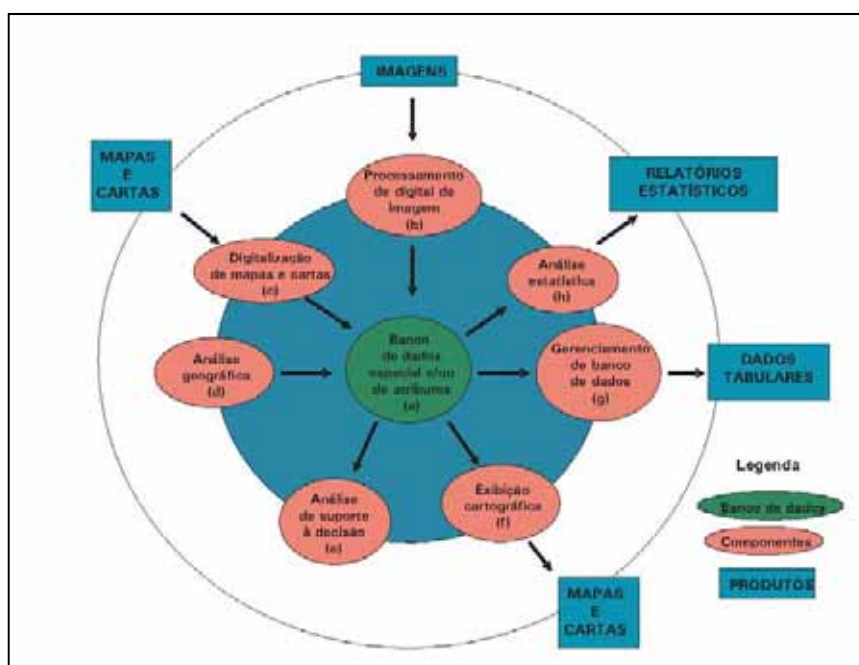


Figura 01 – Componentes de um SIG

(Fonte: HAMADA;GONÇALVES, 2007)

Os componentes (circulados em rosa) constituem os elementos associados aos “softwares GIS”:

- ✓ - O sistema de processamento de imagem (b) permite a análise de imagens de sensoriamento remoto, de radar e de fotografia aérea;
- ✓ - O sistema de digitalização de mapas (c) permite a entrada de dados de mapas em papel e transformação dessas informações no formato digital;
- ✓ - O sistema de análise geográfica (d) proporciona a análise de dados ou atributos, com base em suas características espaciais;

✓ - O sistema de suporte à decisão (e) é uma das mais importantes funções de um SIG e possibilita utilizar ferramentas matemáticas e estatísticas especialmente desenvolvidas para este fim;

✓ - O sistema de exibição ou visualização cartográfica (f) permite selecionar os elementos do banco de dados e produzir um mapa na tela/monitor do computador ou a saída para uma impressora ou *plotter*.

✓ - O sistema possui opções para o gerenciamento de banco de dados (g), composto de componentes espaciais e de atributos de dados geográficos armazenados;

✓ - O sistema de análise estatística (h) apresenta uma série de rotinas para a descrição estatística de dados espaciais.

Ao final do processamento de dados, tem-se como produtos de saída os relatórios estatísticos, dados tabulares e mapas/cartas.

3.2. Metodologia de Avaliação de Risco à Saúde Humana

Segundo CETESB (2007), o risco à saúde humana é definido como a probabilidade de ocorrência de câncer em um determinado receptor exposto a contaminantes presentes em uma área contaminada ou a possibilidade de ocorrência de efeitos adversos à saúde, decorrentes da exposição a substâncias não carcinogênicas. Já a Avaliação de Risco é um processo sistemático de identificação, quantificação e análise dos riscos potenciais e reais à saúde humana e ao meio ambiente, considerando a provável magnitude dos efeitos adversos, com a finalidade de tomar decisões de gerenciamento ambiental, elaborar ações corretivas ou emergenciais e estabelecer as metas de remediação para a área em questão. Dessa forma, esta etapa do Gerenciamento de Áreas Contaminadas constitui numa ferramenta para definir a necessidade de implementação de medidas intervencionistas em uma área contaminada, visando sua reabilitação para usos atuais ou futuros.

A seguir, é apresentada a metodologia para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas, a qual estabelece diretrizes para a Metodologia de Avaliação de Risco à Saúde Humana.

3.2.1. Metodologia para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas

O Gerenciamento de Áreas Contaminadas visa reduzir, para níveis aceitáveis, os riscos a que estão sujeitos a população e o meio ambiente, em decorrência de exposição aos contaminantes dessas áreas (CETESB, 2007). Dessa forma, essa metodologia, que por meio

de um conjunto de medidas reúne o conhecimento sobre as características intrínsecas dessas áreas aos impactos decorrentes de uma contaminação, fornece instrumentos para tomada de decisão que garanta o melhor aproveitamento dos recursos técnicos, econômicos e ambientais.

A Figura 02 apresenta o fluxograma esquemático de abordagem desta metodologia, disposta na Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007, pela CETESB.

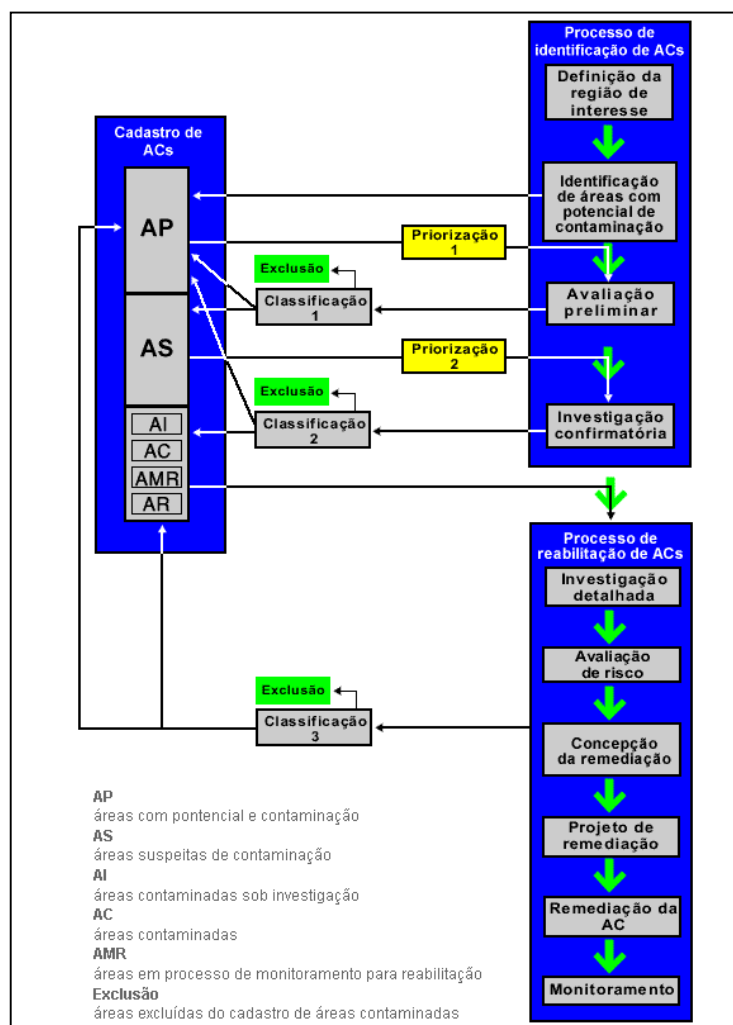


Figura 02 – Esquema da Metodologia de Gerenciamento de Áreas Contaminadas

(Fonte: <http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/etapas-do-gerenciamento/2-etapas>)

Essa metodologia é composta por dois processos: o de identificação e o de reabilitação de áreas contaminadas.

O processo de Identificação de Áreas Contaminadas tem o objetivo de definir a existência e localização de possíveis áreas contaminadas, pela realização de quatro etapas: a) definição da região de interesse, b) identificação de áreas com potencial de contaminação, c) avaliação preliminar, com elaboração do Modelo Conceitual a partir dos dados levantados; e

d) investigação confirmatória da existência ou não de contaminação, por meio de amostragens de solo/água subterrânea.

Já o processo de Reabilitação de Áreas Contaminadas adota o princípio da “aptidão para o uso” (CETESB, 2007), uma vez que este tem como objetivo possibilitar a adoção de medidas corretivas visando atingir as metas para um uso preestabelecido. Este processo é constituído por seis etapas: a) investigação detalhada; b) avaliação de risco; c) concepção da remediação; d) projeto de remediação; e) remediação; e f) monitoramento.

Nessa metodologia há etapas de priorização. Os critérios utilizados para realizá-la consideram as características da fonte de contaminação, das vias de ingresso dos contaminantes e dos receptores a serem protegidos.

3.2.1.1. Avaliação de risco à saúde humana

Conforme descrito anteriormente, a Avaliação de Risco à Saúde Humana é parte integrante do Processo de Reabilitação de Áreas Contaminadas, da metodologia de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. O objetivo principal desta etapa é determinar se existe risco à saúde da população exposta a contaminantes das áreas sob investigação, acima do nível de risco estabelecido como aceitável.

Neste processo, a quantificação do risco à saúde humana se vale de modelos de risco, de exposição e de massa, integrando informações tais como:

- ✓ características dos contaminantes (mobilidade, solubilidade, volatilização, entre outros);
- ✓ dados do meio impactado (porosidade, gradiente hidráulico, condutividade hidráulica, entre outros);
- ✓ dados do meio de transporte (água subterrânea, solo superficial, e ar, entre outros);
- ✓ dados das vias de ingresso (ingestão, inalação e cutânea);
- ✓ populações receptoras potenciais (massa corpórea média, expectativa de vida, entre outros).

A partir dessas informações, são calculados a probabilidade de risco (carcinogênicos) e o quociente de periculosidade (não-carcinogênicos) para as espécies químicas em questão que, em função da comparação com os limites permissíveis para as mesmas, permitem a definição das prioridades de intervenção (instrumentos legais e/ou de controle) e a programação de continuidade das atividades ambientais no local. Esses procedimentos são

complementados com a definição dos Níveis Aceitáveis Baseados no Risco (NABR's – SSTL's – *Site-Specific Target Levels*) para implementação de sistemas de remediação ambiental, visando reduzir as concentrações dos contaminantes de interesse em níveis seguros, ou seja, que não causem adversidades à saúde humana. Conforme CETESB (2009), a nomenclatura utilizada para se referir ao NABR é Concentração Máxima Aceitável (CMA).

Para avaliar o risco à saúde humana (metodologia RBCA - ASTM, 2004; CETESB, 2007), é necessário estabelecer o cenário representativo da área afetada. A seguir, são definidos os elementos que compõem o cenário de risco.

Fonte Primária de Contaminação (CETESB, 2007): instalação ou material a partir dos quais os contaminantes se originam e foram, ou estão sendo liberados para os meios impactados. Exemplos: vazamentos em tanques ou tubulações, derrames propositais ou acidentais, descarte de resíduos, infiltração de despejos ou emissões atmosféricas.

Fonte Secundária de Contaminação (CETESB, 2007): meio impactado por contaminantes provenientes da fonte primária, a partir do qual outros meios são impactados. Exemplos: solo contaminado por chumbo que é lixiviado para as águas subterrâneas; águas subterrâneas contaminadas que geram vapores de substâncias voláteis para a zona não saturada.

Composto Químico de Interesse (ASTM, 2004) ou Substância Química de Interesse (CETESB, 2009): composto ou substância química detectada no meio físico, que está relacionado à fonte primária ou secundária de contaminação, como por exemplo a matéria-prima ou produto final do processo produtivo ou de suporte operacional. Deve possuir perfil toxicológico e físico-químico suficiente para ser utilizado na quantificação do risco toxicológico e no estabelecimento de metas de remediação. Exemplos: chumbo no solo, benzeno ou cloreto de vinila nas águas subterrâneas, estireno no ar atmosférico.

Receptor (ASTM, 2004): organismo, comunidade, *habitat* sensível ou ecossistema que esteja exposto direta ou indiretamente a um ou mais compostos químicos associados a um evento de contaminação ambiental. No caso do risco toxicológico, o receptor será o indivíduo humano ou comunidade/grupo de indivíduos.

Exposição (EPA, 1989): contato de um organismo receptor com um agente físico ou químico (contaminante). A exposição é quantificada como o montante do contaminante na interface de contato com o organismo (pele, pulmões, intestino etc.) e disponível para absorção.

Evento de Exposição (EPA, 1989): incidente ou ocorrência de exposição de um receptor a um agente químico ou físico. Um evento de exposição pode ser definido por tempo (horas, dias, anos) ou como um evento isolado (por exemplo, comer peixe contaminado por metal pesado).

Evento Direto de Exposição (ASTM, 2004): quando o receptor está diretamente em contato com o meio contaminado ou fonte de contaminação (primária ou secundária), a exemplo da ingestão de água contaminada.

Evento Indireto de Exposição (ASTM, 2004): quando o receptor não está diretamente em contato com o meio contaminado ou fonte de contaminação (primária ou secundária), a exemplo da inalação de vapores provenientes da água subterrânea contaminada.

Caminho de Exposição (ASTM, 2004): percurso do composto químico, da fonte ao receptor. Uma via de exposição descreve um único mecanismo pelo qual um indivíduo ou população está exposto a um agente químico. Cada caminho inclui uma fonte de contaminação, uma rota de exposição e um ponto de exposição. Se o ponto de exposição difere do ponto de localização da fonte, o meio físico de transporte do contaminante também é incluído.

Ponto de Exposição (ASTM, 2004): localização do ponto em que um indivíduo ou população pode vir a entrar em contato com a Substância Química de Interesse, originária do meio impactado.

Via de Exposição ou Via de Ingresso (ASTM, 2004): modo como um composto químico entra em contato com o organismo exposto (ingestão, contato dérmico, inalação).

Ingresso (EPA, 1989): medida da exposição expressa como a massa de uma substância em contato com a interface do organismo exposto por unidade peso corporal por unidade de tempo (exemplo: mg de naftaleno/kg-dia).

Metas de Remediação com Base no Risco – MRBR (CETESB, 1999) ou Concentrações Máximas Aceitáveis – CMA (CETESB, 2009): são as concentrações máximas das substâncias químicas de interesse no meio físico que não causem risco a saúde humana, caso ocorra uma situação de exposição de um indivíduo ou uma população.

3.2.2. Etapas para a Avaliação de Risco à Saúde Humana

A metodologia de avaliação de risco utilizada neste trabalho foi baseada na metodologia RBCA (*Risk-Based Corrective Action*), regulamentada pela norma norte-americana ASTM E 2081-00 – *Standard Guide for Risk-Based Corrective Action* (ASTM, 2004), e no documento *Risk Assessment Guidance for Superfund* (EPA, 1989). Fundamentada na metodologia RBCA, CETESB (2007) descreve os procedimentos adaptados às condições do meio físico e de exposição encontradas no Estado de São Paulo. A Figura 03 apresenta o fluxograma esquemático de abordagem da metodologia, que será detalhada a seguir.

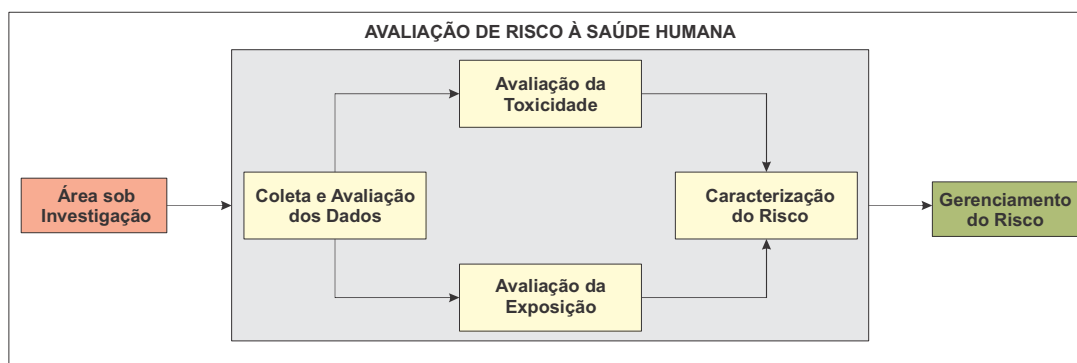


Figura 03 – Esquema da Metodologia para Avaliação de Risco à Saúde Humana

Etapa 1 – Coleta e Avaliação dos dados

Esta etapa inicial envolve a compilação e validação de todas as informações relevantes para o desenvolvimento de um Modelo Conceitual de Exposição (MCE) da área de interesse, bem como a identificação dos dados básicos para a quantificação das doses teóricas de ingresso das Substâncias Químicas de Interesse (SQI).

Em geral, os dados necessários a serem obtidos nesta etapa, são os seguintes:

- ✓ Comportamento dos contaminantes no meio físico;
- ✓ Perfil físico-químico dos contaminantes;

- ✓ Concentrações dos contaminantes nas fontes de contaminação e nos meios de interesse;
- ✓ Características das fontes como dimensão, distribuição espacial e informações relacionadas ao evento que gerou a contaminação;
- ✓ Características sobre o meio físico que podem afetar o transporte, atenuação natural e persistência dos contaminantes;
- ✓ Características de uso e ocupação do solo na área de interesse;
- ✓ Resultados de análises químicas das amostras coletadas nos diferentes compartimentos do meio físico (solo, sedimento, água subterrânea, água superficial e ar).

Após a coleta de dados, estes devem ser analisados, interpretados e organizados a fim de confirmar as suposições estabelecidas no modelo conceitual preliminar da área de estudo.

Etapa 2 – Avaliação da Exposição

Segundo EPA (1989), o objetivo da avaliação da exposição é estimar o tipo e a magnitude das exposições às substâncias químicas de interesse que estão presentes na área. Os resultados da avaliação da exposição são combinados com informações específicas de toxicidade desses contaminantes para caracterizar os riscos potenciais.

Como resultados da Avaliação de Exposição tem-se a definição do cenário de exposição e o seu Modelo Conceitual de Exposição, para assim quantificar as Doses de Ingresso (I).

A Figura 04 apresenta os estágios de avaliação da exposição, os quais serão discutidos a seguir.

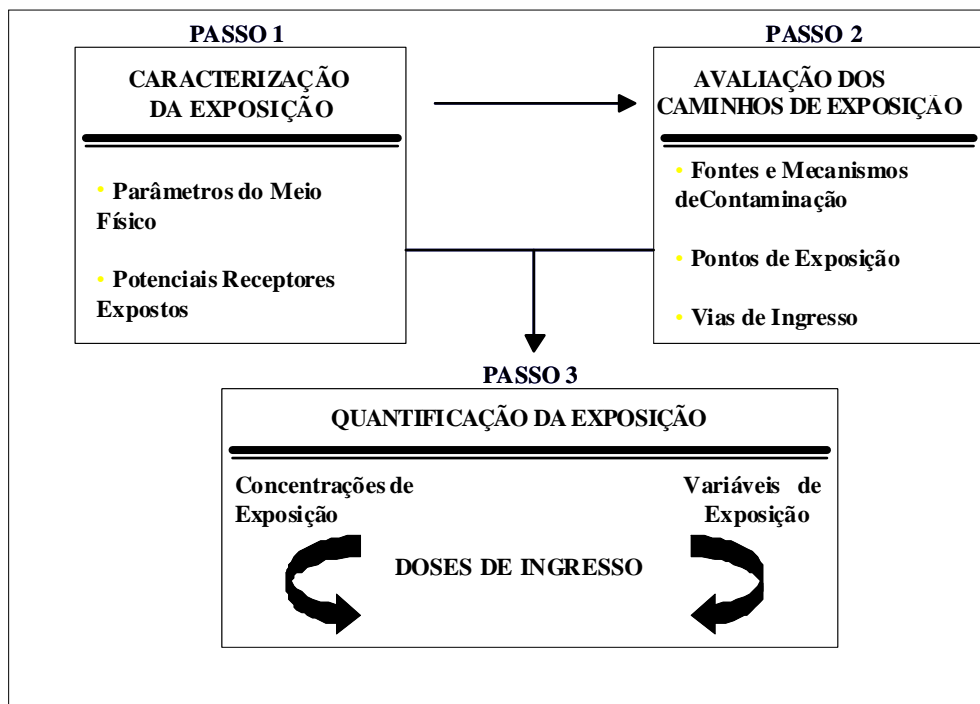


Figura 04 – Estágios da Avaliação de Exposição

(Fonte: modificado de EPA, 1989)

O primeiro passo para Avaliação da Exposição é a Caracterização da Exposição, que consiste na análise de dados sobre o meio físico e das populações potencialmente expostas, dentro e fora da área de interesse, visando definir em detalhe as características do processo de exposição toxicológica. O resultado deste passo é uma análise qualitativa das populações localizadas na área de estudo e em suas proximidades, considerando as características que irão influenciar sua potencial ou real exposição. A análise e compilação dessas informações descritas acima darão origem a um grupo de dados chamados Parâmetros de Exposição.

Para avaliação dos caminhos de exposição devem ser definidos todos os caminhos pelos quais cada população identificada no item anterior pode ser exposta. Cada caminho de exposição deverá descrever um único mecanismo pelo qual cada população pode ser exposta aos compostos químicos de interesse, considerando o ponto de exposição dentro ou fora da área de estudo.

Um caminho de exposição deve descrever o curso de um composto químico ou contaminante, partindo da fonte até chegar ao ponto de exposição para uma determinada via de ingresso. A identificação de fontes e mecanismos de contaminação deve ser realizada a partir da compilação e revisão de informações sobre o processo operacional e produtivo da área de interesse.

Estas informações devem ser compiladas e distribuídas em plantas contendo a locação e características básicas das fontes de contaminação. Adicionalmente deve ser realizado um levantamento fotográfico de campo.

Para definir o transporte dos contaminantes pode ser utilizada como ferramenta a modelagem matemática. Para definição da estratégia de modelagem, inicialmente deve ser realizada a avaliação das características das fontes de contaminação e das características dos compostos químicos de interesse que podem afetar o transporte e atenuação natural no meio físico. Nesta etapa devem ser compilados os dados físico-químicos e as propriedades relativas ao comportamento dos contaminantes no meio físico.

Os principais parâmetros e características a serem levantados sobre os contaminantes de interesse são: Coeficiente de Partição entre o Carbono Orgânico e Água (K_{oc}), coeficiente de Partição entre o Solo/Sedimento e Água (K_d), coeficiente de Partição entre Octanol e Água (K_{ow}), Solubilidade do Contaminante na Água (S), Constante da Lei de Henry (H), Pressão de Vapor (P_v), Coeficiente de Difusão na Água (D_w), Coeficiente de Difusão no Ar (D_a), Fator de Bioconcentração (BCF), Meia Vida do Contaminante no Meio Ambiente.

Os dados coletados nesta fase são utilizados na etapa de quantificação das concentrações de exposição.

Após a identificação dos meios contaminados ou potencialmente contaminados, devem ser identificados os pontos de exposição para que seja determinado se as populações potencialmente expostas entram em contato com os meios de interesse.

O estabelecimento da relação entre a fonte de contaminação e os pontos de exposição é fundamental, ou seja, devem ser identificados quais pontos de exposição estão associados a uma determinada fonte de contaminação. Adicionalmente, devem ser estimadas as distâncias entre os pontos de exposição e as fontes de contaminação, bem como quais os contaminantes envolvidos no evento de exposição e quais os meios potencialmente contaminados nos pontos de exposição. Nesta etapa devem ser estabelecidas as vias pelas quais os contaminantes podem ingressar nos organismos potencialmente expostos.

As vias de ingresso consideradas em estudos de Avaliação de Risco à Saúde Humana em áreas contaminadas são: inalação, ingestão e contato dérmico.

Na etapa de Quantificação da Exposição, a magnitude, a frequência e a duração da exposição são quantificadas para cada caminho de exposição identificado na etapa anterior. A quantificação da exposição pode ser dividida em dois estágios: estimativa das concentrações de exposição e cálculo do ingresso.

A estimativa das concentrações de exposição corresponde à quantificação das concentrações dos compostos químicos de interesse que estarão em contato com o receptor durante o período de exposição. As concentrações de exposição são estimadas usando dados de monitoramento ambiental (ver coleta de dados) e/ou modelos matemáticos de transporte de contaminantes. A modelagem matemática pode ser utilizada para estimar futuras concentrações em pontos de exposição que já tenham contaminação, em pontos ainda não contaminados ou em pontos onde não existem dados de monitoramento.

O cálculo do ingresso é baseado no conceito de Exposição Máxima Razoável, que se espera ocorrer para cenários de uso atual e futuro da área de estudo. A Exposição Máxima Razoável pode ser definida como o máximo valor de exposição que pode ser aceito em uma determinada área. As equações utilizadas no desenvolvimento do aplicativo e que calculam o Fator de Ingresso encontram-se no Anexo A.

Etapa 3 – Análise de Toxicidade

Esta análise consiste na obtenção de dados toxicológicos relativos às SQIs, de modo a possibilitar a interpretação dos possíveis efeitos adversos à saúde humana, associados a um evento de exposição.

A análise de toxicidade deve ser desenvolvida em duas etapas: Identificação do Perigo Toxicológico e Avaliação de Dose-Resposta.

A Identificação do Perigo Toxicológico envolve a caracterização da natureza e a intensidade do efeito adverso em humanos (carcinogênicos e não-carcinogênicos) ocasionados por uma substância química, com base em evidências científicas obtidas de estudos epidemiológicos, clínicos e de experimentos com animais.

A Avaliação de Dose-Resposta é o processo de avaliação das informações toxicológicas e a caracterização da relação entre a dose do contaminante administrado ou recebido e a incidência de efeitos adversos à saúde da população exposta.

A partir dessa análise, valores toxicológicos (dose de referência e fator de carcinogenicidade) são identificados, sendo determinados aqueles que serão utilizados para estimar a possibilidade de ocorrência de efeitos adversos em função da exposição humana a uma SQI.

Em vista da população estar exposta a diferentes tipos de substâncias químicas, os efeitos produzidos podem ser relacionados com substâncias não carcinogênicas ou carcinogênicas.

Assim, o avaliador de risco deve relatar de forma diferente os efeitos carcinogênicos e os não carcinogênicos. Quando se estima o risco de câncer, procura-se prever um nível de risco para a vida toda, para um indivíduo exposto, e qual o número adicional de casos de câncer que podem ocorrer numa população de pessoas expostas. Esses casos de câncer podem ou não ocorrer, mas se ocorrerem, estariam somados aos casos de câncer por outras causas, como por exemplo a fumaça do tabaco.

Para a toxicidade dos não carcinogênicos, estima-se um nível de exposição diária que representa uma dose segura para não ocorrerem efeitos deletérios à saúde humana.

Na análise toxicológica para efeitos não carcinogênicos se utiliza frequentemente a Dose de Referência (RfD), que é resultante de um evento de exposição. Vários tipos de RfD podem ser utilizados em projetos de Avaliação de Risco, dependendo da via de ingresso (inalação, ingestão, contato dérmico), de efeitos críticos e extensão da exposição (crônica, subcrônica ou eventos simples). Para cálculo das doses de referência pode ser utilizada a Equação 4.1 (CETESB, 1999):

$$RfD \text{ (mg / kg .dia)} = \frac{MNEN \text{ ou } MNEO}{UF .MF} \quad (4.1)$$

onde:

MNEN (mg/kg-dia) – Maior Nível Efeito Adverso não Observado;

MNEO (mg/kg-dia) – Menor Nível Efeito Adverso Observado;

UFI – Fator de Incerteza;

FM – Fator de Modificação.

A análise toxicológica para efeitos carcinogênicos baseia-se na determinação do Fator de Carcinogenicidade (SF) acompanhado do peso da evidência de câncer. O SF é utilizado, em estudos de Avaliação de Risco, para estimar a probabilidade de ocorrência de um caso adicional de câncer, em uma determinada população, decorrente de um evento de exposição a contaminantes carcinogênicos.

Valores toxicológicos para efeitos carcinogênicos podem ser expressos em termos de risco por unidade (UR) de concentração do composto presente em um meio, quando o contato com o ser humano ocorre. Esta medida é chamada de unidade de risco e é calculada pela divisão do SF pelo peso corpóreo, multiplicado pela taxa de inalação ou pela taxa de ingestão

de água, respectivamente para riscos associados a concentrações no ar ou na água, conforme Equação 4.2 (CETESB, 1999).

$$UR = SF \cdot \frac{CR}{BW} \quad (4.2)$$

onde:

SF (1/mg/kg-dia) – Fator de carcinogenicidade;

CR (kg-dia) – Taxa de contato;

BW – Massa corpórea.

Etapa 4 – Caracterização do Risco

A Caracterização do Risco engloba as etapas citadas anteriormente (Avaliação de Exposição e Análise de Toxicidade) e são sumarizadas e integradas visando à determinação do risco à saúde.

Nesta etapa, o risco à saúde humana deve ser quantificado para exposições individuais a cada SQI e para exposições simultâneas para múltiplas SQIs.

Também os riscos carcinogênicos e não carcinogênicos devem ser calculados, considerando cada caminho de exposição identificado no Modelo Conceitual de Exposição da área de estudo.

A Caracterização do Risco só poderá ser considerada completa quando a quantificação do risco estiver acompanhada de interpretação e de análise das incertezas a ela associadas.

Para compostos químicos que gerem efeitos carcinogênicos, o risco é estimado a partir do Fator de Carcinogenicidade, tendo em vista o incremento da probabilidade de um indivíduo desenvolver câncer ao longo do tempo de sua vida, como resultado de um evento de exposição a um composto químico de interesse que potencialmente gere câncer. Já os efeitos não carcinogênicos são avaliados por meio da comparação de um nível de exposição, por um determinado período de tempo (Dose de Ingresso), com uma Dose de Referência para um período de exposição similar. Os cálculos para a caracterização do Risco e Concentrações Máximas Aceitáveis utilizados pelo Aplicativo RISCO-CETESB encontram-se no Anexo A.

3.3. Planilhas de Avaliação de Risco

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo determinou, em sua Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007, a elaboração de planilhas para avaliação de risco em áreas contaminadas sob investigação, objetivando padronizar e otimizar a execução dos estudos de avaliação de risco realizados no estado. Essas planilhas são aplicadas na quantificação do risco à saúde humana em áreas contaminadas sob investigação e no estabelecimento de Concentrações Máximas Aceitáveis, auxiliando na elaboração de Planos de Intervenção para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas.

Os cálculos têm como base o procedimento descrito no RAGS – *Risk Assessment Guidance for Superfund - Volume I - Human Health Evaluation Manual (Part A)* (EPA, 1989) – para quantificação da exposição e do risco, bem como as equações de Domenico (1987) para transporte de contaminantes em meio saturado, os modelos de Jury *et al.* (1990) (apud EPA, 1996) para transporte de contaminantes em meio não saturado, de Johnson e Ettinger (1991) para intrusão de vapores, e de Trapp (2002) e de Trapp e Mattheis (1995) para transporte e absorção de compostos orgânicos pelas plantas.

Dessa forma, as planilhas consolidam e unificam os bancos de dados toxicológicos e físico-químicos das Substâncias Químicas de Interesse, além de integrar os parâmetros de exposição e do meio físico utilizados nos cálculos da avaliação de risco e considerar cenários de exposição adaptados ao Estado de São Paulo.

Vale ressaltar que as planilhas consideram, em quatro arquivos separados, os seguintes cenários: Área Industrial/Comercial, Área com Obras Civas, Área Residencial Urbana e Área Residencial Rural.

As planilhas foram desenvolvidas no programa Microsoft® Excel 2003 Professional, sendo a plataforma mínima necessária para a sua operação o Windows 98 e o Excel 97 ou posterior. A seguir, as Figuras 05 a 09 ilustram as telas da Planilha CETESB – Receptor: Trabalhador Comercial/Industrial.

Figura 05 – Tela para Definição do Modelo Conceitual de Exposição

Figura 06 – Tela para Definição das Substâncias Químicas de Interesse

CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS ACEITÁVEIS PARA SOLO SUPERFICIAL E SUBSUPERFICIAL

TRABALHADOR COMERCIAL E INDUSTRIAL ADULTO

NO PONTO DE EXPOSIÇÃO

CONTAMINANTE	BEIJO	UNIDADE: mg/kg												MÉTODO DE CONTAMINAÇÃO OU A UMA DISTÂNCIA DO PONTO DE EXPOSIÇÃO		
		CONTATO DIRETO				EXPOSIÇÃO DE CONTAMINANTES ORGÂNICOS				EXPOSIÇÃO DE CONTAMINANTES INORGÂNICOS						
		TERRAS		PARTÍCULAS		METALOGÊNICOS		METALOGÊNICOS		METALOGÊNICOS		METALOGÊNICOS			MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE RISCO	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE RISCO
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg			
C	C	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
Ni	Ni	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
Cu	Cu	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
Mn	Mn	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
Cr	Cr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
U	U	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
MP	MP	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
MS	MS	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	

Figura 09 – Tabela de Concentrações Máximas Aceitáveis para Solo Superficial e Subsuperficial

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desse trabalho utilizou-se as Planilhas de Avaliação de Risco elaboradas por CETESB (2009) para o desenvolvimento do aplicativo RISCO-CETESB, além dos dados dos trabalhos de Squissato (2008) e Alberto (2005) para o levantamento das informações necessárias para exemplificar o uso do aplicativo desenvolvido.

O presente trabalho foi realizado em quatro etapas:

1ª Etapa: Levantamento bibliográfico. Foram pesquisadas publicações contendo informações relacionadas às metodologias de Gerenciamento de Áreas Contaminadas e de Avaliação de Risco à Saúde Humana, aos Sistemas de Informações Geográficas e transporte de contaminantes. A pesquisa bibliográfica foi realizada na biblioteca da UNESP (Universidade Estadual Paulista) – Câmpus de Rio Claro, bem como nos principais bancos de dados nacionais e internacionais disponíveis pela *internet*.

2ª Etapa: Desenvolvimento do Aplicativo RISCO-CETESB, de acordo com as seguintes etapas:

i) Levantamento das equações e dos modelos matemáticos utilizados para quantificação da exposição e do risco, além das equações de Domenico (1987) para transporte de contaminantes em meio saturado, do modelo de Jury *et al.* (1990) para transporte de contaminantes em meio não saturado, do modelo de Johnson e Etinger (1991) para intrusão de vapores, e dos modelos de Trapp (2002) e Mattheis e Trapp (1995) para transporte e absorção de compostos orgânicos pelas plantas;

ii) Padronização das constantes numéricas utilizadas nos cálculos listados acima;

iii) Modelagem do banco de dados e posterior criação do banco de dados em ArcCatalog (ArcGis®);

iv) Criação de interfaces que exibam os dados para o usuário de forma rápida e amigável;

v) Programação das rotinas e regras de negócio para executar o aplicativo de Avaliação de Risco à Saúde Humana, utilizando a linguagem VB.NET.

3ª Etapa: Utilização de informações obtidas em estudo realizado numa área industrial na região do município de Paulínia, SP, para exemplificar o uso do aplicativo RISCO-CETESB.

4ª Etapa: Avaliação dos resultados das fases anteriores, destacando as vantagens e desvantagens em se utilizar sistema de informações geográficas na etapa de Avaliação de Risco à Saúde Humana, do gerenciamento de áreas contaminadas.

4.1. Software ArcGIS Desktop 10.0

O desenvolvimento das funcionalidades propostas para o aplicativo RISCO-CETESB foi realizado sobre a plataforma do *software* ArcGIS Desktop10.0, desenvolvido pela ESRI (*Environmental Systems Research Institute*).

O *software* ArcGIS Desktop 10.0 encontra-se estruturado sobre um mesmo conjunto de aplicações, denominadas ArcCatalog, ArcMap e ArcToolbox. Ao se utilizar essas três aplicações, pode-se realizar diversas tarefas em geoprocessamento, tais como a automação de processos de conversão, controle e análises de dados, economizando tempo e aumentando a qualidade da avaliação por meio da padronização de tarefas.

ArcMap é a aplicação central em ArcGIS Desktop; é a aplicação SIG utilizada para todas as tarefas com base em mapas, incluindo cartografia, análise de mapas e edição. Os mapas têm um *layout* de página que contém uma janela geográfica, ou um quadro de dados, com uma série de camadas, setas do Norte, e outros elementos. O ArcMap oferece diferentes maneiras de visualização de dados geográficos de um mapa e pontos de vista de *layout*, no qual pode-se executar uma ampla gama de funções avançadas de GIS.

A Figura 10 mostra um exemplo de tela do ArcGIS ArcMap.

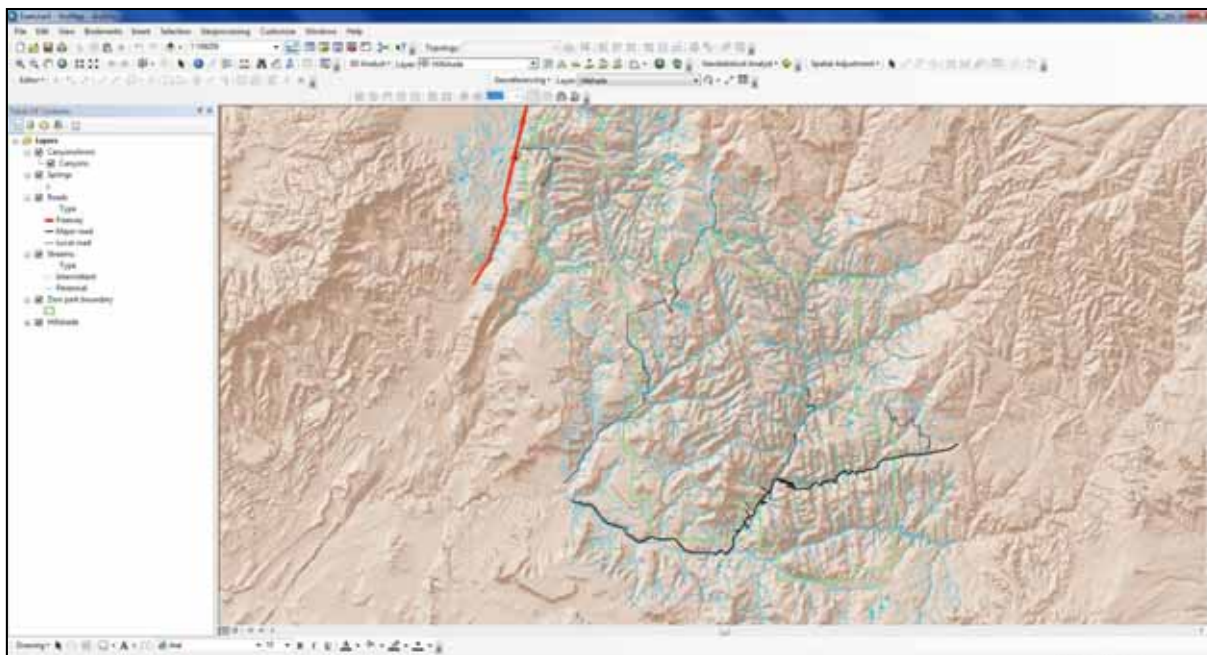


Figura 10 – ArcGIS ArcMap

Aplicações ArcGIS incluem uma janela de catálogo, o ArcCatalog, o qual é utilizado para organizar e gerenciar vários tipos de informação geográfica, tais como: geodatabases, arquivos raster, mapas, metadados. A janela do ArcCatalog fornece uma visão em árvore de pastas de arquivo e geodatabases. Pastas de arquivos são usados para organizar documentos e arquivos ArcGIS, enquanto que geodatabases são usadas para organizar conjuntos de dados GIS. No ArcGIS Desktop 10.0, o ArcCatalog é integrado no ArcMap em uma janela acoplável. De acordo com ESRI (2010), o ArcCatalog fornece ferramentas para:

- ✓ - Procurar e encontrar conjuntos de dados geográficos para adicionar aos mapas;
- ✓ - Gravar, visualizar e gerenciar conjuntos de dados e documentos de ArcGIS;
- ✓ - Pesquisar e descobrir dados GIS em redes locais e na *web*;
- ✓ - Definir, exportar e importar dados geodatabase modelos e conjuntos de dados;
- ✓ - Criar e gerenciar os modelos de geodatabase;
- ✓ - Adicionar conexão e administrar geodatabases ArcSDE;
- ✓ - Adicionar conexão e administrar um servidor ArcGIS.

Um exemplo de tela de ArcCatalog pode ser visualizado na Figura 11.

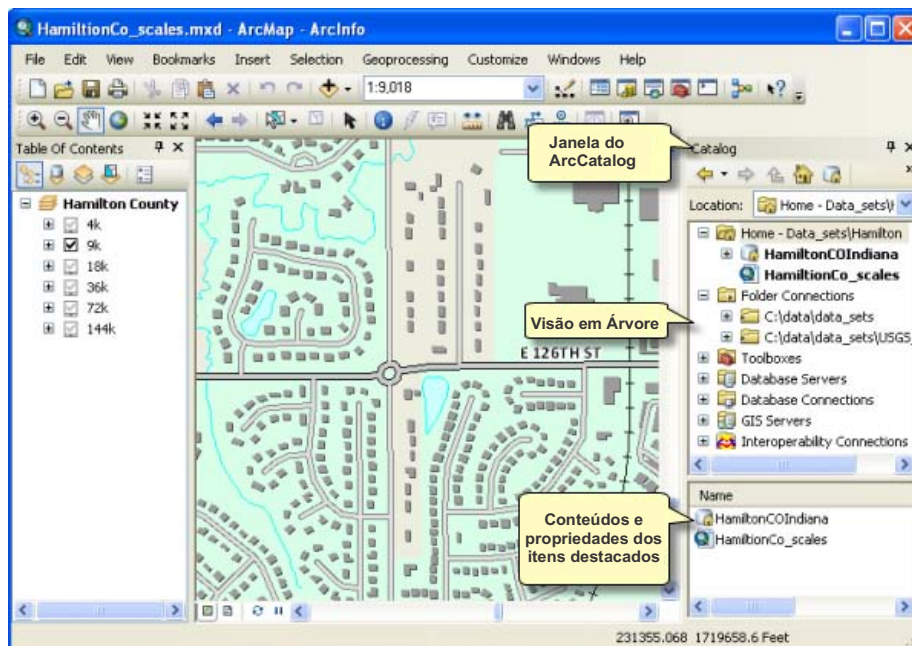


Figura 11 – ArcGIS ArcCatalog

(Fonte: modificado de ESRI, 2010)

Por fim, o ArcToolbox apresenta, de forma simples e intuitiva, todas as ferramentas de geoprocessamento disponibilizadas pelo *software* ArcGIS Desktop 10.0. Dessa forma, essa aplicação apresenta as ferramentas disponíveis em cada nível de licenças do ArcGIS, as quais podem ser habilitadas nas aplicações ArcMap e ArcCatalog. A Figura 12 ilustra um exemplo de tela do ArcGIS ArcToolbox.

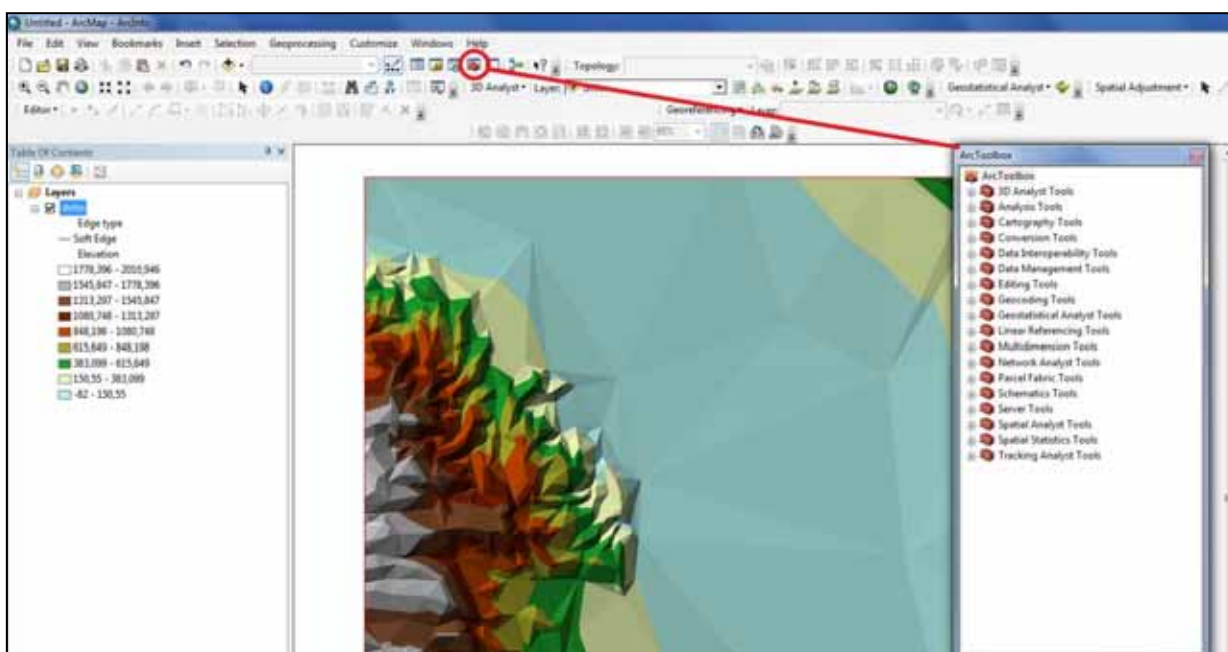


Figura 12 – ArcGIS ArcToolbox

4.2. Ajustes Realizados nas Planilhas de Avaliação de Risco

Para o aplicativo RISCO-CETESB foram realizadas as adequações abaixo especificadas, relacionadas às planilhas descritas na seção 3.3.

i) O cálculo da Função Erro, utilizada na fórmula para estimar o valor de DAF (Fator de Atenuação por Diluição), pelo Modelo de Domenico com Decaimento de Primeira Ordem, foi realizado a partir da aproximação por ajuste polinomial, conforme equação a seguir (ABRAMOWITZ;STEGUN, 1965):

$$\text{erf}(x) = 1 - \frac{1}{(1 + a * x + b * x^2 + c * x^3 + d * x^4 + e * x^5 + f * x^6)^{16}} + \epsilon(x)$$

$$|\epsilon(x)| \leq 3 * 10^{-7}$$

Onde:

$$a = 0,0705230784;$$

$$b = 0,0422820123;$$

$$c = 0,0092705272;$$

$$d = 0,0001520143;$$

$$e = 0,0002765672;$$

$$f = 0,0000430638;$$

argumento $x = \frac{Sw}{4\sqrt{\alpha y * x}}$ ou $x = \frac{Sd}{2\sqrt{\alpha z * x}}$, sendo que essas siglas encontram-se no

Anexo A.

ii) Optou-se por utilizar os parâmetros αx , αy e αz com unidades em centímetros (cm), a fim de evitar cálculos de transformação de unidades.

iii) No cálculo de Fator de Volatilização da Água Subterrânea para Ambientes Fechados (VF_{wesp}) foram utilizadas as condições para Fluxo convectivo ao longo das fundações $Qs=0$ e $Qs>0$, embora a Planilha da CETESB contemple apenas a primeira situação.

iv) No cálculo de Fator de Volatilização do Solo Subsuperficial para Ambientes Fechados, adequou-se a fórmula para $Q_s > 0$, conforme ASTM (2004).

v) Os receptores foram reunidos na interface do Modelo Conceitual de Exposição, podendo-se calcular de uma única vez os riscos potenciais e reais que os envolvem. São eles: Residente Urbano (Adulto/Criança), Residente Rural (Adulto/Criança), Trabalhador de Obras Civis e Trabalhador Comercial/Industrial.

5. ÁREA DE ESTUDO UTILIZADA NA SIMULAÇÃO

Para a simulação da Avaliação de Risco com o aplicativo desenvolvido, foram empregados os dados que se encontram nos trabalhos de Squissato (2008) e Alberto (2005).

A seguir, um resumo sobre a caracterização desta área.

5.1. Localização da Área e Histórico Ambiental

A área de estudo está situada em uma área industrial localizada na região de Campinas, na porção nordeste do município de Paulínia. Ela ocupa uma extensão de 117.700 m² e situa-se na porção sul da área industrial, tendo um rio de importância regional à jusante da área, em seu limite sul, conforme ilustra Figura 13.

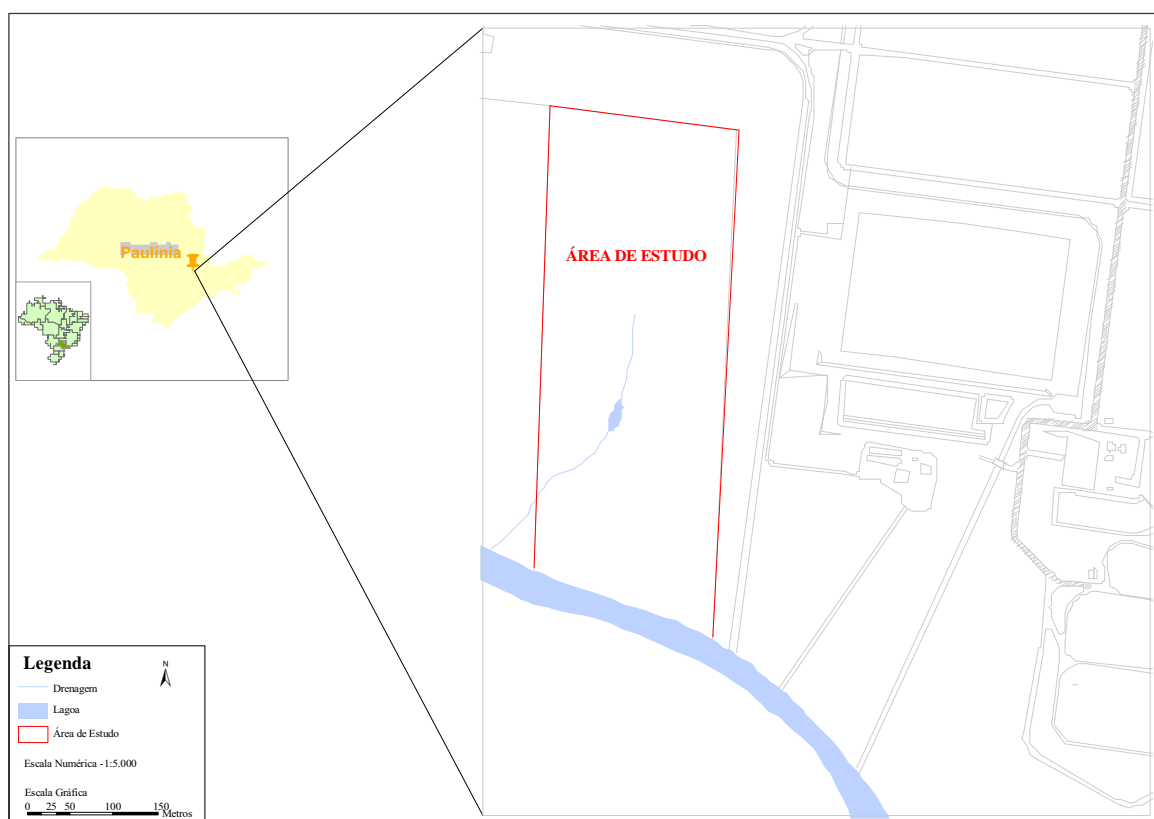


Figura 13 – Mapa de Localização da Área

Em 1992, foi detectada a presença de hidrocarbonetos em fase livre (sobrenadante) na lagoa situada na área de estudo, adjacente às dependências de uma área industrial. À época, a área apresentava ocupação rural. Ao longo dos anos, várias atividades emergenciais foram

executadas para a minimização de possíveis impactos resultantes desta ocorrência. Essas atividades contemplaram: instalação de drenos para contenção e recuperação da fase livre; realização de reparos nas tubulações com defeito e impermeabilização de sua base; aquisição do terreno da área de estudo pela empresa responsável pela contaminação, para evitar possível contato direto dos antigos proprietários com o contaminante.

Serviços ambientais posteriores ocorreram entre 2003 e 2004, quando foram instalados 24 conjuntos de poços multiníveis, totalizando 49 poços de monitoramento, executados 32 testes de condutividade hidráulica da zona saturada por meio de testes de *slug* e 12 na zona não-saturada utilizando permeâmetro *Guelph*, coleta de amostras de água e de solo para caracterização química, sendo nestas últimas também realizada determinação dos índices físicos, tais como porosidades total e efetiva. A coleta de água subterrânea, após esse período, é feita de acordo com o “Programa de Monitoramento Ambiental das Águas Subterrâneas”, o qual estabelece a frequência de amostragem dos poços, bem como os parâmetros que devem ser analisados.

5.2. Geomorfologia Regional

De acordo com Fernandes (1997), o local onde está instalada a área industrial se situa no trecho leste da Depressão Periférica Paulista. Na região, a Depressão Periférica possui formato alongado, com direção aproximada norte-sul, caracterizando-se pela dominância de topografia colinosa; seus limites são definidos a oeste pelas *cuevas* basálticas e a leste pelas elevações cristalinas do Planalto Atlântico.

No que se refere ao contexto geológico regional, a Depressão Periférica corresponde à faixa de ocorrência das rochas sedimentares paleozoicas e mesozoicas da Bacia Sedimentar do Paraná, no Estado de São Paulo, incluindo corpos intrusivos sob a forma de diques e soleiras (*sills*) de diabásio, capeadas por extensas e delgadas coberturas sedimentares cenozoicas. Pequenas exposições de rochas pré-cambrianas estão ainda incorporadas a esta província geomorfológica.

5.3. Geologia e Unidades Hidrofaciológicas

Os litotipos identificados na região foram:

- Embasamento Cristalino - situado a sudeste da área, aproximadamente a 4 Km da área industrial, é constituído por gnaisses e migmatitos diversificados;
- Sedimentos Permo-Carboníferos - distribuídos em toda a região, estão presentes diamictitos, siltitos e ritmitos do Subgrupo Itararé;
- Rochas Intrusivas Básicas - representadas por *sills* de diabásio, encontram-se distribuídas por toda a área intrudindo as rochas sedimentares do Subgrupo Itararé;
- Sedimentos Terciários (Plio-Pleistocênicos) - constituem-se de sedimentos detrítico-lateríticos e apresentam-se nas áreas topográficas mais altas;
- Sedimentos Aluvionares - sedimentos quaternários depositados nas várzeas dos rios existentes na área, essencialmente constituído de areia fina a média.

Hidrologicamente, a área está situada entre duas sub-bacias, inseridas na Bacia do Rio Piracicaba. Segundo Alberto (2005), uma delas foi considerada como fluxo de base regional, posicionado em cotas topográficas de 520 m, sendo o principal receptor de todas as águas escoadas da outra bacia. Na área industrial encontra-se o divisor de águas superficiais dessas bacias.

Com base na definição do contorno estrutural da área e da hidrografia, Alberto (2005) definiu-se que o sentido do escoamento da água subterrânea ocorre de NE para SW e que as águas capturadas pelas áreas de recarga do aquífero sedimentar apresentam a mesma tendência de fluxo.

Segundo Alberto (2005), a área compreende três unidades hidrofaciológicas principais, a seguir brevemente descritas:

- Unidade Superficial

A Unidade Superficial é constituída por diversos tipos litológicos, sendo representada, em sua maior parte, por solo residual proveniente da decomposição de siltito, que compõe a principal litologia encontrada na área.

A granulometria predominante do solo residual está concentrada nas frações silte e argila. Algumas lentes de areia são observadas, com espessuras variando de poucos centímetros até 8,0 m.

Próximo ao rio, esta unidade é constituída por sedimentos aluvionares compostos por areia média pouco argilosa, depositados pelo regime de variação do nível do rio durante as enchentes.

- Siltito Alterado

Esta unidade hidrofaciológica, sotoposta à Unidade Superficial, é representada por siltitos alterados, mais ou menos argilosos, de coloração ora avermelhada ora amarelada, apresentando diversos planos de fraturamento preenchidos por óxido de manganês ou por argilas esbranquiçadas. São observados seixos esparsos nesta unidade.

Não foi observada a presença desta unidade nos poços de monitoramento perfurados próximos ao rio, ocorrendo nas partes topograficamente mais altas e de meia encosta, com espessuras medidas variando de 2 a 15 metros. Ocorrem associados a estes siltitos, corpos arenosos na forma de lentes, com espessura de até 3 metros, constituídos por arenitos grossos a médios, com alguma cimentação, e ligeiramente arcoseanos, com coloração variando de amarelada a avermelhada.

- Siltito São

Na base do perfil de alteração ocorrem siltitos pouco alterados ou são, de coloração cinza clara, compactados, apresentando fraturamento subhorizontal e subvertical. Estas fraturas apresentam-se preenchidas por óxido de manganês. Por vezes, este siltito apresenta-se empastilhado, apresentando, neste caso, maior grau de friabilidade.

Além dos siltitos foram observados ritmitos, representados pela alternância de camadas centimétricas cinza claras e escuras.

O fraturamento nesta unidade é caracterizado pela predominância de fraturas subverticais, geralmente abertas e preenchidas por material oxidado e/ou arenoso, este último proveniente de aluvião, próximo às porções superiores.

5.4. Parâmetros Físicos do Solo/Rocha

Squissato (2008) obteve valores percentuais relativos aos diferentes tamanhos das partículas e sua respectiva classificação textural, a partir de curvas granulométricas de solos. Estes resultados mostraram que a maior parte das amostras é classificada como areia.

Foram realizadas ainda amostragens de solos deformado e indeformado, visando à realização de ensaios para obtenção dos parâmetros físicos. A Tabela 01 sintetiza os resultados obtidos para estes parâmetros.

Parâmetros relativos ao ar também são utilizados, porém, como não foram feitos levantamentos locais, utilizou-se valores padrão, que estão de acordo com normas internacionais e CETESB (2009).

O valor da Porosidade Efetiva obtida na superfície não pode ser empregado como representativo da zona saturada, por terem características de porosidade e textura diferentes. Assim, adotou-se o valor de 0,18, considerado por Pede (2004), como característico para o tipo de material (arenoso friável e poroso) encontrado na zona saturada, isto com base em ensaios com amostras indeformadas coletadas em materiais similares, em afloramentos próximos ao local de estudo.

Tabela 01 – Parâmetros Físicos do Solo

Propriedade	Unidade	Resultado
Porosidade total (n)	----	0,41
Porosidade efetiva (n_e)	----	0,18
Umidade volumétrica (θ)	[cm ³ /cm ³]	0,29
Massa Específica de Solo Seco (ρ_d)	g/cm ³	1,34
pH do solo	----	6,1
FOC	----	0,01

5.5. Poços de Monitoramento

Na área de estudo e entorno, foram instalados 24 conjuntos de poços multiníveis, totalizando 49 poços de monitoramento (identificados como PM 01 a PM 24). A localização dos poços pode ser observada na Figura 14. Os poços foram construídos de modo a possibilitar a coleta de água subterrânea e identificar o comportamento hidrogeológico local.

Vale ressaltar que também foram instalados poços fora da área de estudo, com o propósito de investigar se as fontes potenciais localizadas nas adjacências estão impactando o local.

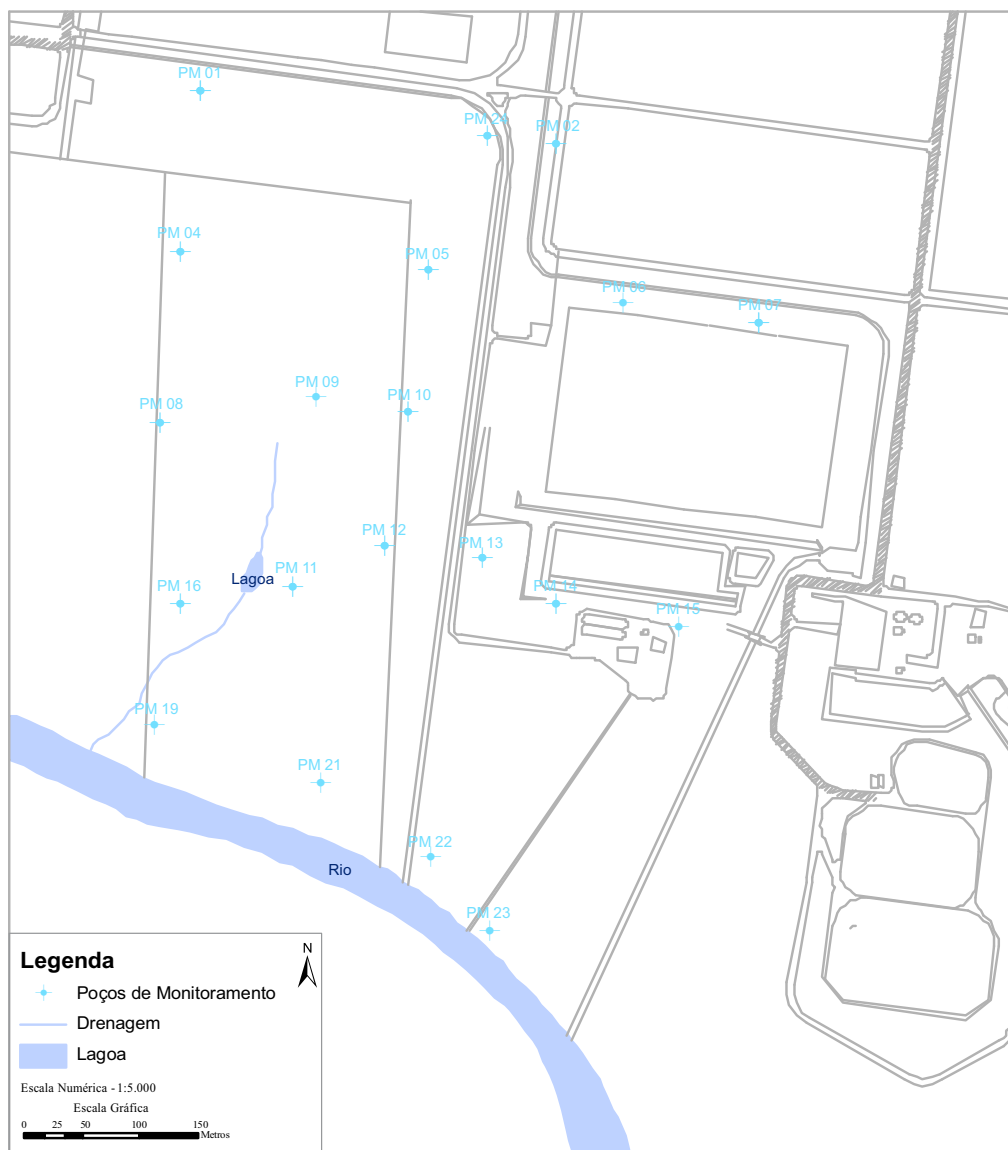


Figura 14 – Mapa de Localização dos Poços de Monitoramento

(Fonte: modificado de SQUISSATO, 2008)

5.6. Mapa Potenciométrico

O mapa potenciométrico pode ser observado na Figura 15, que mostra um comportamento da superfície potenciométrica concordante com a superfície topográfica, apresentando fluxo em direção ao rio principal. Observa-se ainda que o gradiente hidráulico

na porção norte da área de estudo é maior do que na porção sul, provavelmente devido à diminuição da declividade do terreno nesta direção.

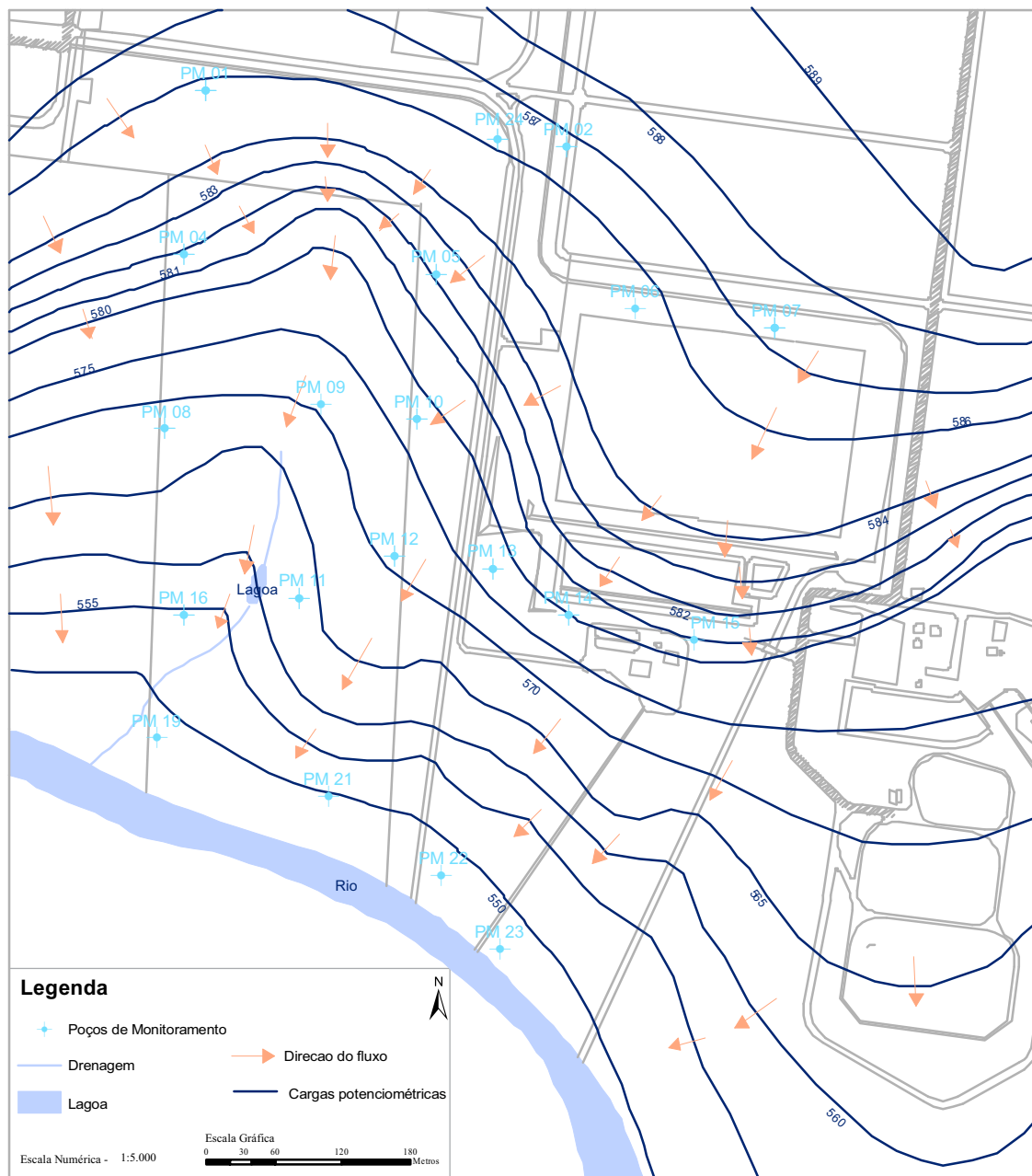


Figura 15 – Mapa Potenciométrico

(Fonte: SQUISSATO, 2008)

5.7. Caracterização Química

5.7.1. Resultados analíticos do solo

Os dados analíticos referentes à matriz solo foram obtidos a partir de amostras coletadas durante a campanha de perfuração dos poços realizada em 2003, as quais foram submetidas a análises de BTEX, TPH, PAH e metais (Alumínio, Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Prata, Selênio e Zinco). Os resultados indicaram que todos os parâmetros apresentam concentrações abaixo do limite de intervenção industrial adotado pela CETESB (2005).

Assim, dentre as amostras de solo foram selecionadas aquelas oriundas de poços em que as concentrações de SQI nas amostras água subterrânea ultrapassaram os limites de intervenção estipulado pela CETESB (2005). Esses resultados, observados na Tabela 02, foram utilizados na simulação de risco.

Tabela 02 – Análises Geoquímicas Utilizadas na Simulação do Risco

SOLO		
Parâmetros	Poço	Concentração (mg/kg)
Benzeno	PM 13	<0,01
Bário	PM 10	264
Chumbo	PM 09	14
Cobalto	PM 15	NA
Manganês	PM 10	2920

“<” indica que o parâmetro não excedeu o valor do limite de detecção do aparelho utilizado para a quantificação; NA – Não Analisado.

5.7.2. Caracterização química da água

Para a matriz água subterrânea, foram empregados os resultados obtidos em campanha de monitoramento realizada em maio de 2007. Esse monitoramento coletou amostras em 13 PMs e a análise dos parâmetros: BTEX, TPH, PAHs e metais (Alumínio, Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Prata, Selênio e Zinco).

Os resultados mostraram concentrações das substâncias de interesse na água subterrânea que indicaram alterações em sua qualidade (valores acima da intervenção industrial da

CETESB, 2005) para: benzeno (PMs 10, 13 e 24); bário (PM 10); chumbo (PM 09); cobalto (PMs 05, 10, 13, 14 15 e 24), ferro dissolvido (PMs 10, 13, 15 e 24) e manganês dissolvido (PMs 05, 10, 13, 14 e 15). As Figuras 16 a 20 ilustram, respectivamente, as plumas de Benzeno e Manganês, bem como a distribuição em planta dos compostos Bário, Chumbo, Cobalto e Ferro Dissolvido na água subterrânea.

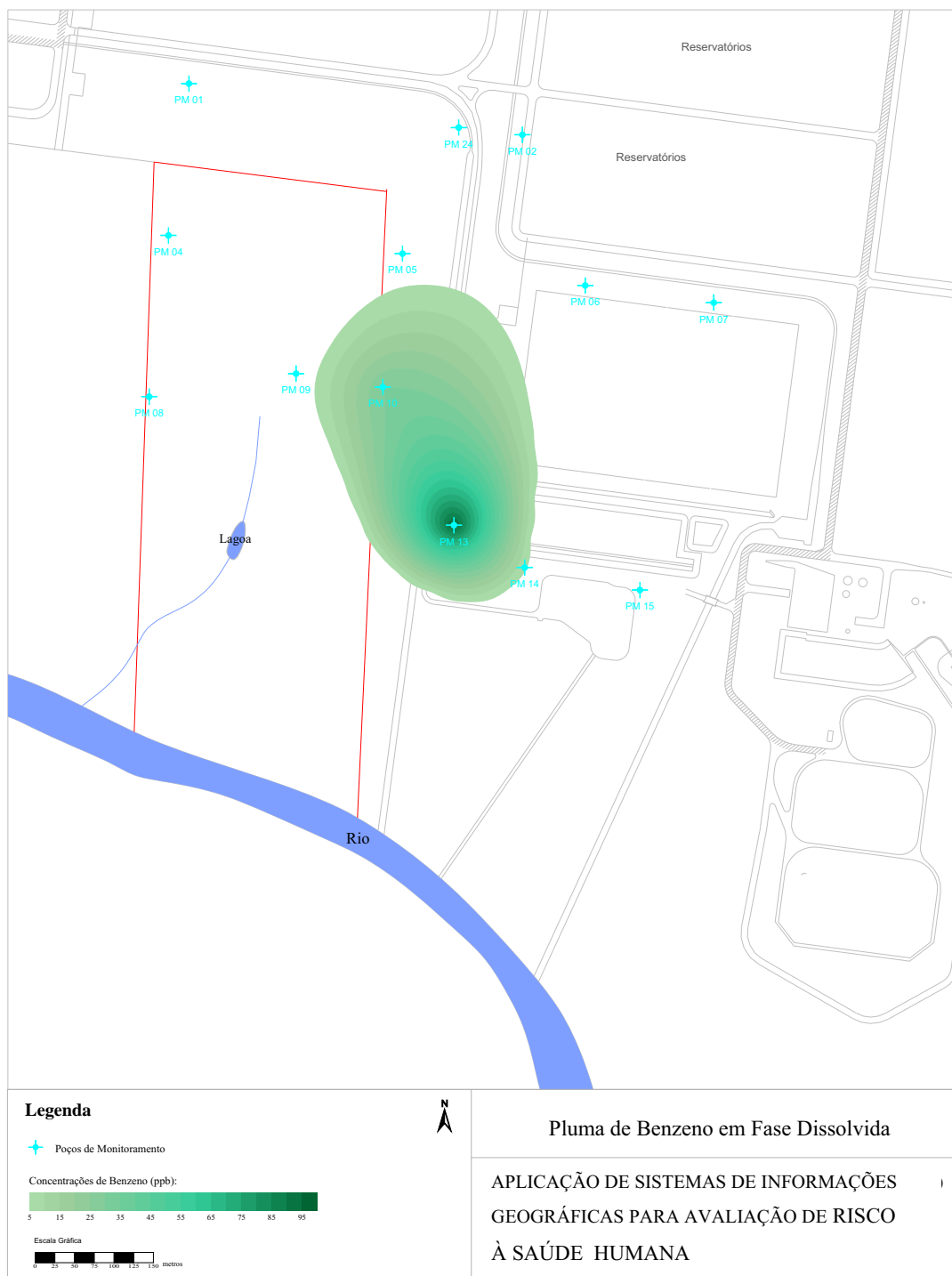


Figura 16 – Pluma de Benzeno em Fase Dissolvida

(Fonte: SQUISSATO, 2008)



Figura 17 – Pluma de Manganês em Fase Dissolvida

(Fonte: SQUISSATO, 2008)

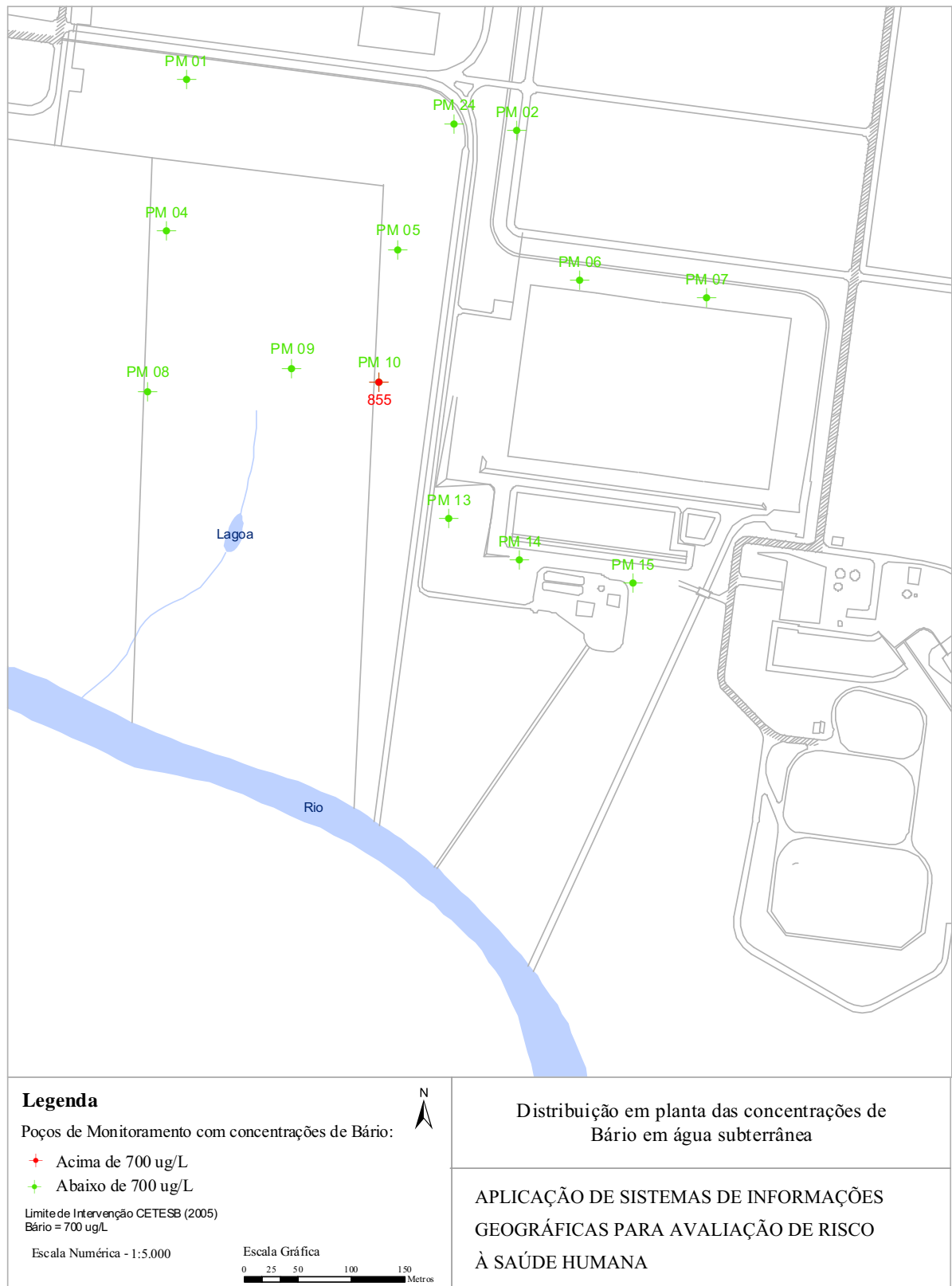


Figura 18 – Distribuição em Planta das Concentrações de Bário em Água Subterrânea

(Fonte: SQUISSATO, 2008)

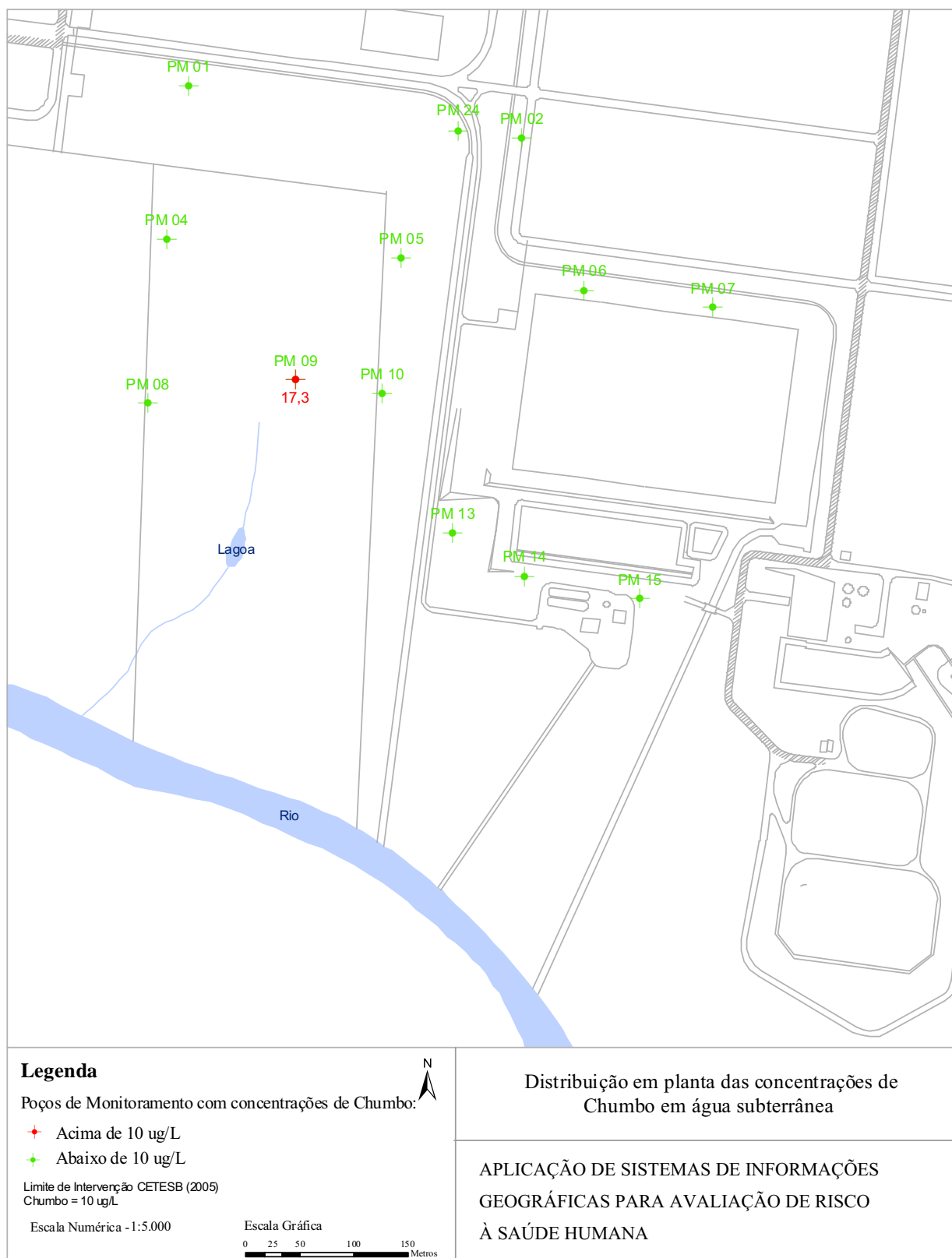


Figura 19 – Distribuição em Planta das Concentrações de Chumbo em Água Subterrânea

(Fonte: SQUISSATO, 2008)

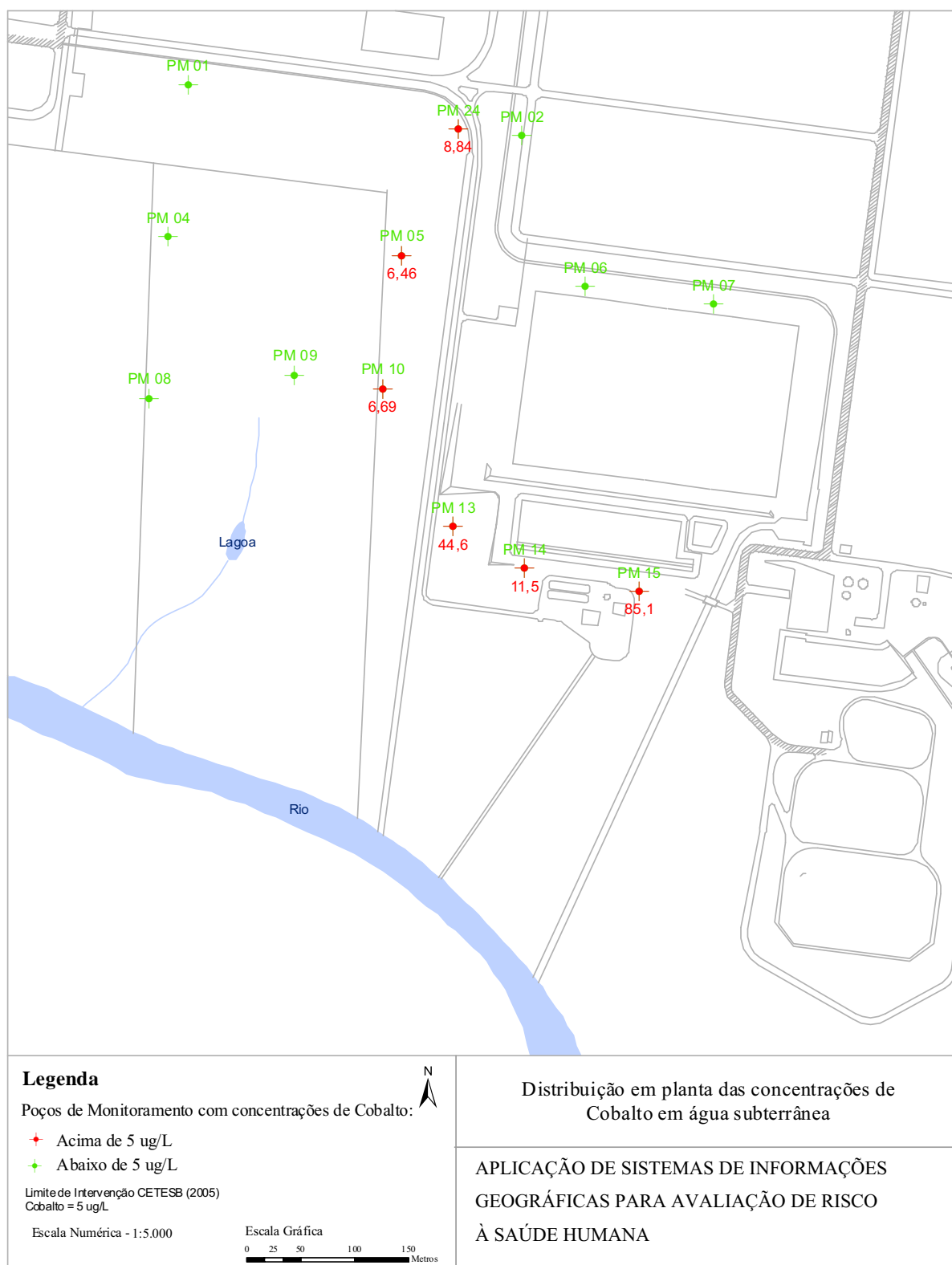


Figura 20 – Distribuição em Planta das Concentrações de Cobalto em Água Subterrânea

(Fonte: SQUISSATO, 2008)

5.8. Avaliação de Risco à Saúde Humana

Com base no Diagnóstico Ambiental descrito anteriormente, Squissato (2008) realizou uma avaliação de riscos à saúde humana para os atuais e futuros usos da área de estudo, utilizando a Metodologia RBCA. Os resultados obtidos pela autora são apresentados a seguir.

5.8.1. Modelo Conceitual De Exposição (MCE)

5.8.1.1. Características do uso e ocupação do entorno

A área de influência foi definida de acordo com o tipo de uso do solo num raio de 1000 metros, sendo esta uma distância aceita como adequada e dentro das recomendações estabelecidas pela CETESB (2000). O raio de 1000 metros é posicionado no centro de massa da área de estudo.

A Figura 21 ilustra a delimitação e caracterização da área do entorno.

Observou-se que o uso e ocupação do entorno distingue quatro setores: Área de estudo, Vegetação, Área industrial e Área rural/agrícola. Ainda dentro da área de influência foi feita uma avaliação conjunta entre o fluxo subterrâneo e a localização dos contaminantes, a fim de se identificar para quais áreas o contaminante estaria migrando, segundo a direção do fluxo mostrado no mapa potenciométrico. As setas de fluxo mostram que o mesmo é aproximadamente de nordeste–sudoeste, implicando no transporte de contaminante para o rio principal, que se encontra à jusante da área, e para a lagoa.

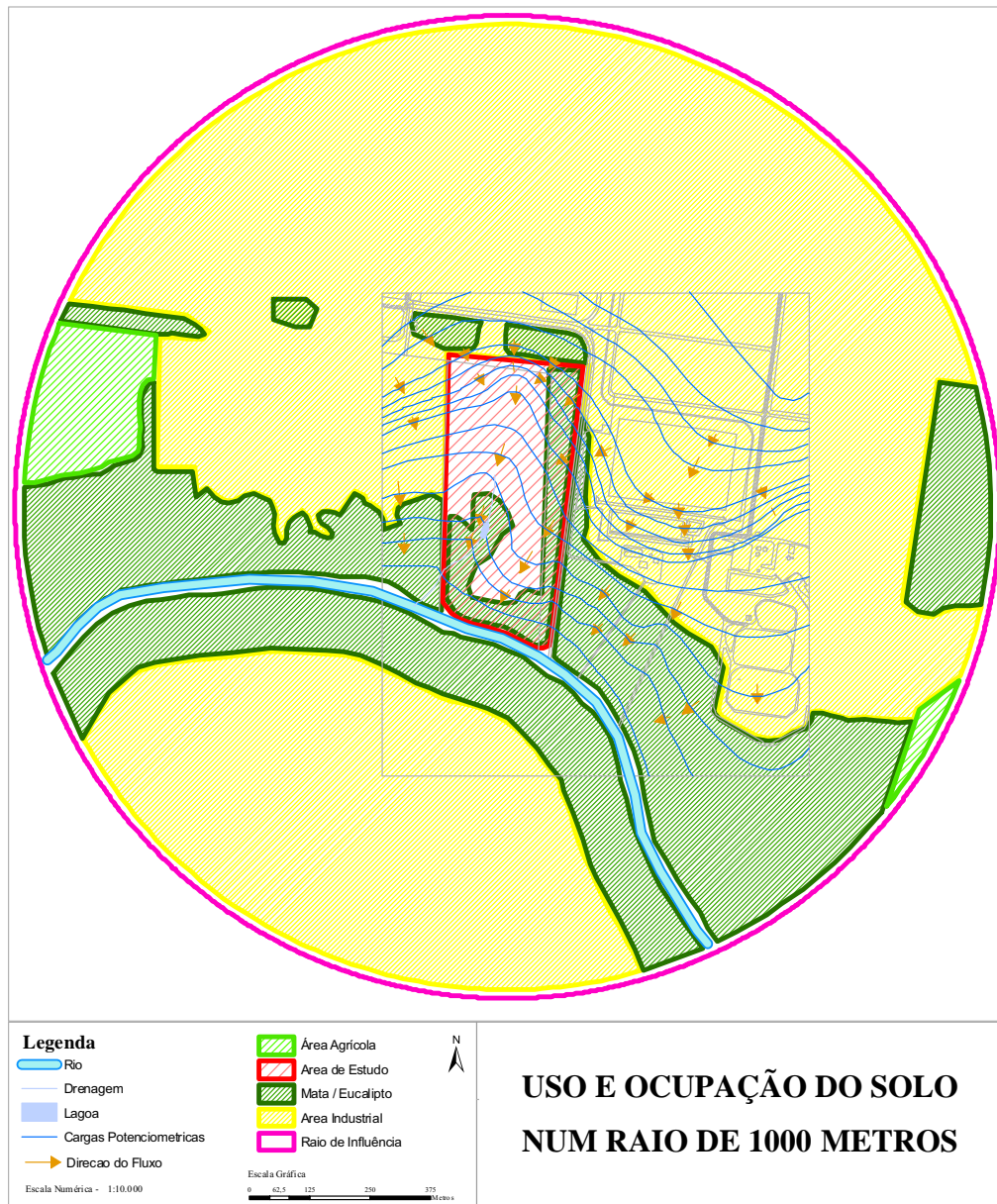


Figura 21 – Caracterização da Área do Entorno

(Fonte: SQUISSATO, 2008)

5.8.1.2. Fontes potenciais de contaminação

O modelo conceitual de exposição da área de estudo é apresentado de forma resumida pelo fluxograma de avaliação de cenário de exposição, conforme Figura 22.

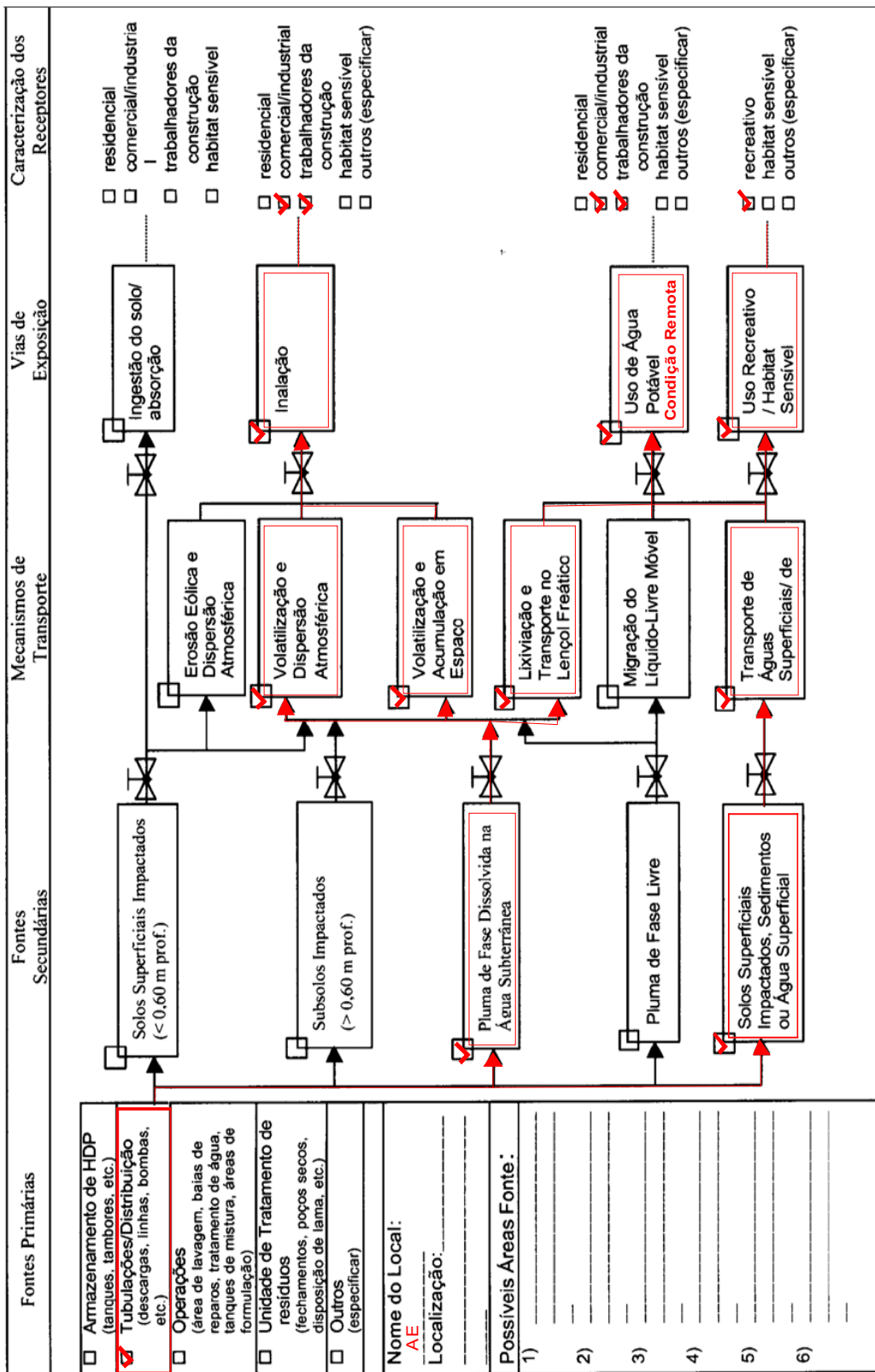


Figura 22 – Fluxograma de Avaliação de Cenário de Exposição

(Fonte: Adaptado de CETESB, 2000)

Cabe ressaltar que foi considerada a lixiviação como um dos mecanismos secundários de liberação, apesar do solo não apresentar valores acima da intervenção. A razão da inclusão deste mecanismo se deve ao desconhecimento das ações poluidoras ocorridas no passado, pois é de se supor que o solo poderia conter contaminação, entretanto os resultados das análises químicas não são condizentes com este fato. Assim, ao incluir as concentrações do solo no modelo pretende-se verificar se é possível ocasionar a contaminação da água subterrânea por efeito de lixiviação. Além disso, tem-se como o centro de massa da contaminação para a água subterrânea e para o solo a localização dos poços PM 10 e PM 13. Esta escolha se deve à análise em conjunto de fatores tais como: serem esses os pontos onde se encontraram os maiores valores de concentração e a proximidade ao rio principal, e assim obter uma análise mais restritiva e mais segura.

5.8.1.3. Vias de ingresso, receptores e cenário de exposição

No caso avaliado para água subterrânea, as vias de ingresso consideradas foram as seguintes:

- ✓ Inalação de vapores; pois existem constituintes que são voláteis e podem chegar ao receptor por essa via de exposição;
- ✓ Contato dermal: pois o contato da água contaminada é uma alternativa que pode acontecer, seja acidental ou não;
- ✓ Ingestão: esta via de exposição foi considerada, embora constitua um caso hipotético para os receptores, pois não existem poços de captação na área estudada.

Quanto aos receptores, potenciais ou não, foram considerados:

- ✓ Trabalhadores Comerciais/Industriais;
- ✓ Trabalhadores de Obras Civis;
- ✓ Adultos em recreação (pessoas que utilizam o rio para recreação: natação ou pesca fora do local).

A Tabela 03 apresenta as vias de ingresso e os receptores que foram considerados para os cenários avaliados, bem como as Substâncias Químicas de Interesse e a distância da fonte ao provável receptor.

Tabela 03 – Rota de Exposição

Caminho (Meio físico)	Vias de Ingresso	Cenário	SQI	Distância (m)	Receptores atuais e futuros	
Água Subterrânea (afetada também por lixiviação)	<i>On Site</i>	Inalação	Local aberto e fechado	Benzeno	0	Trabalhadores comerciais Trab. Eventuais
		Ingestão				
	<i>Off Site</i>	Contato dermal Rio	-----	Benzeno	293	Adultos em Recreção Pescadores
				Bário	396	
				Manganês		
		Contato dermal Lagoa	-----	Manganês	200	Trabalhadores comerciais Trab. Eventuais

Para a simulação com o aplicativo RISCO-CETESB, não será utilizada a via de ingresso Contato Dermal – Rio, uma vez que as planilhas de Avaliação de Risco (CETESB, 2009) contemplam os cálculos de Fatores de Ingresso e de Concentração Final na Água Superficial, sem avaliar os Riscos e as Concentrações Máximas Aceitáveis para o uso recreativo neste tipo de ambiente.

5.8.2. Resultados da simulação com o RBCA *Tool Kit*

Com base nos resultados da Avaliação de Risco para os diferentes cenários definidos, pode-se inferir que a contaminação na área de estudo não apresentava risco à saúde humana no caso de exposição por inalação de contaminante, para trabalhadores em locais abertos ou fechados.

Os resultados apresentariam risco se houvesse consumo da água subterrânea no local (*on site*). Porém, cabe ressaltar que a exposição à água subterrânea foi calculada somente considerando-se um caso hipotético e remoto, sendo uma situação altamente restritiva, apenas para fins ilustrativos devido ao fato da área ter sido isolada. Assim, o risco para os trabalhadores, caso houvesse ingestão da água, resultou em $2,3 \times 10^{-05}$ para o Risco Carcinogênico, devido à presença de benzeno acima de intervenção no PM 13, e $1,7 \times 10$ para o Risco Não Carcinogênico, devido à presença de manganês acima de intervenção no PM 10.

Diante dos riscos apresentados, a obtenção dos níveis aceitáveis baseados no risco (NABR ou SSSL) permitiu determinar as concentrações necessárias para redução do risco advindo da ingestão da água subterrânea. Dessa forma, as concentrações de benzeno e manganês, para água subterrânea, não deverão exceder os valores de 0,042 mg/L e 3,3 mg/L, respectivamente.

Os demais compostos acima dos limites de intervenção analisados não tiveram concentrações com valores suficientes para apresentar risco à saúde humana.

6. RESULTADOS

6.1. Aplicativo RISCO-CETESB

O aplicativo RISCO-CETESB foi estruturado de acordo com o diagrama da Figura 23.

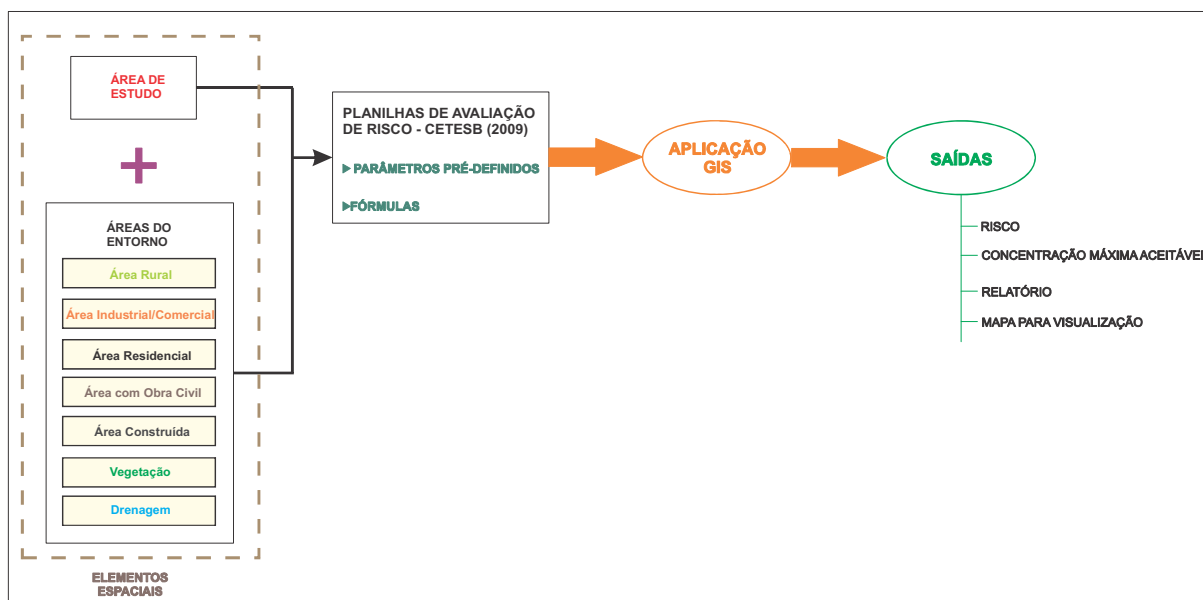


Figura 23 – Diagrama Estrutural do Aplicativo RISCO-CETESB

O aplicativo RISCO-CETESB depende de elementos espaciais, tais como:

✓ - Áreas do Entorno – utilizadas na caracterização do uso e ocupação do solo no entorno da área de estudo. São representadas por polígonos de seis tipos: Área Residencial, Área Industrial/Comercial, Área Rural, Área de Obras Civas, Área Construída, Vegetação. Os quatro primeiros tipos serão utilizados no aplicativo RISCO-CETESB para a caracterização do tipo de receptor, conforme os tipos estabelecidos por CETESB (2009).

✓ - Área de Estudo – localização espacial da área sob investigação, representada por um polígono.

✓ - Drenagem – localização espacial das drenagens e rios, representadas por linhas.

Esses elementos espaciais, juntamente com os dados das tabelas das Planilhas CETESB (fórmulas e parâmetros pré-definidos), alimentam o aplicativo RISCO-CETESB, que tem como saídas os resultados dos cálculos de Risco e as Concentrações Máximas Aceitáveis de cada cenário. Além disso, o aplicativo emite um relatório com esses resultados, como também exhibe espacialmente (mapas para visualização) as áreas de risco acima dos valores determinados pela CETESB (2009).

6.2. Funcionalidades do Aplicativo RISCO-CETESB

O aplicativo RISCO-CETESB é acessado através de uma barra de ferramentas, integrada ao *software* ArcGis Desktop 10.0 (Figura 24).



Figura 24 – Barra de Ferramentas do Aplicativo RISCO-CETESB

Antes de iniciar o aplicativo, deve-se fazer a conexão com o banco de dados. Para isto, basta clicar no menu “Banco de Dados”, para abrir a interface que aponta o caminho do banco. Após configurar as propriedades de conexão, deve-se clicar em “Salvar” (Figura 25).

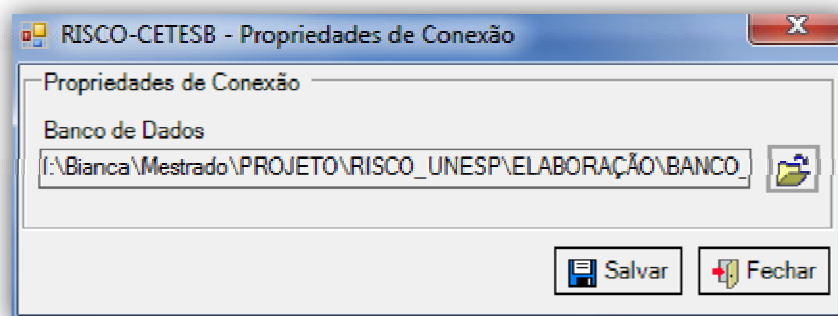


Figura 25 – Interface de Conexão com o Banco de Dados

Para iniciar o uso do aplicativo, é necessário ter cadastrado as áreas do entorno e a área de estudo. O aplicativo utiliza o sistema de projeção cartográfica de Albers, já que este preserva a área. Além disso, esse sistema não é dividido em zonas (como na UTM), uma vez que o Estado de São Paulo está contido nas zonas 22S e 23S e, neste caso, o aplicativo só conseguiria identificar uma delas.

Ao clicar no menu “Análise de Risco”, o usuário deve escolher a opção “Calcular Risco” (Figura 26).

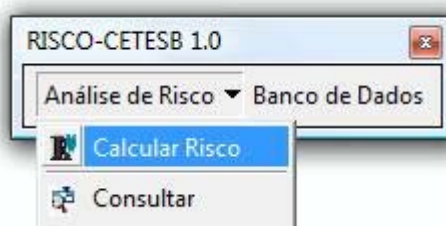


Figura 26 – Ferramenta “Calcular Risco”

Ao selecionar esta opção, a aplicação aguarda que o usuário interaja com o mapa. Dessa forma, o usuário seleciona o polígono da área de estudo e fornece o raio de influência (em metros) (Figura 27).

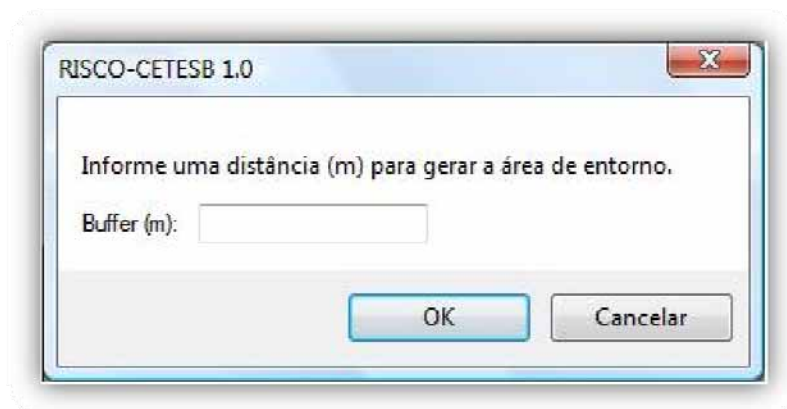


Figura 27 – Interface para Definição do Raio de Influência da Área do Entorno

Neste exemplo utilizou-se o valor de 1000 m, de acordo com as informações do capítulo anterior.

Após fazer o cruzamento de dados espaciais, o aplicativo abre a interface destinada ao cadastro de informações para o cálculo do risco. Pode-se observar, pela Figura 28, que já está selecionada, na interface, a “Caracterização da Área do Entorno” conforme os dados do capítulo 5. Esta caracterização se baseia nos tipos de cenários estabelecidos pela CETESB (2009) e áreas do entorno cadastradas previamente.

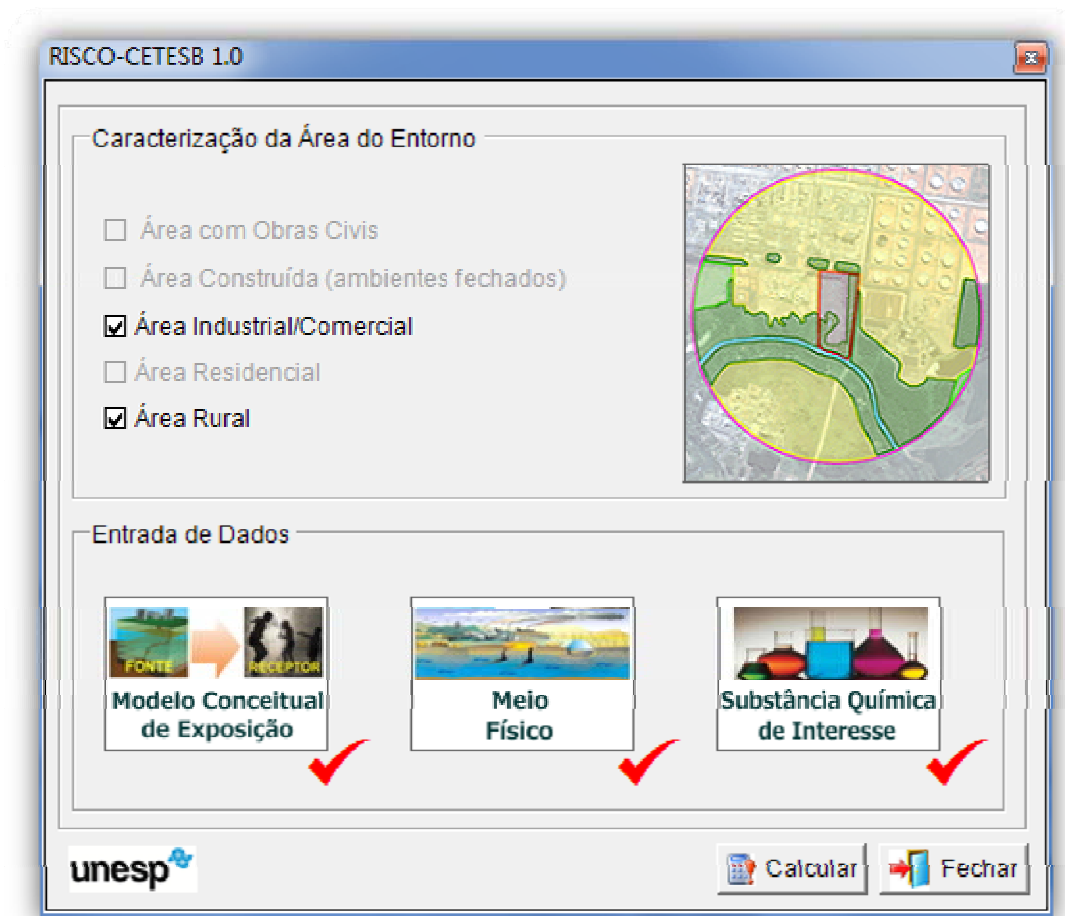


Figura 28 – Interface de Inicialização do Aplicativo

Uma vez caracterizada a área de entorno, deve-se começar a cadastrar os dados de entrada do aplicativo. A entrada de dados é realizada em três etapas, obedecendo a seguinte sequência:

- i) Modelo Conceitual de Exposição
- ii) Meio Físico
- iii) Substância Química de Interesse

O botão “Calcular” apenas será habilitado após a conclusão dessas três etapas.

Para cada etapa concluída, o *check* em vermelho (✓) ficará verde (✓). A seguir, as Figuras 29 a 32 apresentam as interfaces de cadastro do Modelo Conceitual. Estas já estão preenchidas conforme os dados do capítulo 05.

Modelo Conceitual de Exposição

Solo Superficial | Solo SubSuperficial | Água Subterrânea | Água Superficial/Sedimento

SQI - Contaminação no Solo Superficial

VIAS DE INGRESSO

- Ingestão do solo superficial impactado
- Ingestão de vegetais
- Contato dérmico
- Inalação de vapores, devido à volatilização e dispersão atmosférica
- Inalação de partículas, devido à erosão eólica e dispersão atmosférica

CARACTERIZAÇÃO DOS RECEPTORES (On Site*)

- Residencial Rural (Adulto/Criança)
- Residencial Urbano (Adulto/Criança)
- Trabalhador Comercial/Industrial
- Trabalhador de Obra Civil

* On Site: receptor na fonte de contaminação

unesp

Salvar Sair

Figura 29 – Modelo Conceitual de Exposição – Solo Superficial

Modelo Conceitual de Exposição

Solo Superficial | Solo SubSuperficial | Água Subterrânea | Água Superficial/Sedimento

SQI - Contaminação no Solo Subsuperficial

VIAS DE INGRESSO

- Ingestão de água subterrânea a partir da lixiviação
- Inalação de vapores, em Ambiente Aberto, provenientes do solo subsuperficial
- Inalação de vapores, em Ambiente Fechado, provenientes do solo subsuperficial

CARACTERIZAÇÃO DOS RECEPTORES (On Site*)

- Residencial Rural (Adulto/Criança)
- Residencial Urbano (Adulto/Criança)
- Trabalhador Comercial/Industrial
- Trabalhador de Obra Civil

CARACTERIZAÇÃO DOS RECEPTORES (Off Site)**

- Residencial Rural (Adulto/Criança)
- Residencial Urbano (Adulto/Criança)
- Trabalhador Comercial/Industrial
- Trabalhador de Obra Civil

* On Site: receptor na fonte de contaminação ** Off Site: receptor fora da fonte de contaminação

unesp

Salvar Sair

Figura 30 – Modelo Conceitual de Exposição – Solo Subsuperficial

Modelo Conceitual de Exposição

Solo Superficial | Solo SubSuperficial | **Água Subterrânea** | Água Superficial/Sedimento

SQI dissolvido na Água Subterrânea

VIAS DE INGRESSO

- Ingestão de água subterrânea
- Contato dérmico
- Inalação de vapores, em Ambiente Aberto, provenientes da água subterrânea
- Inalação de vapores, em Ambiente Fechado, provenientes da água subterrânea

CARACTERIZAÇÃO DOS RECEPTORES (On Site*)

- Residencial Rural (Adulto/Criança)
- Residencial Urbano (Adulto/Criança)
- Trabalhador Comercial/Industrial
- Trabalhador de Obra Civil

CARACTERIZAÇÃO DOS RECEPTORES (Off Site)**

- Residencial Rural (Adulto/Criança)
- Residencial Urbano (Adulto/Criança)
- Trabalhador Comercial/Industrial
- Trabalhador de Obra Civil

* On Site: receptor na fonte de contaminação ** Off Site: receptor fora da fonte de contaminação

unesp

Salvar Sair

Figura 31 – Modelo Conceitual de Exposição – Água Subterrânea

Modelo Conceitual de Exposição

Solo Superficial | Solo SubSuperficial | Água Subterrânea | **Água Superficial/Sedimento**

Água Superficial

VIAS DE INGRESSO

Uso Recreativo

- Inalação
- Ingestão
- Contato Dérmico

CARACTERIZAÇÃO DOS RECEPTORES (Off Site)**

- Residencial Rural (Adulto/Criança)
- Residencial Urbano (Adulto/Criança)
- Trabalhador Comercial/Industrial
- Trabalhador de Obra Civil

Sedimento

VIAS DE INGRESSO

- Ingestão
- Contato Dérmico

CARACTERIZAÇÃO DOS RECEPTORES (Off Site)**

- Residencial Rural (Adulto/Criança)
- Residencial Urbano (Adulto/Criança)
- Trabalhador Comercial/Industrial
- Trabalhador de Obra Civil

** Off Site: receptor fora da fonte de contaminação

unesp

Salvar Sair

Figura 32 – Modelo Conceitual de Exposição – Água Superficial

Pode-se observar que, para as informações fornecidas no capítulo anterior, foram preenchidas as abas correspondentes ao solo subsuperficial (*off site*, considerando que pode haver aporte de contaminante devido à lixiviação); água subterrânea (*on site*) e água superficial (*off site*). Para todos esses caminhos de exposição, escolheram-se como receptores os trabalhadores industriais e trabalhadores de obras civis (trabalhadores eventuais). Ao finalizar o preenchimento desta interface, basta clicar em “Salvar” e o aplicativo retorna à interface inicial.

A segunda etapa consiste no preenchimento dos parâmetros do meio físico. Ao clicar na figura de “Meio Físico” na interface inicial, esta abrirá a interface para cadastro dos parâmetros do Meio Físico. Ao abrir, o usuário notará que todos os campos já estão preenchidos. Esses valores correspondem aos valores-padrão estabelecidos por CETESB (2009). Entretanto, essas informações poderão ser alteradas, e ao lado do campo aparecerá a expressão “dado específico”, a qual indica que o usuário modificou a caixa de texto. A qualquer momento, o usuário pode escolher restaurar os valores-padrão da CETESB, clicando

no botão  .

As Figuras 33 e 34 ilustram as interfaces para cadastro dos parâmetros do meio físico, de acordo com as informações do capítulo 05.

Figura 33 – Interface Meio Físico (1)

Meio Físico

Meio Físico (1) Meio Físico (2)

Parâmetros do Solo *

Espessura da Zona Não Saturada (hv) 445 cm

Permeabilidade do Solo ao Vapor (kv) 1E-06 cm²

Porosidade Total (θT) 0,41 cm³/cm³ dato específico

Densidade do Solo Seco (ps) 1,34 g/cm³ dato específico

Conteúdo Volumétrico de Água na Zona Não Saturada (θws) 0,29 cm³/cm³ dato específico

Conteúdo Volumétrico de Ar na Zona Não Saturada (θas) 0,12 cm³/cm³ dato específico

Profundidade do Topo da Fonte no Solo Subsuperficial (Lss) 100 cm

Espessura do Solo Subsuperficial Impactado (dss) 345 cm

Espessura do Solo Superficial Impactado (Ls) 100 cm

Parâmetro do Ar *

Velocidade do Ar na Zona de Respiração (Uar) 300 cm/s

* - Todos os campos devem estar preenchidos.

unesp Salvar Sair

Figura 34 – Interface Meio Físico (2)




Finalizado o preenchimento desses parâmetros, o usuário deve clicar em “Salvar”. Em seguida, o aplicativo retorna à interface inicial, e deve-se começar o cadastro das Substâncias Químicas de Interesse. A interface utilizada para adicionar as SQIs está ilustrada na Figura 35.

Substância Química de Interesse (SQI)

Data	SQI	Solo Superficial...	Solo Subsuperficial (mg/kg)	Água Subterrânea (n)
01/05/2007	Benzeno	0	0,1	0,097

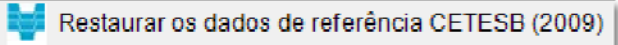
unesp Salvar Sair

Figura 35 – Interface Substância Química de Interesse

O botão  tem a função de Adicionar uma SQI; o botão  serve para editar o cadastro de uma SQI e o botão  para excluir o cadastro de uma SQI.

Ao clicar em “Adicionar”, o aplicativo abrirá a interface de “Cadastro de uma Substância Química de Interesse”. O aplicativo permite que, para cada SQI, possam ser cadastradas diferentes características de contaminação, tais como a geometria da pluma de contaminante, adequando o cenário da contaminação para cada tipo de contaminante. Entretanto, o aplicativo permite ao usuário usar as mesmas características de contaminação para todos os compostos, desde que se cheque a opção:

Considerar Características da Contaminação iguais para todos os contaminantes, exceto o DAF

Assim como na interface de “Meio Físico”, a interface de cadastro da SQI também carrega as informações-padrão segundo CETESB (2009). Caso o usuário altere algum campo, ao lado deste aparecerá a expressão “dado específico”. Caso deseje restaurar os valores padrão da CETESB, basta clicar no botão .

Ao terminar o cadastro das SQIs, basta clicar no botão “Incluir”.

As Figuras 36 a 38 ilustram o preenchimento das interfaces de cadastro das SQIs, exemplificadas pelo Benzeno, composto de interesse conforme os resultados do capítulo anterior.

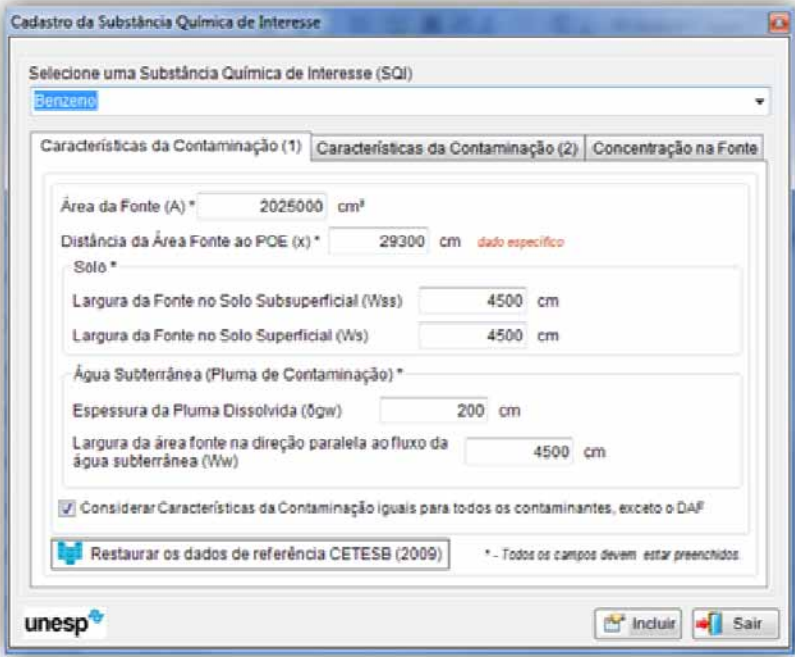


Figura 36 – Cadastro da SQI – Características da Contaminação (1)

Cadastro da Substância Química de Interesse

Selecione uma Substância Química de Interesse (SQI)
Benzeno

Características da Contaminação (1) | Características da Contaminação (2) | Concentração na Fonte

Concentração Final no POE *

Estimar DAF (Modelo de Domenico) Informar DAF (estimado por outro modelo ou dado do local)

Dispersividade Longitudinal (ax) 2930 cm dado específico

Dispersividade Transversal (ay) 966,9 cm dado específico

Dispersividade Vertical (az) 148,5 cm dado específico

Espessura da Fonte na Água Subterrânea (Sd) 200 cm

Largura da Fonte na Água Subterrânea (Sw) 4500 cm

Fator de Atenuação por Diluição (DAF) 2,01170913420989E-05 DAF estimado

* - Preenchimento Obrigatório.

unesp Incluir Sair

Figura 37 – Cadastro da SQI – Características da Contaminação (2)

Cadastro da Substância Química de Interesse

Selecione uma Substância Química de Interesse (SQI)
Benzeno

Características da Contaminação (1) | Características da Contaminação (2) | Concentração na Fonte

Data da amostragem* 01/05/2007

Solo Superficial (mg/kg)

Solo Subsuperficial (mg/kg) 0,1

Água Subterrânea (mg/L) 0,097

* - Preenchimento Obrigatório.

unesp Incluir Sair

Figura 38 – Cadastro da SQI – Concentração na Fonte

Ao finalizar o cadastro de todas as Substâncias Químicas de Interesse, o usuário deve clicar no botão “Salvar” da interface “Substância Química de Interesse – SQI”.

A aplicação retornará à interface inicial e será possível verificar que todos os itens da Entrada de Dados estão checados em verde. Assim, o botão “Calcular” será habilitado, e uma barra de progresso indicará o *status* do cálculo, conforme ilustra a Figura 39.

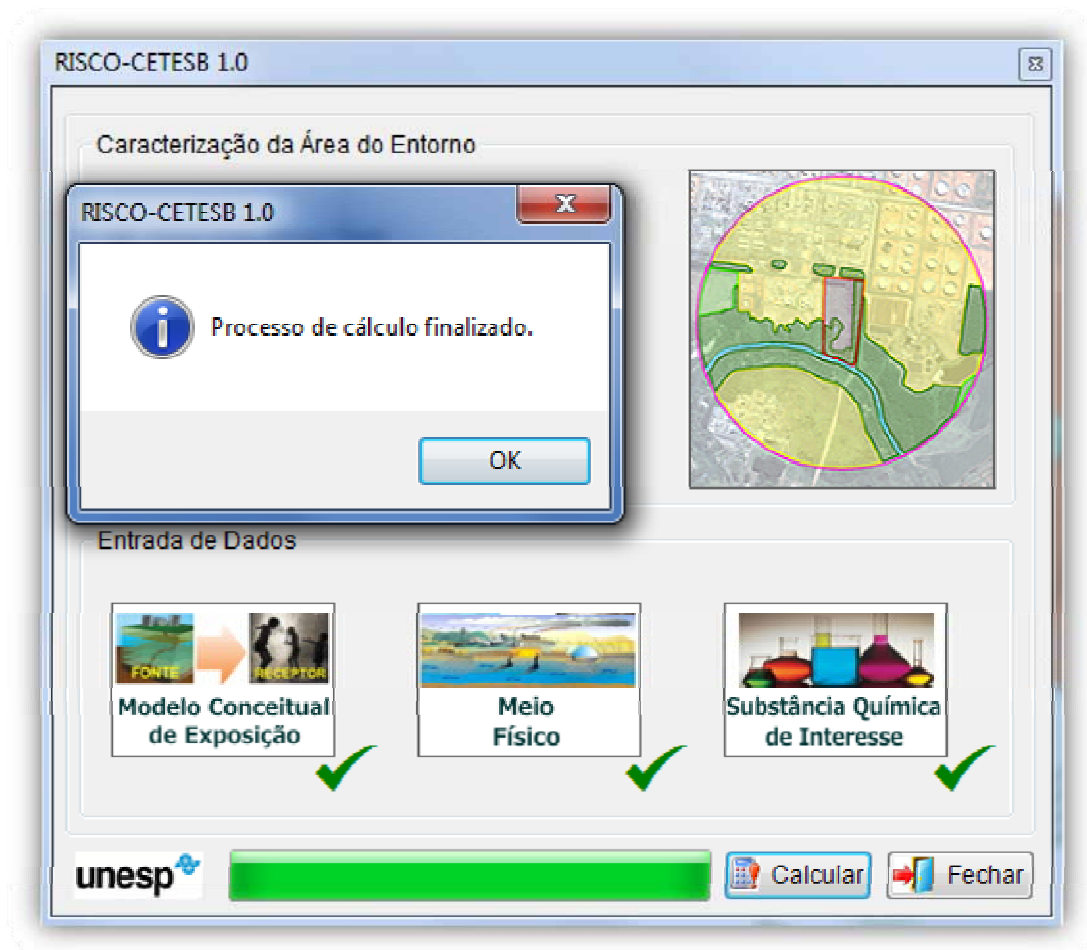


Figura 39 – Barra de Progresso durante o Processamento dos Cálculos

Ao finalizar o cálculo, os resultados obtidos podem ser consultados. Para acessar a ferramenta de consulta, basta entrar no menu “Análise de Risco”, e escolher a opção “Consultar” (Figura 40).

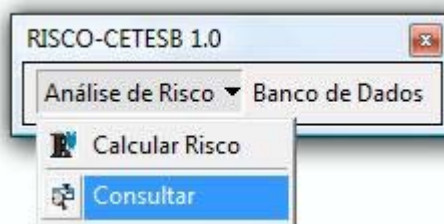


Figura 40 – Acesso à Ferramenta Consultar

A interface de “Consulta de Resultados” permite que o usuário navegue pelos resultados obtidos por meio dos cálculos. Além disso, ao final da pesquisa, pode-se emitir um Relatório com os dados obtidos na simulação. A Figura 41 exemplifica uma busca de resultado específica para o Benzeno, considerando o Meio Físico Água subterrânea, para o período das amostragens citadas no capítulo 05, em Áreas com Risco.

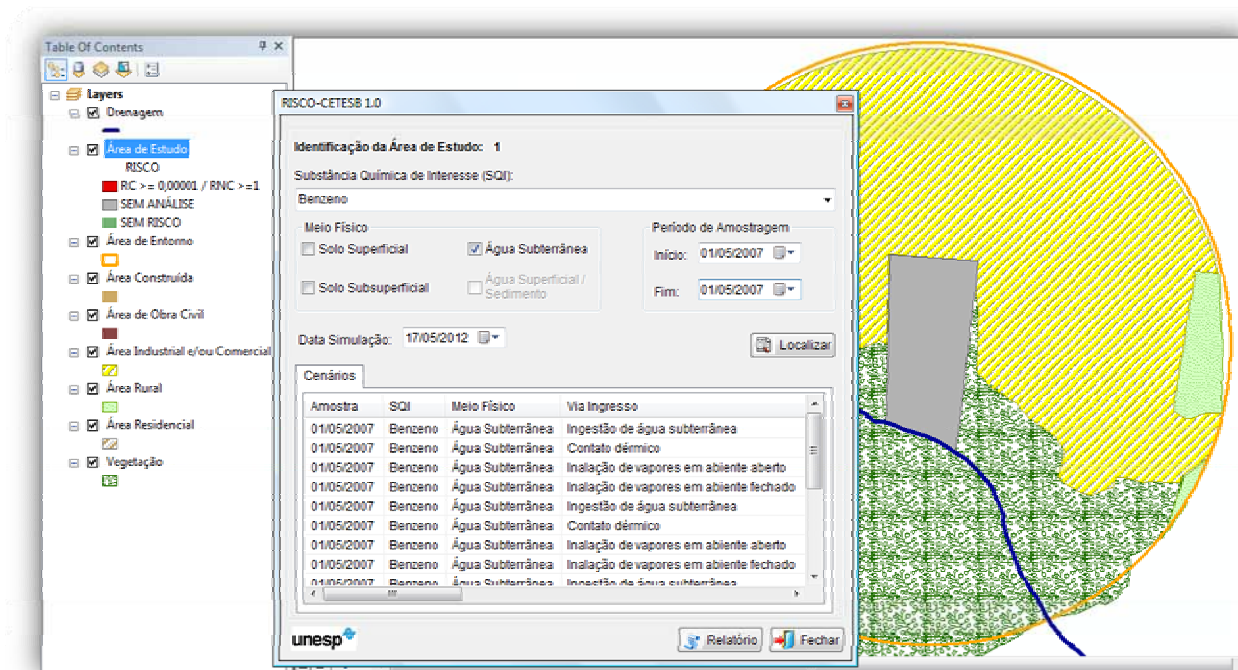


Figura 41 – Ferramenta Consultar

Ao selecionar uma linha da tabela de Consulta de Resultados, a Área de Estudo aparecerá no mapa com:

- i) cor vermelha, caso algum valor tenha ultrapassado o valor de risco aceitável pela CETESB (2009);
- ii) cor verde, caso não tenha ultrapassado os limites de risco.

A Figura 42 ilustra um exemplo de consulta em que o Risco Carcinogênico ultrapassou o Risco Aceitável pela CETESB (2009). Neste caso, a Área de Estudo está colorida de cor vermelha. Vale ressaltar que esta representação é para destacar que existe risco, mas isto não indica que toda a área está sob risco carcinogênico.

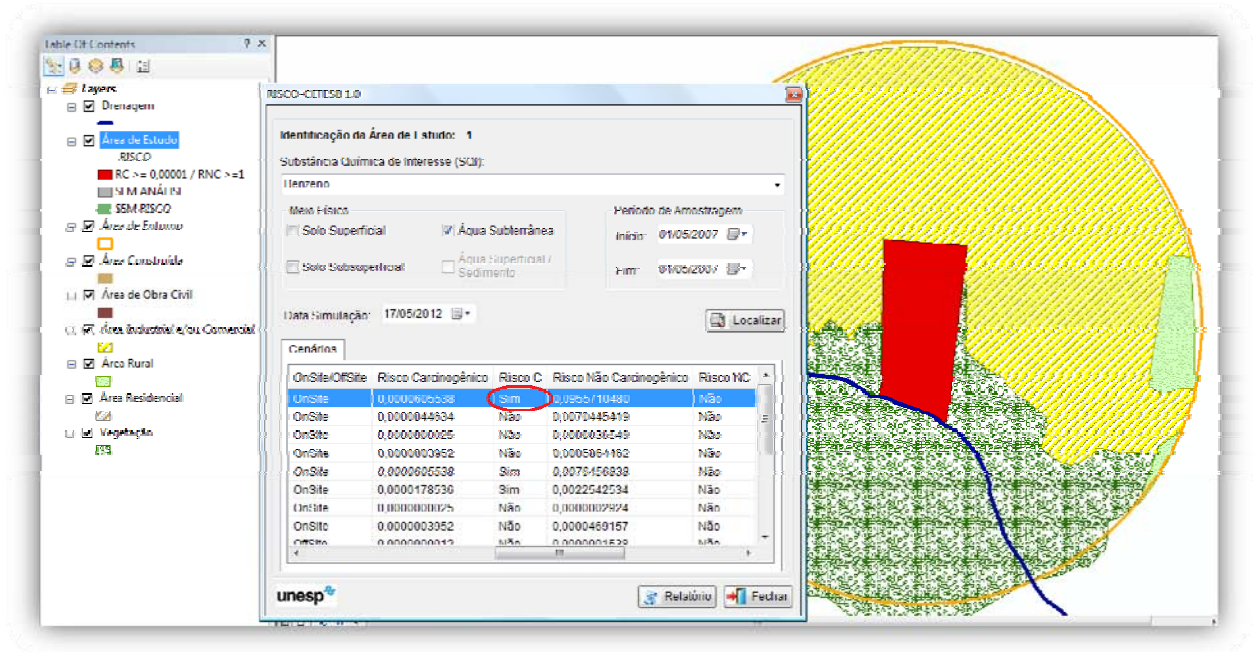


Figura 42 – Resultado da Ferramenta Consultar

Ao finalizar a simulação, observou-se que os resultados, apesar de mais restritivos, eram compatíveis com os obtidos em Squizzato (2008), conforme descrito na Seção 5.8.2.

7. CONCLUSÕES

O aplicativo RISCO-CETESB é uma importante ferramenta de sistema de informações geográficas para a etapa de Avaliação de Risco à Saúde Humana. Com ele, é possível integrar elementos espaciais com os dados alfanuméricos em um único banco de dados, o que evita a geração de dados duplicados, permite mais agilidade na manipulação dos resultados e centraliza o armazenamento das informações.

O aplicativo é alimentado por informações de levantamentos de dados químicos, geológicos e hidrogeológicos obtidos em investigações ambientais. Além disso, o banco de dados é composto por tabelas pré-definidas, que contêm: i) dados toxicológicos e físico-químicos de 672 substâncias químicas de interesse; ii) parâmetros do meio físico padrão para CETESB (2009).

Além disso, o aplicativo unifica os quatro cenários propostos pela CETESB (2009) em uma única interface, o que se reflete em rapidez no preenchimento dos dados de entrada. Isto porque há quatro tipos de planilhas de Avaliação de Risco, o que torna repetitiva a entrada dos dados nas mesmas.

Como produtos, o aplicativo gera o mapa de visualização da área de estudo, em cor destacada para indicar a presença (cor vermelha) ou não (cor verde) de risco à saúde humana. Isso facilita na tomada de decisão, uma vez que é possível priorizar áreas para possíveis projetos de remediação. Além do mapa, o aplicativo gera um relatório com os dados obtidos na simulação.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I.A (1965). **Handbook of Mathematical Functions**. Dover Publications, Inc. New York. pag.299.

ALBERTO, M.C. (2005) **Fluxo de água subterrânea em um sistema encosta-rio, município de Paulínia (SP): caracterização hidrogeológica e simulação numérica**. 117 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro.

AMERICAN STANDARD FOR TESTING AND MATERIALS (2004). **Standard Guide for Risk-Based Corrective Action** (E2081-00). Pensilvânia, 95 p.

BURROUGH, P.A.;MCDONELL, R.A. (1998). **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford University Press Inc., New York, 333p.

CÂMARA, G., DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. (2004). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: DPI/INPE. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>.

CETESB (2009). **Planilhas de Avaliação de Risco**. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/planilhas-para-avalia??o-de-risco/8-planilha-para-avalia??o-de-risco>

CETESB (2007). Decisão de Diretoria nº **103/2007/C/E**, de 22 de junho de 2007. Dispõe sobre o procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas.

CETESB (2005). Decisão de Diretoria N°**195-2005-E**, de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências.

CETESB (2001). **Relatório de estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo, 73p.

CETESB. (2000). **Ações Corretivas Baseadas no Risco (ACBR)** – Câmara Ambiental do Comércio e Derivados de Petróleo. Grupo de Avaliação de Risco – Projeto ACBR.

CETESB (1999). **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. Projeto – GTZ, atualizado em 11/1999.

DOMENICO, P.A. (1987). **An Analytical Model for Multidimensional Transport of a Decaying Contaminant Species**. Journal of Hydrology, Vol. 91, 49–58.

ESRI (2010). **ArcGIS Help Library – ArcGIS Desktop 10**. Disponível em: http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Welcome_to_the_ArcGIS_Help_Library/00r90000001n000000/

FERNANDES, A.J. (1997) **Tectônica Cenozóica na porção média da Bacia do Rio Piracicaba e sua aplicação à Hidrogeologia**. 244 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FETTER, C.W. (1999). **Contaminant Hydrogeology**. New Jersey. Upper Saddle River : Prentice Hall. 500p.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R.R.V (2007). **Introdução ao Geoprocessamento: princípios básicos e aplicação**. Embrapa Meio Ambiente – Documentos 67. Jaguariúna. 52p. Disponível em: http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos_67.pdf

JOHNSON, P.C.; ETTINGER, R.A. (1991) **Heuristic Model for Predicting the Intrusion Rate of Contaminant Vapors into Buildings**. Environmental Science & Technology, Vol. 25, Nº 8, 1445-1452.

JURY, W. A.; RUSSO, D.; STREILE, G.; EL ABD, H. (1990), **Evaluation of volatilization by organic chemicals residing below the soil surface**. Water Resources Research., Vol. 26, Nº 1, 13–20.

MACKAY, D.; PATERSON, S.; MCFARLANE, C. (1994). **A Model of Organic Chemical Uptake by Plants from Soil and the Atmosphere**. Environmental Science & Technology, Vol. 28, N° 13, 2259-2266.

PEDE, M.A.Z. (2004) **Caracterização da condutividade hidráulica do embasamento cristalino alterado saturado na região metropolitana de São Paulo**. 95 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro.

SQUISSATO, B.V.A.O. (2008) **Diagnóstico geoambiental e avaliação de risco à saúde humana para uma área industrial na região do município de Paulínia – SP**. 61 f. Trabalho de conclusão (Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro.

SWARTJES, F.A.; DIRVEN-VAN BREEMEN, E.M.; OTTE, P.F.; VAN BEELEN, P.;RIKKEN, M.G.J, TUINSTRA, J., SPIJKER, J.; LIJZEN, J.P.A. (2007) **Human health risks due to consumption of vegetables from contaminated sites**. RIVM report 711701040. National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven, Netherlands.

TRAPP, S. (2002) **Dynamic Root Uptake for Neutral Lipophilic Organics**. Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 21, N° 1, 203-206.

TRAPP, S.; MATTHIES, M. (1995) **Generic One-Compartment Model for Uptake of Organic Chemicals by Foliar Vegetation**. Environmental Science & Technology, Vol. 29, N° 9, 2333-2338.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). (1996). **Soil screening guidance: Technical background document**. Office of Solid Waste and Emergency Response. EPA/540/R-95/128. Washington, D.C. May.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). (1989). **Risk Assessment Guidance for Superfund**, Volume I, Human Health Evaluation Manual (Part A), Interim Final.EPA/540/1-89/003. Washington, D.C. December.

ANEXOS

ANEXO A

1. LISTA DE SIGLAS

2. MEMORIAL DOS CÁLCULOS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DE RISCO

1. LISTA DE SIGLAS

SIGLA	DESCRIÇÃO	SIGLA	DESCRIÇÃO
A	Área da Fonte (Emissão de Vapores e Solo Impactado)	Ows	Conteúdo Volumétrico de Água na Zona Não Saturada
Ab	Área das Fundações	Pa	Taxa de emissão de partículas
dp	Gradiente de Pressão	Qs	Fluxo Convectivo ao longo das Fundações
ds	Espessura do Solo Subsuperficial Impactado	R	Constante Universal dos Gases
ER	Razão de troca de ar em espaços fechados	Sar	Altura da Zona de Mistura do ar em Ambiente Aberto
foc	Fração de Carbono Orgânico no Solo (Zona Saturada)	Sd	Espessura da Fonte na Água Subterrânea
hcap	Espessura da Franja Capilar	Sgw	Espessura da pluma dissolvida na água subterrânea
hv	Espessura da Zona Não Saturada	SQI	Substância Química de Interesse - Escolhe pelo CAS
i	Gradiente Hidráulico	Sw	Largura da Fonte na Água Subterrânea
SIR	Taxa de infiltração no Solo	T	Temperatura da Água Subterrânea
K	Condutividade Hidráulica	Uar	Velocidade do ar na zona de respiração
Kv	Permeabilidade do Solo ao Vapor	Ugw	Velocidade de Darcy
Lb	Pé Direito	vs	Velocidade de Escoamento
Lcrk	Espessura das fundações/paredes de construções	Ws	Largura da área fonte no solo superficial
Lgw	Profundidade do Nível d'Água	Wss	Largura da área fonte no solo subsuperficial
Ls	Espessura do Solo Superficial Impactado	Ww	Largura da área fonte na direção paralela ao fluxo da água subterrânea
Lss	Profundidade do Topo da Fonte no solo subsuperficial	x	Distancia entre a área fonte na água subterrânea e o Ponto de Exposição
Miar	Viscosidade do Ar	Xcrk	Perímetro das Fundações
Oacap	Conteúdo Volumétrico de Ar na Franja Capilar	Zcrk	Profundidade da base das fundações
Oacrk	Conteúdo volumétrico de ar nas fundações/paredes	ax	Dispersividade Longitudinal
Oas	Conteúdo Volumétrico de Ar na Zona Não Saturada	ay	Dispersividade Transversal
Oef	Porosidade Efetiva	az	Dispersividade Vertical
OT	Porosidade Total	η	Fração da área de rachaduras/fendas nas fundações/paredes
Owcap	Conteúdo Volumétrico de Água na Franja Capilar	ps	Densidade do Solo
Owcrk	Conteúdo volumétrico de água nas fundações/paredes	T	Tempo médio do fluxo de vapor a partir da fonte

SIGLA	DESCRIÇÃO
AF	Fator de aderência do solo na pele
A_L	Área foliar
ATc	Tempo médio para efeitos carcinogênicos
ATc_{veg}	Tempo médio para carcinogênicos genotóxicos
ATn	Tempo médio para efeitos não carcinogênicos
ATnc_{veg}	Tempo médio para não carcinogênicos
aveg	correção da densidade
b	Expoente de correção para diferenças entre lipídios da planta e octanol
b_{Trapp}	Fator empírico
BW	Massa corpórea
cdpx	Constante de deposição de partículas nas folhas vegetais
ED	Duração da exposição
ED_{veg}	Duração da exposição para consumo de vegetais
EF	Frequência da Exposição
Efrec	Frequência da Exposição para recreação
Efsderm	Frequência de Exposição para Contato dérmico com solo superficial
EF_{veg}	Frequência de exposição para consumo de vegetais
Efwderm	Frequência de Exposição para Contato dérmico com a água subterrânea
Etaa	Tempo de Exposição para inalação de vapores em ambientes abertos
Etaf	Tempo de Exposição para inalação de vapores em ambientes Fechados
Etrec	Tempo de Exposição durante recreação em água sup. - contato dérmico
Etrebig	Tempo de Exposição durante recreação em água sup. - ingestão
Etrein	Tempo de Exposição durante recreação em água sup. - inalação
Ets	Tempo de Exposição para inalação de partículas e vapores do solo superficial
Etwderm	Tempo de Exposição para contato dérmico com água subterrânea
EV	Frequência de Eventos para contato dérmico com o solo
ExpVida	Expectativa de Vida
FD	Fração da fonte em contato dérmico
fdws	Razão de base seca para base úmida em culturas foliáceas
FI	Fração Ingerida da Fonte de Contaminação - Solo
Fl_{veg}	Fração ingerida de vegetais provenientes de área contaminada
frb	Fator de conversão de peso em base seca para base úmida para cultura foleáceas
frk	Fator de conversão de peso em base seca para base úmida para raízes
g	Condutância
IRaamb	Taxa de inalação diária em ambientes abertos
IRaesp	Taxa de inalação diária em ambientes fechados
IR_L	Taxa de ingestão de culturas caseiras foleáceas/estruturais
IR_R	Taxa de ingestão de culturas caseiras tuberosas
IRrec	Taxa de ingestão de água durante a recreação na água superficial
IRs	Taxa de ingestão de solo
IRw	Taxa de ingestão diária de água
kveg	Constante de primeira ordem da taxa de crescimento
Lp	Conteúdo lipídico na planta foleácea
L_{trapp}	Conteúdo lipídico na raiz
Qveg	Fluxo de transpiração
R	Constante Universal dos Gases
SA	Área superficial da pele disponível para contato dérmico - solo e água subterrânea
SAre	Área superficial da pele disponível para contato dérmico durante recreação na água superficial
T_{ar}	Temperatura
THI	Quociente de Risco não Carcinogenico
TR	Risco Carcinogênico
V_a	Fração do volume no ar
V_L	Volume foliar
V_s	Fração de volume no solo
V_{Trapp}	Volume radicular
V_w	Fração de volume na água
Wp	Teor de umidade nas folhas da planta
W_{Trapp}	Teor de umidade nas raízes
λg	Constante da taxa de crescimento
λm	Constante da taxa de metabolismo

2. MEMORIAL DOS CÁLCULOS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DE RISCO

CÁLCULOS AUXILIARES

Conteúdo Volumétrico de Água na Zona Não Saturada (Ows)

$$Ows = OT * 0,39$$

Conteúdo Volumétrico de Ar na Zona Não Saturada (Oas)

$$Oas = OT - Ows$$

Conteúdo Volumétrico de Água nas Fundações/Paredes (Owcrk)

$$Owcrk = OT * 0,39$$

Conteúdo Volumétrico de Ar nas Fundações/Paredes (Oacrk)

$$Oacrk = OT * 0,61$$

Perímetro das Fundações (Xcrk)

$$Xcrk = 4 * \sqrt{Ab}$$

Fluxo Convectivo ao longo das Fundações (Qs)

$$Qs = \frac{(2 * \pi * dp * Kv * Xcrk)}{(Miar * \ln(\frac{2 * Zcrk * Xcrk}{Ab * \eta}))}$$

Conteúdo Volumétrico de Água na Franja Capilar (Owcap)

$$Owcrk = OT * 0,9$$

Conteúdo Volumétrico de Ar na Franja Capilar (Oacap)

$$Oacrk = OT * 0,1$$

Espessura da Zona Não-Saturada (hv)

$$hv = Lgw - hcap$$

Velocidade de Darcy (Ugw)

$$Ugw = K * i$$

CÁLCULO DO FATOR DE ATENUAÇÃO NATURAL (DAF), A PARTIR DO MODELO DE DOMENICO COM DECAIMENTO DE 1ª ORDEM

Dispersividade Longitudinal (α_x)

$$\alpha_x = 0,1 * x \text{ (cm)}$$

Dispersividade Transversal (α_y)

$$\alpha_y = 0,33 * \alpha_x \text{ (cm)}$$

Dispersividade Vertical (α_z)

$$\alpha_z = 0,05 * \alpha_x \text{ (cm)}$$

Coefficiente de partição (K_d)

$$K_d = f_{oc} * K_{oc}$$

Fator de Retardação (R)

(transporte de massa acompanhado por sorção linear)

$$R = 1 + \left(\frac{K_d * \rho_s}{\theta_{ef}} \right)$$

Coefficiente de Decaimento de 1ª Ordem (λ)

$$\lambda = \frac{0,6931}{C_{tek}} * \frac{1}{365} \text{ (dias)}^{-1}$$

Velocidade de Escoamento (v_s)

$$v_s = \frac{K * i}{\theta_{ef}} \text{ (cm/dia)}$$

Cálculo de DAF (Fator de Atenuação por Diluição em Água Subterrânea)

Transporte de Contaminantes com Decaimento de 1ª Ordem

$$DAF = \exp\left(\frac{x}{2\alpha_x} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{4 * \lambda * \alpha_x * R}{v_s}} \right]\right) * \operatorname{erf}\left(\frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_y * x}}\right) * \operatorname{erf}\left(\frac{S_d}{2\sqrt{\alpha_z * x}}\right)$$

CÁLCULOS DOS FATORES DE TRANSPORTE

Coeficiente de Difusão Efetiva do Solo (Def_f_s)

$$Def_f_s (cm^2/s) = Dar * \frac{Oas^{3,33}}{OT^2} + \left(\frac{Dagua}{H}\right) * \left(\frac{Ows^{3,33}}{OT^2}\right)$$

Coeficiente de Difusão Através da Fendas de Construções (Def_{crack})

$$Def_{crack} (cm^2/s) = Dar * \frac{Oacrk^{3,33}}{OT^2} + \left(\frac{Dagua}{H}\right) * \left(\frac{Owcrk^{3,33}}{OT^2}\right)$$

Fluxo Convectivo de Ar através das Fissuras de Construções (E)

$$E (adimensional) = \frac{(Qs/Ab)}{(Def_{crack}/Lcrk) * \eta}$$

Coeficiente de Difusão na Franja Capilar (Def_{cap})

$$Def_{cap} (cm^2/s) = Dar * \frac{Oacap^{3,33}}{OT^2} + \left(\frac{Dagua}{H}\right) * \left(\frac{Owcap^{3,33}}{OT^2}\right)$$

Coeficiente de Difusão Efetiva Água Subterrânea – Solo (Def_{gws})

$$Def_{gws} (cm^2/s) = (hcap + hv) * \left(\frac{hcap}{Def_{cap}} + \frac{hv}{Def_f_s}\right)^{-1}$$

Fator de Diluição pela Lixiviação (LDF)

$$LDF (adimensional) = 1 + \frac{Ugw * Lgw}{SIR * Wss} * 365$$

Fator de Partição Fase Retida – Água Intersticial do Solo (Ksw)

$$Ksw (Kg/L) = \frac{ps}{Ows + Kd * ps + H * Oas}$$

Concentração de Saturação no Solo ($CSolo$)

$$CSolo (mg/Kg) = \frac{S}{Ksw}$$

Fator de Volatilização Solo Superficial (VF_{ss})

$$VF_{ss}(Kg/m^3) = Min(1,2)$$

$$(1) VF_{ss} = \frac{2 * W_s * ps}{Uar * Sar} * \sqrt{\frac{Def fs * H}{\pi * \tau * (Ows + Kd * ps + H * Oas)}} * 10^3$$

$$(2) VF_{ss} = \frac{Ls * W_s * ps}{Uar * Sar * \tau} * 10^3$$

Fator de Emissão de Particulado do Solo (PEF)

$$PEF (Kg/m^3) = \frac{Pa * W_s}{Uar * Sar} * 10^3$$

Fator de Volatilização Solo Subsuperficial para Ambientes Abertos (VF_{samb})

$$VF_{samb} (Kg/m^3) = Min(1,2)$$

$$(1) VF_{samb} = \frac{H * ps}{(Ows + Kd * ps + H * Oas) * \left(1 + \frac{Uar * Sar * Lss}{Def fs * W_{ss}}\right)} * 10^3$$

$$(2) VF_{samb} = \frac{dss * W_{ss} * ps}{Uar * Sar * \tau} * 10^3$$

Fator de Volatilização Solo Subsuperficial para Ambientes Fechados (VF_{sesp})

$$VF_{sesp} (Kg/m^3) = Min(1a \text{ ou } 1b, 2)$$

(1a) Se $Q_s = 0$, então:

$$VF_{sesp} = \frac{\left(\frac{H * ps}{Ows + Kd * ps + H * Oas}\right) * \left(\frac{Def fs / Lss}{ER * Lb}\right)}{\left[1 + \left(\frac{Def fs / Lss}{ER * Lb}\right) + \left(\frac{Def fs / Lss}{(Def crack / Lcrk) * \eta}\right)\right]} * 10^3$$

(1b) Se $Q_s > 0$, então:

$$VF_{sesp} = \frac{\left(\frac{H * ps}{Ows + Kd * ps + H * Oas}\right) * \left(\frac{Def fs / Lss}{ER * Lb}\right) * e^E}{\left[e^E + \left(\frac{Def fs / Lss}{ER * Lb}\right) + \left(\frac{Def fs / Lss}{Q_s / Ab}\right) * (e^E - 1)\right]} * 10^3$$

$$(2) VF_{sesp} = \frac{dss * ps}{Lb * Er * \tau} * 10^3$$

Fator de Lixiviação Solo Subsuperficial para Água Subterrânea (LF)

$$LF (Kg/m^3) = \frac{Ksw}{LDF} * 10^3$$

Fator de Volatilização Água Subterrânea para Ambientes Abertos (VF_{wamb})

$$VF_{wamb}(L/m^3) = \frac{H}{\left(1 + \frac{Uar*Sar*Lgw}{Deffgws*Ww}\right)} * 10^3$$

Fator de Volatilização Água Subterrânea para Ambientes Fechados (VF_{wesp})

(1) Se $Qs = 0$, então:

$$VF_{sesp} = \frac{(H) * \left(\frac{Deffgws/Lgw}{ER*Lb}\right)}{\left[1 + \left(\frac{Deffgws/Lgw}{ER*Lb}\right) + \left(\frac{Deffgws/Lgw}{(Def crack/Lcrk)*\eta}\right)\right]} * 10^3$$

(2) Se $Qs > 0$, então:

$$VF_{sesp} = \frac{(H) * \left(\frac{Deffgws/Lgw}{ER*Lb}\right) * e^E}{\left[e^E + \left(\frac{Deffgws/Lgw}{ER*Lb}\right) + \left(\frac{Deffgws/Lgw}{Qs/Ab}\right) * (e^E - 1)\right]} * 10^3$$

Fator de Bioconcentração (raízes/folhas) estimado para SQIs metálicas (BCF) (SWARTJES, 2007)

$$BCF = \exp(2,67 - 1,12 * \ln(Kd))$$

Concentração de SQI em partículas depositadas nas folhas (Cdp)

$$Cdp (mg/Kg) = CfSoloSub * cdp_x$$

Fator de Concentração do Fluxo de Transpiração para SQIs Orgânicas (TRAPP; MATTHIES, 1995)

$$TSCF = 0,784 * \exp(-[(Kow - 1,78)^2/2,44])$$

Coefficiente de Partição entre as Folhas e a Atmosfera para SQIs orgânicas (KLA) (TRAPP; MATTHIES, 1995)

$$KLA = \frac{Wp + Lp * (10^{Kow})^b}{H}$$

Expressão de perda para as Folhas (a) (TRAPP&MATTHIES, 1995)

$$a (dias^{-1}) = \left[\frac{(Al * g)}{(KLA * Vl)} \right] + \lambda_m + \lambda_g + \lambda_p$$

Constante de Fugacidade para Água para SQtS orgânicas (Zw)

$$Z_w \text{ (mol/(m}^3 \cdot \text{Pa))} = \frac{1}{HLC \cdot 101325}$$

Constante de Fugacidade para o Solo para SQtS orgânicas (Zs)

$$Z_s \text{ (mol/(m}^3 \cdot \text{Pa))} = \frac{Kd \cdot ps \cdot Z_w}{V_s}$$

Constante de Fugacidade para o Ar para SQtS orgânicas (Za) (MACKAY *et al*, 1994)

$$Z_a \text{ (mol/(m}^3 \cdot \text{Pa))} = \frac{1}{R \cdot T_{ar}}$$

Fração de Massa de Água no Solo para SQtS orgânicas (Pw)

$$P_w = \frac{Z_w \cdot V_w}{Z_a \cdot V_a + Z_w \cdot V_w + Z_s \cdot V_s}$$

Equilíbrio de Partição entre Raiz e Água para SQtS orgânicas (Krw) (TRAPP, 2002)

$$K_{rw} \text{ (L/Kg)} = W_{trapp} + L_{trapp} \cdot a_{veg} \cdot (10^{K_{ow}})^{b_{trapp}}$$

Fator de Bioconcentração para Culturas Tuberosas de SQtS orgânicas (BCFR) (TRAPP, 2002)

$$BCFR = \frac{Q_{veg}/Kd}{(Q_{veg}/K_{rw}) + kv \cdot V_{trapp}}$$

CÁLCULOS DOS FATORES DE INGRESSO

Solo Superficial

Ingestão de Solo Superficial Impactado

(a) Carcinogênico:

$$IFSoloIngC \text{ (dias}^{-1}\text{)} = \frac{IRs * EF * ED * FI * 10^{-6}}{BW * ATc}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$IFSoloIngNC \text{ (dias}^{-1}\text{)} = \frac{IRs * EF * ED * FI * 10^{-6}}{BW * ATn}$$

Ingestão de Vegetais

(a) Carcinogênico:

$$IFSoloIngVegC \text{ (dia/Kg * dia)} = \frac{FI_{veg} * EF_{veg} * ED_{veg}}{BW * AT_{cveg}}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$IFSoloIngVegNC \text{ (dia/Kg * dia)} = \frac{FI_{veg} * EF_{veg} * ED_{veg}}{BW * AT_{ncveg}}$$

Contato Dérmico com Solo Superficial Impactado

(a) Carcinogênico:

$$IFSoloDermC \text{ (dias}^{-1}\text{)} = \frac{SA * AF * EF_{sderm} * ED * EV * 10^{-6}}{BW * ATc}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$IFSoloDermNC \text{ (dias}^{-1}\text{)} = \frac{SA * AF * EF_{sderm} * ED * EV * 10^{-6}}{BW * ATn}$$

Inalação de Vapores, devido à Volatilização e Dispersão Atmosférica

(a) Carcinogênico:

$$IFSoloInVapC \text{ (m}^3\text{/Kg * dia)} = \frac{IR_{aamb} * EF * ETs * ED}{BW * ATc}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$IFSoloInVapNC \text{ (m}^3\text{/Kg * dia)} = \frac{IR_{aamb} * EF * ETs * ED}{BW * ATn}$$

Inalação de Partículas, devido à Erosão Eólica e Dispersão Atmosférica

(a) Carcinogênico:

$$IFSoloInParC (m^3/Kg * dia) = \frac{IR_{aamb} * EF * ETs * ED}{BW * ATc}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$IFSoloInParNC (m^3/Kg * dia) = \frac{IR_{aamb} * EF * ETs * ED}{BW * ATn}$$

Solo Subsuperficial

Ingestão de Água Subterrânea a partir da Lixiviação

(a) Carcinogênico:

$$IFSSIngC (L/Kg * dia) = \frac{IRw * EF * ED}{BW * ATc}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$IFSSIngNC (L/Kg * dia) = \frac{IRw * EF * ED}{BW * ATn}$$

Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes do Solo Subsuperficial

(a) Carcinogênico:

$$IFSSInAbC (m^3/Kg * dia) = \frac{IR_{aamb} * EF * ETaa * ED}{BW * ATc}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$IFSSInAbNC (m^3/Kg * dia) = \frac{IR_{aamb} * EF * ETaa * ED}{BW * ATn}$$

Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes do Solo Subsuperficial

(a) Carcinogênico:

$$IFSSInFecC (m^3/Kg * dia) = \frac{IR_{aesp} * EF * ETaf * ED}{BW * ATc}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$IFSSInFecNC (m^3/Kg * dia) = \frac{IR_{aesp} * EF * ETaf * ED}{BW * ATn}$$

Água Subterrânea

Ingestão de Água Subterrânea

(a) Carcinogênico:

$$IFASIngC (L/Kg * dia) = \frac{IRw * EF * ED}{BW * ATc}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$IFASIngNC (L/Kg * dia) = \frac{IRw * EF * ED}{BW * ATn}$$

Contato Dérmico com Água Subterrânea Contaminada

(a) Carcinogênico:

$$IFASubDermC (cm^2 * hora/Kg * dia) = \frac{SA * EF_{wderm} * ED * ET_{wderm} * 10^{-3}}{BW * ATc}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$IFASubDermNC (cm^2 * hora/Kg * dia) = \frac{SA * EF_{wderm} * ED * ET_{wderm} * 10^{-3}}{BW * ATn}$$

Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes da Água Subterrânea

(a) Carcinogênico:

$$IFASInAbC (m^3/Kg * dia) = \frac{IR_{aamb} * EF * ET_{aa} * ED}{BW * ATc}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$IFASInAbNC (m^3/Kg * dia) = \frac{IR_{aamb} * EF * ET_{aa} * ED}{BW * ATn}$$

Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes da Água Subterrânea

(a) Carcinogênico:

$$IFASInFecC (m^3/Kg * dia) = \frac{IR_{aesp} * EF * ET_{af} * ED}{BW * ATc}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$IFASInFecNC (m^3/Kg * dia) = \frac{IR_{aesp} * EF * ET_{af} * ED}{BW * ATn}$$

Água Superficial – Uso Recreativo

Inalação

(a) Carcinogênico:

$$IFASupInC (m^3/Kg * dia) = \frac{IR_{aamb} * EF_{rec} * ET_{inrec} * ED}{BW * ATc}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$IFASupInNC (m^3/Kg * dia) = \frac{IR_{aamb} * EF_{rec} * ET_{inrec} * ED}{BW * ATn}$$

Ingestão

(a) Carcinogênico:

$$IFASupIgC (L/Kg * dia) = \frac{IR_{rec} * EF_{rec} * ET_{igrec} * ED}{BW * ATc}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$IFASupIgNC (L/Kg * dia) = \frac{IR_{rec} * EF_{rec} * ET_{igrec} * ED}{BW * ATn}$$

Contato Dérmico

(a) Carcinogênico:

$$IFASupDermC (cm^2 * hora/Kg * dia) = \frac{SA * EF_{rec} * ED * ET_{rec} * 10^{-3}}{BW * ATc}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$IFASupDermNC (cm^2 * hora/Kg * dia) = \frac{SA * EF_{rec} * ED * ET_{rec} * 10^{-3}}{BW * ATn}$$

Sedimento

Ingestão

(a) Carcinogênico:

$$IFSedIngC (dias^{-1}) = \frac{IRs * EF * ED * FI * 10^{-6}}{BW * ATc}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$IFSedIngNC (dias^{-1}) = \frac{IRs * EF * ED * FI * 10^{-6}}{BW * ATn}$$

Contato Dérmico

(a) Carcinogênico:

$$IFSedDermC \text{ (dias}^{-1}\text{)} = \frac{SA * AF * EF * ED * FD * 10^{-6}}{BW * ATc}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$IFSedDermNC \text{ (dias}^{-1}\text{)} = \frac{SA * AF * EF * ED * FD * 10^{-6}}{BW * ATn}$$

CÁLCULOS DAS CONCENTRAÇÕES FINAIS

Na Fonte de Contaminação

Ar – a partir do solo superficial – Vapores (CfArSoloSupVap)

$$CfArSoloSupVap (mg/m^3) = CfSoloSup * VF_{ss}$$

Ar – a partir do solo superficial – Partículas (CfArSoloSupPar)

$$CfArSoloSupPar (mg/m^3) = CfSoloSup * PEF$$

Ar – a partir do solo subsuperficial – Ambientes Abertos (CfArSoloSubAb)

$$CfArSoloSubAb (mg/m^3) = CfSoloSub * VF_{samb}$$

Ar – a partir do solo subsuperficial – Ambientes Fechados (CfArSoloSubFec)

$$CfArSoloSubFec (mg/m^3) = CfSoloSub * VF_{sesp}$$

Ar – a partir da água subterrânea – Ambientes Abertos (CfArAguaSubAb)

$$CfArAguaSubAb (mg/m^3) = CfAguaSub * VF_{wamb}$$

Ar – a partir da água subterrânea – Ambientes Fechados (CfArAguaSubFec)

$$CfArAguaSubFec (mg/m^3) = CfAguaSub * VF_{wesep}$$

Água subterrânea a partir da lixiviação do solo subsuperficial (CfAguaLixSoloSub)

$$CfAguaLixSoloSub (mg/L) = CfSoloSub * LF * 10^{-3}$$

Fora da Fonte de Contaminação

Água Subterrânea – a partir do transporte saturado (CffAguaAguaSub)

$$CffAguaAguaSub (mg/L) = CfAguaSub * DAF$$

Água subterrânea a partir da lixiviação do solo (CffAguaLixSoloSub)

$$CffAguaLixSoloSub (mg/L) = CfAguaLixSoloSub * DAF$$

Ar – a partir da água subterrânea – Ambientes Abertos (CffArAguaSubAb)

$$CffArAguaSubAb (mg/m^3) = CffAguaAguaSub * VF_{wamb}$$

Ar – a partir da água subterrânea – Ambientes Fechados (CffArAguaSubFec)

$$CffArAguaSubFec (mg/m^3) = CffAguaAguaSub * VF_{wesp}$$

Água Superficial (CffAguaSup)

$$CffAguaSup (mg/L) = CffAguaAguaSub/10$$

CÁLCULOS DOS RISCOS PARA MATRIZ SOLO

SOLO SUPERFICIAL – ON SITE

Ingestão de Solo Superficial Impactado

(a) Carcinogênico:

$$RSoloIngC = CfSoloSup * IFSoloIngC * Sfig$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$RSoloIngNC = CfSoloSup * IFSoloIngNC / RfDigcn$$

(c) Risco Carcinogênico Cumulativo para Ingestão de Solo Superficial Impactado

$$RSoloIngCCum = \sum_i^n RSoloIngC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Carcinogênico para Ingestão de Solo Superficial Impactado.

(d) Risco Não-Carcinogênico Cumulativo para Ingestão de Solo Superficial Impactado

$$RSoloIngNCCum = \sum_i^n RSoloIngNC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Não Carcinogênico para Ingestão de Solo Superficial Impactado.

Ingestão de Vegetais Contaminados por Compostos Metálicos

(a) Carcinogênico:

$$RSIngVegMC = CfSoloSup * (IFSoloIngVegC * Sfig) * (IRL * (BCF + Cdpx) + (IRR * BCF))$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$RSIngVegMNC = \frac{CfSoloSup * (IFSoloIngVegNC) * (IRL * (BCF + Cdpx) + (IRR * BCF))}{RfDigcn}$$

(c) Risco Carcinogênico Cumulativo para Ingestão de Vegetais Contaminados por Compostos Metálicos

$$RSIngVegMCCum = \sum_i^n RSIngVegMC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Carcinogênico para Ingestão de Vegetais Contaminados por Compostos Metálicos.

(d) Risco Não-Carcinogênico Cumulativo para Ingestão de Vegetais Contaminados por Compostos Metálicos

$$RSIngVegMNCCum = \sum_i^n RSIngVegMNC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Não Carcinogênico para Ingestão de Vegetais Contaminados por Compostos Metálicos.

Ingestão de Vegetais Contaminados por Compostos Orgânicos

(a) Carcinogênico:

$$RSIngVegOC = CfSoloSup * (IFSoloIngVegC * Sfig) * (IRL * \left(\frac{ps * Pw * TSCF * Q}{Vw * \rho_{plant} * a * VL} + CdpX \right) + (IRR * BCFR))$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$RSIngVegONC = \frac{CfSoloSup * (IFSoloIngVegNC) * (IRL * \left(\frac{ps * Pw * TSCF * Q}{Vw * \rho_{plant} * a * VL} + CdpX \right) + (IRR * BCFR))}{RfDigcn}$$

(c) Risco Carcinogênico Cumulativo para Ingestão de Vegetais Contaminados por Compostos Orgânicos

$$RSIngVegOCCum = \sum_i^n RSIngVegOC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Carcinogênico para Ingestão de Vegetais Contaminados por Compostos Orgânicos.

(d) Risco Não-Carcinogênico Cumulativo para Ingestão de Vegetais Contaminados por Compostos Orgânicos

$$RSIngVegONCCum = \sum_i^n RSIngVegONC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Não Carcinogênico para Ingestão de Vegetais Contaminados por Compostos Orgânicos.

Contato Dérmico com Solo Superficial Impactado

(a) Carcinogênico:

$$RSoloDermC = CfSoloSup * ABSd * IFSoloDermC * Sfdm$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$RSoloDermNC = \frac{CfSoloSup * ABSd * IFSoloDermNC}{RfDdmcn}$$

(c) Risco Carcinogênico Cumulativo para Contato Dérmico com Solo Superficial Impactado

$$RSoloDermCCum = \sum_i^n RSoloDermC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Carcinogênico para Contato Dérmico com Solo Superficial Impactado.

(d) Risco Não-Carcinogênico Cumulativo para Contato Dérmico com Solo Superficial Impactado

$$RSoloDermNCCum = \sum_i^n RSoloDermNC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Não Carcinogênico para Contato Dérmico com Solo Superficial Impactado.

Inalação de Vapores, devido à Volatilização e Dispersão Atmosférica

(a) Carcinogênico:

$$RSoloInVapC = CfSoloSup * VF_{SS} * IFSoloInVapC * Sfin$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$RSoloInVapNC = \frac{CfSoloSup * VF_{SS} * IFSoloInVapNC}{RfDincn}$$

(c) Risco Carcinogênico Cumulativo para Inalação de Vapores, devido à Volatilização e Dispersão Atmosférica

$$RSoloInVapCCum = \sum_i^n RSoloInVapC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Carcinogênico para Inalação de Vapores, devido à Volatilização e Dispersão Atmosférica.

(d) Risco Não-Carcinogênico Cumulativo para Inalação de Vapores, devido à Volatilização e Dispersão Atmosférica

$$RSoloInVapNCCum = \sum_i^n RSoloInVapNC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Não Carcinogênico para Inalação de Vapores, devido à Volatilização e Dispersão Atmosférica.

Inalação de Partículas, devido à Erosão Eólica e Dispersão Atmosférica

(a) Carcinogênico:

$$RSoloInParC = CfSoloSup * PEF * IFSoloInParC * Sfin$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$RSoloInParNC = \frac{CfSoloSup * PEF * IFSoloInParNC}{RfDincn}$$

(c) Risco Carcinogênico Cumulativo para Inalação de Partículas, devido à Erosão Eólica e Dispersão Atmosférica

$$RSoloInParCCum = \sum_i^n RSoloInParC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Carcinogênico para Inalação de Partículas, devido à Erosão Eólica e Dispersão Atmosférica.

(d) Risco Não-Carcinogênico Cumulativo para Inalação de Partículas, devido à Erosão Eólica e Dispersão Atmosférica

$$RSoloInParNCCum = \sum_i^n RSoloInParNC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Não Carcinogênico para Inalação de Partículas, devido à Erosão Eólica e Dispersão Atmosférica.

SOLO SUBSUPERFICIAL – ON SITE

Ingestão de Água Subterrânea a partir da Lixiviação

(a) Carcinogênico:

$$RFSSIngC = CfAguaLixSoloSub * IFSSIngC * Sfig$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$RFSSIngNC = \frac{CfAguaLixSoloSub * IFSSIngNC}{RfDigcn}$$

(c) Risco Carcinogênico Cumulativo para Ingestão de Água Subterrânea a partir da Lixiviação

$$RFSSIngCCum = \sum_i^n RFSSIngC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Carcinogênico para Ingestão de Água Subterrânea a partir da Lixiviação.

(d) Risco Não-Carcinogênico Cumulativo para Ingestão de Água Subterrânea a partir da Lixiviação

$$RFSSIngNCCum = \sum_i^n RFSSIngNC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Não Carcinogênico para Ingestão de Água Subterrânea a partir da Lixiviação.

Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes do Solo Subsuperficial

(a) Carcinogênico:

$$RSSInAbC = CfArSoloSubAb * IFSSInAbC * Sfin$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$RSSInAbNC = \frac{CfArSoloSubAb * IFSSInAbNC}{RfDincn}$$

(c) Risco Carcinogênico Cumulativo para Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes do Solo Subsuperficial

$$RSSInAbCCum = \sum_i^n RSSInAbC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Carcinogênico para Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes do Solo Subsuperficial.

(d) Risco Não-Carcinogênico Cumulativo para Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes do Solo Subsuperficial

$$RSSInAbNCCum = \sum_i^n RSSInAbNC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Não Carcinogênico para Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes do Solo Subsuperficial.

Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes do Solo Subsuperficial

(a) Carcinogênico:

$$RSSInFecC = CfArSoloSubFec * IFSSInFecC * Sfin$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$RSSInFecNC = \frac{CfArSoloSubFec * IFSSInFecNC}{RfDincn}$$

(c) Risco Carcinogênico Cumulativo para Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes do Solo Subsuperficial

$$RSSInFecCCum = \sum_i^n RSSInFecC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Carcinogênico para Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes do Solo Subsuperficial.

(d) Risco Não-Carcinogênico Cumulativo para Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes do Solo Subsuperficial

$$RSSInFecNCCum = \sum_i^n RSSInFecNC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Não Carcinogênico para Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes do Solo Subsuperficial.

SOLO SUBSUPERFICIAL – OFF SITE

Ingestão de Água Subterrânea a partir da Lixiviação

(a) Carcinogênico:

$$RFSSIngoffC = CffAguaLixSoloSub * IFSSIngC * Sfig$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$RFSSIngoffNC = \frac{CffAguaLixSoloSub * IFSSIngNC}{RfDigcn}$$

(c) Risco Carcinogênico Cumulativo para Ingestão de Água Subterrânea a partir da Lixiviação (*off site*)

$$RFSSIngoffCCum = \sum_i^n RFSSIngoffC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Carcinogênico para Ingestão de Água Subterrânea a partir da Lixiviação (*off site*).

(d) Risco Não-Carcinogênico Cumulativo para Ingestão de Água Subterrânea a partir da Lixiviação (*off site*)

$$RFSSIngoffNCCum = \sum_i^n RFSSIngoffNC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Não Carcinogênico para Ingestão de Água Subterrânea a partir da Lixiviação (*off site*).

Risco Cumulativo por SQI para Receptor na Fonte de Contaminação (Matriz: Solo)

(a) Risco Carcinogênico:

$$RCSoloCum = RSoloIngC + RSIngVegMC + RSIngVegOC + RSoloDermC + RSoloInVapC \\ + RSoloInParC + RFSSIngC + RSSInAbC + RSSInFecC$$

(b) Risco Não Carcinogênico:

$$RNCSoloCum = RSoloIngNC + RSIngVegMNC + RSIngVegONC + RSoloDermNC \\ + RSoloInVapNC + RSoloInParNC + RFSSIngNC + RSSInAbNC \\ + RSSInFecNC$$

Risco Cumulativo por SQI para Receptor Fora da Fonte de Contaminação (Matriz: Solo)

(a) Risco Carcinogênico:

$$RCSoloOffCum = RFSSIngoffC$$

(b) Risco Não Carcinogênico:

$$RNCSoloOffCum = RFSSIngoffNC$$

CÁLCULOS DAS CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS ACEITÁVEIS (CMA) PARA MATRIZ SOLO

SOLO SUPERFICIAL – ON SITE

Ingestão de Solo Superficial Impactado

(a) Carcinogênico:

$$CMASoloIngC = \frac{TR}{(IFSoloIngC * Sfig)}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$CMASoloIngNC = \frac{THI * RfDigcn}{IFSoloIngNC}$$

Ingestão de Vegetais Contaminados por Compostos Metálicos

(a) Carcinogênico:

$$CMASIngVegMC = \frac{TR}{(IFSoloIngVegC * Sfig) * (IRL * (BCF + Cdpx) + (IRR * BCF))}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$CMASIngVegMNC = \frac{THI * RfDigcn}{(IFSoloIngVegNC) * (IRL * (BCF + Cdpx) + (IRR * BCF))}$$

Ingestão de Vegetais Contaminados por Compostos Orgânicos

(a) Carcinogênico:

$$CMASIngVegOC = \frac{TR}{(IFSoloIngVegC * Sfig) * (IRL * \left(\frac{ps * Pw * TSCF * Q}{Vw * \rho_{plant} * a * V_L} + Cdpx \right) + (IRR * BCFR))}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$CMASIngVegONC = \frac{THI * RfDigcn}{(IFSoloIngVegNC) * (IRL * \left(\frac{ps * Pw * TSCF * Q}{Vw * \rho_{plant} * a * V_L} + Cdpx \right) + (IRR * BCFR))}$$

Contato Dérmico com Solo Superficial Impactado

(a) Carcinogênico:

$$CMASoloDermC = \frac{TR}{ABSd * IFSoloDermC * Sfdm}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$CMASoloDermNC = \frac{THI * RfDdmcn}{ABSd * IFSoloDermNC}$$

Inalação de Vapores, devido à Volatilização e Dispersão Atmosférica

(a) Carcinogênico:

$$CMASoloInVapC = \frac{TR}{VF_{SS} * IFSoloInVapC * Sfin}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$CMASoloInVapNC = \frac{THI * RfDincn}{VF_{SS} * IFSoloInVapNC}$$

Inalação de Partículas, devido à Erosão Eólica e Dispersão Atmosférica

(a) Carcinogênico:

$$CMASoloInParC = \frac{TR}{PEF * IFSoloInParC * Sfin}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$CMASoloInParNC = \frac{THI * RfDincn}{PEF * IFSoloInParNC}$$

Solo Subsuperficial – on site

Ingestão de Água Subterrânea a partir da Lixiviação

(a) Carcinogênico:

$$CMAFSSIngC = \frac{TR}{LF * IFSSIngC * Sfig} * 10^3$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$CMAFSSIngNC = \frac{THI * RfDigcn}{LF * IFSSIngNC} * 10^3$$

Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes do Solo Subsuperficial

(a) Carcinogênico:

$$CMASSInAbC = \frac{TR}{VF_{samb} * IFSSInAbC * Sfin}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$CMASSInAbNC = \frac{THI * RfDincn}{VF_{samb} * IFSSInAbNC}$$

Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes do Solo Subsuperficial

(a) Carcinogênico:

$$CMASSInFecC = \frac{TR}{VF_{seps} * IFSSInFecC * Sfin}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$CMASSInFecNC = \frac{THI * RfDincn}{VF_{seps} * IFSSInFecNC}$$

SOLO SUBSUPERFICIAL – OFF SITE

Ingestão de Água Subterrânea a partir da Lixiviação

(a) Carcinogênico:

$$CMASSIngoffC = \frac{TR}{IFSSIngC * Sfig * LF * DAF} * 10^3$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$CMAFSSIngoffNC = \frac{THI * RfDigcn}{LF * DAF * IFSSIngNC} * 10^3$$

CÁLCULO DOS RISCOS PARA MATRIZ ÁGUA

ÁGUA SUBTERRÂNEA – ON SITE

Ingestão de Água Subterrânea (*on site*)

(a) Carcinogênico:

$$RASIngC = CfAguaSub * IFASIngC * Sfig$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$RASIngNC = \frac{CfAguaSub * IFASIngNC}{RfDigcn}$$

(c) Risco Carcinogênico Cumulativo para Ingestão de Água Subterrânea (Contato Direto) *on site*

$$RASIngCCum = \sum_i^n RASIngC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Carcinogênico para Ingestão de Água Subterrânea (Contato Direto) *on site*.

(d) Risco Não-Carcinogênico Cumulativo para Ingestão de Água Subterrânea (Contato Direto) *on site*

$$RASIngNCCum = \sum_i^n RASIngNC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Não Carcinogênico para Ingestão de Água Subterrânea (Contato Direto) *on site*.

Contato Dérmico com Água Subterrânea Contaminada (*on site*)

(a) Carcinogênico:

$$RASubDermC = CfAguaSub * PC * IFASubDermC * Sfdm$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$RASubDermNC = \frac{CfAguaSub * PC * IFASubDermNC}{RfDdmcn}$$

(c) Risco Carcinogênico Cumulativo para Contato Dérmico com Água Subterrânea Contaminada (*on site*)

$$RASubDermCCum = \sum_i^n RASubDermC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Carcinogênico para Contato Dérmico com Água Subterrânea Contaminada (*on site*).

(d) Risco Não-Carcinogênico Cumulativo para Contato Dérmico com Água Subterrânea Contaminada (*on site*)

$$RASubDermNCCum = \sum_i^n RASubDermNC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Não Carcinogênico para Contato Dérmico com Água Subterrânea Contaminada (*on site*).

Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes da Água Subterrânea (*on site*)

(a) Carcinogênico:

$$RASInAbC = CfArAguaSubAb * IFASInAbC * Sfin$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$RASInAbNC = \frac{CfArAguaSubAb * IFASInAbNC}{RfDincn}$$

(c) Risco Carcinogênico Cumulativo para Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes da Água Subterrânea (*on site*)

$$RASInAbCCum = \sum_i^n RASInAbC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Carcinogênico para Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes da Água Subterrânea (*on site*).

(d) Risco Não-Carcinogênico Cumulativo para Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes da Água Subterrânea (*on site*)

$$RASInAbNCCum = \sum_i^n RASInAbNC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Não Carcinogênico para Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes da Água Subterrânea (*on site*).

Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes da Água Subterrânea (*on site*)

(a) Carcinogênico:

$$RASInFecC = CfArAguaSubFec * IFASInFecC * Sfin$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$RASInFecNC = \frac{CfArAguaSubFec * IFASInFecNC}{RfDincn}$$

(c) Risco Carcinogênico Cumulativo para Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes da Água Subterrânea (*on site*)

$$RASInFecCCum = \sum_i^n RASInFecC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Carcinogênico para Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes da Água Subterrânea (*on site*).

(d) Risco Não-Carcinogênico Cumulativo para Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes da Água Subterrânea (*on site*)

$$RASInFecNCCum = \sum_i^n RASInFecNC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Não Carcinogênico para Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes da Água Subterrânea (*on site*).

ÁGUA SUBTERRÂNEA – OFF SITE

Ingestão de Água Subterrânea (*off site*)

(a) Carcinogênico:

$$RASIngOffC = CffAguaAguaSub * IFASIngC * Sfig$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$RASIngOffNC = \frac{CffAguaAguaSub * IFASIngNC}{RfDigcn}$$

(c) Risco Carcinogênico Cumulativo para Ingestão de Água Subterrânea (Contato Direto) *off site*

$$RASIngOffCum = \sum_i^n RASIngOffC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Carcinogênico para Ingestão de Água Subterrânea (Contato Direto) *off site*.

(d) Risco Não-Carcinogênico Cumulativo para Ingestão de Água Subterrânea (Contato Direto) *off site*

$$RASIngOffNCCum = \sum_i^n RASIngOffNC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Não Carcinogênico para Ingestão de Água Subterrânea (Contato Direto) *off site*.

Contato Dérmico com Água Subterrânea Contaminada (*off site*)

(a) Carcinogênico:

$$RASubDermOffC = CffAguaAguaSub * PC * IFASubDermC * Sfdm$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$RASubDermOffNC = \frac{CffAguaAguaSub * PC * IFASubDermNC}{RfDdmcn}$$

(c) Risco Carcinogênico Cumulativo para Contato Dérmico com Água Subterrânea Contaminada (*off site*)

$$RASubDermOffCCum = \sum_i^n RASubDermOffC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Carcinogênico para Contato Dérmico com Água Subterrânea Contaminada (*off site*).

(d) Risco Não-Carcinogênico Cumulativo para Contato Dérmico com Água Subterrânea Contaminada (*off site*)

$$RASubDermOffNCCum = \sum_i^n RASubDermOffNC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Não Carcinogênico para Contato Dérmico com Água Subterrânea Contaminada (*off site*).

Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes da Água Subterrânea (*off site*)

(a) Carcinogênico:

$$RASInAbOffC = CffArAguaSubAb * IFASInAbC * Sfin$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$RASInAbOffNC = \frac{CffArAguaSubAb * IFASInAbNC}{RfDincn}$$

(c) Risco Carcinogênico Cumulativo para Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes da Água Subterrânea (*off site*)

$$RASInAbOffCCum = \sum_i^n RASInAbOffC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Carcinogênico para Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes da Água Subterrânea (*on site*).

(d) Risco Não-Carcinogênico Cumulativo para Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes da Água Subterrânea (*off site*)

$$RASInAbOffNCCum = \sum_i^n RASInAbOffNC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Não Carcinogênico para Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes da Água Subterrânea (*off site*).

Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes da Água Subterrânea (*off site*)

(a) Carcinogênico:

$$RASInFecOffC = CffArAguaSubFec * IFASInFecC * Sfin$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$RASInFecOffNC = \frac{CffArAguaSubFec * IFASInFecNC}{RfDincn}$$

(c) Risco Carcinogênico Cumulativo para Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes da Água Subterrânea (*off site*)

$$RASInFecOffCCum = \sum_i^n RASInFecOffC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Carcinogênico para Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes da Água Subterrânea (*off site*).

(d) Risco Não-Carcinogênico Cumulativo para Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes da Água Subterrânea (*off site*)

$$RASInFecOffNCCum = \sum_i^n RASInFecOffNC$$

Onde n = todas as SQIs com valores de Risco Não Carcinogênico para Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes da Água Subterrânea (*off site*).

Risco Cumulativo por SQI para Receptor na Fonte de Contaminação (Matriz: Água)

(a) Risco Carcinogênico:

$$RCASubCum = RASIngC + RASubDermC + RASInAbC + RASInFecC$$

(b) Risco Não Carcinogênico:

$$RNCASubCum = RASIngNC + RASubDermNC + RASInAbNC + RASInFecNC$$

Risco Cumulativo por SQI para Receptor Fora da Fonte de Contaminação (Matriz: Água)

(a) Risco Carcinogênico:

$$RCASubOffCum = RASIngOffC + RASubDermOffC + RASInAbOffC + RASInFecOffC$$

(b) Risco Não Carcinogênico:

RNCASubOffCum

$$= RASIngOffNC + RASubDermOffNC + RASInAbOffNC + RASInFecOffNC$$

CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS ACEITÁVEIS (CMA) PARA MATRIZ ÁGUA

ÁGUA SUBTERRÂNEA – ON SITE

Ingestão de Água Subterrânea (*on site*)

(a) Carcinogênico:

$$CMAASIngC = \frac{TR}{IFASIngC * Sfig}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$CMAASIngNC = \frac{THI * RfDigcn}{IFASIngNC}$$

Contato Dérmico com Água Subterrânea Contaminada (*on site*)

(a) Carcinogênico:

$$CMAASubDermC = \frac{TR}{PC * IFASubDermC * Sfdm}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$CMAASubDermNC = \frac{THI * RfDdmcn}{PC * IFASubDermNC}$$

Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes da Água Subterrânea (*on site*)

(a) Carcinogênico:

$$CMAASInAbC = \frac{TR}{VF_{wamb} * IFASInAbC * Sfin}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$CMAASInAbNC = \frac{THI * RfDincn}{VF_{wamb} * IFASInAbNC}$$

Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes da Água Subterrânea (*on site*)

(a) Carcinogênico:

$$CMAASInFecC = \frac{TR}{VF_{wesp} * IFASInFecC * Sfin}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$CMAASInFecNC = \frac{THI * RfDincn}{VF_{wesp} * IFASInFecNC}$$

Água Subterrânea – off site

Ingestão de Água Subterrânea (off site)

(a) Carcinogênico:

$$CMAASIngOffC = \frac{TR}{DAF * IFASIngC * Sfig}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$CMAASIngOffNC = \frac{THI * RfDigcn}{DAF * IFASIngNC}$$

Contato Dérmico com Água Subterrânea Contaminada (off site)

(a) Carcinogênico:

$$CMAASubDermOffC = \frac{TR}{DAF * PC * IFASubDermC * Sfdm}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$CMAASubDermOffNC = \frac{THI * RfDdmcn}{DAF * PC * IFASubDermNC}$$

Inalação de Vapores, em Ambiente Aberto, provenientes da Água Subterrânea (off site)

(a) Carcinogênico:

$$CMAASInAbOffC = \frac{TR}{DAF * VF_{wamb} * IFASInAbC * Sfin}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$CMAASInAbOffNC = \frac{THI * RfDincn}{DAF * VF_{wamb} * IFASInAbNC}$$

Inalação de Vapores, em Ambiente Fechado, provenientes da Água Subterrânea (*off site*)

(a) Carcinogênico:

$$CMAASInFecOffC = \frac{TR}{DAF * VF_{wesp} * IFASInFecC * Sfin}$$

(b) Não-Carcinogênico:

$$CMAASInFecOffNC = \frac{THI * RfDincn}{DAF * VF_{wesp} * IFASInFecNC}$$