

AVALIAÇÃO DE RISCO ECOLÓGICO PARA A ESTAÇÃO INTERMEDIÁRIA DE GUARATUBA

Leandra Fatorelli¹ & Henry Xavier Corseuil¹

Resumo - O crescente número de contaminações ambientais por produtos químicos levou a criação de uma metodologia capaz de alocar os recursos destinados à remediação e de alcançar níveis permitidos de concentrações de produtos químicos no meio ambiente. Esta metodologia chama-se análise de risco e é composta pela avaliação e pelo gerenciamento de risco. A avaliação de risco permite estimar os riscos causados por um contaminante a partir dos resultados de seus componentes: identificação do perigo, avaliação da exposição e da toxicidade, e caracterização do risco. Esta metodologia, que a priori era aplicada somente para a saúde humana, foi modificada e adaptada para a avaliação de risco ecológico. O objetivo deste trabalho foi aplicar uma metodologia simplificada de avaliação de risco ecológico para áreas impactadas por derramamento de petróleo e seus derivados na área da Estação Intermediária de Guaratuba e no manguezal localizado próximo à Estação. Os resultados demonstraram que o risco aos microrganismos da água subterrânea e à comunidade do manguezal, para as concentrações de benzeno e benzo(a)pireno encontradas na área contaminada, é muito baixo. No entanto, a avaliação de risco ecológico realizada de forma isolada ou integrada à avaliação de risco humano é uma ferramenta fundamental na escolha de medidas de remediação mais eficazes em derramamentos já ocorridos e em áreas que possam ser potencialmente contaminadas.

Abstract - The growing number of environmental contaminations by chemicals led to the creation of a methodology capable of allocating the resources destined to remediation and reaching the levels allowed for chemical concentrations in the environment. This methodology is called risk analysis and includes both the risk assessment and the risk management. The risk assessment allows to estimate the risks caused by a contaminant from the results of its components: hazard identification, exposure and toxicity assessment, and risk characterization. This methodology, initially only applied to human health, was modified and adapted to ecological risk analysis. This work aimed at applying a simplified methodology for ecological risk assessment of impacted sites

¹ UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARIANA – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Centro Tecnológico CTC - Campus Universitário Trindade - Florianópolis - SC CEP 88040-970 Tel: (48) 331-7569 www.remas.ufsc.br leandra@ens.ufsc.br

by petroleum hydrocarbon releases in the area of the Intermediate Station of Guaratuba, São Paulo – Brazil, and in the mangrove ecosystems located next to the Station. The results have demonstrated that the risk for the groundwater microorganisms and mangrove communities is very low for the benzene and benzo(a)pyrene concentrations found in the contaminated area. However, the ecological risk assessment carried out in an isolated way or integrated to human risk assessment is a fundamental tool for selecting the most efficient remediation techniques for areas already contaminated and for those that might be contaminated in the future.

Palavras-Chave - avaliação de risco ecológico; hidrocarbonetos de petróleo; contaminações.

INTRODUÇÃO

Um grande número de compostos químicos são usados em ampla escala no mundo. Na década de 80, o total de compostos incluindo pesticidas, fármacos, aditivos alimentares e outros chegou a 60.000 e cerca de 50 a 100 novos compostos eram criados todo ano. Uma grande quantidade dessas substâncias é lançada no ambiente todos os dias. Em países mais industrializados, essa quantidade chega a mesma ordem de magnitude da produção primária dos vegetais (300 g de matéria orgânica por metro quadrado por ano). (BACCI, 1993).

Na década de 80 viu-se a ampla utilização dos impactos ambientais como justificativa para nortear as decisões regulatórias e políticas de proteção ao meio ambiente. Em meados do fim daquela década, ferramentas e metodologias para conduzir a análise de risco à saúde humana começam a ser padronizadas com a publicação da metodologia "Ambient Water Quality Criteria", o programa de pesticidas "Standard Evaluation Procedures, e "Superfund's Environmental Evaluation Manual" pela EPA (U.S. Environmental Protection Agency). (USEPA, 2002).

A partir da necessidade de uma ferramenta para avaliação de impactos ambientais que alicerçasse as leis de proteção ambiental, surgiu nos Estados Unidos a metodologia de análise de risco humano. Seu objetivo é avaliar a probabilidade da ocorrência de efeitos adversos à saúde humana devido a exposição a um ou mais estressores ambientais por um determinado período de tempo e gerenciar o risco de modo a diminuí-lo até alcançar os padrões legais permitidos. Esse processo é dividido em duas etapas: A avaliação de risco e o gerenciamento de risco. A Avaliação de risco é um processo utilizado para avaliar e organizar dados, informações, suposições e incertezas para ajudar a entender e prever as relações entre estressores e efeitos. O uso da avaliação de risco à saúde humana como ferramenta no processo de tomada de decisão ambiental tornou-se muito importante nas últimas duas décadas, pois permite uma melhor distribuição dos recursos destinados à remediação (USEPA, 1998).

Em 1998 foi publicado pela EPA o "Guidelines for Ecological Risk Assessment, que descreve de maneira clara o processo da Avaliação de Risco Ecológico (ARE): formulação do problema, fase de análise, caracterização do risco. Na condução da avaliação de risco ecológico, esse guia tornou-se um documento chave para muitos gerenciadores de risco e para trabalhos acadêmicos. A partir desta publicação, despertou-se a necessidade da realização deste processo não só para o ser humano mas para os demais seres vivos, devido principalmente ao fato de os efeitos dos contaminantes para o ser humano serem diferentes daqueles apresentados para a flora e fauna.

No Brasil a avaliação de risco ecológico ainda não é utilizada como ferramenta para o cumprimento das leis ambientais ou como norteadora das tomadas de decisões de proteção ambiental, e sua metodologia ainda não está bem definida e amadurecida. Quando há a necessidade da aplicação da avaliação de risco, utiliza-se ou a metodologia estadunidense ou a metodologia holandesa. (PEDROSO et al., 2002). O Estado de São Paulo, por meio de seu órgão ambiental estadual, a CETESB, estabelece uma lista de valores orientadores para solos e águas subterrâneas. Esta lista é composta por valores de referência, alerta e intervenção. A partir deste ano, a CETESB implementou o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas no qual contempla um capítulo denominado "Avaliação de Risco à Saúde Humana". A metodologia utilizada pela CETESB é baseada na metodologia de avaliação de risco da EPA. (CETESB, 2001)

Atualmente, em países onde a avaliação de risco já é bastante utilizada, são realizados trabalhos para o desenvolvimento e refinamento de metodologias de avaliação de risco ecológico e para a sua reprodução regional como o objetivo de produzir literatura relevante e disponibilizar uma quantidade substancial de dados ecotoxicológicos que sustentem a análise de risco. Muitas aproximações são utilizadas na ARE, como a modelagem ecológica, testes toxicológicos, os biomarcadores e os bioindicadores. Todos ainda são pouco utilizados e estudados, mas são ótimas ferramentas para a condução da avaliação de risco. Para a realização de uma avaliação de risco ecológico mais realista e confiável, muitos ecologistas recomendam a integração entre o uso dos modelos ecológicos e a toxicologia com o objetivo de avaliar os riscos para populações ou para níveis ecológicos de organização maiores e alcançar maior relevância (PASTOROK, 2003).

O objetivo deste trabalho é aplicar uma metodologia simplificada de avaliação de risco ecológico para áreas impactadas por derramamento de petróleo e seus derivados, por meio de um estudo de caso, demonstrando a importância deste processo na preservação da integridade dos ecossistemas.

METODOLOGIA

A metodologia proposta para a avaliação de risco ecológico por contaminações de petróleo é baseada nos procedimentos utilizados pela EPA e pela NEPC (National Environment Protection

Council) da Nova Zelândia. Os elementos que compõe esta metodologia é uma adaptação daqueles utilizados pela NEPEC e são apresentados a seguir:

- ♦ **Identificação do Perigo:** A fase de identificação do perigo é realizada a partir da coleção de dados sobre análises de amostras dos compartimentos ambientais para determinar a natureza e extensão da contaminação na área de estudo, dados sobre o contaminante e uma consideração preliminar do perigo associado a cada composto. (NEPEC, 1999a)
- ♦ **Análise da exposição:** Nesta fase ocorre a identificação dos organismos expostos ao contaminante, a identificação da rota de exposição completa e a estimativa da concentração a ser experimentada pelos receptores.
- ♦ **Análise da Toxicidade:** Envolve uma análise de possíveis efeitos adversos que podem estar associados com a exposição ao contaminante, e o nível de exposição associado com o início dos efeitos adversos apreciáveis. O nível de exposição em que os efeitos adversos apreciáveis pode ocorrer é caracterizado pelo uso de fatores dose-resposta.
- ♦ **Caracterização do Risco:** Os resultados obtidos nas outras etapas são combinados para estimar o risco.
- ♦ **Monitoramento:** Van Leeuwn e Hermens (1995) acrescentaram à metodologia de ARE o monitoramento. O monitoramento é uma observação repetitiva para objetivos definidos de um ou mais compostos químicos ou de elementos biológicos. O monitoramento é importante tanto nos estágios iniciais da análise de risco, para identificar anormalidades no ambiente, como também num estágio pós-ARE para acompanhar os níveis de químicos ou acompanhar os seres vivos ao longo do tempo.

A avaliação de risco ecológico apresentada neste trabalho foi realizada para a Estação Intermediária de Guaratuba situada no município de Bertioga, litoral norte do estado de São Paulo. Esta estação tem como função receber e enviar, por meio de oleodutos, petróleo bruto para outras estações operacionais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Identificação do perigo

É a primeira etapa da avaliação de risco ecológico e consiste na coleção de dados sobre o contaminante e a área contaminada por meio de amostras e análises dos diversos compartimentos ambientais e da literatura existente para estabelecer a natureza, extensão e o grau de contaminação. (NEPC, 1999b). Informações obtidas pela administração da Estação Intermediária de Guaratuba indicaram um histórico de vazamento na área. Esse histórico mostra a ocorrência de quatro

vazamentos de petróleo em dez anos. Esses acidentes podem justificar as concentrações de hidrocarbonetos de petróleo encontradas nas análises realizadas.

Determinação dos estressores

Um estressor é um agente químico, físico ou biológico capaz de causar efeitos adversos nos organismos em nível individual, populacional ou em outros níveis de organização ecológica. (USEPA, 1998)

De todos os componentes dos hidrocarbonetos de petróleo, a presença dos compostos aromáticos talvez seja a mais importante em termos de mobilidade nos sistemas de água subterrânea e de impacto ambiental. (CHAPELLE, 1993). Portanto, neste estudo de caso foram selecionados dois grupos de compostos aromáticos, os BTEX e os HPAs. Devido a dificuldade de obtenção de dados completos sobre a ecotoxicologia de todos os compostos, e a complexidade de análises de misturas de compostos, selecionou-se dentre estes grupos, dois compostos que representam o comportamento e toxicidade do petróleo. Dentre os BTEX, o composto selecionado como estressor foi o benzeno e para os HPAs, o benzo(a)pireno. A escolha destes compostos como estressores foi devido ao seu já conhecido comportamento no ambiente e aos diversos estudos que comprovaram a toxicidade destes compostos para os ser humano e para outros organismos.

Propriedades físico-químicas e comportamento no ambiente

A análise das propriedades físico-químicas tem um importante papel na regulação da distribuição, da separação, do destino e dos efeitos dos hidrocarbonetos de petróleo no meio ambiente (BACCI, 1994). As propriedades físico-químicas que devem ser levadas em consideração para a realização da avaliação de risco ecológico são: solubilidade, volatilidade, K_{OW} , K_{OC} , peso molecular e ponto de ebulição. O movimento dos compostos do petróleo no meio ambiente é realizado por meio de vários processos como a volatilização, hidrólise, fotólise, biodegradação, biotransformação, degradação física e dissolução. (PEDROSO et al., 2002). Num relatório completo de análise de risco ecológico, todos os dados referentes às propriedades físico-químicas e ao transporte do contaminante no meio ambiente devem estar presentes.

O benzeno é relativamente solúvel em água, e não é esperada sua adsorção no sedimento ou em compostos sólidos suspensos. Ele pode ser biodegradados tanto em condições aeróbias quanto anaeróbias. O tempo de meia vida para o benzeno na água subterrânea foi calculado como aproximadamente 800 dias (HSBD, 2003a). O benzo(a)pireno, ao contrário do benzeno, é um composto pouco volátil. Quando presente no solo, apresenta baixa ou nenhuma mobilidade. Quando presente na água, é pouco solúvel e adsorve aos sólidos suspensos e ao sedimento na coluna d'água. Os fatores de bioconcentração do benzo(a)pireno podem variar de baixos a muito altos. O processo

de biodegradação é uma via para a transformação do benzo(a)pireno, porém poucos gêneros de microrganismos foram identificados como degradadores deste composto. Estudos mostraram que o tempo de meia vida para a mineralização do benzo(a)pireno por meio da biodegradação variou entre 200 e 300 semanas. (HSBD, 2003b)

Caracterização da área de estudo e do entorno

A Estação Intermediária de Guaratuba está inserida num loteamento residencial, próxima (1 Km) a margem esquerda do Rio Itaguaré e a um pequeno córrego que deságua numa região de mangue. Ainda que introduzida numa área residencial, o entorno da área da Estação é caracterizado pela presença da Mata Atlântica, que tem como formação predominante a Floresta Ombrófila Densa, além de ecossistemas associados, como os manguezais e restingas que se mantêm próximas ao mar.

O clima de Bertioga é caracterizado como tropical chuvoso, com verões quentes e úmidos. A temperatura média anual é superior a 20°C. O índice pluviométrico, devido a proximidade do município à Serra do Mar, é muito alto, apresentando precipitações que variam de 2.500 a 4.500 milímetros anuais. A umidade relativa do ar também é alta, apresentando valor médio anual de 80%.

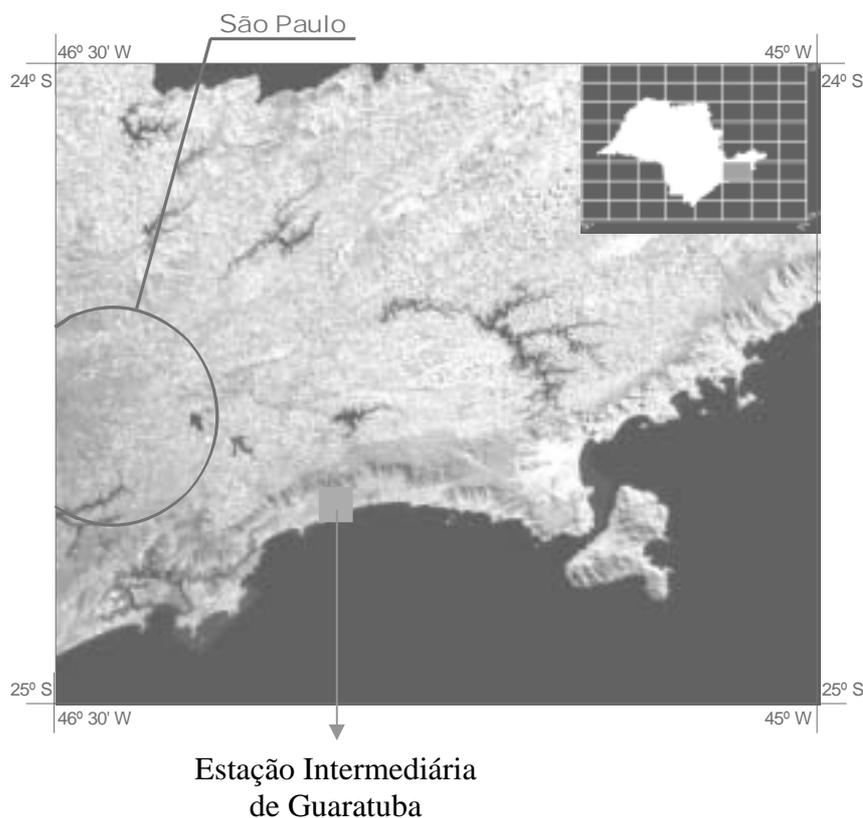


Figura 1 - Localização da Estação Intermediária de Guaratuba.

Geologia da área e geoquímica do solo

A geologia da área estudada foi caracterizada pela superposição de uma cobertura inconsolidada de sedimentos marinhos e flúvio-coluvionares sobre o embasamento rochoso, composto por granitos e/ou granito/gnaisses. A granulometria do local variou de areia a argila. O nível freático é raso variando de 0,93 a 1,62. O estudo geoquímico permitiu a determinação das concentrações dos compostos orgânicos e inorgânicos presentes na área da Estação Intermediária de Guaratuba.

Caracterização hidrogeológica, hidroquímica e fonte de contaminação

A caracterização hidrogeológica consistiu na determinação do mapa potenciométrico, da porosidade efetiva, da condutividade hidráulica, da velocidade intersticial e das principais direções do fluxo da água subterrânea. Para este estudo de caso, foram instalados 15 poços de monitoramento na área de estudo. O aquífero apresentou porosidade efetiva de 20%, a condutividade hidráulica variou de 10^{-3} a 10^{-1} cm/s e a velocidade intersticial variou entre 92 e 864 m/ano. A análise hidroquímica permitiu a determinação das concentrações dos compostos orgânicos e inorgânicos presentes na água subterrânea da área da Estação. Devido às baixas concentrações encontradas nos poços de monitoramento tanto no solo como na água subterrânea, foi considerado como fonte de contaminação o poço onde a concentração dos compostos de interesse foi maior. A máxima concentração de benzo(a)pireno utilizada na caracterização do risco foi de 0,04 mg/l. No caso do benzeno, não houve sua detecção talvez por sua transformação já ter ocorrido, pois o derramamento ocorreu há alguns anos. Mas este composto será utilizado neste estudo para uma melhor representação da avaliação de risco ecológico.

Toxicidade geral

O benzeno e o benzo(a)pireno são compostos representativos do petróleo e ambos são conhecidos por sua ação tóxica, mutagênica e carcinogênica. Os efeitos adversos do benzeno em humanos e outros mamíferos são depressão do sistema nervoso central, supressão do sistema imune, lesões degenerativas de gônadas, retardo do crescimento fetal, dano ao material genético, leucemia e outros tumores. (INERIS, 2004). O benzo(a)pireno é considerado o composto mais carcinogênico dentre os HPAs. Em alguns estudos de toxicidade em ratos, o benzo(a)pireno mostrou-se embriotóxico, teratogênico e causou diminuição na fertilidade (CHEMINFO, 2004).

Análise da exposição

Identificação dos receptores e das espécies-alvo de análise

O atributo a ser preservado nesta avaliação de risco ecológico é a integridade do manguezal localizado próximo à Estação Intermediária de Guaratuba que recebe as águas provenientes do

canal de drenagem e da água subterrânea contendo componentes do petróleo. Para avaliar a integridade do ecossistema manguezal, algumas espécies-alvo foram determinadas. As espécies-alvo de análise identificam uma entidade, um atributo mensurável da entidade, e a extensão espacial e temporal em consideração. Deve levar em consideração (1) a relevância ecológica, (2) suscetibilidade ao estressor, e (3) relevância às metas de gerenciamento ambiental. (USEPA, 1998). Para este estudo, foram considerados as seguintes espécies-alvo:

Dentro da área de estudo: - toxicidade dos compostos de interesse à população microbiana no aquífero.

Fora da área de estudo: - toxicidade dos compostos de interesse à população de caranguejos (*Ucides cordatus* – caranguejo uçá).

- toxicidade dos compostos de interesse à população de moluscos bivalves *Mytella falcata* (sururu).
- toxicidade dos compostos de interesse à população de *Laguncularia racemosa* (mangue branco).

A população microbiana no aquífero foi determinada como espécie-alvo devido à sua função central nos ciclos biogeoquímicos e à sua influência em propriedades como hidrologia, aeração, composição gasosa, ao seu indispensável papel na decomposição de matéria orgânica e ao seu considerável desempenho na remediação de áreas impactadas com contaminantes orgânicos. A população vegetal de *Laguncularia racemosa* foi determinada como espécie-alvo dada sua função como produtor primário, primeiro elo na cadeia alimentar, fonte de alimento e produtor de oxigênio e fixador de CO₂. Os manguezais exercem funções importantes como a preservação da linha de costa, retenção de sedimentos e produção de alimento, filtro biológico, berçário e crescimento das fases larvares e juvenis de recursos pesqueiros (NOVELLI, 1999). Devido a sua importância na conservação e manutenção de muitas espécies costeiras, algumas espécies da fauna do manguezal foram escolhidas como espécies-alvo para esta avaliação de risco ecológico.

Determinação das rotas de exposição

O Benzeno por apresentar maior solubilidade e maior pressão de vapor, quando liberado na água apresenta maior mobilidade. O Benzo(a)pireno apresenta baixo valor de solubilidade e pressão de vapor, e portanto, menor mobilidade que o benzeno. Dada estas características, o benzeno pode particionar-se mais facilmente que o benzo(a)pireno e alcançar mais facilmente um receptor.

A rota de exposição caracterizada para a área da Estação Intermediária de Guaratuba refere-se a população microbiana da água subterrânea como receptores dentro da área contaminada e aos

receptores fora da área de estudo: a comunidade do manguezal, que entra em contato com a água contaminada por meio de um córrego localizado à fronteira noroeste da Estação onde aflora a água subterrânea. Como não foi observada nenhuma presença de contaminantes na área externa ao terminal, estas rotas estão sendo consideradas apenas para o caso de eventuais futuras contaminações. Os microorganismos entram em contato com o contaminante por meio de interações com o mesmo dentro do aquífero que podem resultar na degradação desta substância bem como na sua ação tóxica ao microorganismo em nível individual e populacional. A rota de exposição para as espécies-alvo do manguezal poderia se dar por meio de ingestão da água contaminada, ingestão de alimentos e sedimentos contaminados e contato direto com sedimento ou água contaminada e captação da água contaminada através das raízes dos mangues.

ANÁLISE DE TOXICIDADE

Na Avaliação de risco ecológico, a predição de efeitos ecotoxicológicos de um contaminante com confiança é difícil, por algumas razões: geralmente há contaminação por uma mistura de compostos ou pode haver a interação de um químico com outros já presentes no ambiente. Geralmente, é difícil determinar a exposição com qualquer grau de precisão devido a distribuição não uniforme do composto no ambiente. As relações entre exposição e quantidade do composto no organismo, e os efeitos no organismo são complexas. Diferentes espécies e diferentes indivíduos dentro de uma espécie podem reagir de forma diferente a mesma exposição, por razões ambientais e genéticas. As conseqüências das interações entre indivíduos dentro de uma população, e entre espécies dentro de uma comunidade, também são complexas e pouco estudadas. (OOST et al, 2003)

A análise de risco clássica depende da descrição dos efeitos toxicológicos e expressões de toxicidade de um composto em termos quantificáveis (LD₅₀, EC₅₀, LOEL, LOEC, NOEL, NOEC). A relevância da determinação de concentrações letais de um composto em espécies "substitutas" para avaliar os possíveis efeitos ecológicos é questionável. A maior preocupação na ecotoxicologia é a frequência e extensão da contaminação às quais as espécies podem sobreviver. Esses efeitos subletais, especialmente no potencial reprodutivo, apresentam significado ecológico muito maior que a letalidade. Assim, os níveis de efeito não observados (NOELs) são mais relevantes que o LD₅₀ ou LC₅₀ para a análise dos danos ambientais (OOST et al. 2003).

Para a realização da análise de toxicidade, devem ser analisados todos os dados disponíveis ou por meio de bioensaios ou por meio da literatura existente. Alguns exemplos destes dados são: concentrações a serem experimentadas pelos receptores, dados de sobrevivência, reprodução, embriotoxicidade, genotoxicidade, dados de biomarcadores e bioindicadores e caracterização dos efeitos ecológicos (BATES, 2000).

Tanto para o benzeno quanto para o benzo(a)pireno os dados ecotoxicológicos foram obtidos através da literatura disponível. Para a realização de uma avaliação de risco ecológico dá-se prioridade para geração de dados de efeitos ecotoxicológicos por meio de bioensaios. Quando estes são insuficientes ou inexistentes, utiliza-se os valores de efeito de outra espécie, chamada de espécie substituta (USEPA, 1998). A espécie substituta escolhida para a realização da análise de toxicidade dos dois compostos para todas as espécies-alvo selecionadas foi a *Ceriodaphnia dubia* (crustáceo). O critério de efeito crônico do benzeno foi o NOEC (No-observable-effect concentration) e a concentração de efeito é 3 mg/l. O critério de efeito crônico do benzo(a)pireno é o EC10 (Median Effective Concentration), e a concentração de efeito é 0,5 ug/l.

CARACTERIZAÇÃO DO RISCO

A caracterização do risco combina todas as informações disponíveis sobre a exposição dos receptores aos compostos químicos com as informações a respeito da toxicidade e efeitos causados pelos químicos. Para a realização da caracterização do risco na avaliação de risco ecológico (ARE) deve-se atentar a todos os dados disponíveis sobre as análises dos químicos de interesse, os testes de toxicidade, os estudos de sobrevivência biológica e os biomarcadores para avaliar a probabilidade da ocorrência de efeitos adversos às espécies-alvo determinadas (SUTER, 1996). A caracterização de risco pode utilizar dados de testes de toxicidade, resultados obtidos por meio de modelos de simulação de exposição e risco e resultados das medidas de biomarcadores ou de bioindicadores. A integração da exposição de um único dado de toxicidade pode ser expresso como quociente de risco, que é a concentração de exposição no ambiente (CEA) dividido pela concentração tóxica efetiva (CTE):

$$QR = CEA/CTE$$

Quando o QR é maior que um, significa que há ocorrência de risco para espécies-alvo determinadas.

A utilização de modelos ecológicos na avaliação de risco químico ainda é muito limitada. A principal razão é aparentemente devido a falta de conhecimento sobre seu uso por parte dos avaliadores de risco. Porém, a simulação da exposição e do risco pode contribuir para a análise de risco, aumentando muito o valor dos resultados da avaliação para a tomada de decisão pelo fornecimento de estimativas de risco para espécies-alvo relevantes. Os biomarcadores são medidas bioquímicas ou fisiológicas que identificam a exposição a um contaminante. O aumento de parâmetros bioquímicos ou fisiológicos pode ser utilizado como dado para a caracterização do risco. Porém, deve-se relacionar estes dados com possíveis efeitos para o crescimento, fecundidade ou mortalidade e estimar o risco para a população, comunidade ou ecossistema. (SUTTER, 1996).

Neste estudo de caso, utilizando o quociente de risco, o risco de efeitos ecológicos tanto para o benzeno quanto para o benzo(a)pireno foi considerado muito baixo. Apesar do risco ter sido determinado como muito baixo, algumas incertezas deste processo de avaliação de risco devem ser consideradas. As principais fontes de incertezas determinadas foram:

- a falta de dados em qualquer fase da avaliação de risco pode levar a erros nos resultados,
- a extrapolação de dados de toxicidade interespecies pode levar a uma subestimação do risco ecológico real, devido às diferentes formas de resposta ao contaminante para diferentes espécies.
- a extrapolação dos dados do laboratório para o campo podem resultar na sub ou superestimação do risco ecológico. As condições controladas do laboratório não reproduzem as condições ambientais reais.
- a falta de dados a respeito da contaminação da drenagem que chega ao manguezal pode mascarar a real concentração experimentada pelas espécies do manguezal.

Para reduzir os efeitos destas incertezas na caracterização do risco, foram tomadas, sempre que possível, atitudes conservadoras na tentativa de compensar essas incertezas e promover maior proteção aos organismos receptores.

MONITORAMENTO

É o último passo da ARE, e pode servir para inúmeras propostas: **função de controle** – verificar a efetividade de redução do risco ou assegurar que padrões sejam alcançados, **sinal ou a função de alarme** - para detectar de repente mudanças adversas no ambiente, **função de previsão** - para permitir a predição de desenvolvimento futuro e **função instrumental** - para o reconhecimento e clarificação dos processos fundamentais (OOST et al. 2003). Há alguns métodos de monitoramento ambiental que podem ser executados para analisar riscos de contaminantes para organismos e para classificar a qualidade ambiental de ecossistemas:

- monitoramento químico: análise de exposição através dos níveis de contaminantes selecionados nos compartimentos ambientais abióticos.
- monitoramento de bioacumulação: análise de exposição através dos níveis de contaminantes na biota.
- monitoramento de efeitos biológicos: análise de exposição e efeito pela determinação antecipada de alterações adversas que são reversíveis parcial ou totalmente (biomarcadores).
- monitoramento de saúde: análise de efeito pelo exame da ocorrência de doenças irreversíveis ou danos nos tecidos dos organismos.

- monitoramento do ecossistema: a análise da integridade de um ecossistema pelo inventário, composição das espécies, densidade e diversidade.

CONCLUSÃO

Para esta avaliação de risco ecológico, utilizou-se como espécies-alvo a população microbiana da água subterrânea na área da Estação Intermediária de Guaratuba e a comunidade do manguezal localizado próximo à Estação. A escolha daquelas espécies como espécies-alvo foi devido à sua importante função econômica e ecológica. Devido a ausência de dados ecotoxicológicos para as espécies-alvo escolhidas, selecionou-se os dados de efeitos de uma espécie substituta de crustáceo, a *Ceriodaphnia dubia*. Portanto, a produção de dados ecotoxicológicos relevantes é importante para diminuir as incertezas geradas pela extrapolação tanto de dados de efeitos agudos para crônicos como de intraespécies para interespecies.

A avaliação de risco ecológico é uma excelente ferramenta para a recuperação de áreas já contaminadas, porém ela também é essencial em áreas que possam ser potencialmente contaminadas. A elaboração da avaliação de risco ecológico anterior à contaminação ajuda na tomada de decisões de gerenciamento de maneira mais rápida e eficiente. Deve-se incentivar a realização da avaliação de risco ecológico, isolada ou integrada à avaliação de risco à saúde humana com o objetivo de manter a integridade de ecossistemas afetados por contaminações por petróleo e seus derivados ou outros compostos químicos. Esta integração é um instrumento importante para o gerenciamento de risco, possibilitando uma visão mais abrangente do destino e do efeito do contaminante, e uma escolha mais eficaz do processo de remediação contemplando não só a proteção à saúde humana mas à todos os organismos presentes no ecossistema que contribuem para o equilíbrio do meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BACCI, E. Ecotoxicology of Organic Contaminants. Florida: Boca Raton. 1994.
- [2] BATES, M. et al. Determination of the Ecological Risk Associated with a Groundwater Plume of MTBE at Port Hueneme, CA. University of California. 2000. Disponível em: <http://www.bren.ucsb.edu/research/2000Group_Projects/Mtbe2000/MTBE2000_final.pdf>
Acesso em: 15 mai 2004.
- [3] CETESB. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas. 2.ed. São Paulo : CETESB, 2001.
- [4] CHAPELLE, F. H. Ground-water Microbiology and Geochemistry. New York: John Wiley & Sons, 1993.

- [5] CHEMINFO Chemical Profiles. Canadian Centre for Occupational Health and Safety. Disponível em: <<http://www.intox.org/databank/documents/chemical/benzopyr/cie698.htm>>. Acesso em: 20 mai 2004.
- [6] HSBD. Benzene. U.S. National Library of Medicine. Bethesda. 2003. Disponível em: <<http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/f?./temp/~Km4YVu:1>>. Acesso em: 11 mai 2004.
- [7] HSBD. Benzo(a)pyrene. U.S. National Library of Medicine. Bethesda. 2003. Disponível em: <<http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/f?./temp/~SjsB66:1>>. Acesso em: 11 mai 2004.
- [8] INERIS. Institut National De L'environnement Industriel et des Risques. **Benzene**. 2004. Disponível em: <<http://www.ineris.fr/recherches/download/benzene.pdf>> Acesso em: 12 abril 2004.
- [9] NEPC National Environment Protection Council. Guideline on Ecological Risk Assessment. Schedule B (5) 1999. Adelaide.
- [10] NEPEC. National Environment Protection Council. Users' Guide: Guidelines for Assessing and Managing Petroleum Hydrocarbon Contaminated Sites in New Zealand. Adelaide, 1999.
- [11] NOVELLI, Y. S. Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da zona costeira e marinha. Grupo de Ecossistemas: Manguezal, Marisma e Apicum – PROBIO – BDT Bases de Dados Tropical. 1999.
- [12] OOST, R. et. al. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 13 (2003) 57_ 149.
- [13] PASTOROK, R. A. Introduction: Improving Chemical Risk Assessments through Ecological Modeling Human and Ecological Risk Assessment: Vol. 9, No. 4, pp. 885-888. 2003.
- [14] PEDROSO, M. F. M. et al. Ecotoxicologia e avaliação de risco do petróleo. Salvador: Centro de Recursos Ambientais, 2002. Cadernos de referência ambiental. Vol. 12.
- [15] SUTER II, G. W. Framework for Assessing Ecological Risks of Petroleum-Derived Materials in Soil. Environmental Sciences Division. ORNL/TM-13408. Oak Ridge National Laboratory, Tennessee. 1997.
- [16] SUTER II, G. W. Risk Characterization for Ecological Risk Assessment of Contaminated Sites. ES/ER/TM-200. Oak Ridge National Laboratory, Tennessee. 1996.
- [17] USEPA. Guidelines for Ecological Risk Assessment. EPA/630/R-95/002F. Washington, DC, 1998 Disponível em: < [http://www.uwyo.edu/enr/RiskAnalysis/Guidelines%20for%20Ecological %20 Risk%20Assessment%20-%20EPA-630-R-95-002F.pdf](http://www.uwyo.edu/enr/RiskAnalysis/Guidelines%20for%20Ecological%20Risk%20Assessment%20-%20EPA-630-R-95-002F.pdf)> Acesso em: 08 mar 2004.
- [18] USEPA. National Center for Environmental Assessment. Ecological Risk Assessment. 2002. Disponível em: <<http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/ecologic.cfm>> Acesso em: 02 mai 2004.