

# UMA PROPOSTA DE *RISK BASED SCREENING LEVEL (RBSL)* PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO UTILIZANDO O *PROCEDIMENTOS RISK BASED CORRECTIVE ACTION (RBCA) - ASTM*

**Alexandre M.S.Maximiano<sup>1</sup>; Rodrigo C. A. Cunha<sup>2</sup> & Seiju Hassuda<sup>1</sup>**

**Resumo** - Nestas últimas décadas, os vazamentos de hidrocarbonetos derivados de petróleo, em postos de serviços e bases de armazenamentos de combustíveis, tem sido comumente detectados seja pelos trabalhadores destes locais ou pela população residente nas circunvizinhanças.

Estes vazamentos, além de contaminar a água subterrânea, podem ainda introduzir hidrocarbonetos em edificações e utilidades públicas. Este combustível, acumulado nestes locais, coloca em risco a saúde pública, seja pela explosividade como pela toxicidade carcinogênica.

Tanto nos EUA como em outros países, o processo de caracterização e remediação destas áreas era financeiramente dispendioso e, frente às centenas de milhares de áreas contaminadas existentes, somente pequena parte delas estava sendo efetivamente remediada. Como consequência deste fato, os profissionais da agência ambiental americana lançaram mão da ferramenta de Avaliação de Risco denominado *Risk Assessment Guidance for Superfund* (USEPA, 1989), para otimizar os investimentos, devido o grande número de áreas a serem remediadas.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo básico apresentar uma adaptação do procedimento da avaliação de risco em áreas contaminadas por hidrocarbonetos, para as condições do meio físico e fatores de exposição adequados para a Cidade de São Paulo. Especificamente, neste trabalho encontram-se apresentadas as tabelas de níveis

---

<sup>1</sup> TECNOHIDRO Projetos Ambientais, Rua Botucatu, 407 C3, Vila Mariana, São Paulo, SP; CEP 04023-061, Tel/Fax: (11) 573-7174; Email: tecnohidro@sti.com.br

<sup>2</sup> CETESB, Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345, Pinheiros, São Paulo, SP; CEP 05489-900, Tel: (11) 3030-6599; Fax: (11) 3030-6170, Email: rodrigoc@cetesb.br

de concentrações aceitáveis baseados nos riscos calculados especificamente para a Cidade de São Paulo, para o benzeno, o tolueno, o etilbenzeno e os xilenos (isômeros).

**Palavras-chave** - avaliação de risco, *Risk-Based Corrective Action* (RBCA), contaminação de aquíferos

## 1. INTRODUÇÃO

Os vazamentos de hidrocarbonetos derivados de petróleo a partir de tanques de armazenamento subterrâneo de combustível (TASC) configuram hoje um dos maiores problemas de contaminação ambiental urbana em muitos países ao redor do mundo. Na maioria dos casos, estes tanques, além de armazenar substâncias tóxicas, podem apresentar um eventual vazamento que acarretam, a curto, médio e longo prazo, uma ameaça à saúde humana e ao meio ambiente. Um exemplo clássico é o problema gerado pelo vazamento em tanques de armazenamento subterrâneo de combustível de Postos de serviço que pode, direta ou indiretamente, atingir os trabalhadores, os usuários e residentes nas circunvizinhanças. Estes casos de vazamentos são cada vez mais frequentes, principalmente nas grandes cidades.

O gerenciamento da contaminação (caracterização, avaliação de risco, remediação e monitoramento), em casos de vazamentos de hidrocarbonetos de petróleo, é, em muitos casos, um processo que requer alto investimento financeiro e trabalhos que duram anos. Este fato ocorre principalmente em função da variação frequente da geologia e hidrogeologia, da complexidade física e química dos contaminantes, do tipo de uso e ocupação do solo, dos níveis de remediação requeridos pelas legislações e também da intensidade do risco toxicológico que a contaminação pode gerar sobre o ser humano.

Neste contexto, o assunto relacionado à contaminação do solo e da água subterrânea por hidrocarbonetos tem sido amplamente estudado por profissionais e instituições privadas e públicas, envolvidos com a preservação ambiental. Entre os vários temas estudados podem ser citados: a prevenção e a detecção de vazamentos de hidrocarbonetos derivados de petróleo, o movimento do contaminante na zona não saturada e saturada, o risco gerado à saúde humana e ao meio ambiente e as formas de remediação da contaminação.

Atualmente, nos Estados Unidos, no Canadá e nos países europeus, a técnica de avaliação de risco têm sido amplamente utilizada com o propósito de quantificar a

possibilidade da ocorrência de efeitos tóxicos à saúde humana, confrontando-se concentrações teóricas aceitáveis de determinados compostos químicos com as informações toxicológicas. A metodologia como o *Risk Assessment Guidance for Superfund* (USEPA, 1989) desenvolvida pela agência de proteção ambiental norte-americana (USEPA), está disponível para prognosticar a exposição humana às substâncias presentes em áreas contaminadas, utilizando-se de informações toxicológicas disponíveis em bancos de dados gerados por organizações ligadas à saúde humana e ao meio ambiente.

Recentemente, nos anos 90, as metodologias de Criação de Decisões Baseadas no Risco (*Risk-Based Decision Making* - RBDM) têm sido desenvolvidas para associar a caracterização específica da área de interesse com a avaliação de risco em áreas contaminadas, com o intuito de identificar as ações corretivas mais eficientes, no que diz respeito à otimização de alocação de recursos financeiros e minimização do risco à saúde humana e ao meio ambiente. O uso de metodologias como o RBDM conduz a soluções com melhor relação custo-eficiência e permite que as agências ambientais, distribuidoras de combustíveis e a sociedade concentrem o esforço técnico e o financeiro em áreas de maior risco potencial.

A metodologia *Risk-Based Corrective Action* (RBCA), desenvolvida pela *American Society for Testing and Material* (ASTM), é um procedimento de Criação de Decisões Baseadas no Risco que integra as seguintes etapas de trabalho: procedimentos de avaliação de risco desenvolvidos pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), procedimentos tradicionais de caracterização de áreas contaminadas, procedimentos de modelos matemáticos analíticos e procedimentos de critérios para a seleção de técnicas de remediação. O conjunto destes procedimentos permitem acelerar e otimizar o processo de gerenciamento de locais contaminados por compostos orgânicos, reduzindo-se assim os custos de implantação de tecnologias de remediação. Dessa forma, atualmente, os procedimentos de avaliação de risco são intensamente utilizadas para subsidiar as decisões relacionadas à alocação de recursos, às formas de ações corretivas, aos níveis de remediação aceitáveis e às técnicas de remediação a serem selecionadas.

## **2. OBJETIVO**

O presente trabalho tem como objetivo básico apresentar uma adaptação do procedimento da avaliação de risco em Postos de serviço, para as condições do meio

físico existentes no município de São Paulo. Dessa forma, o objetivo específico do trabalho consistiu em:

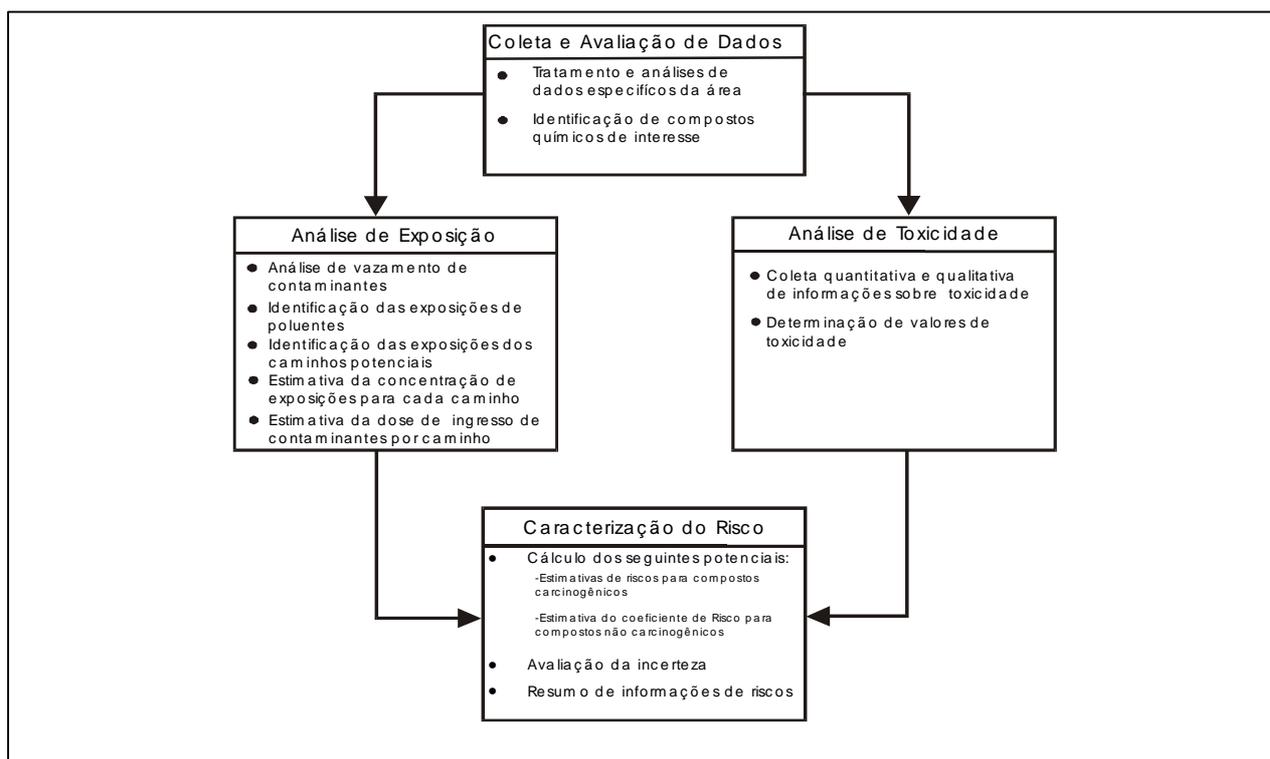
- Propor tabelas de níveis de concentrações aceitáveis baseados nos riscos calculados especificamente para a Cidade de São Paulo, para o benzeno, o tolueno, o etilbenzeno e os xilenos (isômeros).

Vale ressaltar que as tabelas de níveis de concentrações utilizadas até o momento no município de São Paulo tem, como origem, as condições do meio-físico norte-americano. Portanto, as avaliações de risco praticadas até o momento apresentam uma distorção em relação às condições de ocorrência do solo e da geologia no município de São Paulo.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A análise de risco é uma ferramenta utilizada para estimar o perigo à saúde humana e ao meio ambiente que um determinado resíduo perigoso pode causar em determinadas situações, bem como para a tomada de decisões, para a definição de ações e metas de remediação e para a avaliação de áreas contaminadas (LaGrega *et al.*, 1994).

Segundo a USEPA (1989), o processo de análise de risco, em linhas gerais, possui quatro etapas definidas: a coleta e a avaliação de dados, a análise da exposição, a análise da toxicidade e a caracterização do risco. A Figura 1 mostra o fluxograma das interações entre as diferentes etapas da análise de risco.



**FIGURA 1.** Fluxograma de interações entre as etapas da Análise de Risco (USEPA, 1989)

O *Risk-Based Corrective Action* (RBCA) é um procedimento eficiente de criação de decisões baseadas no risco, desenvolvido pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) para as áreas com problemas de contaminação por hidrocarbonetos derivados de petróleo. Além disso, vale ressaltar que o RBCA pode também ser utilizado para outros contaminantes orgânicos.

O RBCA foi desenvolvido levando-se em conta os elementos tradicionais encontrados nos modelos de análise de risco existentes (coleta e avaliação de dados, análise de exposição, análise de toxicidade e caracterização do risco) e por este motivo, seus procedimentos estão de acordo com os propostos pela USEPA (1989).

O RBCA integra as características do contaminante (mobilidade, solubilidade, volatilização, etc.), do meio impactado (porosidade, gradiente hidráulico e condutividade hidráulica, etc.), dos caminhos (água subterrânea, solo superficial, solo subsuperficial e ar), das vias de exposição (ingestão, inalação e contato dérmico) e das populações receptoras potenciais. Para tanto, o RBCA utiliza o modelo de análise de risco, a análise de exposição e os modelos de transporte de massa, tanto em meio saturado como o não-saturado.

No RBCA, o processo de análise de risco baseia-se em três estágios de coleta, tratamento e interpretação dos dados, a saber: *Tier 1*, *Tier 2* e *Tier 3*. Estes estágios tornam-se progressivamente mais específicos e complexos a medida que o estudo sobre a área e o contaminante é desenvolvido.

A passagem de um estágio para o outro de maior complexidade depende da análise dos resultados e recomendações ao final de cada estágio. Em cada mudança de estágio são avaliadas as metas de remediação propostas, tanto em relação à viabilidade de execução técnica como em relação ao custo-benefício.

No primeiro estágio de avaliação, *Tier 1*, os níveis de concentração observados nos pontos de exposição são comparados com valores aceitáveis de concentração.

Vale ressaltar que estes valores são extremamente conservativos, genéricos e, algumas vezes, estão até fora da realidade da área em estudo.

Os valores para a avaliação do *Tier 1*, chamados RBSL (*Risk-Based Screening Level*), são obtidos por meio de equações analíticas que utilizam, para os parâmetros analisados, valores regionais não específicos da área. Estes valores são resumidos em tabelas, chamadas *Look-Up tables*, que relacionam as vias de ingresso, os caminhos de exposição e de transporte, o contaminante e as suas concentrações teóricas aceitáveis. Estas tabelas devem ser elaboradas utilizando-se os valores específicos de cada região onde o RBCA será aplicado. Na elaboração dessa tabela devem ser considerados, por exemplo, os tipos de sedimentos e das rochas, o nível d'água, a porosidade efetiva, a condutividade hidráulica, o conteúdo de carbono orgânico no solo, entre outros. Dessa forma, certamente a tabela para valores de RBSL do Estado do Rio de Janeiro, por exemplo, será diferente da tabela para o Estado de São Paulo, que por sua vez será diferente da tabela para o Rio Grande do Norte.

Neste estágio são elaborados cenários de exposição para todos os receptores identificados dentro e fora da área onde ocorreu o vazamento. Entretanto, a avaliação é feita para todos os receptores identificados dentro dos limites físicos do posto de serviço. A avaliação dos receptores fora dos limites físicos do posto de serviço é realizado nos estágios *Tier 2* e *Tier 3*.

#### **4. METODOLOGIA**

Para a elaboração da tabela de RBSL para o município de São Paulo foram consideradas basicamente os relatórios, referentes a diagnóstico, a avaliação de risco e a remediação dos postos de serviços que apresentaram vazamentos, submetidos pelas

empresas de consultoria para a CETESB, e as informações existentes na literatura geológica e agrônômica. Assim, para a elaboração das tabelas de RBSL foram consideradas as quatro etapas descritas a seguir.

#### **4.1. LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE POSTOS DE SERVIÇO NA CIDADE DE SÃO PAULO**

Nesta etapa foram considerados somente os Postos de serviço da Cidade de São Paulo que foram ou são acompanhados pela CETESB. Nestes postos de serviço foram levantadas basicamente três tipos de informações:

- Elementos sobre as instalações dos Postos de serviço;
- Características dos residentes e dos usuários das circunvizinhanças dos Postos de serviço;
- Características da contaminação e do meio físico na área de interesse.

Estas informações foram obtidas basicamente a partir dos relatórios que acompanham os processos de cada posto de serviço, de posse da CETESB. De uma maneira geral, estes processos contém informações sobre o acompanhamento do vazamento, que é realizado pelos técnicos do DDAA (Equipe de Implantação e Avaliação de Tecnologias – DPEI / CETESB), e os relatórios de caracterização da contaminação e da remoção da fase livre, que normalmente são elaborados pelas empresas de consultoria. Estas usualmente são contratadas pelas distribuidoras de combustível ou pelos postos de serviço de bandeira branca (sem vínculo com uma bandeira específica).

Na análise dos processos observou-se que em alguns deles não é possível obter todas as informações desejáveis. Por exemplo, alguns processos apresentam apenas informações burocráticas iniciais e não possuem relatórios de caracterização. Em outros, mesmo a área estando em fase de remediação, não possui relatórios de caracterização.

Para os postos de serviço que possuíam relatórios de caracterização, foram analisadas e planilhadas as informações a partir dos seguintes documentos: mapa topográfico do posto, mapa geológico local e regional, mapa potenciométrico, mapa das instalações do posto, mapa das áreas próximas, perfis litológico e construtivo dos poços de monitoramento, perfis das sondagens, mapa de locação das sondagens e poços, seções hidrogeológicas, tabelas de dados sobre teste de bombeamento ou *slug-test*, tabelas das medidas de nível d'água e laudos dos testes de estanqueidade executados nos equipamentos do posto.

Após a organização das informações obtidas nos processos, as planilhas foram checadas e complementadas por meio de entrevistas com os técnicos do DDAA-CETESB e de visitas a cada um dos postos. As visitas realizadas objetivaram principalmente obter informações sobre o uso e ocupação das áreas próximas aos postos, isto porque, estas informações não existiam ou eram precárias na maioria dos processos.

#### **4.2. IDENTIFICAÇÃO DOS CENÁRIOS DE EXPOSIÇÃO MAIS APROPRIADOS PARA A CIDADE DE SÃO PAULO**

Para a elaboração de cenários de exposição foram considerados basicamente as fontes de contaminação, os caminhos de exposição e os receptores que estão presentes, tanto na área do posto como fora dela.

Para as fontes de contaminação foram consideradas as seguintes informações: o volume e o tipo de combustível estocado, o tipo e o local do vazamento, a estanqueidade dos equipamentos e o combustível envolvido no vazamento. No tratamento estatístico dos dados priorizou-se principalmente a identificação dos principais combustíveis vazados e os equipamentos que proporcionaram vazamentos mais frequentes.

Para os caminhos de exposição procurou-se identificar os meios que transportam o contaminante, tendo, como origem, a fonte de contaminação e, como fim, o receptor. Os receptores identificados foram aqueles que estão localizados dentro dos Postos de Serviço e que utilizam as áreas das circunvizinhanças, sejam residentes ou trabalhadores. Vale ressaltar que, foram considerados como receptores reais somente aqueles indivíduos que foram ou estão expostos direta ou indiretamente ao contaminante originado do vazamento do Auto posto, apresentando desta forma, o risco à saúde humana.

A identificação das fontes, dos caminhos e dos receptores possibilitou o estabelecimento de cenários que por sua vez representam o modelo conceitual de exposição específico para a Cidade de São Paulo.

#### **4.3. OBTENÇÃO DE VALORES PARA OS PARÂMETROS ESPECÍFICOS PARA A CIDADE DE SÃO PAULO**

Nesta etapa foram tratadas as informações sobre o meio físico onde estão localizados os postos de serviço estudados. O meio físico foi considerado com o intuito de estabelecer valores específicos para a Cidade de São Paulo, e vale ressaltar que, estes valores representam a essência da contribuição científica deste trabalho.

Os parâmetros do meio físico que foram considerados para esta etapa foram: condutividade hidráulica, gradiente hidráulico, profundidade do nível d'água, fração de carbono orgânico no solo, porosidade total, porosidade efetiva, comprimento longitudinal da fase retida ou dissolvida.

Para cada parâmetro listado acima foi calculada a mediana e obteve-se também o menor e o maior valor. Para que as informações fossem classificadas por unidade geológica, os postos foram locados em um mapa geológico. A geologia identificada no mapa foi checada com as descrições dos perfis de sondagens e dos poços de monitoramento obtidos nos processos da CETESB. Desta forma, obteve-se a correspondência entre o valor calculado e a unidade geológica específica.

#### 4.4. CÁLCULO DOS RBSL

As informações obtidas nas etapas anteriores possibilitaram o cálculo dos níveis de concentração aceitáveis baseados nos riscos específicos para a Cidade de São Paulo, estes valores foram obtidos a partir dos cenários mais representativos elaborados e dos valores específicos calculados neste trabalho.

As tabelas 1 e 2 apresentam, respectivamente, as equações utilizadas para o cálculo dos RBSL para compostos carcinogênicos e não carcinogênicos de interesse. Estas equações são propostas por ASTM (1995), ASTM (1998) e utilizadas também pelo Groundwater Services (1995). Este último autor elaborou o software RBCA Tool Kit e o RBCA Chemical Releases, que é amplamente utilizado no país para a avaliação de risco em Postos de Serviço.

Vale ressaltar que, para o cálculo do RBSL para inalação de vapores (primeiro item das tabelas 1 e 2), apesar das fórmulas serem idênticas para ambientes abertos e fechados, foi utilizada a taxa de inalação diária específica para cada caso.

Para cada composto de interesse foi elaborada uma tabela de RBSL considerando-se todos os cenários de exposição definidos e também os valores específicos para as unidades geológicas de interesse: quaternário, terciário e alteração do embasamento. Para o cálculo dos Fatores de Volatilização/Lixiviação e Coeficientes de Difusão Efetiva, foram utilizadas as equações propostas pela ASTM (1995).

CENÁRIO DE EXPOSIÇÃO	COMPOSTOS CARCINOGENICOS
----------------------	--------------------------

INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES FECHADOS OU AMBIENTES ABERTOS	$RBSL_{ar} \left[ \frac{mg}{m^3 - ar} \right] = \frac{TR \times BW \times AT_c \times 365 \frac{dias}{ano} \times 10^3 \frac{mg}{mg}}{SF \times IR_{ar} \times EF \times ED}$
INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	$RBSL_w \left[ \frac{mg}{L - água} \right] = \frac{TR \times BW \times AT_c \times 365 \frac{dias}{ano}}{SF \times IR_w \times EF \times ED}$
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES ABERTOS A PARTIR DO SOLO SUBSUPERFICIAL	$RBSL_{aramb} \left[ \frac{mg}{kg - solo} \right] = \frac{RBSL_{ar} \left[ \frac{mg}{m^3 - ar} \right]}{VF_{samb}} \times 10^{-3} \frac{mg}{mg}$
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES FECHADOS A PARTIR DO SOLO SUBSUPERFICIAL	$RBSL_{aresp} \left[ \frac{mg}{kg - solo} \right] = \frac{RBSL_{ar} \left[ \frac{mg}{m^3 - ar} \right]}{VF_{sesp}} \times 10^{-3} \frac{mg}{mg}$
INALAÇÃO, CONTATO DÉRMICO E INGESTÃO A PARTIR DO SOLO SUPERFICIAL	$RBSL_s \left[ \frac{mg}{kg - solo} \right] = \frac{TR \times BW \times AT_c \times 365 \frac{dias}{ano}}{EF \times ED \left[ \left( SF_0 \times 10^{-6} \frac{kg}{mg} \times (IR_{solo} \times RAF_0 \times SA \times M \times RAF_d) \right) + (SF_f \times IR_{ar} \times (VF_{ss} + PEF)) \right]}$
INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA A PARTIR DA LIXIVIAÇÃO DO SOLO SUBSUPERFICIAL	$RBSL_{ws} \left[ \frac{mg}{kg - solo} \right] = \frac{RBSL_w \left[ \frac{mg}{L - H_2O} \right]}{K_{sw}} \times LDF$
INALAÇÃO DE VAPORES A PARTIR DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM AMBIENTES ABERTOS	$RBSL_{wamb} \left[ \frac{mg}{L - água} \right] = \frac{RBSL_{ar} \left[ \frac{mg}{m^3 - ar} \right]}{VF_{wamb}} \times 10^{-3} \frac{mg}{mg}$
INALAÇÃO DE VAPORES A PARTIR DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM AMBIENTES FECHADOS	$RBSL_{wesp} \left[ \frac{mg}{L - água} \right] = \frac{RBSL_{ar} \left[ \frac{mg}{m^3 - ar} \right]}{VF_{wesp}} \times 10^{-3} \frac{mg}{mg}$

**TABELA 1.** Equações para o cálculo de RBSL para compostos carcinogênicos

CENÁRIO DE EXPOSIÇÃO	COMPOSTOS NÃO CARCINOGENICOS
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES FECHADOS OU AMBIENTES ABERTOS	$RBSL_{ar} \left[ \frac{mg}{m^3 - ar} \right] = \frac{THQ \times RfD_i \times BW \times AT_n \times 365 \frac{dias}{ano} \times 10^3 \frac{mg}{mg}}{IR_{ar} \times EF \times ED}$
INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	$RBSL_w \left[ \frac{mg}{L - água} \right] = \frac{THQ \times RfD_0 \times BW \times AT_n \times 365 \frac{dias}{ano}}{IR_w \times EF \times ED}$
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES ABERTOS A PARTIR DO SOLO SUBSUPERFICIAL	$RBSL_{aramb} \left[ \frac{mg}{kg - solo} \right] = \frac{RBSL_{ar} \left[ \frac{mg}{m^3 - ar} \right]}{VF_{samb}} \times 10^{-3} \frac{mg}{mg}$
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES FECHADOS A PARTIR DO SOLO SUBSUPERFICIAL	$RBSL_{aresp} \left[ \frac{mg}{kg - solo} \right] = \frac{RBSL_{ar} \left[ \frac{mg}{m^3 - ar} \right]}{VF_{sesp}} \times 10^{-3} \frac{mg}{mg}$
INALAÇÃO, CONTATO DÉRMICO E INGESTÃO A PARTIR DO SOLO SUPERFICIAL	$RBSL_s \left[ \frac{mg}{kg - solo} \right] = \frac{THQ \times BW \times AT_n \times 365 \frac{dias}{ano}}{EF \times ED \left( \frac{10^{-6} \frac{kg}{mg} \times (IR_{solo} \times RAF_0 + SA \times M \times RAF_d)}{RfD_0} + \frac{(IR_{ar} \times (VF_{ss} + PEF))}{RfD_i} \right)}$
INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA A PARTIR DA LIXIVIAÇÃO DO SOLO SUBSUPERFICIAL	$RBSL_{ws} \left[ \frac{mg}{kg - solo} \right] = \frac{RBSL_w \left[ \frac{mg}{L - H_2O} \right]}{K_{sw}} \times LDF$
INALAÇÃO DE VAPORES A PARTIR DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM AMBIENTES ABERTOS	$RBSL_{wamb} \left[ \frac{mg}{L - água} \right] = \frac{RBSL_{ar} \left[ \frac{mg}{m^3 - ar} \right]}{VF_{wamb}} \times 10^{-3} \frac{mg}{mg}$
INALAÇÃO DE VAPORES A PARTIR DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM AMBIENTES FECHADOS	$RBSL_{wesp} \left[ \frac{mg}{L - água} \right] = \frac{RBSL_{ar} \left[ \frac{mg}{m^3 - ar} \right]}{VF_{wesp}} \times 10^{-3} \frac{mg}{mg}$

ONDE: ED - Duração da exposição; AT<sub>c</sub> - Tempo médio para efeitos carcinogênicos; AT<sub>n</sub> - Tempo médio para efeitos não carcinogênicos; BW – Massa corpórea; ET – Tempo de Exposição; EF - Frequência da exposição; IR<sub>s</sub> - Taxa de ingestão de solo; IR<sub>aesp</sub> - Taxa de inalação diária em ambientes fechados; IR<sub>aamb</sub> - Taxa de inalação diária em ambientes abertos; IR<sub>w</sub> - Taxa de ingestão diária de água; AF - Fator de aderência do solo na pele; SA - Área superficial da pele; THQ - Quociente de Periculosidade aceitável; TR - Menor Risco carcinogênico aceitável; RfDo – Dose de Referência via Oral; RfDi – Dose de Referência via Inalação; RfDd – Dose de Referência via contato dermal; SF – Fator de carcinogenicidade; PEF – Fator de Emissão de Partículas do Solo; VF<sub>samb</sub> – Fator de Volatilização entre Solo Contaminado e Espaços Abertos; VF<sub>sesp</sub> - Fator de Volatilização entre Solo Contaminado e Espaços Fechados; VF<sub>ss</sub> – Fator de Volatilização do Solo Superficial Contaminado; K<sub>sw</sub> - Fator de Partição Fase Retida-Água Intersticial do Solo; VF<sub>wesp</sub> - Fator de Volatilização entre a Água Subterrânea Contaminada e Espaços Fechados; VF<sub>wamb</sub> - Fator de Volatilização entre a Água Subterrânea Contaminada e Espaços Abertos.

**TABELA 2.** Equações para o cálculo de RBSL para compostos não carcinogênicos

## 5. RESULTADOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, entre o período de julho de 1997 a setembro de 1998, foram estudados 82 processos da CETESB. Estes processos, conforme descrito anteriormente, continham basicamente informações técnicas sobre a ocorrência de vazamentos de combustíveis em Postos de Serviço na Cidade de São Paulo. Além da análise de cada processo houve também visitas em cada um dos postos para obter informações complementares.

As informações obtidas pela análise dos processos, complementadas com as campanhas de campo, foram agrupadas da seguinte forma: grupo de dados sobre as instalações dos Postos de serviço, grupo de dados sobre as regiões circunvizinhas aos Postos de serviço e grupo de dados sobre o meio físico e a ocorrência do vazamento do combustível.

### **5.1. DADOS SOBRE AS INSTALAÇÕES DOS POSTOS DE SERVIÇO**

Para este estudo foram considerados como equipamentos de armazenamento e distribuição de combustíveis, os tanques de armazenamento subterrâneo de combustível (TASC), as linhas de distribuição e as bombas de abastecimento.

No total foram identificados 437 TASCs nos Postos de serviço que estavam instalados até o evento dos vazamentos. Destes, um total de 376 unidades tinha capacidade de armazenamento de 15.000 litros, 50 de 10.000 litros, 3 de 12.000 litros, 2 de 5.000 litros e 3 de 20.000 litros, totalizando uma capacidade de 6.246.000 litros. Dos 437 TASCs identificados, 83 apresentaram vazamentos devido a furos e/ou fendas. Nestes, 69 tanques tinham uma capacidade de 15.000 litros, 12 de 10.000 litros e 1 de 20.000 litros. Os combustíveis armazenados nestes tanques eram basicamente a gasolina, o diesel e o álcool.

Nos postos estudados, na época dos vazamentos, a gasolina era estocada em 230 tanques, que representam 52,63 % do total. Destes, um total de 52 (22,60%) tanques apresentaram vazamentos. O diesel era estocado em um total de 50 tanques (11,44 % do total), sendo que 8 (16,00%) apresentaram vazamentos. O álcool representa 157 tanques (35,93 % do total) e deste total, 23 (14,65%) apresentaram vazamentos.

Outro tipo de problema identificado foram os vazamentos nos respiros dos tanques, que somaram um total de 40 ocorrências. Vale ressaltar que uma parte dos vazamentos em respiros ocorreu simultaneamente com os vazamentos nos TASC, em função da presença de furos ou fendas (20 ocorrências). O restante foram ocorrências isoladas nos

respiros, somando um total de 20 casos. Destes, 12 casos ocorreram em respiros de TASC de gasolina, 6 de álcool e 2 de diesel.

Além disso, foram identificados também 24 vazamentos em bombas de gasolina, 6 em bombas de diesel, 6 em bombas de álcool e 4 vazamentos em linhas de distribuição de gasolina.

Neste contexto, como síntese da ocorrência dos vazamentos pode-se afirmar que a gasolina é o produto que apresenta maior número de vazamentos, através dos furos e fendas.

Além disso, através da visita aos postos foi identificado o estado de conservação dos pavimentos. Na Tabela 3 encontra-se apresentada a classificação do pavimento em função de seu estado de conservação.

CONSERVAÇÃO	QUANTIDADE DE POSTOS	CRITÉRIO
BOA	28	Ausência de rachaduras e buracos
REGULAR	36	Presença de rachaduras e buracos sem a exposição do solo
RUIM	18	Presença de rachaduras e buracos com a exposição do solo

**TABELA 3.** Classificação do pavimento em função do estado de conservação

Outra informação importante que foi avaliada é a área média dos Postos de serviço. Neste estudo foi considerada como área total de um Posto de Serviço, a soma das áreas do pátio de abastecimento, dos escritórios, da loja de conveniência, do local de manobras, dos boxes de lavagem e troca de óleo, e dos estacionamentos e/ou garagens. Dos 82 postos estudados, um número total de 59 possuía informação sobre a área total. Destes, 47 postos (79,66%) possuem área entre 100 e 1.000 m<sup>2</sup>, 7 (11,86%) entre 1.000 e 2.000 m<sup>2</sup>, 3 (5,08%) entre 2.000 e 3.000 m<sup>2</sup> e 2 (3,38%) entre 3.000 e 4.000 m<sup>2</sup>. A menor área total obtida foi de 105 m<sup>2</sup> e a maior de 4.000 m<sup>2</sup>. A mediana dos valores da área total é de 600 m<sup>2</sup>.

## 5.2 – DADOS SOBRE O ENTORNO DOS POSTOS DE SERVIÇO

Para o levantamento do uso e ocupação do entorno dos 82 postos foi adotado um raio de estudo de 150 metros a partir do posto de interesse. As informações consideradas relevantes foram: tipo de ocupação, densidade da ocupação, distância da edificação mais

próxima ao posto, zona de localização e quantidade de edificações. Também foi feito um cadastro das interferências próximas aos postos.

Para que fosse possível identificar a distribuição dos postos estudados na cidade de São Paulo foi utilizado o mesmo zoneamento utilizado pela Prefeitura de São Paulo: zona central, zona centro expandido e zona periférica. A zona central compreende todos os bairros que estão dentro do Mini-Anel Viário, a zona centro expandido engloba os bairros entre o Mini-Anel Viário e o Anel Viário Metropolitano, e a zona periférica é toda região fora do perímetro do Anel Viário Metropolitano. A avaliação dos 82 poços estudados permitiu a seguinte classificação: 37 postos encontram-se na zona central, 9 estão na zona centro expandido e 36 na zona periférica. Além disso, observou-se que 90,24% (74 postos) dos postos estão situados em regiões de alta ocupação. Destes, um total de 47,56% (39 postos) encontra-se em locais com um número de edificações superior a 200 prédios. Vale ressaltar ainda que, em 78 dos 82 casos estudados, as edificações encontram-se construídas como um vizinho imediato do posto.

Na Tabela 4 encontra-se apresentada a classificação dos postos em função do tipo de uso do solo.

TIPO DE USO DO SOLO	QUANTIDADE DE POSTOS
RESIDENCIAL	11
COMERCIAL	14
RESIDENCIAL/COMERCIAL	57

**TABELA 4.** Quantidade de postos por tipo de uso do solo

### 5.3. DADOS SOBRE O MEIO FÍSICO

A área de estudo encontra-se inserida na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), a qual encontra-se assentada sobre os terrenos sedimentares de idade Cenozóica, compreendendo os depósitos Terciários da Bacia de São Paulo e as coberturas aluviais mais recentes, de idade quaternária. Sob estes sedimentos ocorrem as rochas cristalinas do embasamento, sendo que estas rochas ígneas e metamórficas afloram na porções marginais da Bacia Sedimentar(SABESP-CEPAS/IG-USP, 1994).

O quadro litoestratigráfico dos depósitos sedimentares da Bacia de São Paulo compreende, basicamente, uma seqüência basal com as Formações Resende,

Tremembé e São Paulo, reunidas no Grupo Taubaté, recobertas, de forma discordante, pela Formação Itaquaquetuba (Riccomini, 1989).

A Bacia de São Paulo é hoje entendida como uma das unidades integrantes do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil-RCSB (Riccomini, 1989). O segmento do RCSB que compreende as Bacias de São Paulo, Taubaté, Resende e Volta Redonda foi objeto de estudo de Riccomini (1989), que tentou estabelecer as relações entre a tectônica e a sedimentação nessas bacias. Trabalhos como os desenvolvidos por Riccomini (1989), Riccomini & Coimbra (1992) e Riccomini *et al.*, (1992), evidenciam a relação tectono-sedimentar existente entre as bacias de São Paulo e Taubaté. Essa relação é particularmente importante para o presente estudo porque esta correlação estabelecida pelos autores acima citados foi extrapolada para o interesse deste trabalho. Na prática, em função da similaridade entre as duas bacias, algumas informações existentes da Bacia de Taubaté foram transferidas para a Bacia de São Paulo. Um exemplo desta situação é o trabalho sobre classificação dos solos desenvolvido pelo Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo (Russo *et al.*, 1961), na Bacia de Taubaté. Deste trabalho foram extraídos os valores estatísticos de densidade, porosidade total, umidade e fração de carbono orgânico do solo.

A base geológica adotada para o presente estudo foi o mapa geológico da RMSP, denominado Diagnóstico Hidrogeológico da Região Metropolitana de São Paulo, compilado na escala 1:50.000 (SABESP-CEPAS/IG-USP, 1994).

Para certificar a classificação da unidade geológica correta por Postos de serviço, foram utilizadas como documento de apoio, as descrições das sondagens a trado encontradas nos processos estudados na CETESB. Assim, observa-se que, 46,34% dos postos estudados estão localizados em sedimentos terciários, 39,02% no quaternário e 14,63% localizados no embasamento cristalino.

Nos 82 postos estudados encontram-se instalados 566 poços. Estes possuem a função básica de realizar o monitoramento da contaminação, o bombeamento da fase livre e a reinjeção da água tratada. Nestes poços foram efetuadas medições de nível d'água e executados *Slug-tests* para a determinação da condutividade hidráulica do local, pelas empresas de consultorias. Como resultado, obteve-se valores de nível d'água (N.A.) para 477 poços e condutividade hidráulica (K) para 169. A Tabela 5 sintetiza as informações sobre o nível d'água e a condutividade hidráulica obtidas nos trabalhos de caracterização dos Postos de serviço.

IDADE GEOLÓGICA	FORMAÇÃO	POÇOS COM MEDIDA DE N.A.	POÇOS COM MEDIDA DE K	N.A. POR FORMAÇÃO (m)	K POR FORMAÇÃO (cm/s)	N.A. POR IDADE GEO.(m)	K POR IDADE GEO.(cm/s)
QUATERNÁRIO	Qa	206	84	2,44	1,77E-5	2,44	1,77E-5
TERCIÁRIO	Osp	52	11	2,38	1,50E-5	2,10	6,05E-5
	Orl	149	52	2,78	4,64E-5		
	Orf	15	3	1,13	1,20E-4		
PROTEROZÓICO	Pef	0	0	-	-	3,26	3,91E-4
	Peq	0	0	-	-		
	Pex	0	4	-	1,12E-3		
	Peg	5	2	1,63	5,24E-5		
	Pego	39	13	3,03	6,72E-7		
	Pegn	0	0	-	-		
	Pea	0	0	-	-		
	Pec	11	0	5,12	-		

OBS.: foi utilizada a mediana para o cálculo dos valores por formação e idade geológica

**TABELA 5.**Nível d'água e Condutividade Hidráulica por Formação Geológica

Além disso, para o gradiente hidráulico foram obtidos valores para 36 postos, dos 82 postos acompanhados pela CETESB. Através desta informação não foi possível estabelecer uma correlação entre a declividade do nível d'água observada no campo com a formação geológica identificada nos postos. Este fato deve ser consequência do pequeno universo de dados que, por sua vez, não permite uma avaliação estatística adequada. Desta forma, foi assumido para o cálculo das tabelas de risco, o maior valor obtido de gradiente, ou seja, o valor conservativo de 0,18.

Com o intuito de obter valores representativos para a densidade, a porosidade total, a umidade e a fração de carbono orgânico para os solos encontrados na Cidade de São Paulo, foi realizada uma compilação dos dados encontrados no estudo desenvolvido pelo Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo (Russo *et al.*, 1961) para solos da Bacia de Taubaté. Neste estudo, o solo é classificado em função das suas características físicas e químicas. Nele encontram-se apresentadas análises de 296 amostras de solo do quaternário, 339 do terciário e 70 da alteração do embasamento. A Tabela 6 sintetiza o valores estatísticos dos solos da Bacia de Taubaté.

PARÂMETRO		IDADE GEOLÓGICA		
		QUATERNÁRIO	TERCIÁRIO	PROTEROZOÍCO
DENSIDADE	MEDIANA	1,22	1,28	1,26
	MÉDIA	1,09	1,28	1,29
	MÁXIMO	2,63	2,61	1,57
	MÍNIMO	0,02	0,27	1,00
POROSIDADE TOTAL (%)	MEDIANA	0,4580	0,4585	0,4560
	MÉDIA	0,4655	0,4596	0,4509
	MÁXIMO	0,8270	0,6440	0,6270
	MÍNIMO	0,3060	0,2870	0,3840
UMIDADE (%)	MEDIANA	0,3300	0,2200	0,2550
	MÉDIA	0,3141	0,2302	0,2630
	MÁXIMO	0,7300	0,5800	0,5600
	MÍNIMO	0,0300	0,0300	0,1800
FRAÇÃO DE CARBONO ORGANICO	MEDIANA	0,0077	0,0085	0,0092
	MÉDIA	0,0644	0,0108	0,0112
	MÁXIMO	0,7111	0,0475	0,0496
	MÍNIMO	0,0008	0,0010	0,0018

**TABELA 6.** Densidade, Porosidade Total, Umidade e Fração de Carbono Orgânico por Idade Geológica (baseado em Russo et al., 1961)

#### **5.4. ELABORAÇÃO DAS TABELAS DE NÍVEIS DE CONCENTRAÇÕES ACEITÁVEIS BASEADOS NO RISCO (RBSL)**

Uma tabela de níveis aceitáveis baseados no risco (RBSL) deve relacionar as concentrações calculadas que ofereçam um risco aceitável para cada um dos cenários de exposição possíveis de uma determinada região (ASTM, 1998). Desta forma, para a elaboração desta tabela para a Cidade de São Paulo, considerou-se os seguintes itens: os cenários de exposição possíveis de serem encontrados na Cidade de São Paulo, todos os compostos químicos de interesse para os vazamentos na Cidade de São Paulo, os parâmetros do meio físico específicos para a Cidade de São Paulo e os fatores de exposição adequados para a Cidade de São Paulo.

##### **5.4.1. CENÁRIOS DE EXPOSIÇÃO PARA A CIDADE DE SÃO PAULO**

As informações sobre os vazamentos indicaram que os postos estudados apresentaram vazamentos nos seguintes itens: TASC, respiros, linhas de distribuição e bombas. Estas quatro formas de vazamentos caracterizam-se como fontes primárias de contaminação e podem ser agrupadas em função da região da subsuperfície que foi afetada. Os vazamentos em TASC atingem principalmente o solo subsuperficial e,

frequentemente, a água subterrânea, enquanto que vazamentos nos respiros, linhas e bombas atingem constantemente o solo superficial e, secundariamente, o solo subsuperficial e a água subterrânea.

Além disso, neste estudo está sendo considerada como fonte secundária, a existência de um contaminante em um meio, que posteriormente pode ser transferido para um outro meio, ou ainda, quando ele sofre a mudança de um estado físico para outro. Por exemplo, a transferência de uma fase retida no solo, do composto de interesse, para uma outra fase vapor em uma determinada região do subsolo, pode representar a presença de uma fonte secundária. Por conseguinte, a trajetória onde ocorre a transferência do composto de interesse da fonte secundária até o receptor é denominado de caminhos de exposição. Além disso, para os tipos de cenários foram estabelecidas basicamente duas categorias: o residencial e o comercial. Esta informação foi constatada na etapa de visita de campo e a sua síntese encontra-se apresentada na Tabela 4. Na Tabela 7 encontram-se apresentados os cenários de exposição específicos para a cidade de São Paulo. Nesta tabela, a seleção dos receptores potenciais foi estabelecida considerando-se o grupo de indivíduos que podem, de alguma forma, estar expostos, direta ou indiretamente, a um ou mais eventos de vazamento. Por exemplo, pode ser citado um grupo de frentistas que pode inalar vapores que foram gerados a partir da fase retida no solo subsuperficial e migrado até a zona de respiração do posto.

FONTE PRIMÁRIA	FONTE SECUNDÁRIA	CAMINHO DE EXPOSIÇÃO	TIPO DE CENÁRIO	RECEPTOR	VIA DE INGRESSO
VAZAMENTO EM TASC	VAPORES DA FASE RETIDA NO SOLO SUBSUPERFICIAL	SOLO SUBSUPERFICIAL PARA O AR DE AMBIENTE ABERTO	COMERCIAL	-FRENTISTA DO POSTO -CLIENTE DO POSTO	INALAÇÃO
			RESIDENCIAL	-	
		SOLO SUBSUPERFICIAL PARA O AR DE AMBIENTE FECHADO	COMERCIAL	-FUNCIONÁRIO DO POSTO	INALAÇÃO
			RESIDENCIAL	-	
	LIXIVIAÇÃO DA FASE RETIDA NO SOLO SUBSUPERFICIAL	SOLO SUBSUPERFICIAL PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA	COMERCIAL	-POÇO DO POSTO -POÇO PÚBLICO	INGESTÃO
			RESIDENCIAL	-POÇO PARTICULAR	
	VAPORES DA FASE DISSOLVIDA NA ÁGUA SUBTERRÂNEA	ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA O AR DE AMBIENTE ABERTO	COMERCIAL	-FRENTISTA DO POSTO -CLIENTE DO POSTO -FUNCIONÁRIO DO POSTO	INALAÇÃO
			RESIDENCIAL	-MORADOR DE CASA COM QUINTAL	
		ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA O AR DE AMBIENTE FECHADO	COMERCIAL	-INTERIOR DE COMÉRCIO PRÓXIMO	INALAÇÃO
			RESIDENCIAL	-INTERIOR DE RESIDÊNCIA PRÓXIMA	
VAZAMENTO EM RESPIRO, LINHA OU BOMBA	VAPORES E PARTÍCULAS DA FASE RETIDA NO SOLO SUPERFICIAL	SOLO SUPERFICIAL PARA O AR DE AMBIENTE ABERTO	COMERCIAL	-FRENTISTA DO POSTO -CLIENTE DO POSTO -FUNCIONÁRIO DO POSTO	INALAÇÃO INGESTÃO CONTATO DÉRMICO
			RESIDENCIAL	-	

TABELA 7 – Componentes dos cenários de exposição para a Cidade de São Paulo

#### 5.4.2. PARÂMETROS DO MEIO FÍSICO ESPECÍFICOS PARA A CIDADE DE SÃO PAULO

Os parâmetros do meio físico, dada as grandes variações e particularidades que ocorrem de uma região para outra, são seguramente uma das informações mais importantes e necessárias para a elaboração de uma tabela de RBSL.

Para o cálculo dos RBSL, utilizando a metodologia RBCA, são necessários os seguintes parâmetros do meio físico: profundidade máxima do solo superficial, fração de

carbono orgânico no solo, espessura da franja capilar, espessura da zona vadosa, taxa de infiltração de água no solo, nível d'água, condutividade hidráulica, gradiente hidráulico, comprimento longitudinal da fase retida ou dissolvida, porosidade total, conteúdo volumétrico de água no solo (franja capilar e zona vadosa) e densidade do solo.

A Tabela 8 apresenta os valores dos parâmetros do meio físico específicos para a Cidade de São Paulo. Os valores da Tabela 8 foram utilizados tanto para o cálculo dos RBSL como para a elaboração dos cenários comerciais e residenciais.

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR		
		QUATERNÁRIO	TERCIÁRIO	ALTERAÇÃO DO EMBASAMENTO
$k$ – Condutividade Hidráulica*	cm/s	1,77E-5	6,05E-5	3,91E-4
$H$ - Gradiente Hidráulico*	-	0,18	0,18	0,18
$U_{GW}$ – Velocidade de Darcy	cm/s	3,19E-6	1,09E-5	7,04E-5
$L_{GW}$ - Profundidade do Nível d'água*	m	2,44	2,10	3,26
$f_{oc}$ - Fração de Carbono Orgânico no Solo**	-	0,0077	0,0085	0,0092
$W$ - Comprimento Longitudinal da Fase Retida ou Dissolvida*	cm	20	20	20
$L_s$ - Profundidade do solo subsuperficial***	cm	100	100	100
$h_{cap}$ - Espessura da Franja Capilar***	cm	5	5	5
$h_v$ - Espessura da Zona Não Saturada*	cm	2,39	2,05	3,21
$I$ - Taxa de Infiltração no Solo**	cm/ano	66,1	66,1	66,1
$T_T$ – Porosidade Total**	-	0,4580	0,4585	0,4560
$T_{acap}$ - Conteúdo Volumétrico de Ar na Franja Capilar**		0,0458	0,0459	0,0456
$T_{wcap}$ - Conteúdo Volumétrico de Água na Franja Capilar**	-	0,4122	0,4127	0,4104
$T_{ws}$ - Conteúdo Volumétrico de Água na Zona Não Saturada**	-	0,33	0,22	0,25
$T_{as}$ - Conteúdo Volumétrico de Ar na Zona Não Saturada**		0,1280	0,2385	0,2060
$\rho_s$ - Densidade do Solo**	-	1,22	1,28	1,26

(\*) Valores obtidos no estudo dos postos de serviço

(\*\*) Valores obtidos na literatura disponível

(\*\*\*) Valores recomendados por ASTM (1998)

**TABELA 8.** Parâmetros do meio físico específicos para a Cidade de São Paulo

Os parâmetros adicionais utilizados para o cálculo dos RBSL estão apresentados na Tabela 9. Neste caso os valores não são específicos da Cidade de São Paulo. Estes parâmetros foram obtidos a partir do *Emergency Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Released Sites* (ASTM, 1995).

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR	
		RESIDENCIAL	COMERCIAL
Razão de troca de ar em espaços fechados	s <sup>-1</sup>	0,00014	0,00023
Razão volume/ área de infiltração para ambiente fechado	cm	200	300
Espessura das fundações/paredes de construções	cm	15	15
Taxa de emissão de partículas	-	6,90E-14	6,90E-14
Velocidade do vento na zona de respiração	cm/s	225	225
Altura da zona de respiração	cm	200	200
Espessura da pluma dissolvida na água subterrânea	cm	200	200
Fração da área de rachaduras/fendas nas fundações/paredes	cm <sup>2</sup>	0,01	0,01
Conteúdo volumétrico de ar nas fundações/paredes	cm <sup>3</sup>	0,26	0,26
Conteúdo volumétrico de água nas fundações/paredes	cm <sup>3</sup>	0,12	0,12
Tempo médio do fluxo de vapor	s <sup>-1</sup>	9,46E+8	9,46E+8

**TABELA 9.** Parâmetros adicionais do meio físico para o cálculo dos RBSL (ASTM, 1995)

### 5.4.3 - COMPOSTOS QUÍMICOS DE INTERESSE PARA OS VAZAMENTOS NA CIDADE DE SÃO PAULO

Os compostos de interesse são aqueles utilizados como indicadores toxicológicos para um determinado contaminante. As tabelas de níveis de concentrações aceitáveis baseados no risco que são apresentadas neste estudo foram elaboradas utilizando-se os principais compostos de interesse que estão presentes na gasolina e no diesel. Os compostos são benzeno, tolueno, etil-benzeno e xilenos.

### 5.4.4 – FATORES DE EXPOSIÇÃO ADEQUADOS PARA A CIDADE DE SÃO PAULO

Considerando-se os receptores e as respectivas vias de ingresso apresentadas na Tabela 7, foram obtidos os valores para os fatores de exposição que estão apresentados na Tabela 10.

PARÂMETRO	UNIDADE	RESIDENCIAL	COMERCIAL
Duração da exposição	Anos	35	35
Tempo médio para efeitos carcinogênicos	Anos	68	68
Tempo médio para efeitos não carcinogênicos	Anos	35	35
Massa corpórea para adultos	kg	68	68
Frequência da exposição	Dias/ano	350	270
Taxa de ingestão de solo	mg/dia	100	50
Taxa de inalação diária em ambientes fechados	m <sup>3</sup> /dia	15	20
Taxa de inalação diária em ambientes abertos	m <sup>3</sup> /dia	20	20
Taxa de ingestão diária de água	l/dia	2	1
Fator de aderência do solo na pele	-	0,5	0,5
Fator de absorção dermal relativa	-	0,5	0,5
Fator de absorção oral relativa	-	1	1
Área superficial da pele	cm <sup>2</sup>	3180	3180
Quociente de risco aceitável	-	1	1
Menor Risco carcinogênico aceitável	-	1,00E-04	1,00E-04
Maior Risco carcinogênico aceitável	-	1,00E-06	1,00E-06

**TABELA 10.** Valores dos parâmetros de exposição para a Cidade de São Paulo

A duração da exposição foi considerada como sendo o tempo médio de vida de um receptor aposentado, tanto para áreas comerciais como para residenciais.

Como tempo médio para os efeitos carcinogênicos adotou-se a expectativa de vida média da população brasileira considerando-se ambos os sexos, conforme o IBGE (IBGE/DPE/DEPI, 1996). Para as substâncias não carcinogênicas considerou-se o tempo total da duração da exposição.

A massa corpórea foi considerada como sendo o peso médio da população brasileira, conforme o IBGE (IBGE/DPE/DEPI, 1996). Neste caso também considerou-se ambos os sexos.

A frequência da exposição corresponde ao número de dias em um período de 1 ano que o receptor estaria no ponto de exposição. Neste caso, adotou-se uma postura conservadora e assumiu-se o cenário de exposição mais crítico (comercial e residencial).

O quociente de risco aceitável corresponde ao potencial de ocorrência de efeitos tóxicos adversos para os compostos não carcinogênicos. Quando este parâmetro apresenta valor maior que 1 é indicativo de que o composto de interesse oferece risco à saúde humana e quando o valor é menor que 1 não indica risco.

Para o menor e maior risco carcinogênico (mínimo e máximo) aceitável foram assumidos os valores sugeridos em *Risk Assessment Guidance for Superfund – Volume 1*

– *Human Health Evaluation Manual* (USEPA, 1989). O número 1,00E-4 significa a ocorrência de 1 caso de câncer em cada 10.000 indivíduos e 1,00E-6 a ocorrência de 1 em 1.000.000.

Vale ressaltar que os valores utilizados para os demais fatores de exposição apresentados na Tabela 10, teve como origem o *Risk Assessment Guidance for Superfund – Volume 1 – Human Health Evaluation Manual* (USEPA, 1989).

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Assim, tendo como base os dados geológicos, hidrogeológicos e os cenários de exposição gerados para a cidade de São Paulo a partir do estudo dos processos de vazamentos de combustíveis e da literatura disponível, calculou-se as tabelas de concentrações aceitáveis baseadas no risco (RBSL) para os compostos: Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos.

Nas tabelas de risco apresentadas abaixo, os valores de RBSL para os compostos carcinogênicos foram obtidos para os valores de *Risco* variando entre  $10^{-6}$  e  $10^{-4}$ . Para os compostos não carcinogênicos o *Quociente de Risco* utilizado foi 1.

CAMINHO DE EXPOSIÇÃO	RISCO	QUATERNÁRIO		TERCIÁRIO		ALTERAÇÃO DO EMBASAMENTO	
		RESIDENCIAL	COMERCIAL	RESIDENCIAL	COMERCIAL	RESIDENCIAL	COMERCIAL
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES FECHADOS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1,00E-06	3,17E-01	3,08E-01	3,17E-01	3,08E-01	3,17E-01	3,08E-01
	1,00E-04	3,17E+01	3,08E+01	3,17E+01	3,08E+01	3,17E+01	3,08E+01
	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES ABERTOS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1,00E-06	2,38E-01	3,08E-01	2,38E-01	3,08E-01	2,38E-01	3,08E-01
	1,00E-04	2,38E+01	3,08E+01	2,38E+01	3,08E+01	2,38E+01	3,08E+01
	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES ABERTOS A PARTIR DO SOLO SUBSUPERFICIAL (mg/kg)	1,00E-06	2,98E+00	3,87E+00	3,48E-01	4,51E-01	6,11E-01	7,92E-01
	1,00E-04	2,98E+02	3,87E+02	3,48E+01	4,51E+01	6,11E+01	7,92E+01
	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES FECHADOS A PARTIR DO SOLO SUBSUPERFICIAL (mg/Kg)	1,00E-06	1,20E-02	2,89E-02	7,08E-03	1,70E-02	8,02E-03	1,92E-02
	1,00E-04	1,20E+00	2,89E+00	7,08E-01	1,70E+00	8,02E-01	1,92E+00
	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
INALAÇÃO, CONTATO DÉRMICO E INGESTÃO A PARTIR DO SOLO SUPERFICIAL (mg/kg)	1,00E-06	7,18E+00	1,01E+01	2,92E+00	3,91E+00	3,76E+00	5,08E+00
	1,00E-04	7,18E+02	1,01E+03	2,92E+02	3,91E+02	3,76E+02	5,08E+02
	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA A PARTIR DA LIXIVIAÇÃO DO SOLO SUBSUPERFICIAL (mg/kg)	1,00E-06	1,60E-03	4,16E-03	1,93E-03	5,02E-03	6,05E-03	1,57E-02
	1,00E-04	1,60E-01	4,16E-01	1,93E-01	5,02E-01	6,05E-01	1,57E+00
	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
INALAÇÃO DE VAPORES A PARTIR DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM AMBIENTES ABERTOS (mg/L)	1,00E-06	1,65E+01	2,14E+01	5,69E+00	7,37E+00	7,74E+00	1,00E+01
	1,00E-04	1,65E+03	2,14E+03	5,69E+02	7,37E+02	7,74E+02	1,00E+03
	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA (mg/L)	1,00E-06	2,38E-03	6,16E-03	2,38E-03	6,16E-03	2,38E-03	6,16E-03
	1,00E-04	2,38E-01	6,16E-01	2,38E-01	6,16E-01	2,38E-01	6,16E-01
	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
INALAÇÃO DE VAPORES A PARTIR DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM AMBIENTES FECHADOS (mg/L)	1,00E-06	9,71E-02	2,21E-01	7,91E-02	1,78E-01	8,24E-02	1,85E-01
	1,00E-04	9,71E+00	2,21E+01	7,91E+00	1,78E+01	8,24E+00	1,85E+01
	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA

**TABELA 11.** Tabela de RBSL para o Benzeno

CAMINHO DE EXPOSIÇÃO	RISCO	QUATERNÁRIO		TERCIÁRIO		ALTERAÇÃO DO EMBASAMENTO	
		RESIDENCIAL	COMERCIAL	RESIDENCIAL	COMERCIAL	RESIDENCIAL	COMERCIAL
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES FECHADOS (µg/m <sup>3</sup> )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	5,20E+02	5,06E+02	5,20E+02	5,06E+02	5,20E+02	5,06E+02
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES ABERTOS (µg/m <sup>3</sup> )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	3,90E+02	5,06E+02	3,90E+02	5,06E+02	3,90E+02	5,06E+02
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES ABERTOS A PARTIR DO SOLO SUBSUPERFICIAL (mg/kg)	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	<b>1,04E+04</b>	<b>1,34E+04</b>	<b>1,35E+03</b>	<b>1,75E+03</b>	<b>2,36E+03</b>	<b>3,05E+03</b>
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES FECHADOS A PARTIR DO SOLO SUBSUPERFICIAL (mg/Kg)	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	4,18E+01	1,00E+02	2,74E+01	6,57E+01	3,09E+01	7,41E+01
INALAÇÃO, CONTATO DÉRMICO E INGESTÃO A PARTIR DO SOLO SUPERFICIAL (mg/kg)	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	<b>7,90E+04</b>	<b>1,42E+05</b>	<b>7,90E+04</b>	<b>1,42E+05</b>	<b>7,90E+04</b>	<b>1,42E+05</b>
INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA A PARTIR DA LIXIVIAÇÃO DO SOLO SUBSUPERFICIAL (mg/kg)	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	1,09E+01	2,83E+01	1,47E+01	3,82E+01	4,58E+01	1,19E+02
INALAÇÃO DE VAPORES A PARTIR DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM AMBIENTES ABERTOS (mg/L)	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	<b>2,58E+04</b>	<b>3,35E+04</b>	<b>9,32E+03</b>	<b>1,21E+04</b>	<b>1,25E+04</b>	<b>1,61E+04</b>
INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA (mg/L)	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	7,09E+00	1,84E+01	7,09E+00	1,84E+01	7,09E+00	1,84E+01
INALAÇÃO DE VAPORES A PARTIR DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM AMBIENTES FECHADOS (mg/L)	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	1,41E+02	3,22E+02	1,14E+02	2,56E+02	1,19E+02	2,68E+02

**TABELA 12.** Tabela de RBSL para o Tolueno

CAMINHO DE EXPOSIÇÃO	RISCO	QUATERNÁRIO		TERCIÁRIO		ALTERAÇÃO DO EMBASAMENTO	
		RESIDENCIAL	COMERCIAL	RESIDENCIAL	COMERCIAL	RESIDENCIAL	COMERCIAL
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES FECHADOS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	1,37E+03	1,33E+03	1,37E+03	1,33E+03	1,37E+03	1,33E+03
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES ABERTOS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	1,03E+03	1,33E+03	1,03E+03	1,33E+03	1,03E+03	1,33E+03
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES ABERTOS A PARTIR DO SOLO SUBSUPERFICIAL ( $\text{mg}/\text{kg}$ )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	<b>1,93E+04</b>	<b>2,51E+04</b>	<b>2,47E+03</b>	<b>3,20E+03</b>	<b>4,30E+03</b>	<b>5,58E+03</b>
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES FECHADOS A PARTIR DO SOLO SUBSUPERFICIAL ( $\text{mg}/\text{Kg}$ )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	7,79E+01	<b>1,87E+02</b>	5,02E+01	1,20E+02	5,65E+01	1,35E+02
INALAÇÃO, CONTATO DÉRMICO E INGESTÃO A PARTIR DO SOLO SUPERFICIAL ( $\text{mg}/\text{kg}$ )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	<b>3,95E+04</b>	<b>7,10E+04</b>	<b>3,95E+04</b>	<b>7,10E+04</b>	<b>3,95E+04</b>	<b>7,10E+04</b>
INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA A PARTIR DA LIXIVIAÇÃO DO SOLO SUBSUPERFICIAL ( $\text{mg}/\text{kg}$ )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	4,25E+00	1,10E+01	5,62E+00	1,46E+01	1,74E+01	4,52E+01
INALAÇÃO DE VAPORES A PARTIR DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM AMBIENTES ABERTOS ( $\text{mg}/\text{L}$ )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	<b>6,33E+04</b>	<b>8,20E+04</b>	<b>2,36E+04</b>	<b>3,07E+04</b>	<b>3,12E+04</b>	<b>4,04E+04</b>
INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA ( $\text{mg}/\text{L}$ )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	3,55E+00	9,19E+00	3,55E+00	9,19E+00	3,55E+00	9,19E+00
INALAÇÃO DE VAPORES A PARTIR DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM AMBIENTES FECHADOS ( $\text{mg}/\text{L}$ )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	<b>3,20E+02</b>	<b>7,32E+02</b>	<b>2,55E+02</b>	<b>5,75E+02</b>	<b>2,67E+02</b>	<b>6,03E+02</b>

**TABELA 13.** Tabela de RBSL para o Etilbenzeno

CAMINHO DE EXPOSIÇÃO	RISCO	QUATERNÁRIO		TERCIÁRIO		ALTERAÇÃO DO EMBASAMENTO	
		RESIDENCIAL	COMERCIAL	RESIDENCIAL	COMERCIAL	RESIDENCIAL	COMERCIAL
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES FECHADOS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	9,46E+03	9,19E+03	9,46E+03	9,19E+03	9,46E+03	9,19E+03
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES ABERTOS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	7,09E+03	9,19E+03	7,09E+03	9,19E+03	7,09E+03	9,19E+03
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES ABERTOS A PARTIR DO SOLO SUBSUPERFICIAL ( $\text{mg}/\text{kg}$ )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	<b>3,20E+05</b>	<b>4,15E+05</b>	<b>4,30E+04</b>	<b>5,58E+04</b>	<b>7,50E+04</b>	<b>9,73E+04</b>
INALAÇÃO DE VAPORES EM AMBIENTES FECHADOS A PARTIR DO SOLO SUBSUPERFICIAL ( $\text{mg}/\text{Kg}$ )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	<b>1,29E+03</b>	<b>3,10E+03</b>	<b>8,75E+02</b>	<b>2,10E+03</b>	<b>9,85E+02</b>	<b>2,36E+03</b>
INALAÇÃO, CONTATO DÉRMICO E INGESTÃO A PARTIR DO SOLO SUPERFICIAL ( $\text{mg}/\text{kg}$ )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	<b>7,90E+05</b>	<b>1,42E+06</b>	<b>7,90E+05</b>	<b>1,42E+06</b>	<b>7,90E+05</b>	<b>1,42E+06</b>
INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA A PARTIR DA LIXIVIAÇÃO DO SOLO SUBSUPERFICIAL ( $\text{mg}/\text{kg}$ )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	1,75E+02	<b>4,55E+02</b>	2,44E+02	<b>6,33E+02</b>	<b>7,58E+02</b>	<b>1,97E+03</b>
INALAÇÃO DE VAPORES A PARTIR DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM AMBIENTES ABERTOS ( $\text{mg}/\text{L}$ )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	<b>5,00E+05</b>	<b>6,48E+05</b>	<b>1,82E+05</b>	<b>2,36E+05</b>	<b>2,42E+05</b>	<b>3,14E+05</b>
INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA ( $\text{mg}/\text{L}$ )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	7,09E+01	1,84E+02	7,09E+01	1,84E+02	7,09E+01	1,84E+02
INALAÇÃO DE VAPORES A PARTIR DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM AMBIENTES FECHADOS ( $\text{mg}/\text{L}$ )	1,00E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1,00E-04	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	1	<b>2,49E+03</b>	<b>5,69E+03</b>	<b>1,96E+03</b>	<b>4,43E+03</b>	<b>2,06E+03</b>	<b>4,66E+03</b>

**TABELA 14.** Tabela de RBSL para o Xilenos

## BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL - ASTM (1995) *Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied to Petroleum Released*. Sites: ASTM Designation E 1739-95.
- ASTM (1998) *Standard Provisional Guide for Risk-Based Corrective Action*. EUA, ASTM Designation PS 104 – 98.
- LAGREGA, M.D.; BUCKINGHAM, P.L.; EVANS, J.C. (1994) - *Hazardous waste management*. McGraw-Hill, Inc. USA. 1.146 p.
- RICCOMINI, C. (1989). *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. São Paulo, 256 p.
- RICCOMINI, C. & COIMBRA, A.M. (1992). *Geologia da Bacia de São Paulo*. In: Mesa Redonda sobre Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo, São Paulo. Anais... São Paulo, ABMS, 59 p.
- RICCOMINI, C.; COIMBRA, A.M., TAKIYA, H. (1992). *Tectônica e sedimentação na Bacia de São Paulo*. Seminário: Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo. RMSP. ABAS, ABGE, SBG/SP. São Paulo. p. 21 - 45.
- RUSSO, R.; VERDADE, F.C.; HUNGRIA, L.S. (1961) *Solos da Bacia de Taubaté – Vale do Paraíba*. *Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo*, nº 4: 43-322.
- SABESP/CEPAS/IG-USP (1994) *Diagnóstico Hidrogeológico da Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo. Relatório Final – IGc-USP. 115p.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). (1989). *Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume I, Human Health Evaluation Manual (Part A)*, Interim Final. EPA/ 540/1-89/003. Washington, D.C. December.