

AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA EM TERMINAIS DE ARMAZENAMENTO DE PETRÓLEO E DERIVADOS: ESTUDOS DE CASOS

Cristiana Michels¹; Márcio R. Schneider¹; Jorge Ibirajara E. Coelho² & Henry X. Corseuil¹

Resumo - A preocupação relacionada à contaminação da água subterrânea vem crescendo em áreas de produção, armazenamento e distribuição de petróleo e derivados em todo o país. Os órgãos de controle 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, geralmente são utilizadas as metodologias norte-americana ou holandesa. Este trabalho apresenta e discute as avaliações de risco realizadas nos Terminais de Barueri e Cubatão, onde foram adotados os procedimentos estabelecidos pela metodologia norte-americana RBCA (*Risk-Based Corrective Action*). Foram assumidos como valores de referência, alerta e intervenção os Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. Os modelos matemáticos empregados nas avaliações de risco foram o RISC 4.03 e o SCBR 1.0 – Solução Corretiva Baseada no Risco. Os resultados obtidos nestas avaliações de risco indicaram que não foi necessária a implementação de medidas de remediação, mas apenas a necessidade de monitoramento em função da inexistência de risco para as áreas avaliadas.

Abstract - The concern regarding groundwater contamination is increasing in areas of production, storage and distribution of petroleum and derivatives all over the country. The Brazilian environmental agencies suggest that the decision-making process on the environmental management of a contaminated area be based on risk assessment. As in Brazil there are no specific risk assessment methodologies for human health, the North-American or Dutch methodologies are generally used. This work presents and discusses the risk assessments carried out in the Barueri and Cubatão Terminals, where the procedures established by the North-American methodology RBCA (*Risk-Based Corrective Action*) have been adopted. The *Screening Level Values for Soil and Groundwater of the State of São Paulo* (CETESB, 2001) have been used as reference, alert and intervention values. The mathematical models used for the risk assessment were RISC 4.03 and

¹ Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Campus Universitário Trindade – Florianópolis – SC – 88040-970. (48)331-7569. www.remas.ufsc.br

² Petrobrás Transportes S.A. – Rua Felipe Camarão, 393 – Prosperidade – São Caetano do Sul-S.P. – CEP: 09550-150.

SCBR 1.0. The results from these risk assessments indicated that the implementation of remediation measures was not necessary, but only the need for monitoring due to the inexistence of risk for the evaluated areas.

Palavras-Chave - avaliação de risco; terminais de petróleo; metodologia RBCA; modelos matemáticos.

INTRODUÇÃO

A contaminação do solo e das águas subterrâneas por derramamentos de petróleo e derivados é um problema que vem ganhando grande importância no Brasil nos últimos anos em função do diagnóstico crescente de áreas impactadas. A possibilidade de ocorrência de derrames acidentais é inerente às atividades de produção, armazenamento e transferência de petróleo e derivados nos terminais. Na maioria dos casos, os derramamentos têm origem nos dutos e tanques de armazenamento.

Apesar dos significativos avanços e melhorias implementados nas atividades de exploração, transporte e armazenamento de petróleo, essas atividades envolvem grandes riscos, como evidenciam os históricos de acidentes ambientais (PEDROZO et al., 2002). No entanto, observa-se que nem todas as áreas contaminadas representam um risco para o meio ambiente ou à saúde humana. O risco só existirá se as concentrações de contaminantes excederem determinados limites considerados aceitáveis, se os receptores sensíveis fizerem parte do cenário e se as rotas de exposição forem completadas (CETESB, 2004). Desta forma, a caracterização de uma área impactada em termos de uso e ocupação do solo, bem como o seu entorno, torna-se um aspecto fundamental para a avaliação de risco.

O risco à saúde humana pode ser definido como a possibilidade de um evento nocivo (morte, dano ou perda) ocorrer como resultado da exposição a agentes físicos ou químicos em condições específicas (UNEP/ IPCS, 1999). A estimativa do risco que os compostos químicos do petróleo em áreas impactadas podem oferecer a saúde humana e ao meio ambiente é baseada em um modelo conceitual de exposição. Este modelo é estabelecido através de um cenário que é composto pela fonte de contaminação, mecanismos de transporte e receptores (U.S. EPA, 1997). A fonte de contaminação representa a origem do derramamento, geralmente onde são encontradas as mais altas concentrações de contaminantes. Os mecanismos de transporte representam os processos de transferência de massa dos contaminantes através do solo, água e ar. No caso da água subterrânea, em função do fluxo do aquífero, os compostos dissolvidos são transportados através da zona saturada do solo formando plumas. As plumas de contaminantes podem então atingir receptores, como poços de captação ou recursos hídricos superficiais, localizados em uma posição à jusante da fonte de contaminação.

Seguindo o exemplo de países industrializados da América do Norte e da Europa, a tomada de decisão sobre a remediação de áreas impactadas no Brasil vem sendo realizado através da metodologia de análise de risco (PEDROZO et al., 2002). O desenvolvimento de instrumentos legais como o Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo (CETESB, 2001) têm exigido um encaminhamento efetivo para o controle da poluição por petróleo e seus derivados.

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

O objetivo deste trabalho é apresentar e discutir os resultados dos estudos de avaliação de risco realizados nos Terminais de Barueri e Cubatão, avaliando as diferentes etapas da metodologia aplicada e a utilização de modelos matemáticos de destino e transporte de contaminantes. Foram adotados os procedimentos estabelecidos pela metodologia norte-americana RBCA (*Risk-Based Corrective Action*) e foram utilizados para a primeira Etapa desta metodologia os Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo (CETESB, 2001).

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE RISCO

Metodologia RBCA

A metodologia aplicada para este trabalho foi baseada nos procedimentos estabelecidos pela metodologia descrita na norma norte-americana ASTM E1739 – 95 *Standard Guide for Risk-Based Corrective Action (RBCA) Applied at Petroleum Release Sites*, desenvolvida pela *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, para áreas com problemas de contaminação por hidrocarbonetos derivados de petróleo. A metodologia RBCA descreve uma seqüência lógica de atividades e decisões a serem tomadas desde a suspeita da contaminação até o alcance das metas de remediação (ASTM, 1995). Estas atividades são realizadas em três etapas que se tornam progressivamente mais específicas e complexas, exigindo um maior grau de detalhamento da investigação ambiental do local avaliado.

Na Etapa 1, a avaliação de risco é realizada através da comparação das concentrações dos contaminantes medidas na fonte com valores de referência baseados no risco. A principal referência utilizada foram os Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo

(CETESB, 2001). Nos casos em que a CETESB não possui valores orientadores foram assumidos valores mais restritivos dos padrões da Lista Holandesa (MINISTRY OF VROM, 1994) e das Metas de Remediação Preliminares (*Preliminary Remediation Goals – PRG*) estabelecidos pela U.S. EPA (2002). No caso dos padrões para solo da CETESB e EPA foram assumidos os valores de intervenção considerando que os terminais encontram-se em área industrial. Nesta etapa é considerado que o ponto de exposição (POE) está sobre a fonte e que não é necessária à utilização de parâmetros específicos do local.

Na Etapa 2, o risco é determinado considerando as características específicas do local. Nesta etapa o ponto de exposição pode estar sobre a fonte ou afastado desta. Os modelos matemáticos de transporte e transformação de contaminantes utilizados nesta etapa, na grande maioria unidimensionais e de solução analítica, permitem a avaliação do deslocamento dos contaminantes em relação aos pontos de exposição. Estas concentrações simuladas serão então comparadas com os padrões do local. Se os resultados desta etapa indicarem riscos superiores aos limites estabelecidos, deverão ser adotadas medidas para controle do risco ou a realização da Etapa 3.

Na Etapa 3 é recomendada a coleta de dados ainda mais específicos do local e da população exposta, o que permite a avaliação mais aprofundada do cenário de risco potencial. Neste caso, são realizadas simulações do transporte e transformação de contaminantes através de modelos matemáticos mais sofisticados do que os modelos unidimensionais e de solução analítica. A Etapa 3 geralmente é empregada em locais onde o risco definido pela Etapa 2 implica em custos elevados para o controle do risco.

A definição do risco considerou as recomendações da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos que utiliza como faixa de nível de risco uma variação de 10^{-4} (possibilidade de 1 em 10.000 indivíduos adquirir câncer durante a exposição crônica a contaminantes) a 10^{-6} . Para este trabalho o risco aceitável utilizado na simulação foi assumido como sendo 10^{-5} , considerando que os receptores potenciais são trabalhadores da área operacional e de obras futuras. Além disso, os terminais determinam que todos os indivíduos que transitam na área operacional utilizem equipamentos de proteção individual (EPI).

Áreas de Estudo

As áreas de estudo referem-se a dois terminais de recebimento, armazenamento e transferência de petróleo e derivados através de dutos para outros terminais e unidades industriais, localizados no Estado de São Paulo. A primeira área corresponde ao Terminal de Barueri, localizado às margens da Rodovia Castelo Branco na região metropolitana da Grande São Paulo, no município de Barueri (SP). Em funcionamento desde fevereiro de 1972, esta unidade operacional está inserida em zona predominantemente industrial, e faz divisa a leste com a zona residencial,

região esta caracterizada por construções de residências unifamiliares. Na segunda área estudada está localizado o Terminal de Cubatão, próximo à margem direita do Rio Cubatão e da Rodovia Anchieta, no município de Cubatão litoral do Estado de São Paulo. Está inserido em uma zona de comércio e serviços onde são admitidas indústrias, como petroquímicas e metalúrgicas, e faz divisa com a zona de preservação ecológica. A área de entorno do Terminal de Cubatão define dois pontos de interesse, o Rio Cubatão e um córrego canalizado ao sul do terminal. As informações gerais referentes aos Terminais de Barueri e Cubatão são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Informações gerais referentes aos Terminais de Barueri e Cubatão.

Informações gerais	Terminal de Barueri	Terminal de Cubatão
Área total (m ²)	275.000	465.477
Substâncias químicas operadas	Óleo diesel, gasolina, álcool anidro e hidratado, mistura metanol, etanol e gasolina (MEG), óleos combustíveis e GLP.	Gasolina, óleo diesel, óleo combustível, óleo leve, petróleo e nafta petroquímica.
Sondagens a trado	26	51
Poços de monitoramento	11	11
Velocidade Intersticial (m/ano)	4 a 100	37
Tipo de solo	Areno-argiloso	Arenoso

Modelos Matemáticos

Os modelos matemáticos que simulam o comportamento dos contaminantes no meio ambiente são ferramentas computacionais essenciais para a avaliação de risco ambiental. Estes modelos incorporam rotinas computacionais de transporte e transformação dos contaminantes, produzindo resultados em função da quantidade e qualidade dos dados de entrada, obtidos através de um histórico de diagnóstico geofísico, geoquímico e hidrogeológico, além de monitoramento da área impactada (PEDROZO et al., 2002). O uso de modelos matemáticos na avaliação de risco permite maior flexibilidade no julgamento da necessidade de remediação e na escolha de alternativas de mitigação do risco. A seguir será apresentada a descrição dos modelos matemáticos empregados na avaliação de risco dos terminais.

O RISC 4.03 – *Risc Integrated Software for Cleanups* – é um modelo unidimensional desenvolvido para simular o transporte e a transformação dos contaminantes. Este modelo pode ser usado para simular os riscos à saúde humana (carcinogênicos e não carcinogênicos) em função dos níveis de exposição e das características do meio físico, permitindo estimar os níveis aceitáveis dos contaminantes baseados no risco e avaliar os impactos ecológicos potenciais (SPENCE e WALDEN, 2001).

O modelo SCBR – Solução Corretiva Baseada no Risco – é um modelo bidimensional desenvolvido para simular o destino e o transporte de compostos químicos dissolvidos nas águas subterrâneas, possibilitando a avaliação do risco em áreas contaminadas ou passíveis de contaminação (SCBR, 2003). O SCBR é fruto da parceria entre a Universidade Federal de Santa Catarina e a Petrobrás. O modelo permite determinar o alcance e a taxa de migração de plumas de contaminação, a definição de perímetros de proteção, predição das rotas de exposição e a simulação da aplicação de diversas tecnologias de remediação. Uma das características mais importantes do SCBR é a possibilidade de simulação de hidrocarbonetos de petróleo em presença de etanol, como nos casos de derramamentos de gasolina com etanol, onde o etanol pode potencializar os efeitos da contaminação dos hidrocarbonetos dissolvidos. A Tabela 2 apresenta uma comparação dos modelos matemáticos empregados neste estudo, RISC 4.03 e SCBR.

Tabela 2 - Comparação dos modelos matemáticos RISC 4.03 e SCBR.

Modelos Matemáticos	RISC 4.03	SCBR
Descrição	Modelo analítico de avaliação de risco 1D que simula o risco de contaminação no solo saturado, no solo não saturado e no ar. Pode ser usado para estimar os riscos à saúde humana, estimar os níveis aceitáveis dos contaminantes e avaliar os impactos ecológicos.	Modelo de avaliação de risco 2D que utiliza volumes finitos através de método numérico para resolver as equações de transporte. Permite determinar o alcance e a taxa de migração de plumas de contaminação, predição das rotas de exposição, definição de perímetros de proteção e a simulação de tecnologias de remediação.
Rotas	Dispersão no ar atmosférico, volatilização, lixiviação, advecção, dispersão hidrodinâmica e biodegradação.	Advecção, dispersão, sorção (isoterma linear), biodegradação de 1ª ordem, interferência do etanol sobre a biodegradação e efeito co-solvência, simulação de tecnologias de remediação.
Vantagens	Modelo simplificado de fácil utilização que inclui informações toxicológicas. Possui um banco de dados com os principais contaminantes.	É o único que considera os efeitos do etanol sobre a biodegradação e sobre o aumento da solubilidade dos hidrocarbonetos de petróleo. Possui um banco de dados de contaminantes.
Desvantagens	Baixa flexibilidade na definição de metas de remediação; possui as mesmas restrições de modelos unidimensionais, considera um único valor de gradiente hidráulico e condutividade hidráulica como dado de entrada.	Não deve ser empregado para simulações em solos não saturados, escoamento superficial (sistemas de drenagem, rios e lagos) ou transporte pelo ar atmosférico.

Fonte: Adaptado de PETROBRÁS e UFSC (2003); SPENCE, L.R.; WALDEN, T. (2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caso 1-Terminal de Barueri (SP)

As investigações ambientais realizadas no Terminal de Barueri forneceram informações das concentrações dos compostos químicos no solo e na água subterrânea. De acordo com o resultado destas investigações, o Terminal de Barueri foi classificado de acordo com a ASTM 1739-95 como sendo de Classe 4: nenhum dano demonstrável em longo prazo para a saúde ou segurança humana ou de outros receptores sensíveis.

Na Etapa 1 da avaliação de risco foi realizada a comparação das concentrações dos compostos químicos de interesse com os valores de referência baseados no risco (*RBSL – Risk-Based Screening Levels*). Em relação aos valores adotados, dos 26 pontos de sondagens e 11 poços de monitoramento analisados, todos apresentaram concentrações de hidrocarbonetos de petróleo e metais em conformidade com os padrões estabelecidos para solos e água subterrânea. Como os critérios adotados para esta etapa foram satisfeitos, não houve a necessidade da implementação de medidas de remediação ou a execução de uma etapa seguinte. Desta forma, torna-se necessário somente um monitoramento em função da inexistência de risco demonstrável para o cenário avaliado.

Caso 2-Terminal de Cubatão (SP)

Para o Terminal de Cubatão também foram realizadas as investigações ambientais que forneceram informações das concentrações dos compostos químicos no solo e na água subterrânea. Os resultados indicaram a presença de TPH e PAH no solo em 12 das 51 sondagens analisadas, e concentrações de benzeno, etilbenzeno e fenantreno acima dos valores máximos permitidos na água subterrânea em 01 poço de monitoramento dos 11 avaliados. Em relação aos metais, todas as amostras de solo e água subterrânea atenderam os valores orientadores da CETESB. O Terminal de Cubatão foi classificado de acordo com a ASTM 1739-95 como sendo de Classe 3: risco em longo prazo (mais de 2 anos) para a saúde ou segurança humana ou outros receptores sensíveis. Deste modo, torna-se necessário uma avaliação mais completa, o que inclui a avaliação do risco aos receptores potenciais do terminal.

Na Etapa 2 a simulação do risco foi realizada com o modelo RISC 4.03, sendo considerados como receptores potenciais os trabalhadores da área operacional do terminal e trabalhadores de obras futuras. A principal rota de exposição considerada foi o contato dérmico com o solo das fontes de contaminação e com a água subterrânea. O contato dérmico com os hidrocarbonetos de petróleo pode ocorrer em obras futuras na área operacional do terminal devido ao revolvimento do solo. A rota de exposição ingestão de solo e água subterrânea não foi considerada devido ao

abastecimento de água no terminal ser realizado pela rede pública, não havendo a presença de poços de captação para consumo humano no local e não existirem cultivos de vegetais. Os pontos de exposição para a rota inalação são considerados inexistentes, pois a contaminação é caracterizada por compostos semivoláteis encontrados abaixo da superfície do solo. O risco aceitável utilizado na simulação do cenário de exposição foi assumido como sendo 10^{-5} e em nenhuma das fontes foi observada valores de risco superiores ao admitido como aceitável para a área de estudo. Os resultados da simulação do risco carcinogênico do benzeno e o índice de perigo do etilbenzeno e fenantreno para a rota contato dérmico com a água subterrânea na região da fonte foram nulos, ou seja, não causarão danos aos receptores em eventual exposição típica.

Outro ponto de exposição considerado importante foi o Rio Cubatão, tendo em vista a possibilidade do rio ser atingido através da migração dos hidrocarbonetos do petróleo pela água subterrânea. Os resultados da simulação com o modelo RISC 4.03 indicaram que o Rio Cubatão não seria atingido pelas plumas dos contaminantes, assumindo uma concentração limite de $1 \mu\text{g/L}$ para os hidrocarbonetos de petróleo. As plumas de etilbenzeno e de benzeno atingiriam distâncias máximas de 110 e 50 metros respectivamente, no entanto, a fonte de contaminação está afastada 200 m do Rio Cubatão. O fenantreno ficou restrito a região da fonte devido a sua baixa solubilidade. A Figura 1 apresenta a variação da concentração de benzeno, etilbenzeno e fenantreno a uma distância de 110 metros da fonte.

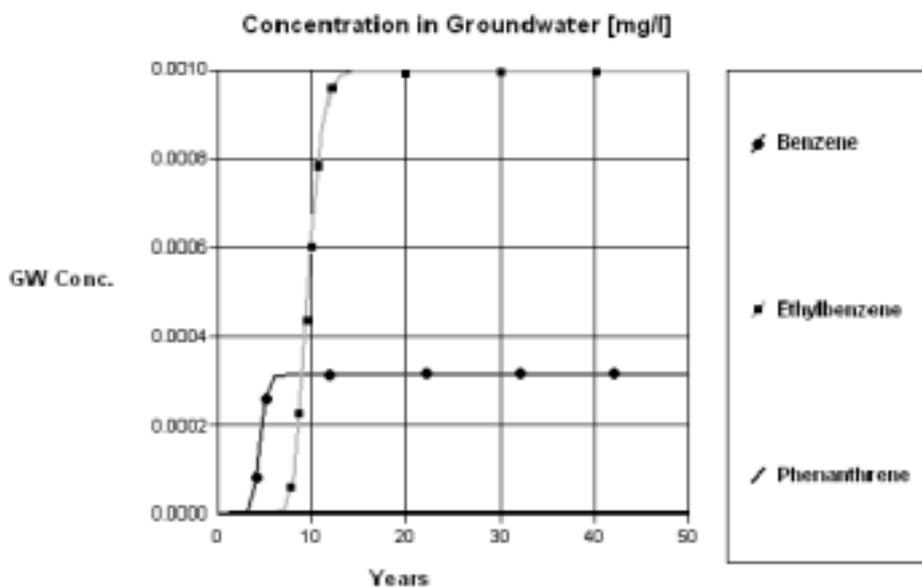


Figura 1 – Variação da concentração dos compostos químicos na água subterrânea ao longo do tempo para um receptor localizado a 110 m da fonte.

Para esta distância, o etilbenzeno foi o único composto que atingiu a concentração limite de 1 µg/L. Este limite é inferior aos valores de intervenção estabelecidos pela Cetesb, o que caracteriza uma condição conservadora na avaliação de risco. Deve-se observar que os limites de potabilidade da Portaria 1.469 do Ministério da Saúde são definidos como 5 µg/L para o benzeno e 200 µg/L para o etilbenzeno. Na legislação brasileira vigente o fenantreno não possui limites de potabilidade ou de intervenção para a água subterrânea.

A Etapa 2 da avaliação de risco indicou que não foi necessária a implementação de medidas de remediação ou mesmo a realização da Etapa 3. É importante salientar que a Etapa 2 forneceu resultados onde o risco simulado para a área é aceitável para as condições de exposição, o que indica apenas a necessidade de monitoramento em função da inexistência de risco demonstrável para o cenário avaliado.

Para efeito de comparação entre os modelos matemáticos apresentados neste trabalho, optou-se pela realização da Etapa 3 utilizando-se o modelo matemático SCBR – Solução Corretiva Baseada no Risco. Este modelo simula uma Etapa 3 por representar as condições reais de campo, possibilitando a simulação dos casos mais simples que consideram condições de homogeneidade e isotropia do aquífero aos mais complexos que envolvem a simulação em sistemas heterogêneos e anisotrópicos.

As rotas e os pontos de exposição considerados para a execução da Etapa 3 foram os mesmos simulados para a Etapa 2. Os resultados da simulação para a Etapa 3 também indicaram que o principal ponto de exposição, o Rio Cubatão, não seria atingido pelas plumas dos contaminantes. Assumindo a concentração limite de 1µg/L, a pluma do etilbenzeno seria a única a alcançar esta concentração à aproximadamente 80 m da fonte (Figura 2). O benzeno alcançaria uma concentração máxima de 0,75 µg/L a 5 m da fonte e o fenantreno ficaria restrito a fonte.

A comparação dos resultados obtidos nos modelos matemáticos RISC 4.03 e SCBR indicaram valores diferentes de concentração em função da distância. Para a Etapa 3, simulado com o SCBR, os valores foram menores em comparação a simulação realizada para a Etapa 2 com o RISC 4.03. Estes valores demonstraram que a pluma de contaminação na Etapa 3 permaneceu mais próxima à fonte. Esta variação da distância máxima atingida pelas plumas nos dois modelos, assumindo a concentração limite de 1 µg/L, pode ser facilmente explicada pela utilização do modelo analítico RISC 4.03 e do modelo numérico SCBR. Os modelos analíticos produzem soluções exatas para as equações de fluxo, o que implica em várias simplificações sobre o cenário a ser simulado, restringindo sua aplicação a sistemas hidrogeológicos homogêneos, isotrópicos e com restrições à geometria do ambiente de estudo. Enquanto os modelos numéricos produzem soluções aproximadas e, em alguns casos, podem apresentar várias soluções para as equações de fluxo. Consideram ainda a variação do gradiente hidráulico resultando na variação da velocidade, e o decaimento das fontes de contaminação ao longo do tempo.

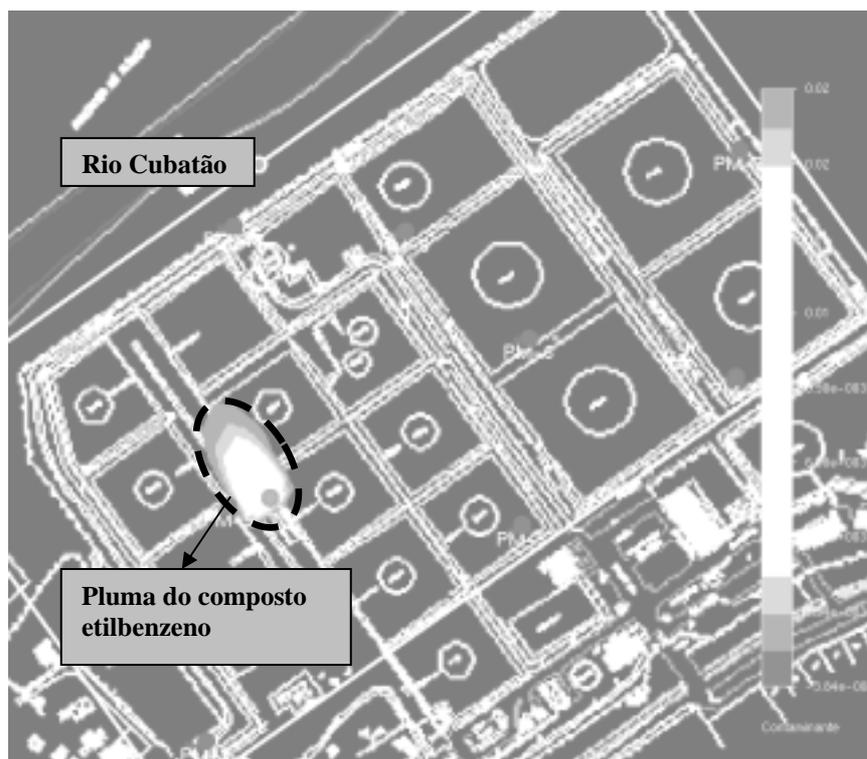


Figura 2 – Pluma do composto químico etilbenzeno na água subterrânea a 80 m da fonte assumindo a concentração limite de $1\mu\text{g/L}$.

CONCLUSÃO

A avaliação de risco funciona como uma ferramenta para tomada de decisões que priorizam as áreas a serem remediadas com base no risco que cada área representa à saúde humana e ao meio ambiente. Os resultados obtidos nestes estudos de caso confirmam a importância da realização de avaliações de risco em locais contaminados ou passíveis de contaminação, uma vez que possibilitam a alocação de recursos financeiros para remediação da área ou mitigação do risco, de maneira ambientalmente mais adequada e eficiente.

A avaliação de risco realizada para o Terminal de Barueri resultou apenas na execução da Etapa 1 da metodologia RBCA (*Risk-Based Corrective Action*) devido às concentrações dos hidrocarbonetos de petróleo estarem em conformidade com os padrões de referência adotados. Para este terminal, onde a Etapa 1 foi satisfeita, apenas avaliou-se a possibilidade de implementação de um plano de monitoramento da área estudada.

No caso do Terminal de Cubatão a avaliação de risco foi realizada através da Etapa 1 que indicou que as concentrações dos contaminantes estavam acima dos valores de referência adotados. Como esta Etapa não foi satisfeita, optou-se pela realização da Etapa 2. Para a simulação de risco foi utilizado o modelo matemático RISC 4.03 que indicou que os receptores não seriam atingidos e que o risco carcinogênico seria nulo. Neste estudo, apesar do Terminal de Cubatão não estar em

conformidade com as referências adotadas na primeira etapa, a execução da Etapa 2 indicou que não haveria a necessidade de implementar medidas de remediação, pois os pontos de exposição não seriam atingidos pelas plumas dos contaminantes. Assim, avaliou-se apenas a possibilidade de implementação de um plano de monitoramento.

Para efeito de comparação entre os modelos matemáticos apresentados neste trabalho, foi realizada a Etapa 3, através do modelo matemático SCBR – Solução Corretiva Baseada no Risco. Esta simulação indicou resultados mais rigorosos para as condições de campo se comparado aos resultados simulados para a Etapa 2 com o modelo RISC 4.03. Os valores obtidos na Etapa 3 com o SCBR indicaram que a pluma de contaminação migrou a uma distância inferior à simulada com o Risc 4.03, pois o modelo SCBR utiliza como dados de entrada uma quantidade maior de informações da área avaliada.

Como apresentado neste trabalho, a opção por cada etapa da metodologia RBCA e do modelo matemático a ser utilizado será função da condição do local e quantidade de dados disponíveis, bem como do nível de detalhamento e exatidão esperados no projeto de avaliação de risco. No entanto, a utilização de um modelo bidimensional e numérico como o SCBR possibilita uma avaliação direta através da Etapa 3. Além disso, o SCBR simula as interferências do etanol sobre os compostos aromáticos, o que é de extrema importância para as avaliações de risco em áreas impactadas por petróleo e derivados no Brasil onde o uso do etanol é cada vez maior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) E1739-95. *Standard guide for risk-based corrective action applied at petroleum release sites*. Philadelphia, ASTM, 1995.
- [2] CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acessado em maio de 2004.
- [3] CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. CETESB, São Paulo, 2001.
- [4] MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 1.469 – *Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano*, de 29 de dezembro de 2000.
- [5] MINISTRY OF VROM. Dutch Ministry of Housing, Physical Planning and the Environment. *Groundwater and soil remediation intervention values*, 1994.
- [6] PEDROZO, M.F.M.; BARBOSA, E.M.; CORSEUIL, H.X.; SCHNEIDER, M.R.; LINHARES, M.M. *Ecotoxicologia e Avaliação de Risco do Petróleo*. CRA – Centro de Recursos

Ambientais, Governo da Bahia, Secretaria do Planejamento, Ciência e Tecnologia, Salvador, 2002.

- [7] Preliminary Remediation Goals (PRGs) – Tools for evaluating and cleaning up contaminated sites. Region 9 PRGs 2002 Table. Disponível em: <http://www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg/index.htm>.
- [8] PETRÓLEO BRASILEIRO S.A., UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). SCBR – Solução Corretiva Baseada no Risco. *Manual do Usuário SCBR Versão 1.0*. Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobrás, 2003.
- [9] SPENCE, L.R., WALDEN, T. Risk-integrated software for clean-ups. *Risc 4.0 User's Manual*. BP Oil International, Sunbury, UK, 2001.
- [10] UNEP/IPCS – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME/INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY. *Chemical Risk Assessment*. Training Module No. 3, 1999.
- [11] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), *Ecological Risk Assessment Guidance for Superfund: Process for Designing and Conducting Ecological Risk Assessments*. Interim Final. EPA 540-R-97-006. PB97-963211, June 1997.