



Limpeza de ambientes costeiros brasileiros contaminados por petróleo: uma revisão

CAMILA CANTAGALLO¹; JOÃO CARLOS C. MILANELLI² & DIMAS DIAS-BRITO¹

¹Departamento de Geologia Aplicada, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro, Avenida 24-A, 1515, CEP: 13506-900, Rio Claro, São Paulo - camilacd@rc.unesp.br, dimasdb@rc.unesp.br.

² Professor colaborador do Programa de Formação de Recursos Humanos PRH-05, Departamento de Geologia Aplicada, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro - jmilanelli@uol.com.br.

Abstract. Oil spill cleanup on Brazilian coastal environments: a review. Oil spills occur as a result of oil exploitation, transport, distribution and storage, and may damage the environment and affect the society. A continuous worldwide effort has been made to improve the response instruments to such events in both scientific-technical and legal dimensions. When the oil reaches the coastline and contaminates the different ecosystems, the environmental damages become significant. There are many different approaches to clean the environment up, and choosing the appropriate technique is crucial to minimize the ecological damages, despite the procedures currently in use have been defined mainly based on social and economical demands and aesthetical aspects. This paper summarizes and analyses the information regarding to the techniques employed on the cleaning of the main Brazilian coastal ecosystems (mangroves, salt marshes, beaches, rocky shores, coral reefs, coastal ponds, restingas and dunes). Based on bibliographical revision and on the analysis of real national and international cases, we propose better-adapted methods to clean up each environment, aiming to contribute to the environmental organizations in the decision-making process for oil spills sceneries.

Key words: Oil spills; Brazilian coastal ecosystems; pollution; clean up methods.

Resumo. Vazamentos de óleo, provenientes das atividades de exploração, transporte, distribuição e armazenamento, geram danos ao ambiente e afetam a sociedade. Busca-se, nas dimensões técnico-científica e jurídica, aprimorar de forma contínua os instrumentos de resposta a tais episódios. Quando o óleo atinge a linha de costa contaminando diferentes ecossistemas, os prejuízos tendem a ser consideráveis. Existem muitas maneiras de se fazer a limpeza do meio e a escolha adequada da(s) técnica(s) a ser(em) utilizada(s) é crucial para a minimização dos danos ecológicos, muito embora os procedimentos em uso têm sido definidos, principalmente, pela demanda sócio-econômica e os aspectos estéticos. Este trabalho sintetiza e analisa as informações referentes às formas e técnicas empregadas na limpeza dos principais ecossistemas da costa brasileira (manguezais, marismas, praias, costões rochosos, recifes de coral, lagoas costeiras, restingas e dunas). A partir de revisão bibliográfica e de estudos de casos reais nacionais e internacionais, propõe-se métodos julgados mais adequados para a limpeza de cada ambiente, com o intuito de contribuir com os órgãos ambientais nas tomadas de decisão em cenários de vazamentos de óleo.

Palavras Chave: Vazamentos de óleo; ecossistemas costeiros brasileiros; poluição; procedimentos de limpeza.

Introdução

De acordo com a base de dados da International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF), estima-se que, de 1970 a 2005, cerca de 5.700.000 toneladas de óleo foram lançadas ao mar. O número de acidentes e o volume de óleo derramado têm diminuído progressivamente ao

longo dos últimos quarenta e cinco anos (ITOPF, 2006). Constata-se a mesma tendência em relação à costa paulista (Cadastro de Acidentes Ambientais, CADAC, CETESB, 2005). A redução de acidentes está associada a um maior controle e cuidado nas operações envolvendo a exploração, transporte e armazenamento de petróleo, o que reflete um

aumento no nível da responsabilidade ambiental, induzido por uma cobrança cada vez mais acentuada pela sociedade. Todavia, permanece o risco de que ocorram vazamentos – acontecimentos recorrentes – com contaminação dos ecossistemas costeiros. É imprescindível a necessidade de contínuo aprimoramento nos instrumentos de resposta a vazamentos de óleo, nas dimensões jurídica e técnico-científica.

No Brasil, entre as leis que obrigam às empresas a estarem preparadas para acidentes estão a Resolução CONAMA nº. 293/01 (Brasil, 2001), a Lei nº. 9.966/00 (conhecida como “lei do óleo”, de 28 de abril de 2000) e o Decreto no 4.871/03, de 6 de Novembro de 2003 (Brasil 2000, 2003). Neste âmbito, inserem-se as Cartas de Sensibilidade Ambiental a Vazamentos de Óleo (cartas SAO), definidas pelo governo federal, que são parte integrante dos Planos Individuais de Emergência e Planos de Área e constituem um elemento fundamental para o balizamento de ações de resposta a vazamentos de óleo, uma vez que ajudam a delinear, antecipadamente, as estratégias de contenção, remoção e limpeza recomendadas para cada ambiente (Brasil 2004).

Existem muitas formas de limpar o ambiente contaminado por óleo, e a escolha da técnica mais adequada é crucial para a minimização dos impactos ambientais decorrentes. Paradoxalmente, os procedimentos de limpeza empregados têm sido definidos levando-se em conta, principalmente, a demanda sócio-econômica e aspectos estéticos; aspectos ecológicos muitas vezes são colocados em segundo plano, o que termina por gerar impactos adicionais e muitas vezes mais sérios do que os do próprio derrame de petróleo (Michel *et al.* 1992, IPIECA 2000, CETESB 2002, ITOPF 2006). No Brasil, os métodos empregados freqüentemente têm priorizado a recuperação estética de ambientes afetados, com a utilização de procedimentos danosos à comunidade biológica (Milanelli *et al.* 2001).

Com base nesta realidade, o presente trabalho buscou compilar informações sobre as formas de limpeza dos principais ecossistemas costeiros do Brasil (manguezais, marismas, praias, costões rochosos, recifes de coral, lagoas costeiras, restingas e dunas) e por meio de investigação, revisão bibliográfica e estudos de casos reais nacionais e internacionais, propor métodos ambientalmente adequados para cada ambiente, com o intuito de contribuir com os órgãos ambientais nas tomadas de decisão em cenários de vazamentos de óleo.

Métodos de Limpeza

Para a redução ou minimização dos danos ambientais causados pelos derramamentos de óleo, diversos métodos de limpeza são utilizados internacionalmente. A opção pelo método a ser empregado vincula-se fortemente ao tipo de ecossistema impactado, levando-se em conta suas características e sensibilidade. Envolve também o tipo de óleo derramado e fatores técnicos, tais como acesso e tipo de equipamento passível de ser utilizado, além do custo da operação (Milanelli 1994). Frisa-se que uma má escolha do método de limpeza pode maximizar os danos ambientais. Qualquer método de limpeza deve ser aplicado após o óleo ter sido, pelo menos em grande parte, retirado das águas próximas aos locais atingidos. De outra forma, ambientes recém limpos podem vir a ser novamente contaminados, implicando na necessidade de re-limpeza e acarretando mais danos à comunidade já perturbada pelo óleo e operações antrópicas (CETESB 2002).

As opções mais freqüentemente utilizadas na limpeza dos ambientes costeiros são: limpeza natural, remoção manual, uso de materiais absorventes, bombeamento a vácuo, “*skimmers*” (equipamento desenvolvido para remover o óleo da superfície da água, utilizando discos giratórios e cordas absorventes), jateamento com água a diferentes pressões, jateamento com areia, corte de vegetação, queima *in situ*, trincheiras, remoção de sedimentos, biorremediação e produtos dispersantes.

Limpeza de Manguezais

Entre os ecossistemas costeiros, o manguezal é classificado como dos mais sensíveis e vulneráveis a vazamentos de óleo. O óleo pode persistir neste ecossistema por anos e, neste caso, as técnicas que permitam limpar ou remover o petróleo são limitadas (Gundlach & Hayes 1978).

Nas áreas onde o acesso é possível, o American Petroleum Institute (API, 1985) recomenda o uso de jateamento a baixa pressão, seguido de recuperação do óleo com o auxílio de barreiras, *skimmers* ou esteiras recolhedoras de óleo. Segundo o instituto, essa atividade deve ser realizada com auxílio de barcos, usando-se água do mar à temperatura ambiente. Também recomenda, no jateamento, misturar dispersante com água, o que favorece a remoção.

O jateamento a baixa pressão com água do mar pode ser eficiente para remover grandes quantidades de óleo da vegetação quando a cobertura vegetal é relativamente estável e contínua.

Entretanto, pode trazer desvantagens, tais como o pisoteio do substrato necessário para o manuseio do equipamento, a contaminação de áreas adjacentes pelo óleo jateado que não for recolhido, a maior penetração do óleo no sedimento, além de não remover o óleo totalmente (CETESB 2002). Além disso, pode causar remoção de plântulas e produzir mais impactos na flora e fauna associada. Já o jateamento a alta pressão pode causar erosão, além de maximizar os danos ao ecossistema (CETESB 2002).

A decisão pelo uso de dispersantes é muito difícil. Vários dispersantes testados nas mesmas condições (tempo de exposição e concentração) podem apresentar efeitos muitas vezes mais tóxicos às espécies de mangue do que apenas a presença de óleo. Em um evento onde foi aplicado dispersante no manguezal depois que o óleo alcançou as raízes, a vegetação acabou morrendo de qualquer modo. Isto mostra que a sua aplicação deve ser realizada antes que o óleo alcance esse ecossistema, desde que atendidas todas as exigências legais, ambientais e com a concordância dos órgãos ambientais (CETESB 2002). Além disso, existem casos em que a aplicação do dispersante não alterou o efeito do óleo e, em outros, reduziu consideravelmente o seu efeito (CETESB 2002). Há, de qualquer forma, a necessidade de se realizar experimentos para testar a toxicidade e eficiência dos diferentes dispersantes disponíveis no Brasil quando misturados com os vários tipos de óleo que são transportados na nossa costa. No entanto, no Brasil, não é permitido o uso de dispersantes em ambientes costeiros abrigados e sensíveis, como é o caso dos manguezais (Brasil, 2000).

Quanto ao uso de bombeamento a vácuo, o uso de esteiras recolhedoras, *skimmers* e recolhimento manual, tais ações são recomendadas somente em áreas adjacentes ao manguezal, pois podem causar danos mecânicos, remoção de organismos e revolvimento do substrato (NOAA 2000, CETESB 2002).

A aplicação de absorventes requer algumas ponderações importantes: a) os absorventes devem ser totalmente recuperáveis; b) o grupo de limpeza deve ser treinado para o uso desse material (do contrário corre-se o risco de haver misturado à camada superficial de sedimento no decorrer da recuperação); c) absorventes podem ser utilizados nos canais hídricos que cortam o manguezal, não sendo sua aplicação recomendada para o interior do bosque em razão do efeito do pisoteio e posterior dificuldade de recolhimento do absorvente utilizado (CETESB 2002).

A técnica de biorremediação é ainda pouco estudada com relação a manguezais impactados por óleo, apresentando algumas limitações. É, todavia, uma técnica em potencial para tratamentos de longo prazo. Como a biorremediação é feita com a adição de fertilizantes (bioestimulação) e a adição de microrganismos (bioadição), não é recomendada para manguezais eutrofizados, pois, na maioria das vezes os nutrientes não são limitantes (Michel 2000). Além disso, é muito provável que já exista uma comunidade de bactérias degradadoras de hidrocarbonetos (Burns *et al.* 1999, Michel 2000). As condições limitantes para a biorremediação em manguezais são: baixos níveis de oxigênio molecular, eventual baixa concentração de nutrientes e competição (Burns *et al.* 1999).

Segundo Getter *et al.* (1984), as raízes dos mangues e pneumatóforos se mostraram especialmente vulneráveis ao pisoteio, bem como as plântulas de mangues; a quebra de estruturas das plantas resulta em estresse e alterações no crescimento. Outro aspecto importante é que o óleo pode atingir as camadas mais profundas em função do tráfego de pessoas. O óleo residual ao penetrar nos sedimentos anaeróbios pode persistir por anos, afetando as raízes das plantas e animais que vivem entocados nas camadas mais inferiores (API 1985, Brasil 2004).

Considerando-se as vantagens e desvantagens dos diferentes métodos, pode-se concluir que para os manguezais a melhor opção é a limpeza natural. Deve-se evitar, totalmente, o pisoteio nas áreas de manguezal contaminadas (API 1985, Rodrigues 1997, Michel 2000, NOAA 2000, Brasil 2000, CETESB 2002, 2005). Recomenda-se o uso de esteiras recolhedoras e *skimmers* e bombeamento a vácuo para retirar o óleo das águas próximas ao manguezal e de absorventes nas margens, com posterior recolhimento, como tentativa de diminuir a entrada de óleo no ecossistema.

Limpeza de Marismas

Marismas, como os manguezais, estão no nível mais alto da escala de sensibilidade e vulnerabilidade a derrames de óleo (Gundlach & Hayes 1978, Brasil 2004).

A persistência do dano e a recuperação do sistema também dependem de fatores como grau de intemperismo e grau de remoção ou retenção do óleo, época do ano, disponibilidade de sementes, processo sucessional, erosão/deposição e atividade de restauração pelo homem (IPIECA 1994, CETESB 2002).

Tal como os manguezais, as marismas são também altamente sensíveis ao pisoteio, que pode levar à redução da quantidade de tecido fotossintético, expondo o interior das plantas às frações tóxicas do óleo e/ou enterrando caules e folhas de plantas, reduzindo a sua produtividade. Segundo Getter *et al.* (1984), as folhas e caules de marismas suculentos como *Batis* sp. e *Salicornia* sp., mostraram-se especialmente vulneráveis ao pisoteio. A quebra de plantas resulta em estresse e alterações no crescimento e expõe o interior das plantas a frações tóxicas do óleo. Além disso, o pisoteio também pode acelerar os processos erosivos (CETESB 2002).

IPIECA (1994) e NOAA (2000) consideram que marismas sob leve contaminação de óleo devem ser deixadas sob recuperação natural, havendo a necessidade de se avaliar processos e as taxas de remoção natural. As acumulações de óleo devem ser removidas por bombeamento a vácuo, absorventes ou por lavagem a baixa pressão. Deve-se tomar cuidado para não contaminar outros locais com o óleo removido, para não danificar a vegetação e para não contribuir para a mistura de óleo no sedimento. Algumas instituições defendem que métodos de limpeza mais agressivos só devem ser considerados quando outros recursos biológicos (e.g., aves migratórias; espécies ameaçadas) estão correndo risco de contaminação pelo óleo impregnado na vegetação (IPIECA 1994).

Técnicas como jateamento trazem as seguintes desvantagens quando aplicadas às marismas: remoção incompleta do óleo; pisoteio das plantas e substrato; contaminação de áreas adjacentes pelo óleo removido pelo jateamento, caso este não seja recolhido; danos aos organismos associados. O jateamento a alta pressão, como é muito agressivo, pode causar erosão, modificações no substrato, prejuízo físico para as plantas e fazer com que o óleo penetre ainda mais no sedimento; portanto este não é, conseqüentemente, um procedimento recomendado (CETESB 2002).

O uso de absorventes também pode trazer alguns problemas se esses materiais não forem totalmente recuperados. O material que não for recolhido permanece no sedimento, consistindo numa fonte potencial de contaminação e um risco para os animais desse ecossistema. Pode também bloquear a luz que atingiria uma porção considerável das marismas e, conseqüentemente, reduzir a sua produtividade (IPIECA 1994). Além disso, o pisoteio envolvido no processo de recolhimento do material absorvente pode introduzir ainda mais o óleo no substrato (IPIECA 1994, CETESB 2002).

O bombeamento a vácuo, assim como o uso

de barreiras, esteiras recolhedoras e *skimmers* e o recolhimento manual são as ações mais indicadas nas áreas adjacentes às marismas, a fim de se evitar a entrada do óleo para o interior dos ecossistemas. No interior das marismas estes métodos podem causar danos mecânicos à vegetação, remoção de organismos vágeis e sésseis e revolvimento do sedimento (CETESB 2002).

Dispersantes químicos vêm sendo aplicados em marismas atingidas por derrames e em inúmeras situações de caráter experimental (Getter *et al.* 1984, CETESB 2002, 2005). Em muitos casos, eles têm causado danos adicionais aos provocados pelo óleo e, em alguns casos, podem aumentar a penetração do óleo no sedimento na zona entremarés. Em geral, o uso de dispersantes não é recomendado para marismas (Getter *et al.* 1984; CETESB 2002, 2005). No Brasil, não é permitido o uso de dispersantes em marismas e em outros ambientes costeiros abrigados (Brasil 2000).

O corte de plantas cobertas de óleo ao nível do sedimento é uma técnica de limpeza que acarreta destruição física direta dos tecidos das plantas. Isto reduz severamente a quantidade do tecido fotossintético, exceto para algumas espécies que perdem as folhas sazonalmente (IPIECA 1994, CETESB 2002). Além disso, através do corte, o interior da planta fica mais exposto às substâncias tóxicas do óleo. Para a execução desta técnica, é necessário um grupo grande de pessoas, o que acarreta em um grande pisoteio e seus danos conseqüentes (Getter *et al.* 1984).

Os resultados obtidos com o corte são influenciados por diferentes fatores, tais como o tipo de óleo, a sazonalidade, possibilidade de recontaminação, estresse ambiental, perturbações físicas no substrato, grau do corte, taxa de remoção natural e tipo de marisma (Zengel 1996). Para esse autor, o corte não deve ser feito quando as marismas forem contaminadas por óleos leves, ou quando a remoção natural for eficiente, ou quando a probabilidade de recontaminação for alta ou, ainda, no sentido de estimular a recuperação da vegetação; o corte somente deve ser considerado para áreas onde o óleo persistir e quando impactos mais sérios estiverem ameaçando a biota. A sazonalidade é o primeiro fator a ser analisado, devido ao fato de que algumas plantas encontram-se dormentes no outono e inverno; neste caso os impactos causados pelo corte são menores. A salinidade e as condições hidrológicas para a aplicação da técnica também devem ser consideradas: condições anormais de salinidade e pluviosidade podem, em associação com o corte, causar maiores danos à vegetação e retardar o processo de recuperação (Zengel 1996).

Caso decidir-se pela aplicação do corte, devem-se evitar, ao máximo, perturbações no substrato; as equipes de limpeza devem ser compostas por 2 ou 3 pessoas. O corte feito durante a maré alta diminui os danos causados pelo pisoteio. É enfaticamente recomendado que sejam deixadas porções de vegetação não cortadas para posterior monitoramento e comparações, visando perceber o andamento da recuperação da vegetação (Zengel 1996).

A queima e corte na limpeza de marismas só devem ser feitas se o ambiente estiver severamente impactado por óleo, já que podem causar total destruição da comunidade bentônica residente (Gundlach & Hayes 1978). A queima é, às vezes, um método efetivo de remoção de óleo e da vegetação de marismas contaminadas sem os danos do pisoteio. Marismas de *Spartina* sp. podem resistir à queima ocasional, pois, durante o inverno, a porção aérea da planta seca e rebrota mais tarde. Neste período, a queima pode ser efetuada sem prejuízo, com um estímulo ao seu rebrotamento. Contudo, em qualquer outra estação a queima não é recomendada (IPIECA 1994, Lindau 1999). É importante ressaltar que no Brasil não é permitida a queima de marismas ou qualquer vegetação nativa costeira (CETESB 2002).

A biorremediação em marismas ainda é uma técnica em estudo. Os resultados são bastante variáveis. Nos Estados Unidos, um experimento feito em marismas utilizando a bioestimulação demonstrou um aumento na degradação de alcanos e hidrocarbonetos poliaromáticos (Jackson *et al.* 1999). Contudo, outro experimento concluiu que alguns fertilizantes não causaram aumento na degradação do óleo (Wright *et al.* 1997). Estudos sobre a aplicação deste método em marismas são ainda necessários.

Conclui-se, portanto, que para áreas adjacentes a marismas os métodos de limpeza mais indicados são a limpeza natural, o bombeamento a vácuo, o recolhimento manual, o uso de absorventes com posterior recolhimento, o uso de esteiras e de *skimmers*. Para o interior de marismas são mais indicados a limpeza natural e o corte controlado. A utilização destas técnicas deve ser feita com muita cautela e com planejamento prévio para que sejam evitados danos pelo pisoteio e tráfego de pessoas e equipamentos.

Limpeza de Praias

A limpeza das praias após derrames de petróleo sempre foi uma atividade prioritária, já que tais elementos conectam-se às atividades de turismo e lazer. A preocupação com a limpeza tem sido motivada muito mais pela recuperação do aspecto

estético (significado econômico) do que pelas conseqüências ecológicas negativas causadas pelo derramamento de óleo; a equivocada escolha dos métodos de limpeza focados na recuperação estética da praia, muitas vezes impõe prejuízos à biota.

Os métodos para limpeza de praias, apresentados como disponíveis segundo API (1985), são: absorção, remoção manual, bombeamento a vácuo, remoção mecânica, biodegradação induzida, dispersão química, queima, limpeza natural e jateamento.

Considerando os trabalhos de Gundlach & Hayes (1978) e NOAA (2000) a limpeza deve se concentrar em remover, manualmente, o óleo do médio e supralitoral; desta maneira, a quantidade de areia removida é menor, devendo ser mínima em praias de areia fina. Para praias mistas de areia e cascalho a limpeza natural, a remoção mecânica e manual do óleo são as mais indicadas. Para praias de cascalho, a limpeza acaba por remover grandes quantidades de sedimento podendo resultar em impactos adversos; portanto, a limpeza deve se concentrar na linha de maré alta através de remoção manual e mecânica. Deve-se evitar o tráfego de veículos e pessoas, de modo a impedir que o óleo se misture ainda mais ao sedimento. O jateamento a baixa pressão pode ser usado para direcionar e acumular o óleo a ser recolhido por *skimmers* e absorventes. O jateamento a alta pressão deve ser evitado, pois pode transportar material contaminado para outros locais, causar impacto mecânico na fauna, desalojar a fauna e remover sedimentos.

A limpeza natural é plausível para praias expostas onde a ação das ondas é suficiente para remover o óleo (IPIECA, 2000). Também é recomendada para praias abrigadas onde outros procedimentos podem causar danos adicionais ao ambiente. Quando a limpeza natural não é apropriada (e.g., área com fraca hidrodinâmica, biota ou recursos socioeconômicos importantes sob ameaça), outras opções podem ser consideradas: jateamento a baixa pressão para sedimentos firmes com baixa declividade; remoção manual e mecânica; absorventes; bombeamento a vácuo; biorremediação. Com relação ao último método não há evidências conclusivas a respeito de suas vantagens (IPIECA, 2000).

No Brasil, os métodos empregados sempre visaram à recuperação estética das praias afetadas, e por isso, muitos procedimentos danosos à comunidade biológica têm sido utilizados. No litoral do Estado de São Paulo, os principais métodos vinham sendo o recolhimento manual com pás e enxadas, e uso de máquinas pesadas, causando a retirada de grande quantidade de areia das praias,

especialmente da zona entremarés. Estes procedimentos acabavam por perturbar gravemente as comunidades biológicas, uma vez que a maioria dos organismos habita os primeiros 10 - 15 cm do substrato, justamente a faixa retirada pela limpeza (Lopes & Milanelli 2002).

Após vários estudos e avaliações de métodos utilizados, Milanelli & Lopes (2001) definiram diretrizes para a limpeza de praias, que foram adotadas com sucesso pela CETESB, desde o grande acidente TEBAR V, em São Sebastião (Lopes *et al.* 1996). Naquele episódio ficou comprovado que a ação das ondas e marés é extremamente eficiente no deslocamento do petróleo e na limpeza natural, devendo ser aproveitada ao máximo, durante os procedimentos. Também ficou claro que na zona entremarés deve-se evitar qualquer procedimento mecânico de limpeza, incluindo circulação de veículos e máquinas pesadas, uma vez que este segmento da praia é o mais rico e sensível biologicamente. O recolhimento manual do petróleo deve ser efetuado apenas no mediolitoral superior e supralitoral, retirando-se o mínimo de areia possível. É recomendado o uso de rodos de madeira para remover o óleo (pás e enxadas devem ser utilizadas apenas para retirar os montes de óleo agregados pelos rodos). Uma vez recolhida a maior parte do petróleo, o uso de absorventes é de grande eficiência na limpeza fina da praia. O produto deve ser espalhado na franja do infralitoral, sempre nas marés baixas. Após a preamar, o produto deve ser recolhido manualmente na franja do supralitoral, respeitando-se as faixas inferiores da praia. Todo o óleo recolhido deve ser retirado da praia preferencialmente em tambores ou “*big bags*” lacrados.

Muitos países usam dispersantes na limpeza de praia. Todavia, a biota pode ficar exposta aos efeitos tóxicos do produto e do óleo dispersado (IPIECA 2001). O produto também não é recomendado para praias arenosas, lodosas e de cascalho (CETESB 2005). No Brasil a aplicação de dispersantes em praias é proibida pela legislação ambiental (Brasil 2000).

Com relação à biorremediação, testes feitos em praias mostraram que a adição de fertilizantes foi eficiente no aumento da taxa de biodegradação em locais que foram severamente atingidos por óleo (Lee & Levy 1991 *apud* Michel 1992). Em outros estudos, a adição de nutrientes não foi eficiente devido à lixiviação e lavagem dos sedimentos pelas ondas, marés e correntes. Estudos mais avançados são necessários, observando-se que a biorremediação só pode ser utilizada se estiver em concordância com a legislação ambiental Brasileira e for autorizada

pelo órgão ambiental competente.

Pode-se concluir que para praias, procedimentos como recolhimento de óleo com máquinas, tráfego de veículos na zona entremarés, manipulação da zona entremarés inferior, retirada indiscriminada de areia e a aplicação de dispersantes na areia são contra-indicados. Métodos como recolhimento manual criterioso, bombeamento a vácuo, o uso de absorventes para fazer a limpeza mais fina e a limpeza natural, aproveitando a ação das ondas, são os mais indicados para praias. Há um conflito muito intenso com relação aos aspectos ecológicos e sociais, já que praias são muito importantes economicamente. As pressões para que o ambiente seja limpo a qualquer custo são muito fortes. Entretanto, é fundamental que a limpeza seja o menos impactante possível para que, com isso, o ecossistema se recupere mais rapidamente.

Limpeza de Costões Rochosos

Em costões rochosos atingidos por petróleo, a ação hidrodinâmica das ondas e marés é fator importante a ser levado em consideração. Costões expostos são pouco sensíveis a derrames, já que o óleo é naturalmente e rapidamente retirado do ambiente. Já os costões rochosos abrigados apresentam alta sensibilidade a impactos, já que o tempo de persistência do óleo pode ser muito alto (Gundlach & Hayes 1978).

Existem diversos métodos de limpeza para remediar a contaminação de costões rochosos atingidos por petróleo. Muitas das técnicas, entretanto, promovem um dano adicional à comunidade submetida ao processo de limpeza. Entre as técnicas mais utilizadas estão o jateamento, o bombeamento, a remoção manual, a lavagem com água corrente, o uso de absorventes e a limpeza natural.

O jateamento aplicado a costões pode ser extremamente impactante, dependendo da pressão utilizada. Fluxos hídricos a altas pressões podem causar a supressão de toda a comunidade biológica, gerando um lento processo de recuperação e agravando, ainda mais, os efeitos do impacto (Milanelli *et al.* 1991, 1993, Milanelli 1994). Esta técnica pode ser utilizada, por razões estéticas, apenas acima da faixa habitada pelos organismos. O jateamento com areia também é contra-indicado, pois provoca os mesmos efeitos do jateamento a alta pressão. Ademais, este procedimento provoca o acúmulo de areia na base do corpo jateado, podendo causar o soterramento das populações presentes nestes locais (CETESB 2002). Le Hir (2002) constatou que o uso de jateamento a alta pressão nestes ambientes causa modificações na

comunidade, levando ao decréscimo da biodiversidade e abundância de espécies.

O jateamento a baixa pressão é uma técnica que também deve ser evitada, uma vez que o fluxo, ainda que mais suave, ocasiona desalojamento daquelas espécies com menor poder de adesão ao substrato e provoca a morte de indivíduos das espécies mais frágeis. Mesmo as cracas *Chthamalus* sp., que apresenta estrutura protetora, pode apresentar mortalidade significativa após receber tratamento de limpeza a baixa pressão (Lopes 1992, Milanelli 1994).

A lavagem de costões atingidos com água corrente é uma técnica aconselhável, já que não promove danos adicionais. Tal técnica, contudo, deve ser utilizada imediatamente após os locais terem sido atingidos e deve estar associada a um método de recolhimento. Quando o óleo já está intemperizado e aderido ao substrato, a lavagem é ineficiente (Milanelli 1994, CETESB 2002).

O bombeamento a vácuo e a remoção manual auxiliam na retirada de óleo de poças, fendas e depressões das rochas, além de não provocarem danos à comunidade biológica (Milanelli 1994, CETESB 2002).

Absorventes agregam o óleo, o que facilita a sua posterior retirada do ambiente. Devem ser, todavia, aplicados apenas em poças e outros locais que concentram o produto. Sua utilização sobre a comunidade biológica não deve ocorrer, uma vez que a mistura óleo-absorvente forma uma camada impermeável podendo promover impactos físicos de recobrimento sobre os organismos (IPIECA 1995, CETESB 2002).

A limpeza natural constitui um agente muito efetivo, em que a ação das ondas, correntes e marés retiram eficientemente o produto dos costões rochosos atingidos. Muitas vezes a não interferência em um local atingido, deixando-o à mercê da recuperação natural, é o melhor procedimento em termos ecológicos (Milanelli 1994, CETESB 2002).

Para costões rochosos expostos, a limpeza natural é indicada. O alto hidrodinamismo retira rapidamente o óleo do ambiente através da ação das ondas. Além disso, o acesso a estes locais pode ser difícil e perigoso (Gundlach & Hayes 1978, API 1985, Milanelli 1994, NOAA 2000, Brasil 2004).

Nos costões abrigados, a limpeza natural é considerada menos eficiente. O fraco hidrodinamismo implica numa lenta e baixa taxa de remoção natural. Mesmo assim alguns autores são contra a intervenção para limpeza nestes ambientes, exceto quando há uma grande quantidade de óleo no local ou por razões estéticas significativas (Gundlach & Hayes 1978, Brasil 2002). Alguns autores indicam

o jateamento a baixa pressão para estes ambientes, principalmente quando o óleo está fresco e líquido (API 1985, NOAA 2000).

Há autores que defendem ações com jateamentos em costões situados em pontos turísticos e de acesso público. Recomendam que quando o jateamento a baixa pressão se torna ineficiente, deve-se aplicar o jateamento a alta pressão, eventualmente com água quente e o uso de agentes químicos (Michel 2000). Deve-se deixar claro que apesar destes posicionamentos, estes procedimentos, mesmo que pareçam eficientes e viáveis, não são recomendados pelos órgãos ambientais Brasileiros, pois causam impactos adicionais significativos como foi descrito anteriormente.

Conclui-se que os métodos de limpeza com maior eficiência e menor dano às comunidades biológicas de costões rochosos envolvem: o bombeamento a vácuo, o recolhimento manual, absorventes, a limpeza natural, lavagem com água corrente e o uso de esteiras e *skimmers*. Apesar disso, alguns autores, organizações e instituições recomendam métodos agressivos, demonstrando que o apelo estético e as pressões políticas e econômicas para que o ambiente seja limpo de imediato ainda imperam em algumas situações.

Recifes de Coral

São poucos os métodos apropriados para limpeza de recifes de corais contaminados, uma vez que tais ecossistemas são extremamente delicados e de acesso relativamente difícil.

De acordo com a CETESB (2002), o bombeamento a vácuo é eficiente para retirar o óleo flutuante sobre os recifes, descontaminando o ambiente. Porém, o uso deste método deve ser realizado cuidadosamente, evitando a quebra das estruturas frágeis das colônias e sempre com o uso de embarcação. A utilização de absorventes orgânico-vegetais, como turfas, também é eficiente em auxiliar na retirada do óleo do ambiente, sendo, portanto uma técnica aplicável para descontaminar a coluna d'água sobre os recifes. Entretanto, em casos de contaminação de recifes em períodos de maré baixa, a utilização de absorventes deve ser evitada, uma vez que seu emprego pode agravar os impactos por promover o recobrimento físico dos organismos. Além disso, a remoção dos resíduos é dificultada devido à complexa estrutura das colônias e à dificuldade de se proceder a coleta manual. Esta é viável e eficiente para poças, fendas ou outras estruturas que retenham o produto. Deve, no entanto, ser utilizado com extremo cuidado para evitar danos físicos potenciais como pisoteio sobre os organismos, desalojamento e quebra das colônias.

A aplicação do método de lavagem com água corrente em recifes de coral expostos durante a baixamar é impactante: pode causar distúrbios, como a remoção de organismos, alteração de microhabitats e danos mecânicos em indivíduos de espécies extremamente frágeis. Ainda que feita com água do mar, a lavagem dos recifes, sempre que possível, deve ser evitada. (CETESB 2002).

O uso de dispersantes em recifes de coral pode ser um método atrativo quando algum outro ecossistema sensível próximo está sendo ameaçado pelo óleo (e.g., um manguezal ou um santuário de aves). Contudo, uma simulação feita no Panamá - em que foi aplicado dispersante numa área de coral para proteger um manguezal da contaminação por óleo cru - mostrou que o óleo quimicamente dispersado causou declínio na abundância e no crescimento de corais e outros organismos associados (IPIECA 1992). Um outro trabalho que testou efeitos de cinco tipos de dispersantes de terceira geração, aplicados em diferentes concentrações, em larvas de uma espécie de coral pôde constatar o aumento da toxicidade da mistura óleo-dispersante, mortalidade, redução de taxas de estabelecimento e deformações morfológicas e comportamentais (Epstein *et al.* 2000). Portanto, devido ao pouco conhecimento relacionado à utilização desta técnica, principalmente no que se refere à toxicidade e eficiência dos produtos mais recentes, e também levando em consideração a sensibilidade intrínseca dos organismos de recifes, esta técnica deve ser evitada (Gundlach & Hayes 1978, API 1985, NOAA 2000, CETESB 2002). No Brasil, a legislação ambiental não permite o uso de dispersantes em recifes de coral (Brasil 2000).

Para os recifes de coral, a limpeza natural é o método preferencial a ser escolhido. Este método não promove riscos adicionais às comunidades, podendo ser bastante eficiente, principalmente em ambientes de elevado hidrodinamismo (IPIECA 1994, Epstein *et al.* 2000, Brasil 2002, CETESB 2002, 2005). Em recifes de locais abrigados, o bombeamento a vácuo, e em alguns casos, a lavagem com água corrente, pode ser aplicado em conjunto com a limpeza natural (CETESB 2002, 2005). Absorventes também podem ser utilizados na coluna d'água durante a preamar, utilizando-se de embarcações, com posterior recolhimento.

Conclui-se que em recifes de coral a limpeza deve ser realizada com extremo cuidado, devido à alta sensibilidade deste ecossistema. Os métodos de limpeza mais indicados incluem o bombeamento a vácuo, absorventes e esteiras recolhedoras para retirar o óleo flutuante, recolhimento manual com cautela e limpeza natural.

Limpeza de Lagoas Costeiras

O óleo, quando derramado em uma laguna, pode ficar aí preso e persistir por muito tempo, já que a remoção natural é lenta. Pode haver o recobrimento e a intoxicação das plantas aquáticas e dos animais que vivem ou que utilizam a laguna para alguma função (descanso, alimentação, reprodução, migração). Por serem ambientes muito sensíveis (Brasil 2004), recomenda-se que sejam utilizados procedimentos que evitem causar maiores danos ao ecossistema, como a utilização de equipamentos pesados de bombeamento e recolhimento e o uso de dispersantes químicos. Os *skimmers*, apesar de praticamente não causarem danos, podem perder sua eficiência na remoção do óleo devido à quantidade de plantas aquáticas existentes na superfície da lâmina d'água.

Segundo trabalho da CETESB (2003) sobre a limpeza de uma lagoa costeira contaminada por óleo em Ubatuba, litoral norte de São Paulo, os métodos utilizados na recuperação que trouxeram bons resultados foram: a aplicação de absorventes orgânicos biodegradáveis na superfície da água várias vezes ao dia e posterior recolhimento e o corte manual, controlado e orientado da vegetação contaminada da margem.

Portanto, pode-se recomendar para estes ambientes o uso de absorventes com posterior recolhimento, corte controlado da vegetação ao redor e limpeza natural. A biorremediação deve ainda ser testada nestes ambientes, mas é uma técnica com potencial para limpeza em longo prazo.

Restingas e Dunas

Estes ambientes, apesar de não estarem diretamente sujeitos à ação de impactos por derramamentos de óleo, foram incluídos neste estudo devido à sua importância como ecossistemas costeiros e por serem ambientes de transição adjacente às áreas de manguezal e praias, estando sujeitos a impactos nos momentos de combate e limpeza dos derramamentos de petróleo.

Não há muitas informações a respeito de limpeza de ambientes de restingas e dunas, podendo-se, todavia, utilizar o recolhimento manual, aplicação de absorventes, corte controlado da vegetação, construção de diques de contenção no solo e nos corpos d'água e raspagem no solo. Normalmente os maiores impactos nestes ambientes não são gerados pelo óleo, mas pela presença das frentes de combate. Portanto, as ações de combate necessitam ser planejadas, considerando procedimentos que protejam estes segmentos das planícies costeiras, como o estabelecimento de

acessos, restrição de circulação de pessoas e máquinas, instalação de banheiros químicos, recolhimento de lixo sólido e controle de qualquer supressão vegetal.

Considerações finais

O Anexo I sintetiza os procedimentos recomendados e não recomendados para cada ecossistema aqui discutido.

A definição, aprovação e aplicação de qualquer método de limpeza e intervenção na recuperação de ambientes costeiros atingidos por vazamentos de óleo são de responsabilidade dos órgãos ambientais. Neste contexto, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) pode ser considerada órgão de referência no Brasil para o desenvolvimento e incorporação de métodos de limpeza menos impactantes aos ecossistemas costeiros.

Há também a necessidade de ser realizado o monitoramento dos ambientes que sofreram contaminação por óleo e intervenções de limpeza, para que sejam obtidas informações mais detalhadas sobre os efeitos do óleo e da limpeza nos ambientes e nos organismos, além de possibilitar comparações futuras.

É de extrema importância que se conheça um ambiente antes que este seja atingido por vazamento de óleo. Isto permite uma melhor avaliação dos danos e um melhor planejamento das ações de resposta, bem como auxilia na tomada de decisão sobre quais métodos de limpeza devem ser adotados. Instrumentos como os mapas de sensibilidade (Cartas SAO) são indispensáveis neste contexto.

Em boa parte dos casos, a pressão sócio-econômica, associada aos negócios de turismo, lazer e comércio, tem prevalecido sobre a ecológica. Muitas vezes são recomendados e utilizados procedimentos extremamente danosos ao meio ambiente objetivando a limpeza a qualquer custo, trazendo um pesado ônus ao restabelecimento do ecossistema. É muito importante que haja um balanceamento entre as duas demandas, visto que as atividades econômicas também dependem de um ambiente saudável.

Agradecimentos

Ao Programa de Formação de Recursos Humanos ANP-MCT, PRH 05, UNESP - campus de Rio Claro, pelo auxílio concedido. Ao Grupo de Trabalho de Sensibilidade Costeira a Derrames de Óleo do PRH 05 e a J. G. R. Giovanelli pelo apoio e incentivo.

Referências

- American Petroleum Institute - API. 1985. **Oil spill cleanup**: Options for minimizing adverse ecological impacts. Washington: Health and Environmental Science Department, 580p.
- Brasil, Lei 9.966 de 28 de Abril de 2000. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, 28 abril. 2000. Ed. Extra.
- Brasil, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 269 de 14 de Setembro de 2000. Acessível em http://www.pgr.mpf.gov.br/pgr/4camara/grupos_trabalho/residuos/residuos_solidos/269_2000.
- Brasil, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº. 293, de 12 de Dezembro de 2001. Acessível em http://www.pr.gov.br/meioambiente/pdf/res_293_2001.pdf
- Brasil, Decreto Nº 4.871, de 6 de Novembro de 2003. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 7 de Novembro, 2003. Ed. 217.
- Brasil, Ministério do Meio Ambiente. 2004. **Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo**. Acessível em http://www.mma.gov.br/estruturas/projeto/_arquivos/especificacoes_cartas_sao.pdf
- Burns, K. A., Codi, S., Swannell, R. J. P. & Duke, N. C. 1999. Assessing the Oil Degradation Potential of Endogenous Microorganisms in Tropical Marine Wetlands. **Mangroves and Salt Marshes**, 3: 155-164.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. 2002. **Derrames de Óleo no Mar e os Ecossistemas Costeiros**. São Paulo. Apostila de Curso.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. **Vazamentos de petróleo**. 2005. Acessível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/vazamento.asp>.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. **Cadastro de Acidentes Ambientais da Cetesb**. 2005. Acessível em <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 2005 / 2006.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. 2003. **Relatório Técnico da Operação Nordic Marita**. São Paulo. 31 p.
- Epstein, N., Bak, R. P. M. & Rinkevich, B. 2000. Toxicity of Third Generation Dispersants and Dispersed Egyptian Crude Oil on Red Sea Coral Larvae. **Marine Pollution Bulletin**, 40

- (6): 497-503.
- Getter, C. D., Cintron, G., Dicks, B. & Lewis, R. R. 1984. The Recovery and Restoration of Salt Marshes and Mangroves Following an Oil Spill. p. 65-113. *In*: Cairns Jr, J. & Bulkema Jr, A.L. **Restoration of habitats impacted by oil spills**. Butterworth Publishers, Toronto, 182 p.
- Gundlach, E. R. & Hayes, M. O. 1978. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. **Journal of Marine Technology Society**. Carolina do Sul, 12 (4): 18-27.
- International Petroleum Industry Environmental Conservation Association – IPIECA. 1992. **Biological Impacts of Oil Spill Pollution: Coral Reefs**. v.3. Acessível em <http://www.ipieca.org>.
- International Petroleum Industry Environmental Conservation Association – IPIECA. 1994. **Biological Impacts of Oil Spill Pollution: Saltmarshes**. v. 6. Acessível em <http://www.ipieca.org>.
- International Petroleum Industry Environmental Conservation Association – IPIECA. 1995. **Biological Impacts of Oil Pollution: Rocky Shores**. v.7. Acessível em <http://www.ipieca.org>.
- International Petroleum Industry Environmental Conservation Association – IPIECA. 2000. **Biological Impacts of Oil Pollution: Sedimentary Shores**. v. 9. Acessível em <http://www.ipieca.org>.
- International Petroleum Industry Environmental Conservation Association. 2000. **Choosing Spill Response Options to Minimize Damage-** Net Environmental Benefit Analysis. v.10. Acessível em <http://www.ipieca.org>. Acesso em 2005/2006.
- International Tanker Owners Pollution Federation - ITOPF. 2001. Apresenta informações, publicações, conselhos e assistência técnica com relação a respostas a poluição por vazamentos de óleo. Acessível em <http://www.itopf.com>. Acesso em 2006.
- Jackson, W. A. & Pardue, J. H. 1999. Potential for Enhancement of Biodegradation of Crude Oil in Louisiana Salt Marshes Using Nutrient Amendments. **Water, Air, and Soil Pollution**, 109: 343 – 355.
- Le Hir, M. & Hily, C. 2002. First observations in a high rocky-shore community after the Erika oil spill (December 1999, Brittany, France). **Marine Pollution Bulletin**, 44: 1243–1252.
- Lindau, C. W., Delaune, R. D., Jugsujinda, A. & Sajo, E. 1999. Response of *Spartina alterniflora* Vegetation to Oiling and Burning of Applied Oil. **Marine Pollution Bulletin**, 38: 216-1220.
- Lopes, C. F., Milanelli, J. C. C., Kadekaru, N. & Johnscher-Fornasaro, G. 1992. **Efeitos ecológicos do derrame de óleo Penélope e da limpeza por jateamento a baixa-pressão nos costões rochosos da praia do Viana**. São Paulo, CETESB, 14p.
- Lopes, C. F., Milanelli, J. C. C., Prospero, V. A., Zanardi, E. & Truzzi, A. C. 1996. **Avaliação dos danos ecológicos causados pelo derrame de óleo TEBAR V (maio/1994), sobre comunidades de costões rochosos**. São Paulo, CETESB, Relatório Técnico, 25p.
- Michel, J., Shigenaka, G. & Hoff, R. 1992. p. 1-103. Oil Spill Response and Clean up Techniques. *In*: **An Introduction to Coastal Habitats and Biological Resources for Oil Spill Response**. NOAA, Seattle, 401 p.
- Michel, J. Assessment and Recommendations for the Oil Spill Cleanup of Guanabara Bay, Brazil. 2000. **Spill Science & Technology Bulletin**, 6 (1): 89-96.
- Milanelli, J. C. C. & Lopes, C. F. 2001. Recuperação de praias atingidas por derrames de óleo - procedimentos emergenciais adotados pela CETESB. **14ª Semana Nacional de Oceanografia - Oceanografia e Sociedade: Um desafio à Teoria e Prática**, Rio Grande, Trabalho 83.
- Milanelli, J. C. C. 1994. Efeitos do petróleo e da limpeza por jateamento em um costão rochoso da praia de Barequeçaba, São Sebastião, São Paulo. **Dissertação de Mestrado**. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. 2 vol. 103 p.
- Milanelli, J. C. C., Lopes, C. F. & Johnscher-Fornasaro, G. 1991. **Estudo de metodologias para a recuperação de costões rochosos impactados por óleo**. São Paulo, CETESB, Relatório Técnico. 28p.
- Milanelli, J. C. C., Lopes, C. F. & Johnscher-Fornasaro, G. 1993. **Estudo de metodologias para a recuperação de costões rochosos impactados por petróleo**. CETESB, São Paulo - Relatório Final. 45p.
- National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA. 2000. **Characteristic Coastal Habitats - Choosing Spill Response Alternatives**. NOAA, Seattle, 87 p.
- Rodrigues, F.O. 1997. Derramamentos de óleo no ecossistema manguezal: Limpeza de

- ambientes, efeitos e metodologia de estudo. **Dissertação de Mestrado**. Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. 350 p.
- Zengel, S. A. & Michel, J. 1996. Vegetation Cutting as a Clean-up Method for Salt and Brackish Marshes Impacted by Oil Spills: a Review and Case History of the Effects on Plant Recovery. **Marine Pollution Bulletin**, 32 (12): 876-885.
- Wright, A. L., Weave, R. W. & Webb, J. W. 1997. Oil Bioremediation in Salt Marsh Mesocosms as Influenced by N and P Fertilization, Flooding and Season. **Water, Air, and Soil Pollution**, 95: 179–191.

Received October 2006

Accepted January 2007

Published online February 2007

Anexo I: Métodos Recomendados para cada Ambiente Estudado.

MÉTODOS	Manguezal		Marismas		Praias	Costões rochosos	Recifes de Coral		Lagoas Costeiras e Dunas	Restingas
	Interior	Águas adjacentes	Interior	Águas adjacentes			Superfície	Águas adjacentes		
Limpeza natural	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Remoção manual	NR	R	NR	R	R	R	RC	R	R	R
Absorventes	NR	R	NR	R	R	R	NR	R	R	R
Bombeamento à vácuo	NR	R	NR	R	R	R	R	R	NR	R
Esteiras recolhedoras	NR	R	NR	R	NR	—	NR	R	NR	—
Skimmers	NR	R	NR	R	NR	—	NR	R	R	—
Lavagem com água corrente	NR	NR	NR	NR	NR	RC	RC	—	—	—
Jateamento com água a baixa pressão	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	—	—
Jateamento com água a média pressão	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	—	—
Jateamento com água a alta pressão	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	—	—
Jateamento com areia	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	—	—
Corte de vegetação	NR	NR	RC	RC	NR	—	—	—	RC	RC
Queima in situ	NR	NR	NR	RC	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Trincheiras	NR	NR	NR	NR	NR	—	—	—	—	R
Remoção de sedimentos	NR	NR	NR	NR	NR	—	—	—	—	NR
Dispensantes	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Biorremediação	ii	ii	ii	ii	ii	ii	ii	ii	ii	ii

NR: Não recomendado; **R:** Recomendado; **RC:** Recomendado com cautela; **ii** Informações insuficientes; **—** Não aplicável.