

UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
CAMPUS DE RIO CLARO (SP)

RONALDO BATISTA BALTHAZAR

**DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE
RISCO À SAÚDE HUMANA EM TERMINAL DE
ABASTECIMENTO NO MUNICÍPIO DE SUMARÉ - SP**

Rio Claro – SP
2009

UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
CAMPUS DE RIO CLARO (SP)

RONALDO BATISTA BALTHAZAR

**DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE
RISCO À SAÚDE HUMANA EM TERMINAL DE
ABASTECIMENTO NO MUNICÍPIO DE SUMARÉ - SP**

Orientador: Profª. Dra. Maria Rita Caetano Chang
Co-Orientador: Dr. Miguel Angel Alfaro Soto

*Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia
apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências
Exatas – UNESP, campus de Rio Claro, como parte
das exigências para o cumprimento da disciplina
Trabalho de Conclusão de Curso no ano letivo de
2009*

Rio Claro – SP
2009

628.092 Balthazar, B. Ronaldo
B197d Diagnóstico geoambiental e avaliação de risco à saúde humana em
terminal de abastecimento no município de Sumaré-SP / B. Ronaldo
Balthazar. - Rio Claro : [s.n.], 2009
77 f. : il., figs., tabs., quadros, mapas + mapa

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade Estadual
Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Maria Rita Caetano Chang
Co-Orientador: Miguel Angel Alfaro Soto

1. Engenharia ambiental. 2. Avaliação de risco. 3. RBCA. 4.
Diagnóstico geoambiental. 5. Contaminantes. 6. Risco à saúde. I. Título.

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

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer minha família pelo suporte, OBRIGADO!

Agradeço também a professora e orientadora Maria Rita e ao co-orientador Miguel pela paciência, compreensão e dedicação.

Em especial agradeço a República Caenga, meus irmão nesses longos anos, Petrukio, Minero, Rolha, Xororó, Tio Chico, Rodox, Puff, Cabrom, Cialis e aos mais novos integrantes IB, GE, Xaninha, Conradão, Morangão, Filé, MUITO OBRIGADO! Vocês já fazem parte da minha vida e desejo a vocês o melhor.

Em especial agradeço a Paxu por toda a compreensão e dedicação nesses longos anos. Grande parte do que sou hoje devo a você e agradeço de todo meu coração.

Agradeço também a empresa Água Marinha, sem vocês esse trabalho não teria se concretizado, e a todos que não foram citados, muito obrigado.

Por fim agradeço a deus por ter me proporcionado esses grandes momentos de felicidade em minha vida.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de Sumaré – SP (modificado de WIKIPÉDIA, 2009)	12
Figura 2 - Localização da Bacia do Paraná no Brasil (modificado de TEIXEIRA et al, 2000)	13
Figura 3 - Mapa pedológico da área de estudo (modificado de OLIVEIRA et al, 1999).....	17
Figura 4 - Sistemas Aquíferos do estado de São Paulo (modificado de SMA).	18
Figura 5 - Classificação de risco em função de seus fatores	19
Figura 6 - Fluxograma das etapas da avaliação de risco (modificado de USEPA, 1989)	21
Figura 7 - Fases da avaliação de exposição (modificado de USEPA, 1989).....	23
Figura 9- Caracterização do entorno da área de estudo.....	38
Figura 10 - Perfis geológicos A - B e A' - B'. Localização das seções no ANEXO V.....	39
Figura 11- Fluxograma da avaliação de cenário de exposição (modificado CETESB 2006)	48

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Classificação segundo o peso da evidência de câncer (USEPA, 1989)	27
Tabela 2 - Métodos empregados na caracterização dos parâmetros físicos	31
Tabela 3- Análise da amostra indeformada S/PM 14 (10 m)	40
Tabela 4 - Análise da amostra indeformada S/PM 45 (8 m)	41
Tabela 5 – Monitoramento dos poços	43
Tabela 6 - Valores de condutividade hidráulica	44
Tabela 7 - Relação dos poços de monitoramento que apresentaram contaminação	45
Tabela 8 – Dados climatológicos para o município de Sumaré.....	46
Tabela 9 - Rotas de Exposição	50
Tabela 10 - Parâmetros do solo utilizados na avaliação de risco.....	51
Tabela 11 - Parâmetros da água subterrânea utilizados na avaliação de risco.....	52
Tabela 12 - Mecanismos de transporte considerados.....	52
Tabela 13 - Propriedades físico-químicas dos compostos BTEX, extraídas de <i>COC Chemical</i> <i>Parameter</i>	53
Tabela 14 - Receptores <i>On Site</i>	55
Tabela 15 - Receptores <i>Off Site</i>	55
Tabela 16 - SSTL para água Subterrânea (mg/L)	57

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS	8
RESUMO.....	9
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVO	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	12
3.1.1. Localização da área de estudo	12
3.1.2. Geologia	13
3.1.3. Geomorfologia	16
3.1.4. Solos	16
3.1.5. Clima	17
3.1.6. Hidrografia	17
3.1.7. Hidrogeologia.....	18
3.2. AVALIAÇÃO DE RISCO.....	19
3.2.1. Etapas da avaliação de risco.....	19
4. MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO	30
4.1.1. Sondagens e Instalações dos Poços de Monitoramento	30
4.1.2. Análise dos Parâmetros Físicos do Solo	31
4.1.3. Ensaio Hidrogeológicos.....	32
4.2. ANÁLISES QUÍMICAS	33
4.3. METODOLOGIA DE AÇÃO CORRETIVA BASEADA NO RISCO	33
4.3.1. Etapas e procedimentos no RBCA	34
5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E ANALÍTICOS	37
5.1. DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL	37
5.1.1. Classificação da Área e Histórico Ambiental	37
5.1.2. Caracterização Geológica	39
5.1.3. Caracterização Hidrogeológica	42
5.1.4. Monitoramento Climatológico	45
5.2. AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA	47
5.2.1. Introdução	47
5.2.2. Modelo Conceitual de Exposição (MCE)	47
6. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO	54
6.1. Níveis Aceitáveis Específicos a Área	57
7. CONCLUSÕES.....	58

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
-------------------------------------	----

ANEXOS:

ANEXO I – Localização dos Poços de Monitoramento

ANEXO II – Mapa Potenciométrico

ANEXO III - Análises Químicas das Amostras de Água Subterrânea e Solo

ANEXO IV – Plumas de Contaminação

ANEXO V – Localização das Seções Geológicas

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ACBR – Ação Corretiva Baseada no Risco

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

BTEX – Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo

HI – Índice de Perigo (*Hazard Index*)

HQ – Quociente de Perigo (*Hazard Quocient*)

LOAEL - (*Lowest Observed Adverse Effect Level*)

NABR – Níveis Aceitáveis Baseado no Risco

NAEA – Níveis Aceitáveis Específicos da Área

NOAEL - (*Non Observed Adverse Effect Level*)

PAH – Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*)

RBCA – *Risk Based Corrective Action*

RBSL – *Risk Based Screening Level*

RfD – Dose de Referência (*Reference Dose*)

SF – Fator de Carcinogenicidade (*Slope Factor*)

UNESP – Universidade Estadual Paulista

USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*United States Environmental Protection Agency*)

RESUMO

O presente trabalho trata de um estudo sobre a avaliação de risco à saúde humana decorrente de uma contaminação por hidrocarbonetos no município de Sumaré, interior do estado de São Paulo. Para isso, foi necessária a elaboração de um diagnóstico geoambiental para obtenção de informações como levantamento do histórico da área, caracterização dos contaminantes, caracterização dos meios afetados e seu entorno, caracterização do transporte, ensaios laboratoriais, entre outros. Devido à presença de contaminantes no local, identificados pelo diagnóstico geoambiental, foi realizada a avaliação de risco à saúde humana, utilizando-se o *software* RBCA no estágio *Tier 2*, que apresentou risco carcinogênico, para o composto Benzeno, por ingestão de água subterrânea para os receptores comerciais, *on site* e *off site*, e residenciais, e também apresentou risco carcinogênico para o Benzeno pela exposição, via inalação em ambientes fechados para o receptor comercial *on site*. Também foram encontrados riscos não carcinogênicos para os compostos Etilbenzeno, Tolueno, para os receptores residências e comerciais *off site* (176 m) e *on site*, por ingestão de água subterrânea. A avaliação também permitiu o conhecimento dos níveis aceitáveis de contaminantes que a área pode apresentar para que não haja risco à saúde humana. Com isso, pôde-se subsidiar tecnicamente a implementação de medidas mitigadoras com a finalidade de prevenir, reduzir e controlar danos à população humana e ecossistemas que estão expostos a esses produtos.

Palavras-chave: Risco à saúde humana, RBCA, Diagnóstico Geoambiental, contaminantes

ABSTRACT

The present work deals with the study on the evaluation of the human health risks caused by the leaching of hydrocarbon products from a gas station in Sumaré-SP. First, a geoenvironmental diagnosis had to be done, where information such as: history of the area, chemicals involved, geological characteristics, transport, chemical analysis, were used to make it.

The geoenvironmental diagnosis was used in the software RBCA tier 2 which established the risks by all possible pathways. The results indicated that there are risks for groundwater ingestion for commercial (on site and off site) and residential receptors and

that there's risk for inhalation of vapors in enclosed space for the commercial receptor on site.

The evaluation also calculated the specific target levels that the area needs to show, in order not to harm human beings and the environment. That makes RBCA a great tool that can help the remediation actions needed to be done so that the human being and the environment remain secure.

Keywords: RBCA, Risk to human health, Geoenvironmental Diagnosis, contaminants

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento das atividades industriais nas décadas de 70 e 80, principalmente em regiões metropolitanas, tornou-se comum o surgimento de acidentes ambientais envolvendo substâncias químicas manipuladas em suas dependências. Os acidentes oriundos dessas atividades impulsionaram os órgãos governamentais a desenvolverem políticas e estudos científicos para o melhor gerenciamento das áreas impactadas por essas atividades.

A grande maioria desses acidentes ambientais no Brasil e no mundo, são consequência de vazamentos e derramamentos de derivados de petróleo, provenientes de postos de serviço, distribuidoras, bases e refinarias. Desse modo, a maior preocupação dos órgãos públicos, privados e da comunidade científica é encontrar soluções que não comprometam ainda mais o meio ambiente e a saúde humana, propiciando a adequação dessas atividades a novas normas de conduta.

Nesse contexto, os órgãos de fiscalização ambiental sugerem que a tomada de decisão sobre o gerenciamento ambiental de uma área impactada seja baseada em avaliação de risco. Como no Brasil não existem metodologias específicas de avaliação de risco à saúde humana, o estado de São Paulo, por intermédio da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), adota metodologias estrangeiras, como a norte americana "*Risk Based Corrective Action*" (RBCA - Ação Corretiva Baseada no Risco), publicada pela *American Society for Testing Materials* (ASTM, 1995).

A RBCA é uma metodologia bastante flexível, tecnicamente defensável para tomada de decisões com base na quantificação do risco toxicológico à saúde humana para áreas contaminadas, pois integra métodos de avaliação de exposição e de risco e modelos matemáticos de transporte de contaminantes, fornecendo subsídios para tomada de decisão quanto à necessidade de ações corretivas adequadas ao local. Possibilita assim, uma melhor alocação dos recursos disponíveis para o estabelecimento de níveis aceitáveis de contaminantes garantindo proteção à saúde humana e ao meio ambiente (CETESB, 2006).

A avaliação de risco é basicamente dividida em 3 estágios (*Tier 1*, *Tier 2* e *Tier 3*), os quais se tornam mais específicos na medida em que há necessidade de um maior detalhamento da área e dos contaminantes envolvidos.

No primeiro estágio (*Tier 1*) são estabelecidos, para os Compostos Químicos de Interesse (CQI), Níveis Aceitáveis Baseados no Risco (NABR) que representam as concentrações máximas aceitáveis, calculadas por meio de parâmetros físicos regionais e conservadores, permitindo determinar se o *site* em questão encontra-se em condições satisfatórias aos níveis NABR. Os estágios seguintes (*Tier 2* e *Tier 3*) dão continuidade à avaliação da área, caso essa necessite, e nesses estágios, ao contrário do estágio 1, os NABR são estabelecidos por meio de dados específicos do local onde está sendo realizado o estudo.

O presente trabalho apresenta o resultado da avaliação de risco à saúde humana para um terminal de abastecimento no município de Sumaré, utilizando-se a metodologia RBCA, a partir dos dados fornecidos pela empresa Água Marinha – Central de Geologia e Meio Ambiente.

2. OBJETIVO

O objetivo principal do trabalho é a identificação e quantificação dos riscos a saúde humana, decorrentes de uma área contaminada localizada no município de Sumaré, interior do estado de São Paulo. Com isso, pode-se subsidiar tecnicamente a implementação de medidas mitigadoras com a finalidade de prevenir, reduzir e controlar danos à população humana e aos ecossistemas, em função da exposição a produtos, processos produtivos e/ou resíduos.

Para poder ser feita a avaliação de risco, é necessária a elaboração de um diagnóstico geoambiental, que possibilita a caracterização detalhada dos meios afetados e seu entorno.

A partir daí, são estabelecidos os critérios para proteção à saúde humana, e determinados os níveis de remediação necessários, bem como, são estabelecidas metas a serem atingidas pela remediação, facilitando ao responsável pela contaminação uma melhor alocação dos recursos disponíveis.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1. Localização da área de estudo

A cidade de Sumaré está situada na região oeste do estado de São Paulo, com seu ponto central localizado no cruzamento das coordenadas geográficas 22° 49' 19'' de latitude Sul e 47° 16' 01'' de longitude Oeste. O município ocupa uma área de aproximadamente 153 km² (Figura 1).



Figura 1 - Localização do município de Sumaré – SP (modificado de WIKIPÉDIA, 2009)

A área de estudo está localizada na zona urbana da cidade, ao lado da rodovia Anhanguera (SP330), ocupando uma área maior que 2.000 m²; entretanto, por solicitação da empresa fornecedora dos dados, a localização exata do local será mantida em sigilo.

3.1.2. Geologia

A Bacia Sedimentar do Paraná é uma bacia intracratônica localizada na porção centro-sul do continente sul-americano. Sua área abrange 1.700.000 km² englobando Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina. A porção brasileira representa 1.100.000 km² desse total (Figura 2), com uma profundidade máxima de cerca de 7.000 m; abrangendo os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás.



Figura 2 - Localização da Bacia do Paraná no Brasil (modificado de TEIXEIRA et al, 2000)

Estratigrafia

A área de estudo está localizada na região centro-leste paulista, onde são encontradas as unidades estratigráficas a seguir sucintamente descritas.

A estratigrafia da Bacia do Paraná consiste, basicamente, de seis sequências deposicionais que variam, em idade, do Ordoviciano ao Cretáceo (MILANI et al, 1994), separadas por discordâncias regionais. O preenchimento sedimentar é predominantemente siliciclástico capeado por um volumoso derrame de lavas basálticas.

O **Subgrupo Itararé** é constituído por rochas de idade permo-carbonífera, sendo caracterizado predominantemente por arenitos de granulometria variada (muito fina a

conglomerática), e por pacotes de diamictitos e sedimentos pelíticos, representado por siltitos, folhelhos e ritmitos (SCHNEIDER et al, 1974; SAAD, 1977; FULFARO, 1980).

Segundo SOARES & LANDIM. (1973) e LANDIM et al. (1980), na porção sul do estado de São Paulo a unidade depositou-se em ambientes lacustre e flúvio-glacial e, na porção central do estado, em condições marinha e deltaica. CAETANO-CHANG (1984), estudando a unidade na região sudoeste do estado, identificou depósitos proglaciais na metade inferior da unidade, seguidos por depósitos de siltito marinho e, próximo ao topo, depósitos deltaicos formados sob forte influência glacial.

A **Formação Tatuí** corresponde ao pacote neopaleozóico pós-glacial, que é formado por clastos finos, principalmente siltitos e alguns arenitos, calcários e folhelhos. Plataforma marinha, um sistema costeiro e, localmente, um sistema de leques deltaicos representam os ambientes de sedimentação da unidade no estado de São Paulo (FULFARO et al. 1984; PERINOTTO 1987).

Para DAEMON & QUADROS (1970), a **Formação Irati** apresenta idade neopermiana; e é marcada pela presença de fósseis de diferentes espécies, como restos de peixes, crustáceos, répteis, fragmentos vegetais e palinomorfs. É constituída pelos membros Taquaral e Assistência.

O **Membro Taquaral**, inferior, depositou-se em ambiente marinho de águas calmas, sendo formado predominantemente por pelitos (argilitos, folhelhos e siltitos).

O **Membro Assistência** compreende a porção superior da Formação Irati, cuja deposição se deu em ambiente de águas mais rasas. É constituído por folhelhos, folhelhos pirobetuminosos associados a lentes ou camadas calcário-dolomíticas.

DAEMON & QUADROS (1970) e ROHN & LAVINA (1993) indicam idade do final do Neo-Permiano para a **Formação Corumbataí**, a partir de estudos de palinomorfs. A **unidade** tem contato concordante com a Formação Irati (SCHNEIDER et al.1974), abaixo, e discordante erosivo com a Formação Pirambóia (CAETANO-CHANG, 1997; MILANI et al, 1994; SOARES & LANDIM, 1973; ZALÁN et al, 1987) acima. A porção inferior é constituída por siltitos, argilitos e folhelhos cinza-escuros a roxos com fraturas conchóides. A porção superior tem rochas vermelho-arroxeadas, intercalando argilitos, siltitos e arenitos finos, leitos carbonáticos e coquinas.

A **Formação Pirambóia** é uma das unidades de maior ocorrência aflorante no centro-leste do Estado de São Paulo. É caracterizada por uma sucessão de espessos bancos arenosos, avermelhados ou rosados de granulação fina a média, com maior fração pelítica na porção inferior, exibindo estratificações cruzadas, acanaladas e plano-paralelas (LANDIM et al, 1980).

Segundo ASSINE & SOARES (1995), CAETANO-CHANG (1993, 1997) e CAETANO-CHANG & WU (1992, 1993, 1995), a unidade é formada por uma associação de depósitos eólicos de dunas, interdunas e lençóis de areia, entremeados por depósitos fluviais subordinados. Fósseis como crustáceos e restos vegetais já foram registrados, porém são raros.

A **Formação Botucatu**, conforme redefinida por SOARES & LANDIM (1973), é composta por arenitos eólicos avermelhados de granulação fina a média, apresentando estratificações cruzadas de grande a médio porte, muito friáveis ou silicificados. Segundo CAETANO-CHANG & WU (1995), a Formação Botucatu é resultado da deposição em ambiente desértico e domínio do sistema eólico em condições de total saturação de areia, o que conduziu ao registro de monótonas sucessões de depósitos de dunas e interdunas secas. O cavalgamento de dunas é o principal processo de acumulação.

A **Formação Serra Geral** é o resultado de intenso vulcanismo de idade eocretácica, ocorrido há 132 M.a. Ocorre na forma de derrames basálticos, soleiras e diques de diabásio. Na base, embora faça contato com rochas sedimentares da Formação Botucatu, as relações são concordantes, com período de ocorrência de ambos eventos – sedimentação de dunas eólicas e vulcanismo – resultando na intercalação de arenitos eólicos e derrames basálticos; no topo, o contato com o Grupo Bauru é discordante.

A **Formação Rio Claro** constitui cobertura sedimentar neoceno-zóica, datada do início do Holoceno pelo método da Termoluminescência (TL) (FERREIRA & CAETANO-CHANG, 2008); é composta por arenitos mal consolidados, mal selecionados, conglomeráticos e argilitos vermelhos depositados em ambiente fluvial de clima semi-árido (BJÖRNBERG & LANDIM, 1966).

3.1.3. Geomorfologia

Segundo ALMEIDA (1964) o relevo do estado de São Paulo é dividido em cinco províncias geomorfológicas: Planície Costeira, Planalto Atlântico, Depressão Periférica, Cuestas Basálticas e Planalto Ocidental.

A área em estudo situa-se na Depressão Periférica, região limitada a leste pelo Planalto Atlântico e a oeste pelas Cuestas Basálticas com diferentes modelados devido à ação do tectonismo, diversidade litológica e diferenciações paleoclimáticas.

A região onde se encontra o município de Sumaré apresenta como características principais terras planas, levemente onduladas, e altitude média de 600 metros. Na área de estudo a altitude oscila entre 560 metros (mínima) e 610 metros (máxima).

3.1.4. Solos

De acordo com o mapa pedológico do estado de São Paulo, escala 1: 500.000, de Oliveira et al. (1999), os solos da região são classificados como (Figura 3):

Legenda	Nomenclatura	Descrição
LV53	Latossolo Vermelho	Distrófico, horizonte A moderado, textura argilosa. Relevo suave ondulado
PVA53	Argissolo Vermelho Amarelo	Distrófico, horizonte A moderado, textura, arenosa/média. Relevo suave ondulado.

Os **Latossolos** são solos minerais, não hidromórficos, muito suscetíveis ao intemperismo, com predomínio de óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio, ou argilo-minerais do tipo 1:1 (caulinita).

Os **Argissolos Vermelho-Amarelos** são solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural e aumento no teor de argila do horizonte A para o B.

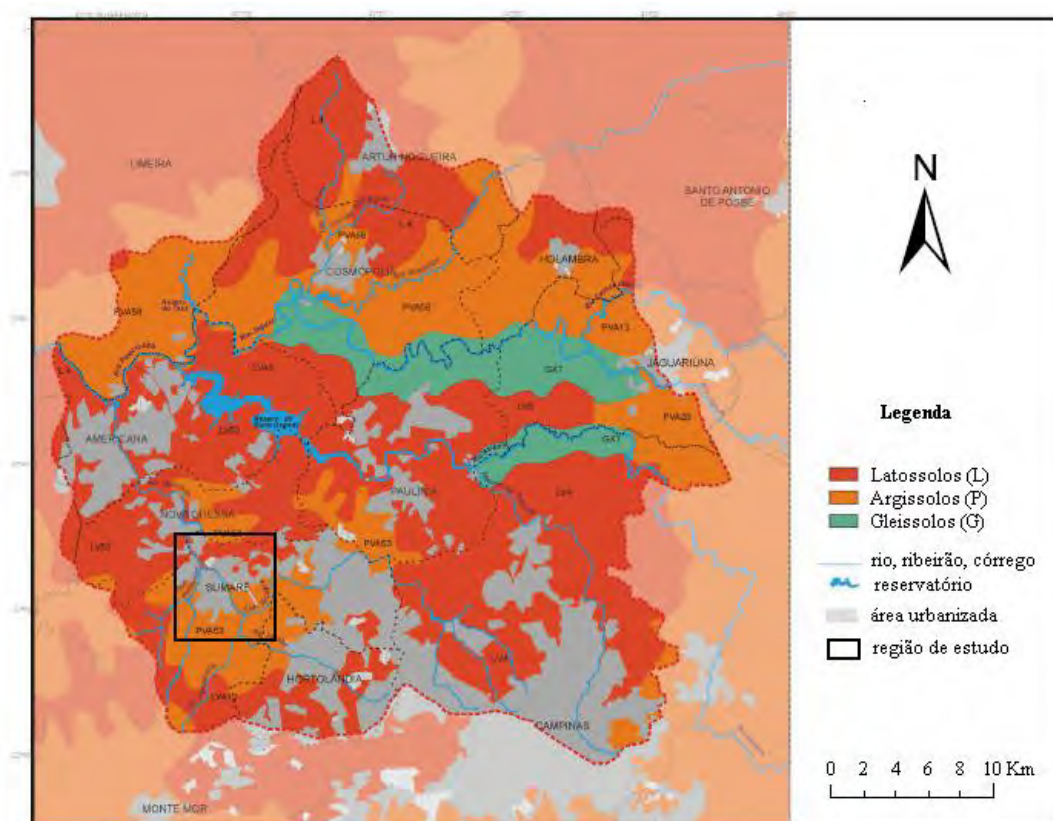


Figura 3 - Mapa pedológico da área de estudo (modificado de OLIVEIRA et al, 1999)

Os solos encontrados são formados pela alteração de rochas intrusivas basálticas (soleiras e diques de diabásio), equivalentes à Formação Serra Geral e de arenitos do Subgrupo Itararé.

3.1.5. Clima

O clima da região de Sumaré, segundo a classificação climática de Koeppen, é subtropical/tropical de altitude, apresentando temperatura média anual $> 22^{\circ}\text{C}$, e precipitação anual média da ordem de 1300 – 1500 mm.

3.1.6. Hidrografia

O município de Sumaré situa-se na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº5, a qual compreende as bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá.

No estado de São Paulo, a bacia conjunta dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, todos afluentes do Médio Tietê, estende-se por 14.177,77 km², sendo 11.442,82 km² correspondentes à bacia do rio Piracicaba, 1.620,92 km² à bacia do rio Capivari e 1.114,03 km² à bacia do rio Jundiaí.

O município é banhado por vários ribeirões e córregos, sendo o principal o ribeirão Quilombo, que atravessa o perímetro urbano e é afluente do rio Atibaia; de menor importância, ocorrem o ribeirão dos Toledos e os córregos Palmital, Guilherme Green, Candelária, da Fazenda Nova Veneza, do Pari, Tijuco Preto e São Francisco.

3.1.7. Hidrogeologia

O Sistema Aquífero Tubarão (Figura 4) contém o principal aquífero da região, Aquífero Itararé, que é do tipo granular, livre a semi-confinado, de extensão regional, ocupando uma área aproximada de 20.700 km², com uma espessura média de 1 km. É constituído por sedimentos permo-carboníferos de origem flúvio-glacial e pró-glacial (costeira/deltaica), de composição bastante heterogênea apresentando bancos de arenitos estratificados, intercalados por bancos silto-argilosos.

Quanto aos parâmetros hidrogeológicos, o Aquífero Itararé apresenta capacidade específica de 0,005 a 8,5 m³/h/m; transmissividade média de 0,3 a 200 m²/d; permeabilidade de 0,02 a 0,7 m/d e vazão média de 3 a 30 m³/h. (DAEE, 1984; HIRATA et al, 1997).



Figura 4 - Sistemas Aquíferos do estado de São Paulo (modificado de SMA).

3.2. AVALIAÇÃO DE RISCO

Segundo Kates & Kasperson (1983), analistas de riscos tecnológicos, o perigo está relacionado a qualquer ameaça às pessoas e ao que elas valorizam (propriedades, meio ambiente, gerações futuras), e a quantificação desse perigo é denominada risco.

Na área ambiental, o risco está relacionado à probabilidade de ocorrência de alguma ameaça ao meio ambiente e suas consequências, levando-se em consideração o grau de vulnerabilidade do sistema receptor. Nesse sentido, ao analisar a saúde humana, o risco é definido como a probabilidade de ocorrer um efeito adverso à saúde, devido à exposição do indivíduo a substâncias tóxicas. Ou seja, o risco é função da toxicidade das substâncias contaminantes e da exposição a elas.

Cabe ressaltar que, para uma área ser classificada como potencialmente perigosa, é necessária a combinação de três fatores, quais sejam: os contaminantes, os receptores e os meios de transporte (Figura 5).



Figura 5 - Classificação de risco em função de seus fatores

Assim, a avaliação de risco é uma ferramenta importante para estimar os riscos que determinada área apresenta e também auxiliar na decisão de implantação de medidas de prevenção, redução e eliminação desses contaminantes.

3.2.1. Etapas da avaliação de risco

O objetivo da avaliação de risco é a identificação e a quantificação dos riscos à saúde humana decorrentes de uma área contaminada, uma vez que a saúde e a segurança da população e a preservação do meio ambiente devem ser priorizados na avaliação de uma

área impactada. A avaliação de risco é pois, uma ferramenta importante no gerenciamento de áreas contaminadas, pois fornece subsídios à definição das metas a serem atingidas no processo de remediação e das medidas corretivas a serem adotadas (CETESB 2001).

A avaliação de risco recomendada por órgãos reguladores baseia-se nos graus de toxicidade humana, nas características dos contaminantes (propriedades físico-químicas) e nas rotas de exposição dos contaminantes às fontes receptoras.

Essa metodologia foi desenvolvida originalmente desenvolvida pela USEPA em *Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I – Human Health Evaluation Manual* em 1989. De acordo com essa metodologia, a avaliação de risco divide-se em quatro etapas: coleta e avaliação de dados, avaliação da exposição, avaliação da toxicidade e caracterização do risco. A figura 6 mostra o fluxograma das etapas da avaliação de risco.

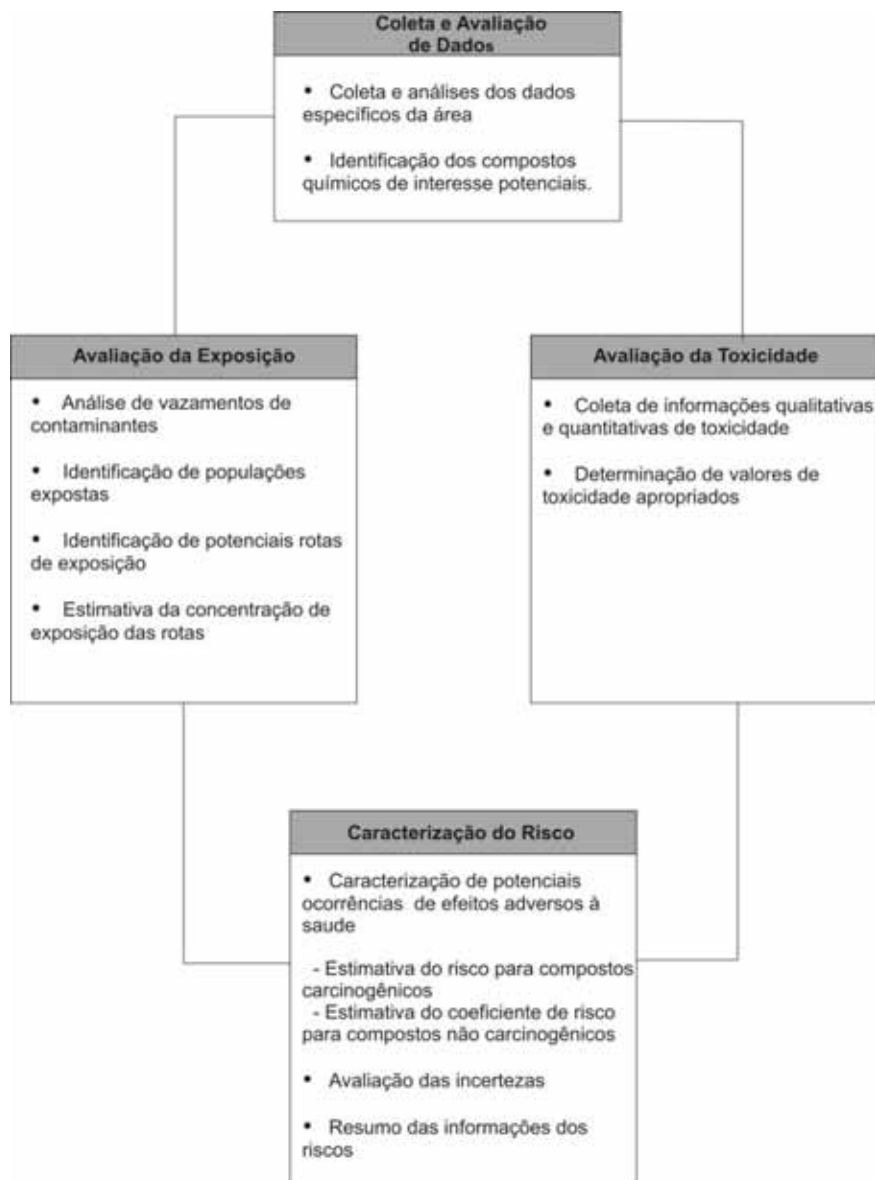


Figura 6 - Fluxograma das etapas da avaliação de risco (modificado de USEPA, 1989)

Coleta e Avaliação de Dados

Em geral, os dados necessários para uma avaliação de risco incluem (USEPA, 1989):

- identificação das fontes primárias e secundárias de contaminação;
- identificação dos contaminantes;
- concentração dos contaminantes na fonte e nas regiões de interesse;

- características das áreas fontes e dos meios por onde os contaminantes podem ser transportados (solo, águas subterrâneas, águas superficiais e ar), como dimensão e distribuição espacial de plumas contaminantes e informações sobre o evento gerador da contaminação;
- características do meio físico que podem afetar o transporte, atenuação natural e persistência dos contaminantes;
- identificação das rotas de exposição e potenciais receptores.

Nesta etapa, a revisão/histórico e a compilação dos dados existentes sobre a área contaminada são o primeiro passo no levantamento de informações, e servem para identificar os dados necessários para o desenvolvimento da avaliação de risco. O histórico da área é importante para a determinação da fonte de contaminação, dos pontos de exposição, suas rotas, e dos potenciais receptores.

A reunião de todas as informações leva à determinação de um modelo conceitual, que apresenta os cenários envolvidos na área estudada, a possível contaminação (compostos químicos de interesse e suas concentrações) e sua relação com o entorno.

Avaliação da Exposição

Conforme USEPA (1989), exposição é definida como o contato de um organismo humano no caso de avaliação de risco à saúde com um composto ou agente químico. A magnitude da exposição é determinada pela quantificação ou estimativa do número de compostos disponíveis e suas relações de troca (inalação, contato dérmico, ingestão) durante um intervalo de tempo específico.

A avaliação da exposição é a determinação ou estimativa da magnitude de exposição real ou potencial, sua frequência, duração e rotas de exposição (USEPA, 1989).

Esta etapa é dividida em três fases: caracterização da exposição, identificação dos caminhos de exposição e quantificação da exposição (Figura 7).



Figura 7 - Fases da avaliação de exposição (modificado de USEPA, 1989)

a) Caracterização da exposição

A exposição é caracterizada pelo meio físico e pelas populações expostas dentro e fora da área de interesse (CETESB 2001).

O meio físico é caracterizado pela geologia, pelos tipos de solo, clima, vegetação, hidrogeologia (águas subterrâneas) e corpos d'água superficiais. As populações identificadas são caracterizadas em função do raio de influência da exposição como localização dessas populações, uso e ocupação da área e presença de subgrupos sensíveis.

O uso e ocupação da área é determinado pelas atividades desenvolvidas e pode ser classificado em residencial, industrial, de recreação ou para agricultura. Os subgrupos sensíveis compreendem aqueles que possuem maior sensibilidade como crianças, idosos, mulheres grávidas e pessoas com doenças crônicas.

b) Identificação das rotas de exposição

Nessa etapa são identificadas as rotas de exposição nas quais as populações podem estar expostas. Cada rota de exposição compreende um mecanismo único no qual as populações podem estar expostas aos contaminantes diretamente ou na área de influência do mesmo.

Segundo a USEPA (1989), as rotas são identificadas com base em quatro fatores: fonte de contaminação, mecanismos de transporte, pontos de exposição e vias de ingresso. Para cada rota de exposição devem ser identificados os pontos de exposição e vias de ingresso (ingestão, inalação e contato dérmico).

A identificação de fontes e mecanismos de contaminação deve ser realizada a partir da análise dos dados adquiridos na etapa anterior, assim como também devem ser identificados os compostos químicos de interesse (contaminantes), os meios impactados e os que podem ser contaminados.

Para avaliação do transporte do contaminante no meio, utilizam-se modelagens matemáticas, sejam analíticas, nos casos mais simples, ou numéricas, onde a heterogeneidade do meio é significativa. Nos modelos matemáticos são utilizados os parâmetros físicos e químicos do meio físico.

c) Quantificação da exposição

Na última etapa da avaliação da exposição são estimadas as concentrações de exposição, para então serem quantificados valores específicos para cada caminho de exposição em função do tempo e de valores específicos de peso corpóreo. Essas concentrações podem ser estimadas utilizando-se apenas os dados de monitoramento ou a combinação destes com modelos de transporte de contaminantes. Os fatores mais importantes na determinação da concentração são a qualidade e a quantidade de dados disponíveis da área, que sustentarão o uso de um modelo matemático mais sofisticado e o mais próximo possível da realidade.

A estimativa das quantidades ingeridas por indivíduo, denominadas doses de ingresso (*intake*), para as possíveis rotas de exposição, é feita por meio de equações matemáticas.

O resultado da análise da exposição é dado pelos valores das doses de ingresso, calculados pela equação genérica (USEPA, 1989):

$$I = C \times \frac{CR \times EF \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

I = dose de ingresso (quantidade de contaminantes que ingressam no organismo humano em uma determinada rota de exposição, em mg/Kg – dia);

C = concentração do contaminante no meio de contato (mg/L ou mg/Kg);

CR = taxa de contato (L/dia ou Kg/dia);

EF = frequência da exposição (dias/ano);

ED = duração da exposição (ano);

BW = massa corpórea (kg);

AT = tempo médio, (período no qual a exposição é estimada, em dias).

Cabe ressaltar que o receptor humano poderá ter ingresso pela água subterrânea ou água superficial contaminada, a partir do solo, sedimento ou poeira contaminada ou a partir do ar contaminado. Isto é, pode haver diferentes caminhos de exposição e diferentes vias de ingresso em uma determinada área de estudo. Para cada um desses casos existem formulações derivadas da equação genérica acima que são utilizadas em *softwares* específicos para esse fim.

Avaliação da Toxicidade

O objetivo da avaliação de toxicidade é quantificar o potencial que determinados contaminantes, quando expostos, têm para causar efeitos adversos à saúde humana e, se possível, estimar a relação entre período de exposição e probabilidade de intensificação desses efeitos.

Segundo USEPA (1989), a avaliação de toxicidade deve ser desenvolvida em duas etapas: identificação do perigo e avaliação da dose-resposta.

A **identificação do perigo** avalia se a exposição a determinados contaminantes pode aumentar a probabilidade de incidência de efeitos nocivos à saúde e se esses efeitos podem ocorrer em humanos.

A segunda etapa, **avaliação da dose-resposta**, consiste em avaliar quantitativamente as informações de toxicidade e caracterizar a relação entre a quantidade de contaminante administrada e a probabilidade de ocorrência de algum efeito adverso à

saúde na população exposta. A partir daí, são determinados os valores de toxicidade (doses de referência e *slope factors*) que serão utilizados para estimativa da probabilidade de ocorrência de efeitos adversos em função da exposição humana àquele contaminante.

As substâncias de interesse na avaliação da toxicidade são classificadas como não-carcinogênicas e carcinogênicas.

a) Análise toxicológica para efeitos não-carcinogênicos

Para avaliação dos efeitos não-carcinogênicos resultantes da exposição são utilizados parâmetros denominados doses de referências (*Reference Dose* - RfD). Na avaliação de risco podem ser utilizados vários tipos de RfD, dependendo das rotas de exposição (ingestão, inalação e contato dérmico), dos efeitos críticos e da extensão da exposição avaliada (crônica, sub-crônica ou evento simples).

A RfD crônica é definida como a estimativa (com incerteza de uma ordem de magnitude) de um nível de exposição diária de uma população, incluindo subpopulações sensíveis, que possa ocorrer sem que exista risco de efeitos adversos à saúde durante seu tempo de vida. Tal estimativa é desenvolvida especialmente para exposições de longa duração, que pode variar entre sete anos e o tempo de vida máximo (CETESB 2001).

A RfD é calculada a partir dos níveis onde não são observados efeitos adversos, NOAEL (*Non Observed Adverse Effect Level*), e dos menores níveis que apresentam efeitos adversos, LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level*), aplicando-se fatores de incerteza, UF (Uncertainty Factors), e fatores de modificação, MF (Modifying Factors). O cálculo da RfD é representado pela equação:

$$RfD = \frac{NOAEL}{UF_1 \times UF_2 \times \dots \times UF_n \times MF} \quad \text{Equação 2}$$

b) Análise toxicológica para efeitos carcinogênicos

A análise toxicológica para efeitos carcinogênicos é realizada com base na determinação do fator de carcinogenicidade, SF (*Slope Factor*), acompanhado do peso da evidência de câncer (CETESB 2001).

O peso da evidência de câncer avalia a probabilidade daquele contaminante ser carcinogênico baseado em estudos realizados, separadamente, com animais e humanos. A evidência de câncer pode ser classificada com base no potencial de o contaminante vir a causar efeitos carcinogênicos (Tabela 1).

Grupo	Descrição
A	Carcinogênico Humano
B1	Provável carcinogênico humano; dados disponíveis para humanos são limitados
B2	Provável carcinogênico humano; dados suficientes para animais, mas inadequados ou inexistentes para humanos
C	Possível carcinogênico humano
D	Não classificado como carcinogênico humano
E	Evidências de não-carcinogenicidade humana

Tabela 1: Classificação segundo o peso da evidência de câncer (USEPA, 1989)

O fator de carcinogenicidade, que representa o valor de toxicidade definido quantitativamente pela relação entre a dose e a resposta, é calculado com base na avaliação de que determinado composto é potencialmente carcinogênico. O fator de carcinogenicidade é utilizado para estimar a probabilidade de ocorrência de um caso adicional de câncer, em uma determinada população, como consequência da exposição a compostos carcinogênicos.

Caracterização do Risco

A caracterização de risco representa a última etapa do processo de avaliação de risco à saúde. Nessa etapa, as informações adquiridas nas avaliações de exposição e de toxicidade são integradas e caracterizadas em expressões, quantitativas e qualitativas, de risco. Para a caracterização da probabilidade de ocorrência de efeitos não-carcinogênicos são realizadas comparações entre as doses de ingresso projetadas e os valores de toxicidade.

Para a possível ocorrência de efeitos carcinogênicos são utilizadas as projeções das doses de ingresso e as informações químicas específicas de dose-resposta.

Nessa etapa, são calculados os riscos carcinogênicos e não-carcinogênicos, considerando cada contaminante e cada rota de exposição identificada no modelo conceitual da área de estudo. Cabe ressaltar que uma avaliação de risco só estará completa quando forem quantificados os riscos e que estes devem vir acompanhados das interpretações e da análise das incertezas associadas (CETESB 2001).

a) Quantificação do risco para efeitos carcinogênicos

Para os compostos químicos carcinogênicos o risco é estimado com base no fator de carcinogenicidade, responsável pela conversão das estimativas das doses de ingresso de substâncias tóxicas, durante toda a vida de um indivíduo, na probabilidade deste desenvolver câncer.

A quantificação do risco carcinogênico para um determinado composto químico relacionado a um cenário de exposição n é estimada pela equação:

$$\text{Risco} = I_n \times \text{SF} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

Risco = risco carcinogênico;

I = dose de ingresso para o cenário de exposição n (mg/kg – dia);

SF = fator de carcinogenicidade (*slope factor*) (mg/kg – dia)⁻¹.

Quando o indivíduo está exposto a múltiplos compostos químicos carcinogênicos, o risco carcinogênico total (Risco_t) é calculado pela somatória de todos os riscos estimados para cada substância e seus respectivos cenários de exposição (Risco_i). A quantificação do risco total é representada pela equação:

$$\text{Risco}_t = \sum \text{Risco}_i \quad \text{Equação 4}$$

b) Quantificação do risco para efeitos não-carcinogênicos

A quantificação do risco para compostos não-carcinogênicos, denominado quociente de perigo (HQ - *Hazard Quocient*), é representado pela razão entre a dose de ingresso (I_n) do composto químico de interesse para uma via de exposição n e a dose de referência (RfD) correspondente. O cálculo é expresso pela equação:

$$HQ = \frac{I_n}{RfD} \quad \text{Equação 5}$$

O risco total para múltiplos compostos não-carcinogênicos - chamado de índice de perigo, HI (*Hazard Index*) - é representado pelo somatório dos quocientes de perigo (HQ_i), conforme equação abaixo.

$$HI = \sum HQ_i \quad \text{Equação 6}$$

O índice de perigo é calculado para cada rota de exposição considerada no modelo conceitual da área de estudo.

c) Fontes de incerteza

As incertezas estão associadas à falta de conhecimento ou informações não condizentes com a realidade da área de estudo, podendo ser resultado de erros na aquisição dos dados, na amostragem ou até mesmo erros na interpretação dos dados.

Visando minimizar os efeitos das incertezas no processo de avaliação de risco, deve-se adotar uma abordagem conservadora, considerando margens de segurança na avaliação da exposição, na análise de toxicidade e na caracterização de risco (CETESB, 2001).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

4.1.1. Sondagens e Instalações dos Poços de Monitoramento

Foram realizadas, pela empresa Água Marinha, sondagens a trado manual/mecanizado visando obter a caracterização geológica da área e para coleta de amostras de solo (50 amostras), as quais foram enviadas para análises químicas.

Durante as sondagens foi utilizado, para coleta de amostras de solo, um detector de voláteis com sensor catalítico de compensação na escala 1-10.000 ppm, da marca *Gastech*, modelo *Innova Soil Vapor Monitor*, visando à detecção de gases decorrentes de contaminação por hidrocarbonetos. Com ele foram realizadas medições das concentrações de compostos orgânicos voláteis (VOC) para cada metro perfurado. Os locais que apresentaram as maiores concentrações de VOC em cada metro perfurado foram amostrados. Nos locais onde houve leitura de valores iguais, foi amostrado o nível mais profundo, ou seja, o local mais próximo do nível de água subterrânea.

Os poços de monitoramento foram instalados, pela empresa, segundo as recomendações da norma ABNT – NBR 13.895 – *Construção de poços de monitoramento e amostragem*. Foram instalados 63 poços de monitoramento (PMs), dos quais foram coletadas 61 amostras de água subterrânea que foram enviadas para análises laboratoriais. A disposição das sondagens e poços de monitoramento instalados pode ser observada no ANEXO I.

A locação dos 10 primeiros pontos de sondagem e instalação dos poços de monitoramento teve por objetivo encontrar a origem do vazamento de combustível, constatada por um poço cacimba que apresentou fase livre nas proximidades do estabelecimento. As outras sondagens e poços de monitoramento instalados visaram à delimitação das plumas de fase livre, bem como a sua área de influência (fase dissolvida).

Todos os dados referentes às sondagens e poços de monitoramento foram fornecidos pela empresa Água Marinha- Central de Geologia e Meio Ambiente.

4.1.2. Análise dos Parâmetros Físicos do Solo

Nos pontos S/PM-14, a 10 metros de profundidade, e no S/PM-45, 8 metros, foram coletadas amostras indeformadas para caracterização dos parâmetros físicos do solo como: granulometria, densidade de partículas, Fração de Carbono Orgânico (FOC), porosidade efetiva, porosidade total, teor de sólidos e umidade, necessários à simulação da avaliação de risco. Cabe ressaltar que as profundidades e a escolha dos pontos de amostragem seguiram o planejamento da empresa. Os métodos empregados pelo laboratório responsável pela caracterização dos parâmetros físicos estão listados na Tabela 2.

Tabela 2 - Métodos empregados na caracterização dos parâmetros físicos

Parâmetros	Método
Densidade de Partículas	OECD 109
Fração de Carbono Orgânico	SSSA Cap40
Porosidade Efetiva	EMBRAPA P1 Cap. 9
Porosidade Total	EMBRAPA P1 Cap. 9
Teor de Sólidos	SM21 2540 B
Umidade	SM21 2540 B
Granulometria	NBR 7181

OECD 109/1995 – *Guideline for the testing of chemicals*

EMBRAPA P1 CAP. 9 (1997)

SM21 2540 B – *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21th Edition 2005.*

SSSA CAP.40 – Soil Science Society of America

ABNT – NBR-7181

A escolha dos locais de amostragem visou obter uma boa representatividade da área para a área de estudo.

4.1.3. Ensaios Hidrogeológicos

Durante as campanhas de amostragem de água subterrânea foram realizadas medições dos níveis d'água nos poços de monitoramento, por meio de um Medidor interface HSIF-30. Os dados de N.A., assim obtidos, levaram à elaboração de um mapa potenciométrico (ANEXO II).

Foram realizados 7 ensaios de permeabilidade, baseados no rebaixamento do nível estático d'água utilizando-se o *bailer*, seguidos da verificação do tempo necessário para sua recuperação em intervalos de tempos crescentes. Os dados das variações dos níveis e tempos foram utilizados para calcular a condutividade hidráulica.

O cálculo da condutividade hidráulica da água subterrânea baseou-se no método *Bouwer and Rice* (1989), utilizado para poços parcialmente penetrados em aquíferos livres, que pode ser expresso pela relação matemática a seguir:

$$k = \frac{r_c^2 \ln(R_e/r_w)}{2L_{scr}} \frac{1}{t} \ln\left(\frac{H_o}{H_t}\right) \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

k: estimativa da condutividade hidráulica do meio;

r_c : raio do poço;

t: tempo;

H_t : nível piezométrico inicial;

H_o : nível piezométrico final;

R_e : raio de influência do teste;

r_w : raio efetivo do poço(raio da sondagem);

L_{scr} : comprimento do filtro.

Com o valor de condutividade hidráulica, é possível estimar a velocidade real de migração das águas subterrâneas, utilizando-se a lei de Darcy expressa pela seguinte equação:

$$v = K \frac{dH}{dL} \frac{1}{n_{ef}} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

v: velocidade da água subterrânea;
 K: condutividade hidráulica estimada;
 dH/dL: gradiente hidráulico;
 n_{ef}: porosidade efetiva do meio.

4.2. ANÁLISES QUÍMICAS

As amostras de solo e água subterrânea coletadas foram enviadas aos laboratórios para análises químicas dos compostos químicos de interesse. Os componentes analisados foram os hidrocarbonetos monoaromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) e alguns hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH – *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*). Os resultados das análises químicas das amostras coletadas são apresentados no ANEXO III.

Os métodos utilizados pelo laboratório responsável pelas análises químicas foram:

Parâmetros	Amostras	Método
BTEX	Solo/ Água Subterrânea	EPA 8260
PAH	Solo/ Água Subterrânea	EPA 8270

EPA 8270 – U.S.EPA *Method 8270 for multicomponent analyte determination*.

EPA 8260 – U.S.EPA *Method 8260 – volatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry*

4.3. METODOLOGIA DE AÇÃO CORRETIVA BASEADA NO RISCO

A metodologia Ação Corretiva Baseada no Risco, conhecida como RBCA, é um procedimento consistente de tomada de decisões para avaliações e respostas às contaminações, principalmente as derivadas do petróleo, tendo como objetivo a proteção da saúde humana e do meio ambiente. O RBCA foi desenvolvido pela ASTM por meio da

norma E1739-95 *Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites*, sendo primeiramente utilizada em contaminações provenientes de derramamentos de derivados do petróleo e posteriormente aplicada em áreas contaminadas por outros tipos de substâncias (ex. metais).

A RBCA é uma ferramenta importante para tomada de decisões, porque integra os métodos de avaliação de exposição, de toxicidade e de risco juntamente com características do meio físico e modelos matemáticos de transporte de contaminantes, fornecendo informações suficientes para tomada de decisão quanto à necessidade de ações corretivas adequadas ao local. Possibilita assim, uma melhor alocação dos recursos disponíveis para o estabelecimento de níveis aceitáveis de contaminante que não causem efeitos adversos à saúde humana e ao meio ambiente (CETESB 2006).

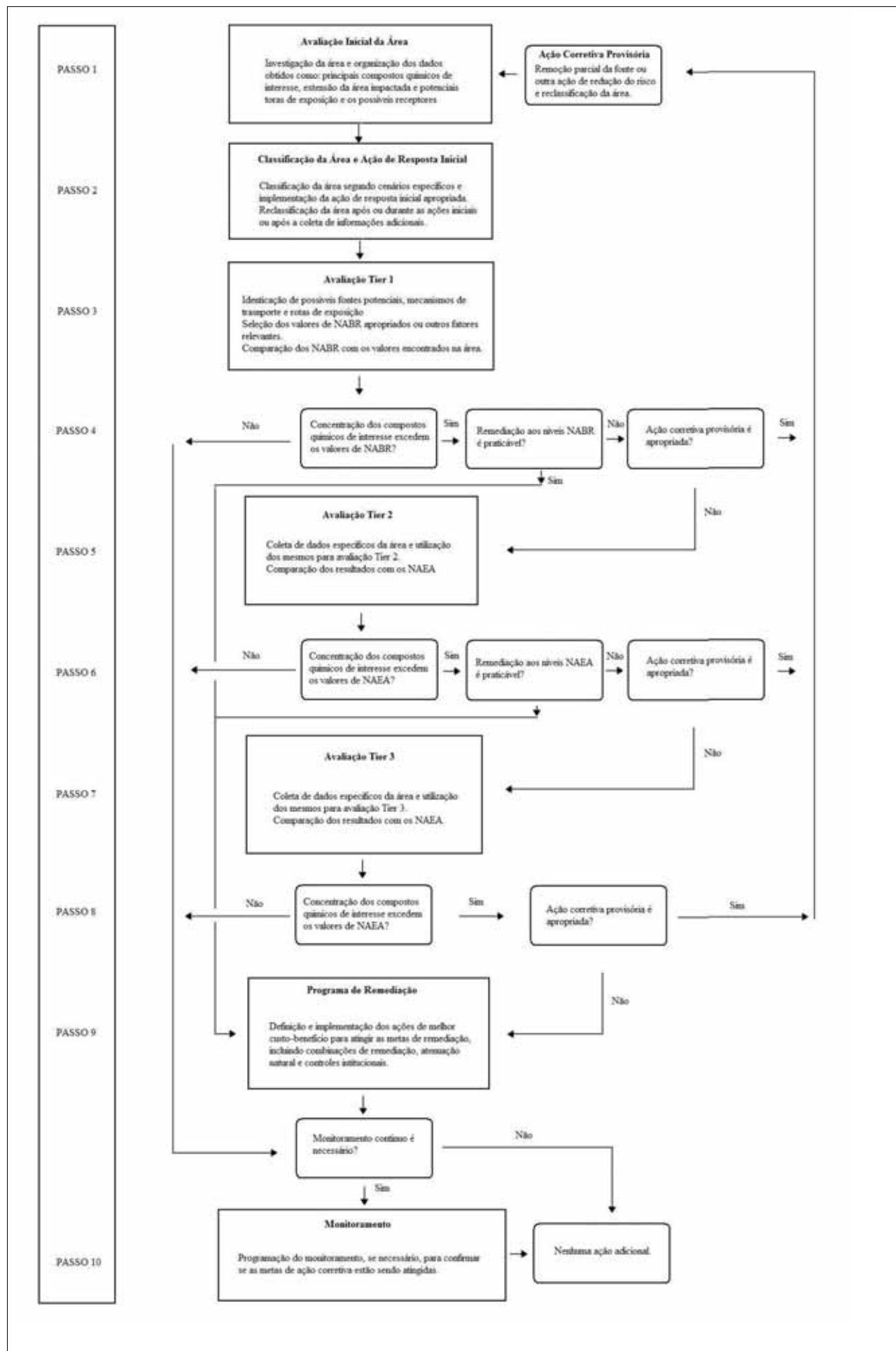
O processo utiliza uma abordagem baseada em níveis (*Tier 1*, *Tier 2* e *Tier 3*), os quais se tornam mais específicos na medida em que há necessidade de um maior detalhamento da área e dos contaminantes envolvidos.

No primeiro nível (*Tier 1*) são estabelecidos, para os CQI, os NABR que representam as concentrações máximas aceitáveis, calculadas por meio de parâmetros físicos regionais e conservadores, permitindo determinar se o *site* em questão encontra-se em condições satisfatórias aos níveis NABR. Se as concentrações dos compostos excederem os NABR, pode-se adotar um plano de remediação baseado nos valores propostos pelos NABR ou partir para um nível de detalhamento maior, *Tier 2*.

Nos níveis *Tier 2* e *Tier 3* são coletados dados específicos da área, os quais são utilizados para uma avaliação mais detalhada e conseqüentemente para a definição dos Níveis Aceitáveis Específicos da Área (NAEA), também conhecidos como *Site Specific Target Level* (SSTL). Nesses estágios são considerados parâmetros como distâncias entre o ponto de exposição e a área fonte, modelos matemáticos de transporte e destino, modelos de atenuação natural e biodegradação, que são responsáveis pelo aperfeiçoando do Modelo Conceitual de Exposição (MCE), aproximando-o da realidade daquele local.

4.3.1. Etapas e procedimentos no RBCA

O fluxograma acima apresenta as etapas e os procedimentos a serem desenvolvidos pela metodologia RBCA (modificado de ASTM, 1995).



O processo inicia-se com a suspeita ou confirmação da existência de alguma substância química que possa causar efeitos nocivos à saúde humana ou ao meio ambiente. Posteriormente são realizadas as etapas descritas a seguir.

O **PASSO 1** consiste na aquisição de informações para a caracterização inicial da área para poder ser feita a avaliação *Tier 1*. Os dados necessários para essa avaliação incluem: histórico de operações e vazamentos, identificação dos contaminantes (ex. metais, derivados do petróleo), localização das áreas fontes, identificação das vias de transporte, rotas de exposição, vias de ingresso e receptores, aspectos hidrogeológicos e geológicos.

No **PASSO 2** é feita a classificação da área, integrando todas as informações obtidas na etapa anterior. A partir daí, pode-se determinar se existe risco na área e se esse pode vir a causar algum efeito adverso à saúde humana e/ou ao meio ambiente. Se a área apresentar risco, podem ser implementadas ações de resposta inicial ou emergencial se necessário.

Os **PASSOS 3 e 4** correspondem à análise comparativa entre as concentrações dos CQI e os valores de NABR e a tomada de decisão com base na avaliação *Tier 1*. Se as concentrações dos CQI ultrapassarem os valores de NABR, pode-se optar, levando em conta a relação custo-benefício, a implementação de ações corretivas ou uma avaliação mais detalhada, *Tier 2*. Se não forem detectadas concentrações superiores aos NABR, a área deverá ser apenas monitorada, não havendo necessidade de ações mitigadoras.

Nos **PASSOS 5 e 6** são adotados os mesmos procedimentos citados nas etapas anteriores, no entanto, são utilizados dados específicos da área, aproximando ao máximo o MCE com a realidade. Nessa etapa são utilizados modelos analíticos de transporte e de alteração do contaminante, bem como, os pontos de exposição e a distância dos mesmos aos potenciais receptores. Os valores de referência utilizados nessa etapa são os NAEA, os quais são calculados especificamente para a área. As concentrações dos CQI da área são comparadas com os valores dos NAEA. Se as concentrações excederem os valores adotados para a área devem ser implementadas ações corretivas ou então pode-se optar por uma avaliação mais detalhada, *Tier 3*, levando-se em consideração a relação custo-benefício.

Nos **PASSOS 7 e 8** são realizadas a avaliação *Tier 3* e a comparação de seus resultados com os valores de NAEA. Cabe ressaltar que nessa etapa, os valores de NAEA

diferem dos anteriores por apresentar os dados mais relevantes da área de estudo. Em seguida é avaliada a necessidade da implementação de ações corretivas ou do monitoramento ambiental da área.

O **PASSO 9** consiste no programa de remediação adotado para a área, baseando-se nos riscos apresentados em alguma avaliação *Tier*. O programa busca alternativas de remediação, para atingir os níveis aceitáveis. Nele podem ser inclusas combinações de remoção da fonte, tratamento e contenção dos contaminantes, bem como, controles institucionais.

O **PASSO 10** é fundamental para constatar a eficiência do programa de remediação adotado, com vistas a confirmar se determinada área continua contaminada e quais foram suas mudanças ao longo do tempo.

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E ANALÍTICOS

5.1. DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL

5.1.1. Classificação da Área e Histórico Ambiental

A área selecionada para estudo está localizada no município de Sumaré, interior do estado de São Paulo. Seu entorno é ocupado por comércios, indústrias e residências (Figura 9). Segundo a norma da ABNT - NBR 13.786/2001 o posto de serviço recebe a classificação “Classe 2” por apresentar, em suas proximidades, poços tubulares, e poços cacimbas para captação e abastecimento de água para consumo doméstico.



Figura 8- Caracterização do entorno da área de estudo

Em 1999, foi detectada a presença de hidrocarbonetos em fase livre, em um poço cacimba próximo ao estabelecimento em questão. Em virtude disso, a CETESB realizou uma inspeção e definiu a necessidade da instalação de poços de monitoramento para identificar o local da contaminação e sua área de influência. A partir daí, foram realizadas investigações de detalhamento por meio de sondagens, instalações de poços de monitoramento, ensaios de condutividade hidráulica, coleta de amostras de solo e água subterrânea para caracterização química e determinação dos parâmetros físicos.

5.1.2. Caracterização Geológica

Sondagens

A caracterização geológica da área foi realizada por sondagens, que variaram de 12,0 a 16,0 metros de profundidade. A localização dos poços encontra-se no ANEXO I. Os perfis A-B e A'-B' (Figura 10) apresentam os principais solos presentes na área de estudo, bem como sua distribuição em subsuperfície. Em linhas gerais, a classificação realizada através da avaliação visual do material sugeriu solos argilo-arenosos de coloração marrom avermelhada ocorrem nos cinco primeiros metros, seguido por solos argilo-siltosos marrom amarelados. Entretanto, também são encontrados solos argilosos, avermelhados a marrom avermelhados, argilas areno-siltosas e solos silte-arenosos, que ocorrem em formas de lentes, sem grande dispersão. Todos esses solos resultam da alteração das rochas do Subgrupo Itararé.

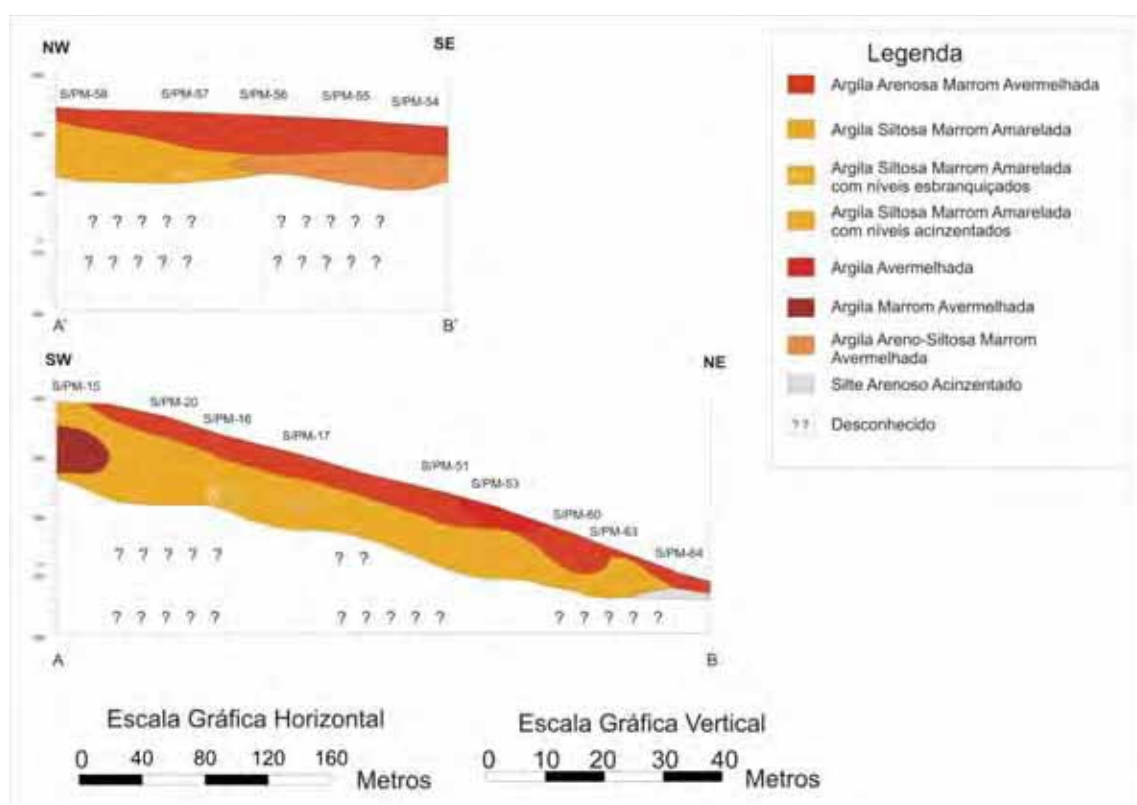


Figura 9 - Perfis geológicos A - B e A' - B'. Localização das seções no ANEXO V

Resultados das análises dos parâmetros físicos do solo

As tabelas 3 e 4 apresentam os dados referentes à caracterização dos parâmetros físicos das amostras indeformadas coletadas nos pontos S/PM-14 e S/PM-45.

Tabela 3- Análise da amostra indeformada S/PM 14 (10 m)				
Parâmetro	Unidade	Resultado	LQ	Método
Densidade de Partículas	g/cm ³	2,45	0,01	OECD 109
Fração de Carbono Orgânico	g/kg	0,70	0,1	SSSA Cap40
Porosidade Efetiva	% (v/v)	13,577	0,01	EMBRAPA P1 Cap. 9
Porosidade Total	% (v/v)	31,005	0,01	EMBRAPA P1 Cap. 9
Teor de Sólidos	g/g	0,7783	0,00002	SM21 2540 B
Umidade Volumétrica	%	22,2	0,002	SM21 2540 B
Granulometria				
Parâmetro	Unidade	Resultado	LQ	Método
Areia muito grossa	(%)	0,0087	0,01	NBR 7181
Areia grossa	(%)	0,39	0,01	NBR 7181
Areia média	(%)	1,06	0,01	NBR 7181
Areia fina	(%)	3,45	0,01	NBR 7181
Areia muito fina	(%)	8,05	0,01	NBR 7181
Silte	(%)	55,66	0,01	NBR 7181
Argila	(%)	15,69	0,01	NBR 7181
Areia total	(%)	15,67	0,01	NBR 7181

Tabela 4 - Análise da amostra indeformada S/PM 45 (8 m)

Parâmetro	Unidade	Resultado	LQ	Método
Densidade de Partículas	g/cm ³	2,54	0,01	OECD 109
Fração de Carbono Orgânico	g/kg	1,66	0,1	SSSA Cap40
Porosidade Efetiva	% (v/v)	1,388	0,01	EMBRAPA P1 Cap. 9
Porosidade Total	% (v/v)	37,605	0,01	EMBRAPA P1 Cap. 9
Umidade Volumétrica	%	22,9	0,005	SM21 2540 B
Granulometria				
Parâmetro	Unidade	Resultado	LQ	Método
Areia muito grossa	(%)	0,34	0,01	NBR 7181
Areia grossa	(%)	1,99	0,01	NBR 7181
Areia média	(%)	3,87	0,01	NBR 7181
Areia fina	(%)	4,45	0,01	NBR 7181
Areia muito fina	(%)	0,33	0,01	NBR 7181
Silte	(%)	75	0,01	NBR 7181
Argila	(%)	0,67	0,01	NBR 7181
Areia total	(%)	13,35	0,01	NBR 7181

Percebe-se que as duas amostras apresentam parâmetros físicos muito próximos. A amostra do SPM-14 contém grande quantidade de silte (55,66%) e frações arenosas (15,67%) e argilosas (15,69%) em proporções relativamente iguais. Ao contrário da amostra do ponto S/PM-14, o S/PM 45 apresentou predominância de um material siltoso (75%), subordinadamente frações arenosas (13,35%) e pouca quantidade de argila (0,67%).

Caracterização Geoquímica do Solo

As amostras de solo foram enviadas aos laboratórios para análises químicas dos compostos químicos de interesse. Foram realizadas análises para os compostos BTEX e PAH.

Os resultados das análises químicas das amostras foram comparados com os valores de intervenção de acordo com a Decisão da Diretoria nº 195-2005-E estipulada pela CETESB em 23 de novembro de 2005.

O ANEXO III apresenta a relação das amostras analisadas, os parâmetros analisados e as respectivas concentrações encontradas em cada amostra, bem como, a comparação das concentrações com os valores de intervenção estipulados pela CETESB.

De acordo com os resultados das análises químicas, apenas a amostra do S/PM-28 apresentou concentração de Benzeno acima dos limites de intervenção estipulados pela CETESB (2005). As demais amostras de solo não apresentaram concentrações de compostos BTEX e PAH's superiores aos limites de intervenção.

5.1.3. Caracterização Hidrogeológica

Poços de monitoramento

Foram instalados 63 poços de monitoramento para identificação do comportamento hidrogeológico da área e para coleta de amostras de água subterrânea. As locações dos 10 primeiros poços de monitoramento foram selecionadas com intuito de encontrar a origem do vazamento de combustível, constatada pela presença de fase livre do contaminante nas proximidades do estabelecimento. Os demais poços de monitoramento foram instalados fora do *site* em questão e visaram à delimitação da área de influência do contaminante.

Também foram realizadas campanhas de monitoramento dos poços onde foram levantados os dados dos níveis d'água e das cargas hidráulicas dos poços de monitoramento (Tabela 5). Os dados obtidos nas campanhas foram inseridos no *software Surfer 8.0*, para gerar o mapa potenciométrico da área de estudo, que se encontra no ANEXO II.

Tabela 5 – Monitoramento dos poços

PM's	Cota	N.A (m)	CARGA HIDRÁULICA	PM's	Cota	N.A (m)	CARGA HIDRÁULICA
PM-01	599,09	9,98	589,11	S/PM-34	592,02	desativado	
PM-02	599,05	10,16	588,89	S/PM-35	592,96	desativado	-
PM-03	599,01	9,77	589,24	S/PM-36	598,87	10,02	588,85
PM-04	599,19	9	590,19	S/PM-37	595,78	11,96	583,82
PM-05	599,25	9,5	589,75	S/PM-38	598,83	11,46	587,37
PM-06	599,1	10,85	588,25	S/PM-39	602,13	10,44	591,69
PM-07	596,46	12,39	584,07	S/PM-40	600,97	10,56	590,41
PM-08	595,45	12,39	583,06	S/PM-41	583,5	7,63	575,87
PM-09	595,6	11,82	583,78	S/PM-42	587,73	8,5	579,23
PM-10	599	10,32	588,68	S/PM-43	587,62	9,07	578,55
PM-11	598,85	13,41	585,44	S/PM-44	594,35	10,47	583,88
S/PM-12	596,03	12,99	583,04	S/PM-45	589,48	9,27	580,21
S/PM-13	596,19	12,51	583,68	S/PM-46	586,78	9,62	577,16
S/PM-14	599,21	11,75	587,46	S/PM-47	580,095	6,46	573,63
S/PM-15	599,22	10,04	589,18	S/PM-48	568,945	2,52	566,425
S/PM-16	593,52	10,4	583,12	S/PM-49	599,497	11,24	588,257
S/PM-17	590,75	9,27	581,48	S/PM-51	584,223	6,99	574,593
S/PM-18	593,93	10,29	583,64	S/PM-52	587,038	9,63	578,038
S/PM-19	593,56	10,53	583,03	S/PM-53	581,596	9	573,286
S/PM-20	595,97	12,15	583,82	S/PM-54	590,764	8,31	582,214
S-21	595,62	-	-	S/PM-55	591,281	8,55	582,681
S/PM-22	589,89	9,98	579,91	S/PM-56	591,906	8,6	583,346
S/PM-23	583,46	8,02	575,44	S/PM-57	592,587	8,56	583,367
S/PM-24	584,17	7,12	577,05	S/PM-58	593,45	9,22	582,52
S/PM-25	592,21	11,68	580,53	S-59	-	10,93	-
S/PM-26	584,33	8,57	575,76	S/PM-60	576,942	7,06	569,882
S/PM-27	582,13	7,38	574,75	S/PM-61	579,169	8	571,169
S/PM-28	590,58	9,24	581,34	S/PM-62	576,132	7,49	568,642
S/PM-29	590,43	9,59	580,84	S/PM-63	575,104	6,58	568,524
S/PM-30	581	7,06	573,94	S/PM-64	570,498	4,21	566,288
S/PM-31	587,97	9,76	578,21	S/PM-65	587,422	8,4	579,022
S/PM-32	591,52	9,41	582,11	S/PM-66	589,039	9,47	579,569
S/PM-33	591,19	9,23	581,96				

Segundo o mapa potenciométrico (ANEXO II), o fluxo da água subterrânea migra de SW para NE, indo em direção ao corpo d'água superficial encontrado na área.

Ensaio de condutividade hidráulica

Foram realizados ensaios de condutividade hidráulica nos poços PM-06, S/PM-13, S/PM-16, S/PM-18, S/PM-19, S/PM-20 e no poço cacimba R. O método empregado (*bail test*) consistiu no rebaixamento do nível estático d'água com a utilização de um *baile* e em seguida foram medidos, em intervalos de tempo crescentes, os níveis de recuperação do

poço. Os valores obtidos, para cada poço, foram inseridos no *software Aquifer Test 2.5 for Windows* que calculou as respectivas condutividades hidráulicas.

Os resultados de condutividade obtidos pelo *software* encontram-se na tabela 6.

Tabela 6 - Valores de condutividade hidráulica							
Poços	PM -06	S/PM-13	S/PM-16	S/PM-18	S/PM-19	S/PM-20	P.C R.
Condutividades Hidráulicas (cm/s)	2,82 E -5	4,74 E -5	3,39 E -5	2,07 E -5	3,05 E -5	5,58 E -5	1,09 E -4

Caracterização geoquímica das águas subterrâneas

As amostras de água subterrânea coletadas foram enviadas aos laboratórios para análises químicas dos compostos químicos de interesse. Foram realizadas análises para os compostos BTEX e PAH.

Os resultados das análises químicas das amostras foram comparados com os valores de intervenção de acordo com a Decisão da Diretoria nº 195-2005-E estipulada pela CETESB em 23 de novembro de 2005.

O ANEXO III apresenta a relação das amostras analisadas, os parâmetros analisados e as respectivas concentrações encontradas em cada amostra, bem como, a comparação das concentrações com os valores de intervenção estipulados pela CETESB.

As amostras de água subterrânea que apresentaram concentrações superiores aos limites de intervenção da CETESB estão apresentadas na tabela 7.

Tabela 7 - Relação dos poços de monitoramento que apresentaram contaminação

CQI	Poços de Monitoramento/Concentrações (µg/L)	Valores de Intervenção CETESB (2005) (µg/L)
Benzeno	PM-01 (30), PM-02 (128), PM-03 (485), PM-04 (7), PM-06 (42), PM-09 (1992), PM-17 (11), S/PM-13 (107), S/PM-14 (21), S/PM-15 (29), S/PM-18 (856), S/PM-19 (173), S/PM-20 (3884), S/PM-24 (1498), S/PM-26 (4278), S/PM-27 (1029), S/PM-28 (4147), S/PM-29 (945), S/PM-30 (142), S/PM-36 (1543), S/PM-38 (2936), S/PM-41 (288), S/PM-42 (1852), S/PM-43 (589), S/PM-52 (419,6), S/PM-53 (201,7), S/PM-55 (1162,3), S/PM-56 (251,7), S/PM-60 (531,7), S/PM-63 (125,7)	5
Tolueno	PM-03 (477), PM-09 (4479), S/PM-18 (1694), S/PM-20 (5213), S/PM-24 (2708), S/PM-26 (8962), S/PM-27 (1472), S/PM-28 (9328), S/PM-29 (1090), S/PM-36 (2656), S/PM-38 (5771), S/PM-42 (4638), S/PM-43 (1398), S/PM-55 (3784,6), S/PM-60 (496)	300
Etilbenzeno	S/PM-24 (1165), S/PM-26 (1880), S/PM-28 (1768), S/PM-38 (890), S/PM-42 (1577), S/PM-55 (1591)	700
Xilenos	PM-03 (618), PM-09 (3477), S/PM-18 (974), S/PM-20 (3754), S/PM-24 (8373), S/PM-26 (15048), S/PM-27 (9658), S/PM-28 (12251), S/PM-29 (3264), S/PM-30 (792), S/PM-36 (1889), S/PM-38 (6958), S/PM-41 (1053), S/PM-42 (13527), S/PM-43 (3304), S/PM-52 (852,3), S/PM-55 (9497,8), S/PM-56 (555,2), S/PM-60 (4600,7)	500
Naftaleno	S/PM-16 (176,30), S/PM-27 (145,23), S/PM-43 (272,56), S/PM-55 (938,10), S/PM-60 (153)	140

5.1.4. Monitoramento Climatológico

Na tabela 8, são apresentados os dados referentes ao monitoramento climatológico para os parâmetros precipitação e evapotranspiração real do município de Sumaré, no

período entre 27 de outubro de 2008 e 27 de outubro de 2009, realizado pelo Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO).

Tabela 8 – Dados climatológicos para o município de Sumaré

Período	Precipitação (mm)	Evapotranspiração Real (mm)
Outubro/08	116.9	110
Novembro/08	139.9	126
Dezembro/08	192.7	117
Janeiro/09	175.9	153
Fevereiro/09	120	130
Março/09	123.2	96
Abril/09	41.8	76
Maio/09	30.1	42
Junho/09	68.2	43
Julho/09	67.5	42
Agosto/09	55	48
Setembro/09	151.5	77
Outubro/09	68.5	89
Total anual	1351.2	1149

A infiltração total na área do município pode ser obtida a partir desses dados meteorológicos de precipitação e evapotranspiração real, monitorados durante um ciclo hidrológico utilizando-se a equação 9:

$$I_t = \sum_{i=1}^{i=365} P_i - \sum_{i=1}^{i=365} ET_i \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

I_t = infiltração total

P_i = precipitação diária

ET_i = evapotranspiração diária

Para a região de Sumaré o valor encontrado de infiltração total é de 20,22 cm/ano, o qual equivale à precipitação menos a perda associada à evapotranspiração, desconsiderando-se o escoamento superficial.

5.2. AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA

5.2.1. Introdução

A partir dos dados obtidos por meio do diagnóstico geoambiental pode-se conduzir a avaliação de risco à saúde humana. Nessa etapa, são identificados e quantificados os riscos que os contaminantes envolvidos podem vir a causar à saúde humana e/ou ao meio ambiente. A avaliação de risco serve também para a obtenção de níveis aceitáveis de contaminantes, os quais poderão ser utilizados como metas a serem atingidas caso seja necessária a adoção de medidas corretivas para a área.

5.2.2. Modelo Conceitual de Exposição (MCE)

Fontes potenciais de contaminação

O MCE da área de estudo está apresentado no fluxograma de avaliação de cenário de exposição (Figura 11).

Segundo o histórico da área, a fonte primária de contaminação resultou de um vazamento proveniente de uma das linhas de abastecimento, dentro do estabelecimento em questão. No entanto, foram encontradas concentrações para água subterrânea mais elevadas à jusante e distantes da fonte. Sendo assim foram consideradas, como fontes secundárias (*hot spot*), os pontos que apresentaram as maiores concentrações, no caso, S/PM-26 e S/PM-28. Essa consideração é viável, pois se trata da situação mais desfavorável, visto que se encontra mais próximo do receptor.

. Para contaminação de solos em subsuperfície foi considerado o ponto S/PM 28, que foi o único que apresentou concentrações acima os limites de intervenção.

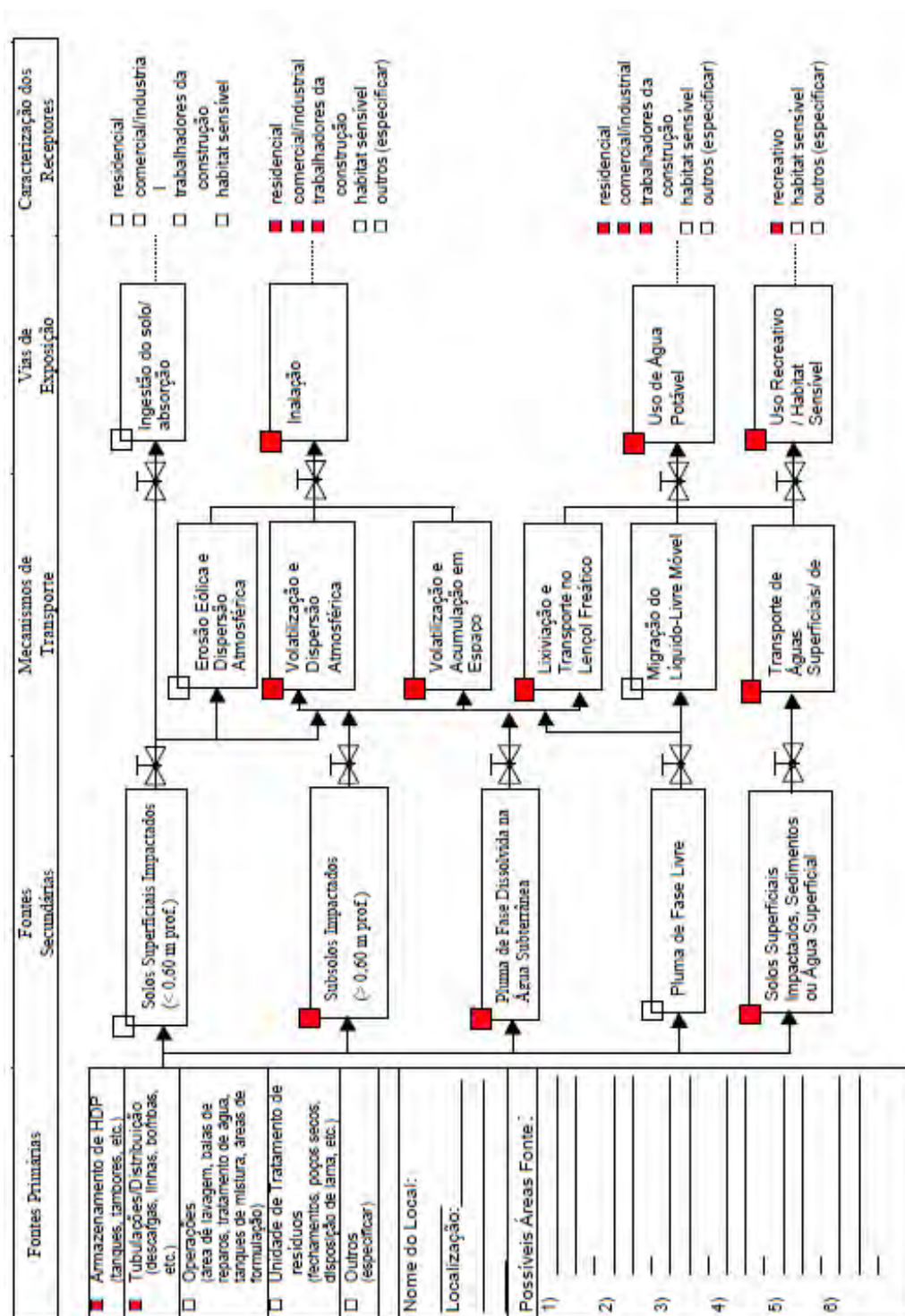


Figura 10- Fluxograma da avaliação de cenário de exposição (modificado CETESB, 2006)

Vias de exposição, Receptores e Cenário de Exposição

As vias de ingresso são definidas como a forma pela qual o receptor entra em contato com determinado composto químico, seja por ingestão, inalação ou contato dérmico.

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

- **Inalação de vapores:** compostos químicos voláteis podem chegar ao receptor em superfície por essa via de exposição.
- **Contato Dérmico:** o contato com a água contaminada deve ser considerado como uma alternativa provável seja ela acidental ou não. Essa via de exposição também deve ser considerada, pois existe um córrego na área, que poderia servir de uso recreativo (embora não seja) e eventual para algumas pessoas. Cabe ressaltar que mesmo com uma probabilidade muito baixa de acontecer o contato dérmico com a água subterrânea por meio desse corpo superficial, não pode ser descartada, uma vez que é de possível ocorrência.
- **Ingestão:** Essa via de exposição é considerada, pelo fato de haver poços cacimba na área, os quais são utilizados para consumo humano.

Quanto aos receptores foram considerados:

- **Trabalhadores comerciais** que cumprem 8 horas de trabalho no local;
- **Trabalhadores temporários** (obras) que cumprem 8 horas de trabalho no local;
- **Trabalhadores comerciais** que cumprem 8 horas de trabalho de fora do local;
- **Adultos em recreação** que poderiam utilizar o córrego para fins recreativos, como por exemplo, a natação (fora do local)

Segundo as vias de exposição e os receptores, foram considerados os seguintes cenários:

- **Área de estudo (*on site*)** - Inalação de compostos voláteis se daria por trabalhadores comerciais e trabalhadores temporários (obras) que cumprem 8 horas de trabalho. O

risco foi avaliado para local aberto devido a possíveis trabalhos que venham a ocorrer na área e para locais fechados pelo fato do local poder vir a apresentar construções no local.

- **Trabalhadores Comerciais (*off Site*)** - Trata-se dos trabalhadores comerciais e temporários (obras), que cumprem 8 horas de trabalho. Avaliou-se o risco de inalação em ambiente aberto e também foi avaliado o risco para ingestão de água subterrânea, por que esses receptores estão suscetíveis ao consumo de águas advindas de poços cacimbas em suas respectivas áreas.
- **Residencial (*off Site*)** - Constituído por pessoas residentes na região. Avaliou-se o risco de ingestão de águas subterrâneas por existir poço cacimba, que é utilizado para consumo humano.
- **Corpo d'água superficial (*off Site*)** - Refere-se ao corpo d'água superficial existente na área. Foi avaliado o risco para contato dérmico, sendo considerado o uso do mesmo para fins recreativos (natação) por um adulto.

A tabela 9 apresenta, com detalhe a relação entre as vias de exposição, os receptores e os CQI.

Tabela 9 - Rotas de Exposição

Caminho (Meio Físico)		Vias de Exposição	Cenário	CQI	Distância (metros)	Receptores
Solos Subsuperficiais e Água Subterrânea (afetada também por lixiviação)	<i>On Site</i>	Inalação	Ambiente Aberto e Fechado (*)	Benzeno	0	Trabalhadores Comerciais Trabalhadores Temporários (obras)(**)
	<i>Off Site</i>	Inalação	Ambiente Aberto	Benzeno	178	Trabalhadores Comerciais Trabalhadores Temporários (obras)(**)
		Ingestão	-	BTEX		
		Inalação	Ambiente Aberto	Benzeno	108	Trabalhadores Comerciais Trabalhadores Temporários (obras)(**)
		Ingestão	-	BTEX		
		Inalação	Ambiente Aberto	Benzeno	75	Trabalhadores Comerciais Trabalhadores Temporários (obras)(**)
		Ingestão	-	BTEX		
		Inalação	Ambiente Aberto	Benzeno	9	Residencial
		Ingestão	-	BTEX		
		Contato Dérmico	-	BTEX	215	Adultos (Natação)

(**) Devido à restrições do *software*, o risco para esse receptor não será calculado (o software utilizado apresentou problemas, não considerando os trabalhadores temporários).

CQI, Características Geométricas dos Contaminantes e Modelos de Transporte

Os CQI de interesse empregados na avaliação de risco foram o Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos. Para avaliação de risco são considerados somente os compostos que apresentaram concentrações superiores aos limites de intervenção estipulados pela CETESB. No caso em questão foram encontradas concentrações excedentes nas amostras de água subterrânea e de solo.

Com os resultados das análises químicas foi possível a confecção de mapas de isoconcentrações dos CQI para água subterrânea (ANEXO IV). Para as análises de solo não foi necessária a confecção desses mapas porque só foi encontrada uma amostra que apresentou valores de intervenção superiores aos limites de intervenção. Nesse caso foi estipulada uma área com raio de dispersão de 8 metros, que foi a distância média em relação ao poço mais próximo.

As Tabelas 10 e 11 apresentam os dados utilizados na caracterização dos meios envolvidos. Os dados utilizados foram obtidos através do diagnóstico ambiental e também pela caracterização dos contaminantes, no entanto, alguns dados como espessura da zona vadosa, profundidade até o N.A. foram estimados a partir dos dados referentes as profundidades do nível d'água encontrados. Para os dados que não foram estimados optou-se pela utilização de dados do próprio *software* (ex: zona de mistura da água subterrânea).

Tabela 10 - Parâmetros do solo utilizados na avaliação de risco

Parâmetros do Solo	Valores	Unidade
h_{cap} Espessura da franja capilar	1.1E-1	(m)
h_v Espessura da zona vadosa	7.8E+0	(m)
ρ_s Densidade do solo	1.7E+0	(g/cm ³)
f_{oc} Fração de Carbono Orgânico	7.0E-1	(-)
θ_T Porosidade total do solo	3.1E-1	(-)
K_{vs} Condutividade Hidráulica Vertical	1.0E-5	(cm/s)
K_v Permeabilidade de Vapor	1.0E-15	(m ²)
L_{gw} Profundidade até o N.A	7,9E+0	(m)
L_s Profundidade até o topo do solo afetado	7.0E+0	(m)
L_{base} Profundidade até a base do solo afetado	7.9E+0	(m)
L_{subs} Espessura do solo contaminado	9.0E-1	(m)
pH solo/água subterrânea	7.5E+0	(-)

Tabela 11 - Parâmetros da água subterrânea utilizados na avaliação de risco

Parâmetros da Água Subterrânea	Valores	Unidade
δ_{gw} Zona de Mistura da Água subterrânea	2.0E+0	(m)
I_f Taxa de infiltração	2.0E+1	(cm/ano)
U_{gw} Velocidade de Migração	7.4E-7	(cm/s)
K_s Condutividade Hidráulica	1.1E-5	(cm/s)
i Gradiente Hidráulico	6.8E-2	(-)
S_w Comprimento da pluma no ponto de exposição	8.6E+1	(m)
S_d Espessura da contaminação	2.0E+0	(m)
Θ_{eff} Porosidade Efetiva	1.4E-1	(-)
f_{oc-sat} Fração de Carbono Orgânico	7.0E-1	(-)
pH da água subterrânea	7.5E+0	(-)

Quanto à migração dos contaminantes para água subterrânea, as concentrações finais foram calculadas utilizando o modelo DOMENICO, levando em consideração a atenuação natural por dispersão (sem biodegradação).

Os meios de transporte dos CQI considerados para que a contaminação possa atingir os respectivos receptores, bem como, os modelos matemáticos utilizados para a quantificação das concentrações dos CQI nos pontos de exposição, podem ser encontrados na tabela 12.

Tabela 12 - Mecanismos de transporte considerados

Meio de Transporte	Receptor	CQI	Sentido	Modelo Matemático (*)
Voláteis da água subterrânea	Comercial, Residencial	Benzeno	Vertical	Jhonson & Ettinger
Lixiviação do solo	Água Subterrânea	BTEX	Vertical	ASTM model
Migração da água subterrânea	Comercial, Residencial, Corpo d'água Superficial	BTEX	Horizontal	DOMENICO

(*) Fonte: ASTM (1998), Norma PS104 e contido no RBCA *Tool Kit for Chemical Releases* (1998)

Propriedades Físico-Químicas dos CQI

As propriedades físico-químicas dos compostos de interesse como: peso molecular, coeficiente de difusão, solubilidade, entre outros, encontram-se na tabela 13. Esses dados foram retirados do próprio *software*.

Tabela 13 - Propriedades físico-químicas dos compostos BTEX, extraídas de *COC Chemical Parameter*

Composto	CAS Number	Tipo	Peso Molecular (g/mol)	Coeficiente de Difusão		Partição Log (Koc)	Lei Constante de Henry (atm·m ³)	Pressão de Vapor (mm Hg)
				Ar (cm ² /s)	Água (cm ² /s)			
Benzeno	71-43-2	A	78.1	8.8E-2	9.8E-6	1.77	5.55E-3	1.75E+3
Tolueno	108-88-3	A	92.4	8.5E-2	9.4E-6	2.13	6.30E-3	5.15E+2
Etilbenzeno	100-41-4	A	106.2	7.5E-2	7.8E-6	2.56	7.88E-3	1.69E+2
Xilenos	1330-20-7	A	106.2	7.2E-2	8.5E-6	2.38	7.03E-3	7.00E+2

Composto	Solubilidade (mg/L)	Doses de Referência (mg/kg/dia)			Slope Factor (1/(mg/kg/dia))		Fator de Risco	Limite de detecção	
		Oral	Dermal	Inalação (mg/m ³)	Oral	Dermal		Água Subterrânea (mg/L)	Solo (mg/kg)
Benzeno	1.75E+3	3.00E+3	-	5.95E-3	2.9E-2	2.99	8.29E-6	0.002	0.005
Tolueno	5.15E+2	2.00E-1	1.60E-1	4.00E-1	-	-	-	0.002	0.005
Etilbenzeno	1.69E+2	1.00E-1	9.70E-2	1.00E+0	-	-	-	0.002	0.005
Xilenos	1.98E+2	2.00E+0	1.84E+0	7.00E+0	-	-	-	0.005	0.005

6. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Os resultados das RBSLs calculadas para os CQI e seus respectivos cenários estão apresentados nas tabelas 14 e 15.

Tabela 14 - Receptores On Site

Constituintes	Concentrações Representativas		Receptores On Site							
			Exposição Ambiente Aberto		Exposição Ambiente Fechado		Exposição Solo		Exposição Água Subterrânea	
	Água Subterrânea (mg/L)	Solo (mg/kg)	Risco Carcinogênico (1.0E-5)	Risco Não-Carcinogênico (1.0E+0)	Risco Carcinogênico (1.0E-5)	Risco Não-Carcinogênico (1.0E+0)	Risco Carcinogênico (1.0E-5)	Risco Não-Carcinogênico (1.0E+0)	Risco Carcinogênico (1.0E-5)	Risco Não-Carcinogênico (1.0E+0)
Benzeno	4.3E+0	3.0E-1	2.3E-7	9.3E-3	1.6E-5	6.3E-1	-	-	6.9E-4	1.6E+1
Tolueno	3.8E+0	1.5E+0	-	1.3E-1	-	9.0E+0	-	-	-	2.1E+2
Etilbenzeno	1.2E+3	4.8E-1	-	1.8E-2	-	1.2E+0	-	-	-	1.3E+2
Xilenos	1.5E+1	3.2E+0	-	2.8E-5	-	1.9E-3	-	-	-	8.2E-2
Valores Cumulativos			2.4E-7	1.6E-1	1.6E-5	1.1E+1	0.0E+0	0.0E+0	6.9E-4	3.5E+2

Observação: **Negrito** – Indica nível de risco superior ao limite de risco aceitável
Limites de Risco: 1.0E-5; Coeficiente de Risco: 1.0E+0

Tabela 15 - Receptores Off Site

Constituintes	Concentrações Representativas		Receptores Off Site							
			Exposição Ambiente Aberto							
	Água Subterrânea (mg/L)	Solo (mg/kg)	Residencial (9 m)		Comercial (108 m)		Comercial (75 m)		Comercial (176 m)	
			Risco Carcinogênico (1.0E-5)	Risco Não-Carcinogênico (1.0E+0)	Risco Carcinogênico (1.0E-5)	Risco Não-Carcinogênico (1.0E+0)	Risco Carcinogênico (1.0E-5)	Risco Não-Carcinogênico (1.0E+0)	Risco Carcinogênico (1.0E-5)	Risco Não-Carcinogênico (1.0E+0)
Benzeno	4.3E+0	3.0E-1	-	-	2.2E-7	8.8E-3	1.4E-7	5.4E-3	-	-
Tolueno	3.8E+0	1.5E+0	-	-	-	3.2E-4	-	2.0E-4	-	-
Etilbenzeno	1.2E+3	4.8E-1	-	-	-	2.7E-5	-	1.6E-5	-	-
Xilenos	1.5E+1	3.2E+0	-	-	-	2.3E-5	-	1.4E-5	-	-
Valores Cumulativos			0.0E+0	0.0E+0	0.0E+0	5.6E-3	0.0E+0	9.1E-3	0.0E+0	0.0E+0

Observação: **Negrito** – Indica nível de risco superior ao limite de risco aceitável
Limites de Risco: 1.0E-5; Coeficiente de Risco: 1.0E+0

Tabela 15 (cont.) – Receptores Off Site

Constituintes	Concentrações Representativas		Receptores Off Site					
			Exposição a Água Subterrânea					
	Água Subterrânea (mg/L)	Solo (mg/kg)	Residencial (9 m)		Comercial (75 m)		Comercial (108 m)	
			Risco Carcinogênico (1.0E-5)	Risco Não-Carcinogênico (1.0E+0)	Risco Carcinogênico (1.0E-5)	Risco Não-Carcinogênico (1.0E+0)	Risco Carcinogênico (1.0E-5)	Risco Não-Carcinogênico (1.0E+0)
Benzeno	4.3E+0	3.0E-1	1.8E-3	3.9E+1	1.4E-4	3.1E+0	8.75E-5	1.9E+0
Tolueno	3.8E+0	1.5E+0	-	5.2E+2	-	1.0E-1	-	6.6E-2
Etilbenzeno	1.2E+3	4.8E-1	-	3.2E+2	-	3.9E-2	-	2.5E-2
Xilenos	1.5E+1	3.2E+0	-	2.1E-1	-	1.4E-2	-	8.6E-3
Valores Cumulativos			1.8E-3	8.8E+2	1.4E-4	3.2E+0	8.75E-5	2.0E+0

Observação: **Negrito** – Indica nível de risco superior ao limite de risco aceitável
Limites de Risco: 1.0E-5; Coeficiente de Risco: 1.0E+0

Tabela 15 (cont.) – Receptores Off Site

Constituintes	Concentrações Representativas		Receptores Off Site			
			Exposição a Água Subterrânea			
	Água Subterrânea (mg/L)	Solo (mg/kg)	Comercial (176 m)		Corpo d'Água Superficial (215 m)	
			Risco Carcinogênico (1.0E-5)	Risco Não-Carcinogênico (1.0E+0)	Risco Carcinogênico (1.0E-5)	Risco Não-Carcinogênico (1.0E+0)
Benzeno	4.3E+0	3.0E-1	4.1E-5	9.2E-1	4.9E-7	1.1E-2
Tolueno	3.8E+0	1.5E+0	-	1.2E+1	-	3.7E-1
Etilbenzeno	1.2E+3	4.8E-1	-	7.5E+0	-	3.1E-1
Xilenos	1.5E+1	3.2E+0	-	4.9E-3	-	2.2E-4
Valores Cumulativos			4.1E-5	2.1E+1	4.9E-7	6.8E-1

Observação: **Negrito** – Indica nível de risco superior ao limite de risco aceitável
Limites de Risco: 1.0E-5; Coeficiente de Risco: 1.0E+0

Com base nos resultados das tabelas 14 e 15, observa-se que no local (*on site*), foram excedidos os limites de risco carcinogênico ($1,0 \times 10^{-5}$) para inalação em ambiente fechado, considerando que na área existe a possibilidade de construções no local, e exposição à água subterrânea, considerando o uso da água para consumo humano. Quanto aos demais receptores (*off site*), foram observados valores superiores aos limites de risco para exposição à água subterrânea, também, sendo considerado o uso dos poços cacimba para consumo humano (ingestão). Cabe ressaltar que para o receptor Corpo D'água Superficial assumiu-se o uso do mesmo para fins recreativos de adultos, sendo considerado o contato dérmico como via de exposição.

6.1. Níveis Aceitáveis Específicos a Área

Os NAEA (SSTL) são as concentrações máximas dos CQI que a área pode apresentar sem haver possibilidade de efeitos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente.

O cálculo dessas concentrações tem por objetivo facilitar os programas de monitoramento que venham a ser implantados. As tabelas a seguir apresentam os NAEA obtidos para cada cenário analisado.

Tabela 16 - SSTL para água Subterrânea (mg/L)

Metas de Remediação Específicas para CQI no Água - SSTL										
CQI	Concentração representativa (mg/L)	Ingestão de água subterrânea						SSTL Aplicável?	SSTL Excedida ?	FRC a ser Considerado
		On Site	Off Site							
		Comercial (0 m)	Residencial (9 m)	Comercial (75 m)	Comercial (108)	Comercial (176 m)	Corpo D'água superficial (215 m)			
Benzeno	4.3E+0	6.2E-2	2.4E-2	3.0E-1	4.7E-1	1.0E+0	8.7E+1	2.4E-2	Sim	1.8E+2
Tolueno	3.8E+3	1.8E+1	7.3E+0	9.0E+1	1.4E+2	3.1E+2	>5.2E+2	7.3E+0	Sim	5.2E+2
Etilbenzeno	1.2E+3	9.2E+0	3.6E+0	4.5E+1	7.1E+1	1.5E+2	>1.7E+1	3.6E+0	Sim	3.2E+2
Xilenos	1.5E+1	1.8E+2	7.3E+1	>2.0E+2	>2.0E+2	>2.0E+2	>2.0E+2	7.3E+1	Não	<1

NA – Não Aplicável; ">" SSTL superior ao valor de saturação residual do composto.

FRC: Fator de Redução para o composto

Tabela 16 (cont.) – SSTL para água subterrânea (mg/L)

Metas de Remediação Específicas para CQI no Água - SSTL									
CQI	Concentração representativa (mg/L)	Inalação Ambiente Fechado a partir da Água Subterrânea	Inalação Ambiente Aberto a partir da Água Subterrânea				SSTL Aplicável ?	SSTL Excedida ?	FRC a ser Considerado
			On Site	On Site	Off Site				
		Comercial (0 m)	Comercial (0 m)	Comercial (108)	Comercial (176 m)	Corpo D'água superficial (215 m)			
Benzeno	4.3E+0	2.7E+0	1.9E+2	3.0E+2	1.9E+2	NA	2.7E+0	Sim	1.8E+2
Tolueno	3.8E+3	4.2E+2	>5.2E+2	>5.2E+2	>5.2E+2	NA	4.2E+2	Sim	5.2E+2
Etilbenzeno	1.2E+3	>1.7E+2	>1.7E+2	>1.7E+2	>1.7E+2	NA	>1.7E+2	Sim	3.2E+2
Xilenos	1.5E+1	>2.0E+2	>2.0E+2	>2.0E+2	>2.0E+2	NA	>2.0E+2	Não	<1

NA – Não Aplicável; “>” SSTL superior ao valor de saturação residual do composto.

FRC: Fator de Redução para o composto

Tabela 16 (cont.) – SSTL para água Subterrânea (mg/L)

Metas de Remediação Específicas para CQI no Solo - SSTL										
CQI	Concentração representativa (mg/kg)	Lixiviação do Solo para Água Subterrânea/descarga em Corpos D'água Superficiais						SSTL Aplicável?	SSTL excedida ?	FRC a ser considerado
		On Site	Off Site							
		Comercial (0 m)	Residencial (95 m)	Comercial (297 m)	Comercial (108)	Comercial (75 m)	Corpo D'água superficial (215 m)			
Benzeno	3.0E-1	3.3E+0	8.2E+0	1.1E+2	2.6E+1	1.7E+1	8.4E+3	3.3E+0	Não	<1
Tolueno	1.5E+0	2.2E+2	5.6E+3	>4.9E+4	1.8E+4	1.1E+4	>4.9E+4	2.2E+3	Não	<1
Etilbenzeno	4.8E-1	3.0E+3	7.5E+3	>4.3E+4	2.4E+4	1.5E+4	>4.3E+4	3.0E+3	Não	<1
Xilenos	3.2E+0	>3.3E+4	>3.3E+4	>3.3E+4	>3.3E+4	>3.3E+4	>3.3E+4	>3.3E+4	Não	NA

NA – Não Aplicável; “>” SSTL superior ao valor de saturação residual do composto.

FRC: Fator de Redução para o composto

Ao observar as tabelas, verifica-se que para que haja redução do risco por consumo de água subterrânea a níveis aceitáveis, é necessário que as concentrações de Benzeno não ultrapassem o valor de 0,024 mg/L; para o Tolueno 7,3 mg/L; para o Etilbenzeno 3.6 mg/L e para o Xilenos 73 mg/L. Quanto ao risco referente à inalação de vapores advindos de compostos voláteis, no caso o Benzeno, as concentrações não podem ultrapassar 2.7 mg/L para exposição em ambientes fechados e 190 mg/L para ambientes abertos.

7. CONCLUSÕES

Foram realizados o Diagnóstico Ambiental e a Avaliação à Saúde Humana em uma área contaminada no município de Sumaré.

A avaliação utilizou-se de dados do meio físico como: caracterização geológica – descrições de sondagens e identificação de parâmetros físicos e químicos dos materiais da área; caracterização hidrogeológica – instalação e monitoramento dos poços de monitoramento, elaboração de mapa potenciométrico, ensaios de condutividade hidráulica e caracterização geoquímica das águas subterrâneas; monitoramento climatológico – aquisição de parâmetros como precipitação e evapotranspiração real, específicos para a área de estudo. Devido à falta de alguns dados do meio físico, foi necessária a adoção de parâmetros genéricos, que se encontram nos bancos de dados do *software* RBCA.

Com base nos resultados da avaliação de risco, verifica-se que a área apresenta, para o composto Benzeno, risco carcinogênico da ordem de $6,9 \times 10^{-4}$, por exposição à água subterrânea (ingestão, contato dérmico), para receptor comercial *on site* e $1,4 \times 10^{-4}$, $8,7 \times 10^{-5}$ e $4,5 \times 10^{-5}$ para receptores comerciais *off site* distantes 75, 108 e 176 metros, respectivamente. A área também apresenta, para o receptor comercial *on site*, risco segundo a via de exposição inalação em ambiente fechado que apresenta risco carcinogênico da ordem de $1,6 \times 10^{-5}$.

Quanto às substâncias não-carcinogênicas, foram encontrados riscos com quocientes de periculosidade da ordem de 210 para o Tolueno, 130 para o Etilbenzeno para exposição à água subterrânea (ingestão, contato dérmico) pelo receptor comercial *on site*; 520 para Tolueno, 320 para Etilbenzeno para o receptor residencial; 120 para Tolueno, 7,5 para Etilbenzeno para o receptor comercial *off site* (176 m). O receptor comercial *on site* apresentou, para exposição ao ar em ambiente fechado, risco não-carcinogênico para os compostos, Tolueno (210) e Etilbenzeno (130).

Diante disso, também foram obtidos os níveis aceitáveis específicos para a área, que determina quais são as concentrações aceitáveis para que a área em questão seja considerada segura. Dessa forma, as concentrações aceitáveis para ingestão de água subterrânea não podem ultrapassar 0,024 mg/L para o Benzeno, 7,3 mg/L para o Tolueno, 3,6 mg/L Etilbenzeno e 73 mg/L para Xilenos. Quanto ao risco referente à inalação de vapores advindos de compostos voláteis, no caso o Benzeno, as concentrações não podem ultrapassar 2.7 mg/L para exposição em ambientes fechados e 190 mg/L para ambientes abertos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Boletim Instituto Geográfico e Geológico*, v.41, p.169-263, 1964.

ASSINE, M. L. ; SOARES, P.C. Interação flúvio-eólica na Formação Pirambóia. In: SBG, Simp. Geol. Sudeste, 1995, Águas de São Pedro, *Boletim Resumos*, p. 65, 1995.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. *E1739-95*: Standard Guide for Risk Based Corrective Action Applied at Petroleum Releases Sites. Philadelphia, 1995.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. *PS-104*: Standard Guide for Risk-Based Corrective Action. Philadelphia, 1998.

BJORNBERG, A. J. S. ; LANDIM, P. M. B. Contribuição ao estudo da Formação Rio Claro (Neocenoico). *Boletim Sociedade Brasileira de Geologia*. São Paulo, v.15, n 4, p. 43-67, 1966.

BOUWER, H. The Bouwer and Rice slug test – an update, *Groundwater*, vol. 27, n 3, pp. 304-309, 1989.

CAETANO-CHANG, M. R. Análise ambiental e estratigráfica do Subgrupo Itararé (PC) no sudeste do estado de São Paulo. 1984. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 309 p.

CAETANO-CHANG, M. R. ; WU, F. T. Bacia do Paraná: Formações Pirambóia e Botucatu. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 1992, São Paulo, *Roteiro de Excursão 2*, p.1-19, 1992.

CAETANO-CHANG M. R. Estado d'arte dos conhecimentos sedimentológicos/estratigráficos das formações Pirambóia e Botucatu no Estado de São Paulo. In: Simpósio de Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, I. *Resumos Expandidos*, IGCE-UNESP, Rio Claro, p. 84-85, 1993.

CAETANO-CHANG, M. R. ; WU, F. T. A composição faciológica das formações Pirambóia e Botucatu no centro-leste paulista e a delimitação do contato entre as unidades. In: Simp. Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, 1993, Rio Claro-SP, *Boletim Resumos*, p.93, 1993.

CAETANO-CHANG, M. R ; WU, F. T. As Formações Pirambóia e Botucatu no Estado de São Paulo. In: SBG, Simp. Geol. Sudeste, 1995, Águas de São Pedro, *Boletim Resumos*, p.64, 1995.

CAETANO-CHANG, M. R. A Formação Pirambóia no centro-leste do Estado de São Paulo. 1997. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro-SP, 196 pp.

CETESB. *Decisão de Diretoria Nº 195-2005-E*, de 23 de Novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001.

CETESB. *Ações Corretivas Baseadas em Risco (ACBR) Aplicados a Áreas Contaminadas com Hidrocarbonetos Derivados de Petróleo e outros Combustíveis Líquidos – Procedimentos*. São Paulo: CETESB 2006. 59 p.

CETESB. *Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas*. 2 ed. São Paulo: CETESB/GTZ, 2001. 595 p.

CORSEUIL, H. X.; MARINS, M. D. M. Contaminação de Águas Subterrâneas por Derramamentos de Gasolina: O problema é grave? *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.2, n.2, p.50-54, 1997.

DAEMON, R. F.; QUADROS, L. P. Bioestratigrafia do neopaleozóico da Bacia do Paraná. Trabalho apresentado ao 24º Congresso Brasileiro de Geologia, Brasília. p. 359-412, 1970.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. Caracterização dos recursos hídricos do estado de São Paulo, 1984, 170 p.

FERREIRA, S. R. ; CAETANO-CHANG, M. R. Datação das formações Rio Claro e Piraçununga por Termoluminescência. *Revista da Escola de Minas*, v.61, p. 129-134, 2008.

FULFARO, V. J. Ensaio de Caracterização Estratigráfica do Cretáceo do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 10, p. 174-189, 1980.

FULFARO, V. J. ; STEVAUX, J. C. ; SOUZA-FILHO, E. E. ; BARCELOS, J. H. A Formação Tatuí (P) no Estado de São Paulo. In: 23º Congresso Brasileiro de Geologia, 1984, Rio de Janeiro, p.711-723, 1984.

HIRATA, R. C. A. et al. Mapeamento de vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no estado de São Paulo. São Paulo: Instituto Geológico: CETESB: DAEE, 2 v., 1997.

KATES, R.W. ; KASPERSON, J.X. Comparative Risk Analysis of Technological Hazard (A Review). In: *PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES*, v.80, p.7027-7038, 1983.

LANDIM, P. M. B.; SOARES, P.C.; Gama-Júnior, E.G. *Estratigrafia do nordeste da bacia Sedimentar do Paraná*. Rio Claro, DGGA/IGCE/UNESP, 77 p, 1980.

MILANI, E. J. ; FRANÇA, A. B. ; SCHNEIDER, R. L. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências PETROBRÁS*, v.8, p.69-82, 1994.

OLIVEIRA, J.B. et al. *Mapa pedológico do Estado de São Paulo (escala 1:500.000)*. Campinas-SP: Instituto Agrônômico; Rio de Janeiro: EMBRAPA-Solos, 1999. 64 p.

PERINOTTO, J. A. J. Análise estratigráfica da seqüência portadora de carvão na região de Cerquilha (SP). 1987. 150 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ROHN, R.; LAVINA, E. L. Cronoestratigrafia do Grupo Passa Dois. In: 1º Simpósio sobre a Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, 1993, Rio Claro UNESP, 1993, v.1, p. 77-80.

SAAD, A. R. Estratigrafia do Subgrupo Itararé no centro-sul do estado de São Paulo. 1977. 107 p. Dissertação de mestrado, Inst.Geoc. Universidade de São Paulo.

SCHNEIDER, R. L. ; MULMANN, H. ; TOMMASI, E. ; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F. ; NOGUEIRA, A. A. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28. Porto Alegre, 1974, SBG. *ANais*, p.1:41-65.

SQUISSATO, O. A. V. B. Diagnóstico Geoambiental e Avaliação de Risco à Saúde Humana para uma Área Industrial na Região do Município de Paulínia – SP. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Ambiental – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2008

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B. Aspectos regionais da estratigrafia da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, 1973, Aracaju. *Anais...* Aracaju: SBG, v.1, p.243-256, 1973.

TAKEUCHI, E. Aplicação da Metodologia RBCA para o Município de Porto Alegre: Definição de Níveis Aceitáveis Baseados no Risco para Hidrocarbonetos. 2008. Dissertação de Mestrado – Curso Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TEIXEIRA, W. ,FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. *Decifrando a Terra*. 1 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2000. 558 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. Risk Assessment Guidance for Superfund – Volume I – Human Health Evaluation Manual (Part A). Document Number: EPA/540/1-89/002, 1989. 287 p.

ZALAN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANATTO, D.A. Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná. In: SBG, Simp. Sul-Bras. Geol.,1987, 3, *Atas*, Curitiba, p.441-477, 1987.

ANEXO I

Localização dos Poços de Monitoramento

ANEXO II

Mapa Potenciométrico

ANEXO III

Análises Químicas das Amostras de Água Subterrânea e Solo

[illegible]

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA								
Sondagens/Poços de Monitoramento	P.C. R.	P.C. P e G	P.C. Nei	P.C. Mk	Nascente Margem esq. Do rio	Nascente Nei-01	Nascente Nei-02	Valores de Intervenção (CETESB 2005)
Data da Coleta	27/02/08	27/02/08	27/02/08	27/02/08	27/02/08	27/02/08	27/02/08	
Parâmetros (µg/L)								
BTEX								
Benzeno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5
Tolueno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	300
Etilbenzeno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	700
Xilenos Totais	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	500
PAH's								
Naftaleno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	140
Acenafaleno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Acenafteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Fluoreno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Fenantreno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	140
Antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Benzo (a) Antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,75
Criseno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Benzo (b) Fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Benzo (k) Fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Benzo (a) Pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Indeno (1,2,3-c,d) Pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,7
Dibenzo (a,h) Antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,17
Benzo (g,h,i) Perileno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,18
								-

[illegible]

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS DE SOLO										
Sondagens/Poços de Monitoramento	S/PM-61	S/PM-62	S/PM-63	S/PM-64	S/PM-65	S/PM-66				Valores de Intervenção (CETESB 2005)
Data da Coleta	30/09/08	30/09/08	30/09/08	20/10/08	20/10/08	20/10/08				
Parâmetros (µg/Kg)										
BTEX										
Benzeno	ND	ND	ND	ND	ND	ND				80
Tolueno	1,1	ND	ND	ND	ND	ND				30.000
Etilbenzeno	<1	ND	ND	ND	ND	ND				40.000
Xilenos Totais	1,5	<1	<1	ND	ND	ND				30.000
PAH's										
Naftaleno	ND	<10	<10	ND	30	ND				60.000
Acenaftaleno	ND	ND	ND	ND	ND	ND				-
Acenafieno	ND	ND	ND	ND	ND	ND				-
Fluoreno	<10	ND	ND	ND	ND	ND				-
Fenantreno	ND	ND	ND	ND	ND	ND				40.000
Antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND				-
Fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND				-
Pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND				-
Benzo (a) Antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND				20.000
Criseno	ND	ND	ND	ND	ND	ND				-
Benzo (b) Fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND				-
Benzo (k) Fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND				-
Benzo (a) Pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND				1.500
Indeno (1,2,3-c,d) Pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND				25.000
Dibenzo (a,h) Antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND				600
Benzo (g,h,i) Perileno	ND	ND	ND	ND	ND	ND				-

ANEXO IV

Plumas de Contaminação

ANEXO V

Localização das Seções Geológicas



Legenda

S/PM's

Rodovia

Asfalto

Córrego

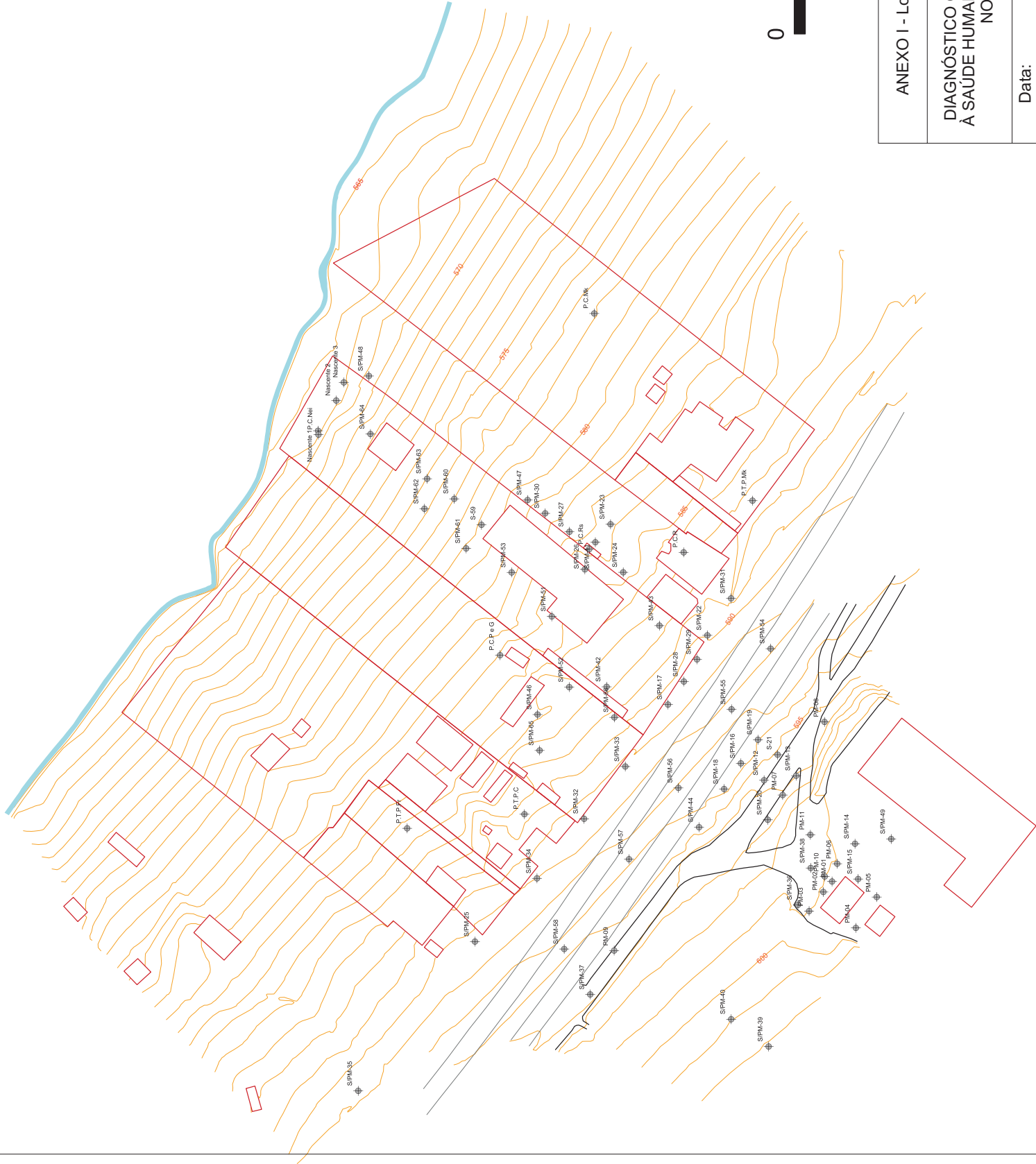
Construção

Curva de nível

Escala Gráfica



Metros



ANEXO I - Localização dos poço de monitoramento

DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE RISCO
À SAÚDE HUMANA PARA TERMINAL DE ABASTECIMENTO
NO MUNICÍPIO DE SUMARÉ-SP

Data: Outubro/2009

Escala 1:750



Legenda

- S/PM's
- Rodovia
- Asfalto
- Córrego
- Construção
- Curva de nível
- Superfície Potenciométrica
- Direção do Fluxo

Escala Gráfica

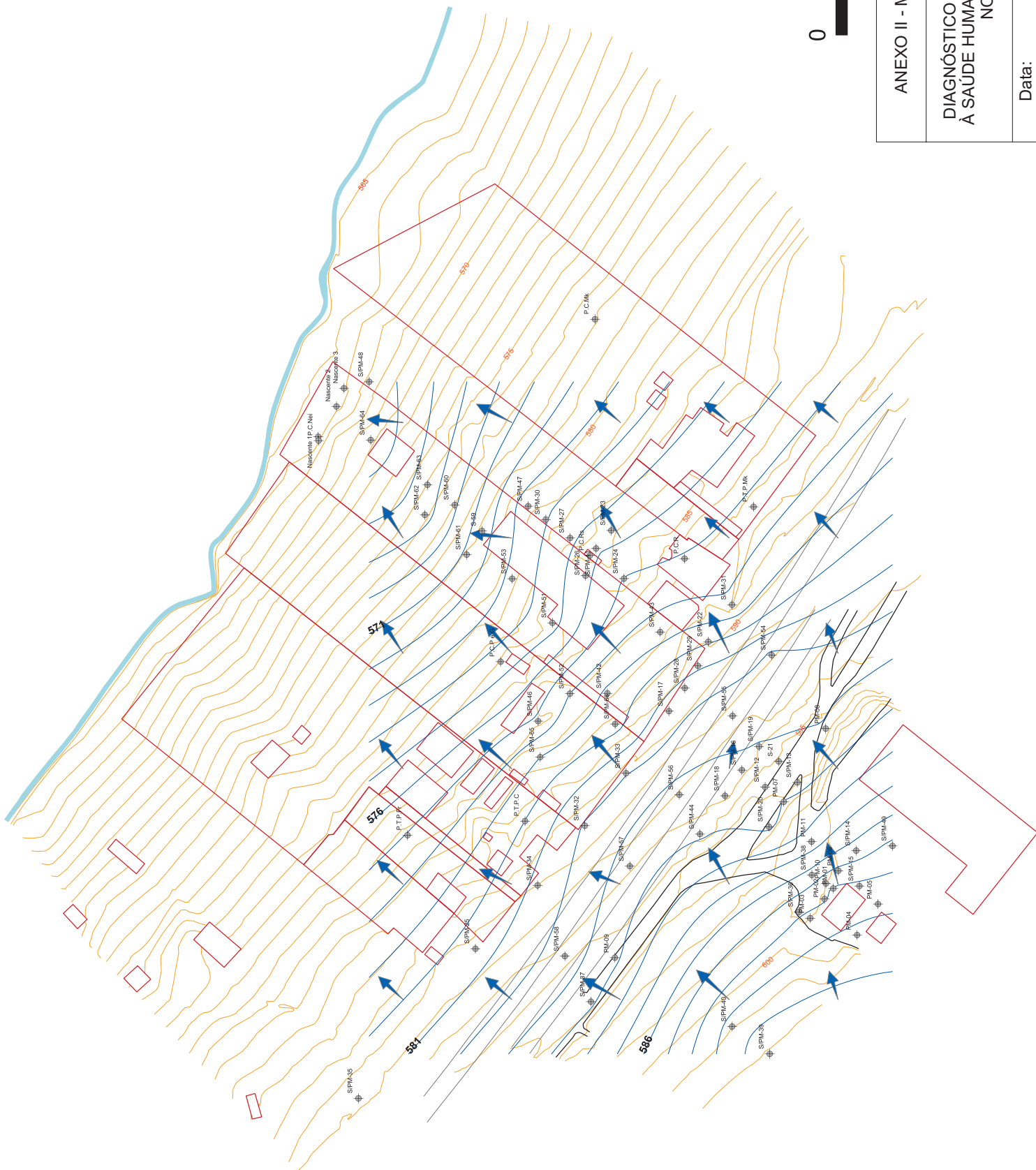


ANEXO II - Mapa Potenciométrico

DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE RISCO
À SAÚDE HUMANA PARA TERMINAL DE ABASTECIMENTO
NO MUNICÍPIO DE SUMARÉ-SP

Data: Outubro/2009

Escala 1:750





Legenda

SPM's

Rodovia

Asfalto

Córrego

Construção

Curva de nível

Benzeno (µg/L)

3000

2000

1000

500

200

100

50

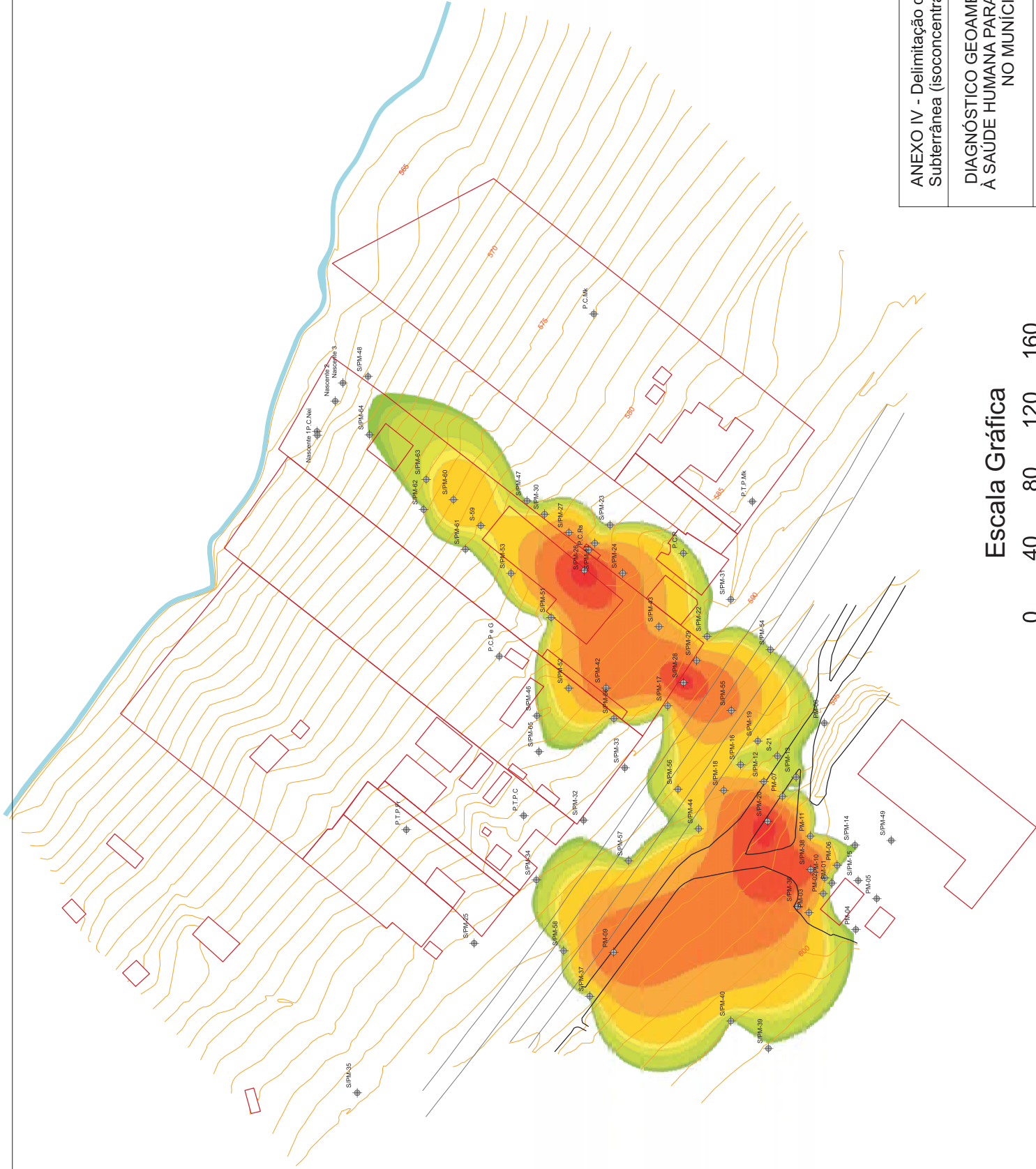
40

30

20

5

0



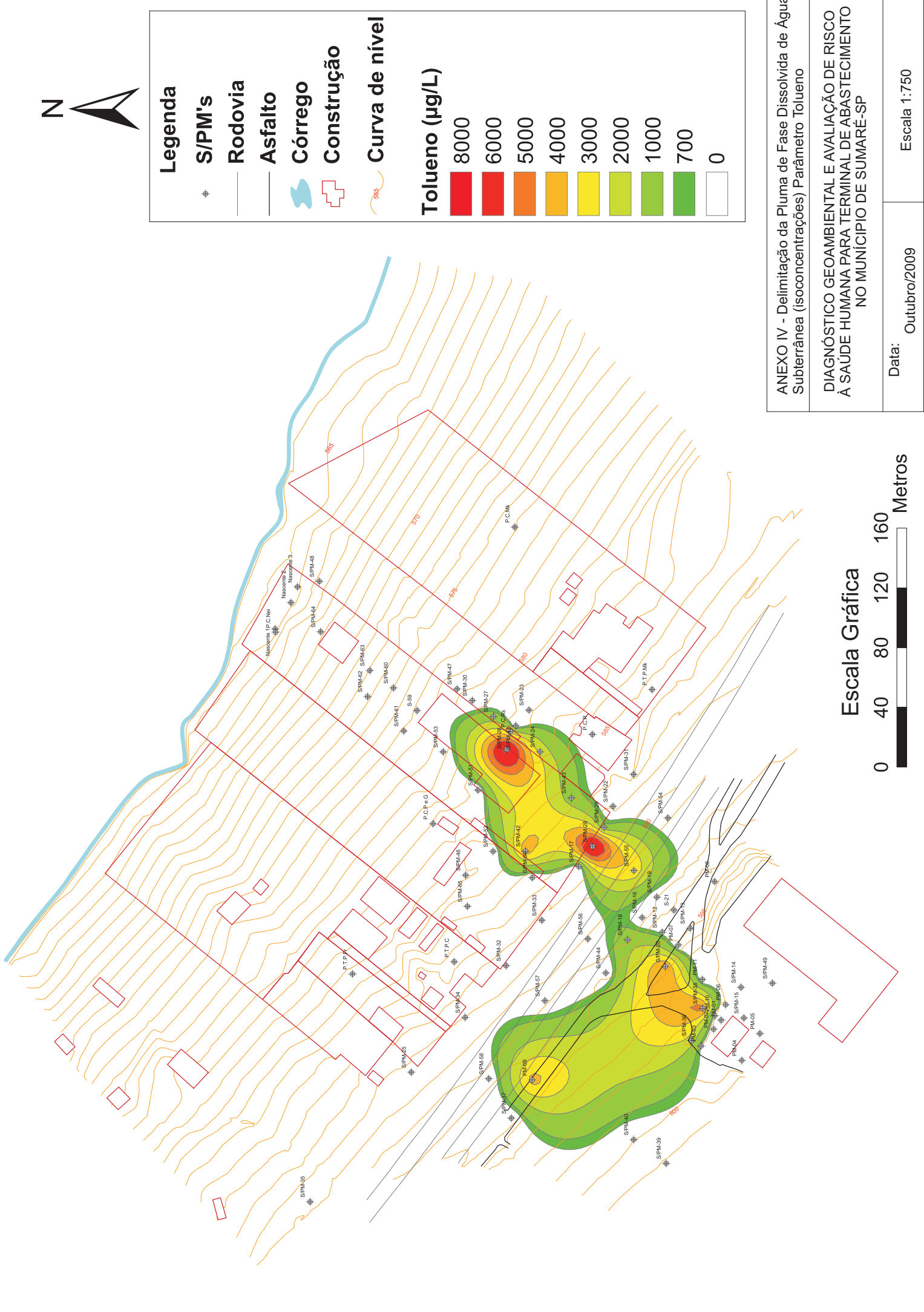
Escala Gráfica



Data: Outubro/2009

Escala 1:750

ANEXO IV - Delimitação da Pluma de Fase Dissolvida de Água Subterrânea (isoconcentrações) Parâmetro Benzeno	
DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA PARA TERMINAL DE ABASTECIMENTO NO MUNICÍPIO DE SUMARÉ-SP	
Data:	Outubro/2009
Escala 1:750	



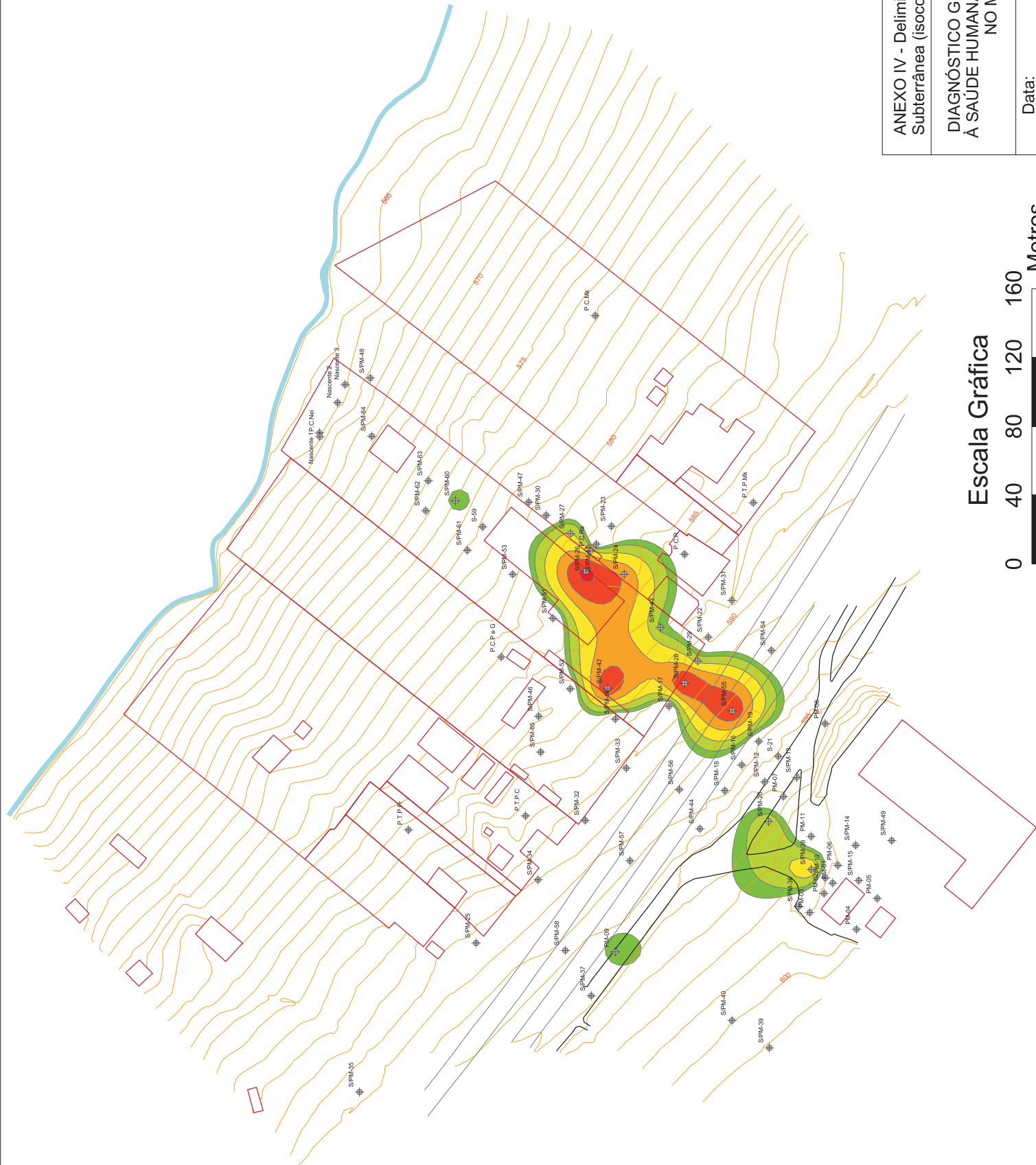


Legenda

- S/PM's
- Rodovia
- Asfalto
- Córrego
- Construção
- Curva de nível

Etilbenzeno (µg/L)

1600
1200
900
600
400
300
0



Escala Gráfica



ANEXO IV - Delimitação da Pluma de Fase Dissolvida de Água Subterrânea (isoconcentrações) Parâmetro Etilbenzeno

DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA PARA TERMINAL DE ABASTECIMENTO NO MUNICÍPIO DE SUMARÉ-SP

Data: Outubro/2009

Escala 1:750



Legenda

S/PM's

Rodovia

Asfalto

Córrego

Construção

Curva de nível

Xilenos (µg/L)

14000

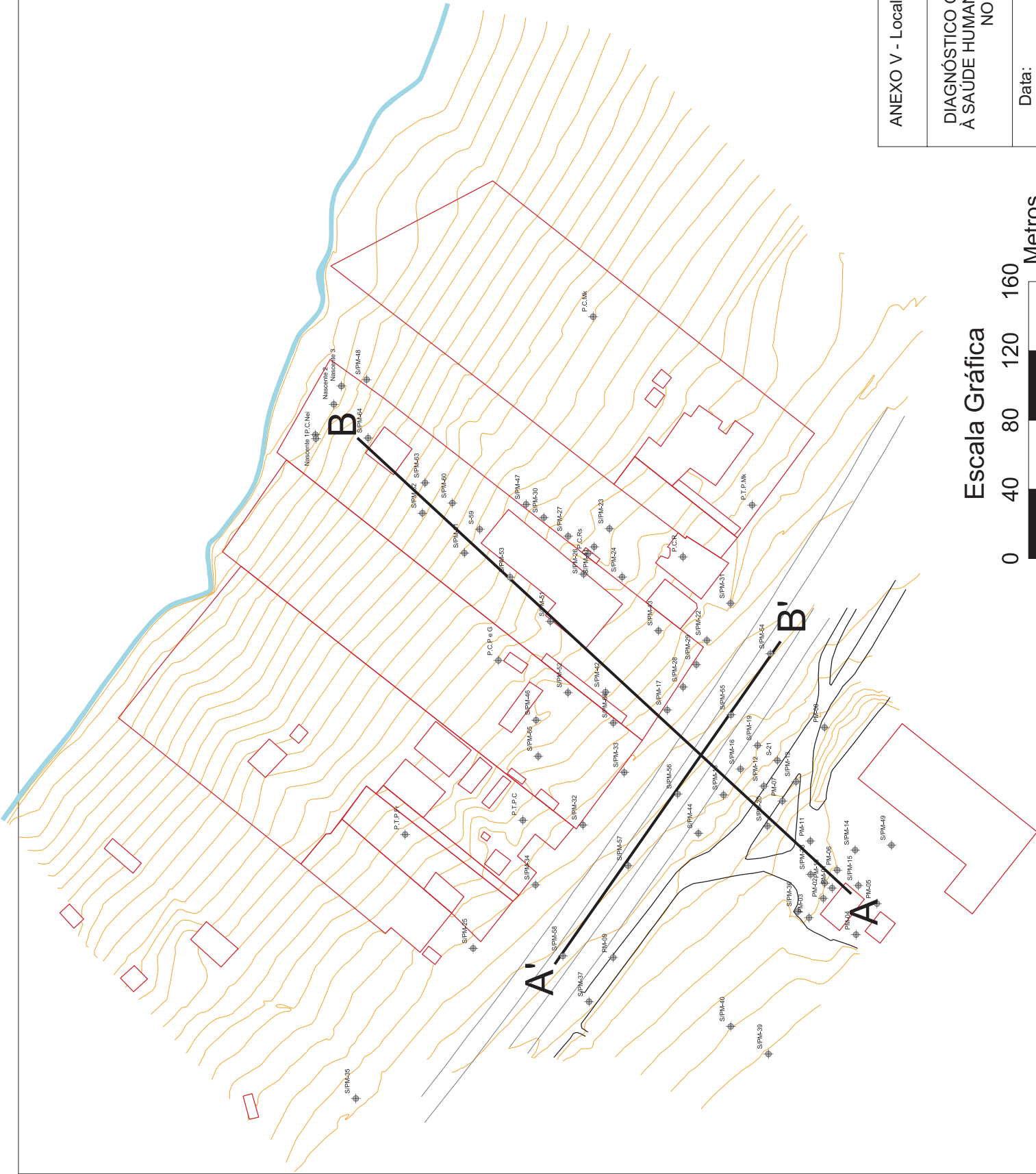
12000

8000

Escala Gráfica



ANEXO IV - Delimitação da Pluma de Fase Dissolvida de Água Subterrânea (isoconcentrações) Parâmetro Xilenos	
DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA PARA TERMINAL DE ABASTECIMENTO NO MUNICÍPIO DE SUMARÉ-SP	
Data:	Outubro/2009
Escala 1:750	



Legenda

 S/PM's

 Rodovia

 Asfalto

 Córrego

 Construção

 Curva de nível

 Seções Geológicas

A - B

A' - B'

ANEXO V - Localização das Seções Geológicas	
DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA PARA TERMINAL DE ABASTECIMENTO NO MUNICÍPIO DE SUMARÉ-SP	
Data: Outubro/2009	Escala 1:750

