

**AMBIENTES COSTEIROS**  
**CONTAMINADOS POR ÓLEO**  
PROCEDIMENTOS DE LIMPEZA

MANUAL DE ORIENTAÇÃO

**Governo do Estado de São Paulo**  
Cláudio Lembo - Governador

**Secretaria do Meio Ambiente**  
José Goldemberg - Secretário

**Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB**  
Otavio Okano - Presidente





## **CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL**

### **Conselho de Administração**

José Goldemberg *Presidente*  
João Carlos Basílio da Silva *Vice-Presidente*  
Antônio M. de Aguirra Massola  
Otavio Okano  
Carlos Pedro Jens  
Juan Manuel Villarnobo Filho  
Paulo Nogueira-Neto  
Rui Brasil Assis  
Sidney Nassif Abdalla

### **Diretoria**

Otavio Okano *Diretor Presidente*  
Alaôr Lineu Ferreira *Diretor de Gestão Corporativa*  
João Antônio Fuzaro *Diretor de Controle de Poluição Ambiental*  
Lineu José Bassoi *Diretor de Engenharia, Tecnologia  
e Qualidade Ambiental*

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

---

L851a Lopes, Carlos Ferreira  
Ambientes costeiros contaminados por óleo : procedimentos de limpeza – manual de orientação / Carlos Ferreira Lopes, João Carlos Carvalho Milanelli, Iris Regina Fernandes Poffo. - - São Paulo : Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2006  
120 p. : fotos color. ; 30 cm

Publicado simultaneamente em CD ROM  
ISBN

1. Água – Poluição 2. Apicuns 3. Arenito – Recifes 4. Concreções lateríticas 5. Coral – Recifes 6. Dunas 7. Manguezais 8. Maré – Planície 9. Marismas 10. Meio ambiente – Litoral 11. Óleo – derrames 12. Resíduos oleosos – Limpeza 13. Restingas I. Milanelli, João Carlos Carvalho. II. Poffo, Iris Regina Fernandes. III. Título.

CDD (21.ed. Esp.) 665.538 9 146

CDU (ed. 99 port.) 628.515 (210.5) (035)

---

Margot Terada CRB 8.4422

Impressos 1000 exemplares na primavera de 2006

**CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL**

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345

São Paulo SP 05459 900

Telefone: 11 3133 3000

[www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)

## Limpeza de ambientes costeiros contaminados por óleo

Embora as estatísticas demonstrem queda no número de acidentes que envolvem derramamentos de óleo no mar, eles continuam a ocorrer, e ameaçam, na maioria das vezes, a qualidade ambiental de ecossistemas costeiros como praias, costões rochosos e manguezais, entre outros. Em acidentes com esse nível de comprometimento é necessário estabelecer e empregar procedimentos de limpeza. Entretanto, dependendo das ações aplicadas, o impacto geral da ocorrência pode ampliar-se. Várias estratégias de limpeza são mais prejudiciais que a própria ação do óleo. Por isso mesmo, a escolha dos procedimentos é fundamental para minimizar os impactos e acelerar os processos de recuperação dos ambientes contaminados.

Esta publicação reúne importantes subsídios para orientar a escolha dos procedimentos de limpeza mais pertinentes do ponto de vista ambiental para os principais ecossistemas marinhos e costeiros do país.

Servirá, igualmente, a gestores de meio ambiente, da indústria e de órgãos públicos, a entidades do setor privado responsáveis pela elaboração de planos de emergência (indústria e consultorias), a integrantes do SISNAMA – nos âmbitos federal, estadual e municipal, a empresas de atendimento a emergências, ao poder público em geral (defesa civil, corpo de bombeiros), e às universidades. Como contém a descrição dos principais ambientes costeiros do Brasil, com uma versão também em CD-ROM, espera-se que possa ser de ampla utilização pelas instituições interessadas.

Fruto de pesquisas e da própria experiência da CETESB em atendimentos emergenciais, esta publicação pretende ampliar a literatura técnica nacional nesse campo.

*Otávio Okano*  
Diretor-Presidente

**AMBIENTES COSTEIROS CONTAMINADOS POR ÓLEO  
PROCEDIMENTOS DE LIMPEZA - MANUAL DE ORIENTAÇÃO**

**Diretor de Engenharia, Tecnologia e Qualidade Ambiental**

Lineu José Bassoi

**Departamento de Desenvolvimento, Tecnologia e Riscos Ambientais**

Angela de Campos Machado

**Divisão de Gerenciamento de Riscos**

Edson Haddad

**Setor de Operações de Emergência**

Jorge Luiz Nobre Gouveia

**Autores**

Carlos Ferreira Lopes

João Carlos Carvalho Milanelli

Iris Regina Fernandes Poffo

**Coordenação Técnica**

Carlos Ferreira Lopes

**Colaboração**

Débora Orgler de Moura

Edson Haddad

Elvira Lidia Straus

Jorge Luiz Nobre Gouveia

Valéria Aparecida Prósperi

**Supervisão Editorial**

Centro de Editoração da Secretaria do Meio Ambiente

Vera Severo

**Edição de Texto**

Wanda E.S. Barbosa

**Revisão das Citações Bibliográficas**

Margot Terada

**Projeto Gráfico**

Rodney Schunk - Leonardo Arruda

**Impressão**

Gráfica Origami

**Fotos**

Ana Cristina Benavente . Banco de Imagens da CETESB . Carlos Ferreira Lopes . Carolina Rodrigues Bio Poletto . Daniel Siveira . Débora Oliveira de Souza e Silva . Ecosorb Tecnologia Ambiental . Iris Regina Fernandes Poffo . João Carlos Carvalho Milanelli . Luiz Carlos Bolina . Mariele Borro Mucciato . Rosimere da Silva

**Agradecimentos**

Aginaldo Ribeiro de Vasconcellos . Alcides Fontoura Pieri . Anderson Pioli . Angela Maria Iacovone . Antônio Carlos Bezerra . Claudia Condé Lamparelli . Ednaldo do Prado . Fabíola de Oliveira Rodrigues . Guiomar Johnscher-Fornasaro . Hélvio Aventurato . Jacqueline Albino . Laércio Francisco Parmagnani . Lourdes Tereza Scartozzoni . Marcos Tadeu Seriacopi . Marco Antônio José Laina . Mauro de Souza Teixeira . Ministério do Meio Ambiente . Ricardo Rodrigues Serpa . Ronaldo de Oliveira Silva . Sérgio Greif .

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - Derrames de óleo e ecossistemas costeiros</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO 2 - Características do óleo e ações de resposta</b>	<b>13</b>
<b>COMPOSIÇÃO DO PETRÓLEO</b>	<b>13</b>
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO ÓLEO</b>	<b>13</b>
<b>INTEMPERISMO</b>	<b>15</b>
<i>Espalhamento</i>	<b>15</b>
<i>Evaporação</i>	<b>15</b>
<i>Dissolução</i>	<b>15</b>
<i>Dispersão natural</i>	<b>15</b>
<i>Emulsificação</i>	<b>15</b>
<i>Oxidação ou foto-oxidação</i>	<b>16</b>
<i>Sedimentação</i>	<b>16</b>
<i>Biodegradação</i>	<b>16</b>
<i>Intemperismo e ações de combate</i>	<b>18</b>
<b>CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DERRAMADO, ANÁLISES LABORATORIAIS E ASPECTOS AMBIENTAIS</b>	<b>18</b>
Análises físicas, químicas e toxicológicas	<b>18</b>
Testes de toxicidade	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO 3 - Limpeza de ambientes costeiros atingidos por óleo</b>	<b>21</b>
<b>AVALIAÇÃO DOS PRINCIPAIS MÉTODOS DE LIMPEZA</b>	<b>22</b>
Remoção mecânica	<b>22</b>
Absorventes	<b>23</b>
Enterramento/revolvimento do sedimento	<b>24</b>
Jateamento com água – alta e baixa pressão	<b>25</b>
Jateamento com areia	<b>26</b>
Jateamento com vapor	<b>26</b>
Remoção manual	<b>26</b>
Limpeza natural	<b>27</b>
Corte da vegetação	<b>28</b>
Biorremediação	<b>29</b>
<b>CAPÍTULO 4 - Águas abertas, costeiras e oceânicas</b>	<b>31</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE</b>	<b>31</b>
Águas costeiras	<b>31</b>
Águas oceânicas	<b>31</b>
<b>SENSIBILIDADE AO ÓLEO</b>	<b>31</b>
Sensibilidade do plâncton	<b>32</b>
Sensibilidade de peixes	<b>32</b>
Sensibilidade de répteis marinhos (tartarugas)	<b>32</b>
Sensibilidade de aves marinhas	<b>33</b>
Sensibilidade de mamíferos marinhos	<b>33</b>
<b>MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS</b>	<b>33</b>
Barreiras e recolhedores (contenção e remoção)	<b>34</b>
Bombeamento a vácuo	<b>35</b>
Absorventes	<b>36</b>
<i>Absorventes granulados</i>	<b>36</b>
<i>Barreiras absorventes</i>	<b>36</b>
<i>Pompons</i>	<b>36</b>
Dispersantes químicos	<b>37</b>
Limpeza natural	<b>38</b>
<b>CAPÍTULO 5 - Praias</b>	<b>39</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE</b>	<b>39</b>
<b>SENSIBILIDADE AO ÓLEO</b>	<b>43</b>
Praias de areia grossa	<b>46</b>
Praias de areia fina	<b>47</b>

Praias de cascalho e sedimentos bioclásticos.....	47
MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS.....	48
<b>CAPÍTULO 6 - Planícies de maré.....</b>	<b>51</b>
CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE.....	51
SENSIBILIDADE AO ÓLEO.....	52
MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS.....	52
<b>CAPÍTULO 7 - Costões rochosos.....</b>	<b>53</b>
CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE.....	53
SENSIBILIDADE AO ÓLEO.....	55
Costões abrigados.....	55
Costões expostos.....	55
MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS.....	56
Jateamento a baixa pressão.....	56
Lavagem com água corrente.....	56
Bombeamento a vácuo.....	57
Remoção manual.....	57
Absorventes.....	57
Limpeza natural.....	58
<b>CAPÍTULO 8 - Substratos artificiais.....</b>	<b>59</b>
CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE.....	59
SENSIBILIDADE AO ÓLEO.....	59
MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS.....	60
Jateamento a baixa e alta pressão.....	60
Absorventes.....	61
Remoção manual.....	61
Bombeamento a vácuo.....	61
Limpeza natural.....	61
<b>CAPÍTULO 9 - Recifes de coral.....</b>	<b>63</b>
CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE.....	63
SENSIBILIDADE AO ÓLEO.....	65
MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS.....	69
Bombeamento a vácuo e <i>skimmers</i> .....	70
Absorventes.....	70
Remoção manual.....	71
Lavagem com água corrente.....	71
Limpeza natural.....	71
Dispersantes.....	71
Queima <i>in situ</i> .....	71
<b>CAPÍTULO 10 - Recifes de arenito/arenito de praia.....</b>	<b>73</b>
CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE.....	73
SENSIBILIDADE AO ÓLEO.....	74
MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS.....	74
Remoção manual.....	74
Bombeamento a vácuo.....	74
Absorventes.....	75
Limpeza natural.....	75
<b>CAPÍTULO 11 - Concreções lateríticas.....</b>	<b>77</b>
CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE.....	77
SENSIBILIDADE AO ÓLEO.....	78
MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS.....	79
Bombeamento a vácuo.....	79
Remoção manual.....	79

Absorventes.....	79
Limpeza natural.....	79
<b>CAPÍTULO 12 - Marismas.....</b>	<b>81</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE.....</b>	<b>81</b>
<b>SENSIBILIDADE AO ÓLEO.....</b>	<b>82</b>
<b>MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS.....</b>	<b>83</b>
Jateamento.....	83
Barreiras e recolhedores (retenção e remoção).....	83
Absorventes.....	84
Bombeamento a vácuo.....	84
Dispersantes químicos.....	85
Corte da vegetação.....	85
Limpeza natural.....	85
<b>CAPÍTULO 13 - Manguezais.....</b>	<b>87</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE.....</b>	<b>87</b>
<b>SENSIBILIDADE AO ÓLEO.....</b>	<b>91</b>
<b>MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS.....</b>	<b>93</b>
Absorventes.....	94
Bombeamento a vácuo.....	94
Dispersantes.....	95
Biorremediação.....	95
Limpeza natural.....	95
<b>Capítulo 14 - Impactos secundários das atividades de limpeza em apicuns, dunas e restingas.....</b>	<b>97</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DOS AMBIENTES.....</b>	<b>97</b>
Apicuns.....	97
Dunas.....	97
Restingas.....	99
<b>IMPACTOS DAS AÇÕES DE LIMPEZA.....</b>	<b>99</b>
<b>CAPÍTULO 15 - Gerenciamento de resíduos oleosos em operações de emergência.....</b>	<b>101</b>
<b>TIPOS DE RESÍDUOS GERADOS.....</b>	<b>102</b>
<b>FATORES QUE INFLUENCIAM O VOLUME DE RESÍDUOS GERADOS.....</b>	<b>102</b>
<b>CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS.....</b>	<b>103</b>
Resíduo perigoso (Classe I).....	103
Resíduo não-perigoso (Classe II).....	103
<b>GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS NAS OPERAÇÕES DE COMBATE.....</b>	<b>103</b>
Planejamento.....	104
Triagem e embalagem.....	105
Identificação e pesagem.....	106
Armazenamento.....	107
Transporte.....	108
Roteiro básico para o gerenciamento de resíduos.....	109
<b>TRATAMENTO E DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS OLEOSOS.....</b>	<b>110</b>
Rerrefino para resíduos líquidos oleosos.....	110
Aterros.....	111
Incineração.....	111
Dessorção térmica.....	112
<i>Landfarming</i> .....	112
Biopilha.....	112
Lavagem da areia contaminada.....	112
Solidificação.....	113
Co-processamento.....	113
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>115</b>



Estima-se que 6,1 milhões de toneladas de óleo atingiram os oceanos em 1973. Já em 1981 as estatísticas indicavam uma diminuição substancial: 3,2 milhões de toneladas (GESAMP, 1993). Informações mais atualizadas revelam que a quantidade de petróleo vazada no ambiente marinho continua a decrescer. A média de óleo lançada nos oceanos na década de 90 foi de 606.860 toneladas (LENTZ; FELLEMAN, 2005).

Essa queda drástica associa-se a vários fatores. Sem dúvida, a prevenção de acidentes nos diversos segmentos da indústria petrolífera — produção/exploração, transporte, transferência, armazenamento e processo — foi o que mais contribuiu para esse resultado.

A título de exemplo cita-se o aperfeiçoamento das atuais embarcações que movimentam petróleo, minimizando a probabilidade de vazamentos durante o transporte. Na última década, quase todo o óleo transportado para os Estados Unidos por petroleiros alcançou seu destino sem incidentes (API, 2005).

Outro fator importante tem sido a legislação que obriga a indústria petrolífera a minimizar os riscos de acidentes e a combater adequadamente os eventos gerados. Assim, ainda citando o exemplo anterior, a diminuição do derrame de óleo por acidente com navios é permeada por legislação especial, como a MARPOL 73/78 – “Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição Causada por Navios” que, no Anexo I, regra 13-G, determina: “...navios entregues a partir de 6 de julho de 1996 devem ser de casco duplo...”, medida que tende a reduzir substancialmente os riscos de vazamentos das embarcações envolvidas em incidentes.

Ao longo dos anos, as sanções legais procuram adequar-se para coibir o poluidor em função dos valores estabelecidos atualmente. Até 2000, as infrações e penalidades previstas baseavam-se na Lei Federal 5.357 (BRASIL, 1967), que estabelecia multa de duzentas vezes o maior salário mínimo vigente a terminais que lançassem detritos ou óleo nas águas brasileiras. Com a publicação da Lei Federal 9.966 (BRASIL, 2000b), revogando a anterior, os valores das multas passaram a ser mais elevados — de sete mil, a cinquenta milhões de reais.

A atuação dos órgãos ambientais tem sido fundamental para a melhoria das instalações licenciadas e fiscalizadas. Este é o caso do Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) implantado por um terminal de petróleo e derivados de São Sebastião (SP), por exigência da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

(CETESB). Devido a este programa, o número de acidentes foi reduzido gradativamente. Se entre 1990 e 1994 foram registrados 91 acidentes, no período 2000 a 2003 ocorreram 16.

Derrames de óleo, principalmente aqueles que trazem prejuízos ambientais e socioeconômicos pelo volume ou tipo de produto envolvido, ou pela área atingida, causam elevada comoção e repercussão social. A população, que se conscientiza gradativamente sobre a importância da conservação ambiental, mostra-se indignada quando os ecossistemas são atingidos pelos acidentes. Essa maneira de pensar e agir, muitas vezes ligada ao posicionamento da mídia, tem exercido forte pressão sobre as indústrias para que adotem medidas preventivas e corretivas eficazes (POFFO, 2000).

Não obstante os fatores descritos, que têm atuado simultaneamente na minimização dos acidentes, estes continuam a ocorrer. O rompimento do oleoduto OSBAT da PETROBRAS/TRANSPETRO em 18 de fevereiro de 2004, em São Sebastião, (SP); a explosão do navio Vicuña, de bandeira chilena, em 15 de novembro de 2004, no Porto de Paranaguá (PR); e, na Europa, o derrame de óleo combustível do acidente com o navio Prestige, em 13 de novembro de 2002, que contaminou a costa norte da Espanha e França, tiveram repercussões ambientais e socioeconômicas expressivas.

Ante a impossibilidade de eliminar riscos de acidentes, tanto a indústria como os órgãos públicos necessitam integrar-se e estar preparados para atender situações emergenciais com vazamento de óleo no mar. A gestão da emergência estabelecida por meio de um plano de contingência é indispensável para determinar com antecedência os procedimentos para minimizar os impactos de qualquer natureza, considerando ainda os interesses específicos dos setores e instituições envolvidos (IPIECA, 2000a; ITOPIF, 1985a).

Dependendo da situação, principalmente nos casos de grandes vazamentos, é necessário estruturar e planejar ações de combate com a cooperação de outros países. Duas das grandes lições do evento com o navio Exxon Valdez, ocorrido em 1989 nos Estados Unidos, foram a necessidade de preparo, no nível nacional, para lidar com eventos de grandes proporções e o estabelecimento de um protocolo de cooperação internacional. Dessas “demandas”, surgiu a Convenção Internacional para Preparo, Resposta e Cooperação em Casos de Poluição por Óleo (OPRC) realizada pela International Maritime Organization (IMO) em novembro de 1990.

A OPRC exige que os países membros realizem um Plano Nacional de Contingência (PNC) para derrames de óleo. O Brasil adotou a OPRC-90 pelo Decreto-Lei número 43, de 1º de junho de 1998, assumindo esse compromisso.

A partir desse momento, os planos de contingência para combate a vazamentos de óleo no mar receberam grande impulso, principalmente com a promulgação da Lei 9.966 de 28 de abril de 2000 (BRASIL, 2000b). O Art. 7º determina que os portos organizados, as instalações portuárias, as plataformas e respectivas instalações de apoio disponham de Planos de Emergência Individual (PEI) e mesmo de Planos de Área (PA), estes em locais onde se concentram instalações como as já citadas. Esses planos se incluem no Plano Nacional de Contingência (PNC) em fase de revisão no Ministério do Meio Ambiente.

Entre os tópicos de um plano de contingência encontram-se os procedimentos de limpeza dos ambientes atingidos, que compreendem: **a)** estratégias de limpeza adequadas a cada tipo de ecossistema; **b)** disponibilidade de recursos materiais e equipamentos; **c)** oferta de mão-de-obra capacitada; e **d)** gerenciamento dos resíduos gerados (ITOPF, 1985b).

A Resolução MMA/CONAMA 293, de 12 de dezembro de 2001 (BRASIL, 2002c), uniformiza e padroniza o conteúdo dos Planos de Emergência Individuais (PEI) de instalações portuárias e informa o que deve constar em um plano para combate a derrames de óleo no mar. Conforme o ITOPF (1985b), entre as informações necessárias destacam-se os procedimentos para limpeza de áreas costeiras atingidas que devem estar descritos considerando fatores como tipo de óleo derramado, geomorfologia e grau de exposição da área, tipo e sensibilidade da biota local e atividades socioeconômicas relacionadas.

Independente da exigência legal de determinação de procedimentos de limpeza é necessário fixar um critério para discutir as estratégias que serão aplicadas, antes da ocorrência de um acidente. A bibliografia apresenta uma série de métodos para limpeza de ambientes atingidos por óleo. No entanto, em muitos casos estes métodos mostram-se prejudiciais devido aos impactos que acarretam, por vezes maiores que a própria ação do óleo. Por outro lado, algumas técnicas impactantes removem eficientemente o óleo do ambiente, restabelecendo esteticamente as áreas atingidas e, em consequência, satisfazem-

do as demandas socioeconômicas. Gerenciar esses conflitos durante a emergência, por definição, uma situação crítica, é complexo, e determina o quanto é importante preestabelecer essas atividades.

A determinação dos procedimentos de limpeza contém outro importante item, sem o qual não é possível realizar um atendimento eficaz: os recursos a serem aplicados. Equipamentos ou materiais devem estar dimensionados e prontos para utilização segundo as especificações técnicas requeridas. Evidentemente o preparo das equipes associadas à operação dos mesmos é fundamental, o que se pode alcançar por meio de treinamento especializado (cursos teóricos e práticos, simulados etc.).

A despeito do preparo das frentes de trabalho que atuam na contenção e remoção das manchas de óleo no mar, via de regra o produto alcança a linha costeira. Servem de exemplo os últimos acidentes relevantes em São Paulo, como os vazamentos ocorridos em São Sebastião devido à colisão do navio Vergina contra o cabeço de atracação do píer do terminal em novembro de 2000 (CETESB, 2001, LOPES; POFFO; HADDAD, 2001) e com o petroleiro Nordic Marita durante as operações de transbordo de carga em junho de 2003 (CETESB, 2003). Em ambos os casos, grandes áreas costeiras de elevada sensibilidade ao óleo foram atingidas.

Diante do exposto, constata-se que os derrames de óleo no mar refletem-se diretamente sobre os ecossistemas costeiros próximos ao local do acidente, exigindo as ações necessárias para minimizar os efeitos causados pela contaminação, e que a determinação da escolha das técnicas de limpeza que melhor se aplicam a determinado ambiente devem ser definidas antes que o acidente ocorra.

A proposta desta publicação é oferecer subsídios que permitam a escolha das técnicas de limpeza mais pertinentes do ponto de vista ambiental às equipes que participam na preparação e no atendimento emergencial a derrames de óleo no mar. Pretende também servir como fonte de consulta a instituições públicas e privadas, como indústrias petrolíferas e empresas correlatas, órgãos ambientais e universidades, entre outros, na realização, revisão e análise de planos de emergência. Espera ainda auxiliar na gestão de emergências que envolvem derrames de óleo no mar e em ambientes costeiros, onde o foco se concentre, para a determinação das melhores estratégias de limpeza da costa.

Genericamente o termo “óleo” é empregado por todos os envolvidos nas operações de emergência, para designar qualquer tipo de substância oleosa liberada no meio ambiente. De acordo com a Lei Federal 9.966 de 28/4/2000 (BRASIL, 2000b), óleo é “qualquer forma de hidrocarboneto (petróleo e seus derivados), incluindo óleo cru, óleo combustível, borracha, resíduos de petróleo e produtos refinados”. Já o termo “petróleo” refere-se a uma mistura constituída principalmente por hidrocarbonetos, além de compostos como enxofre, nitrogênio, oxigênio e metais.

### COMPOSIÇÃO DO PETRÓLEO

Para otimizar as operações de combate, limpeza e remediação é necessário identificar o produto vazado. Os *hidrocarbonetos do petróleo* são agrupados em quatro classes básicas, segundo o arranjo estrutural dos átomos de carbono e hidrogênio: aromáticos, parafínicos, naftênicos e oleofínicos (GOUVEIA, 2003).

Os *hidrocarbonetos aromáticos* caracterizam-se por apresentar anéis benzênicos contendo seis átomos de carbono, arrançados em um ciclo com três duplas ligações alternadas. O benzeno é o mais simples dos aromáticos e a grande maioria das substâncias que pertencem a esta classe derivam desse composto, relativamente solúvel em água, presente em quase todos os tipos de petróleo e nos seus derivados. São os que apresentam maior toxicidade.

Uma importante classe de compostos aromáticos são os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), como naftaleno, antraceno e benzopireno, solúveis em solventes orgânicos e com baixa dissolução em água. Por se tratar de produtos altamente lipofílicos (afinidade com gorduras), os componentes do óleo tendem a se associar com o material em suspensão e sedimentar, podendo ser bioacumulados e causar efeitos crônicos muito tempo após a ocorrência de um derramamento. Estão entre os compostos aromáticos que mais se destacam por sua resistência à biodegradação e por persistirem na coluna d'água e no sedimento durante muitos anos. Vários HPAs estão entre os carcinogênicos mais potentes e produzem tumores em certos organismos quando expostos a alguns microgramas desse poluente (EISLER, 1987 apud ZANARDI, 1996). Segundo GESAMP (1993), há evidências de que os HPAs são capazes de causar câncer em peixes e moluscos, e que podem ser tóxicos e potencialmente carcinogênicos ao homem.

Os *hidrocarbonetos parafínicos* caracterizam-se por apresentar cadeias ramificadas e normais de átomos

de carbono unidos aos átomos de hidrogênio. As ligações químicas são saturadas, ou seja, não apresentam duplas ligações entre os átomos de carbono. Estes compostos, também denominados de alcanos, são os maiores constituintes do gás natural e do petróleo.

Os *naftênicos* referem-se aos hidrocarbonetos saturados que formam anéis por meio de ligações simples. Estes e os parafínicos pertencem ao grupo dos alifáticos, menos tóxicos que os aromáticos, sendo os componentes mais rapidamente removidos pela degradação microbiológica no ambiente marinho.

A quarta classe refere-se aos *oleofínicos*, nome genérico atribuído aos hidrocarbonetos que contêm uma dupla ligação entre átomos de carbono. Não são encontrados originalmente no petróleo, sendo formados em grandes quantidades durante o craqueamento.

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO ÓLEO

O óleo possui algumas características físicas e químicas de grande importância que auxiliam na determinação do comportamento do produto no meio, bem como nos possíveis efeitos à saúde e segurança do homem e do ambiente. Conhecer essas características auxilia na tomada de decisões durante o atendimento emergencial através da escolha de procedimentos e equipamentos compatíveis com o tipo de óleo derramado num acidente. As principais características a serem observadas são a densidade relativa, persistência, viscosidade, ponto de fulgor, solubilidade e tensão superficial.

A *densidade relativa* ou *gravidade específica* é a razão entre a densidade do óleo com a da água pura. É uma grandeza adimensional, por se tratar de um quociente de duas grandezas de mesma espécie. A maioria dos petróleos e produtos refinados possui valor menor que 1,0, exceção feita a alguns tipos de óleo combustível. A densidade relativa do óleo é representada internacionalmente como grau API e pode ser calculado pela fórmula:

$$^{\circ}API = \frac{141,5}{DR} - 131,5$$

Onde: DR = densidade relativa

A *persistência* pode ser descrita quanto à meia vida (tempo de degradação de 50% do óleo na superfície do mar), que varia de acordo com as propriedades físicas do produto, condições climáticas e oceanográficas. De maneira geral, os óleos podem ser divididos em dois grandes grupos: não-persistentes e persistentes.

Os *não-persistentes* são os produtos refinados, amplamente formados por componentes leves, que tendem a ser completamente removidos de um ambiente afetado pelo processo natural. Óleos leves, como a gasolina (Grupo I), que são voláteis, evaporam rapidamente entre 24 e 48 horas; geram nuvens de vapores inflamáveis, com risco de incêndio e explosão, o que dificulta, de certa forma, as ações de contenção e recolhimento da mancha formada. Devido à sua elevada toxicidade, podem afetar severamente ovos, larvas e indivíduos jovens de organismos aquáticos mais sensíveis.

Os *persistentes* são os óleos crus e também os refinados (Grupos II, III, IV e V), compostos de uma mistura de componentes leves-médio-pesados, que não podem ser completamente removidos de um ambiente afetado sem intervenção das operações de limpeza. Mesmo assim, podem permanecer nos costões, estruturas, sedimentos de praias ou manguezais, de seis a sete dias, até vários anos, dependendo do volume vazado, da agilidade da operação inicial de combate, do grau de energia e hidrodinamismo local. São menos tóxicos aos organismos aquáticos do que os não-persistentes, porém podem afetar alguns organismos de praias, costões e manguezais por sufocamento. Alguns óleos dos Grupos IV e V tendem a formar camada semelhante à de pavimentação asfáltica, sobre estruturas e sedimentos, persistindo por vários anos em ambientes de baixa energia (ITOPF, 1986; IPIECA, 1991; API, 1999).

Estudos revelam que a persistência do óleo é bem maior nos sedimentos do que na coluna d'água (BÍCEGO, 1988; ZANARDI, 1996). Isto ocorre devido à sua migração da superfície do mar para o fundo, onde fica abrigado, assentado em camadas mais profundas, o que diminui o grau de exposição às ondas e à luz solar.

A *viscosidade* é a propriedade que um fluido tem de resistir ao escoamento, ou seja, é a resistência interna ao fluxo, expressa internacionalmente em centistoke (cSt). Depende diretamente da temperatura ambiente e dos teores de componentes leves do óleo, ou seja, da concentração de componentes aromáticos. Assim, óleos

os mais densos são mais viscosos e por isso são bombeados a temperaturas elevadas; se ocorrer vazamento em dias frios, sua remoção do mar será mais dificultada por equipamentos dotados de discos oleofílicos do que nos dias quentes. No entanto, a remoção da areia das praias poderá ser mais fácil.

Os óleos mais transportados por via marítima foram classificados internacionalmente em quatro grupos com base em ITOF (1985a; 2005), de acordo com sua densidade relativa (= gravidade específica), viscosidade e grau API.

Há ainda um quinto grupo citado por API (1999), que enquadra óleos persistentes, pesados, com densidade ou gravidade específica maior que 1,0.

O *ponto de fulgor* constitui um importante fator de segurança durante as operações de emergência, uma vez que óleos mais leves e produtos refinados tendem a ignizar-se mais facilmente do que óleos pesados. Ponto de fulgor é a menor temperatura em que uma substância libera vapores em quantidade suficiente para que a mistura de vapor e ar, logo acima da superfície livre, propague uma chama, a partir do contato com uma fonte de ignição. À medida que os componentes leves são dispersados ou se evaporam, o ponto de fulgor eleva-se, tornando-os menos perigosos nas operações de limpeza. Vale ressaltar que a diferença entre a classificação de risco do óleo diesel terrestre e do óleo diesel marítimo está no ponto de fulgor. A classe de risco do diesel terrestre é 3 e seu número ONU é 1202. O diesel marítimo (MF 180 e MF 380) pertence à classe 9 e seu número ONU é 3082 (BRASIL, 2004a). A diferença ocorre devido ao ponto de fulgor mais elevado do diesel marítimo, que é de 60°C, enquanto o do diesel terrestre é 37,8°C (WIKIPEDIA, 2004).

A *solubilidade* é o processo pelo qual uma substância (soluto) se dissolve em outra (solvente). A solubilidade do óleo em água é extremamente baixa (geralmente menor que 5 ppm); o mesmo não ocorre com os derivados leves como gasolina. Esse processo é muito importante em relação à toxicidade dos hidrocarbonetos

**Grupos de óleo e suas características principais.**

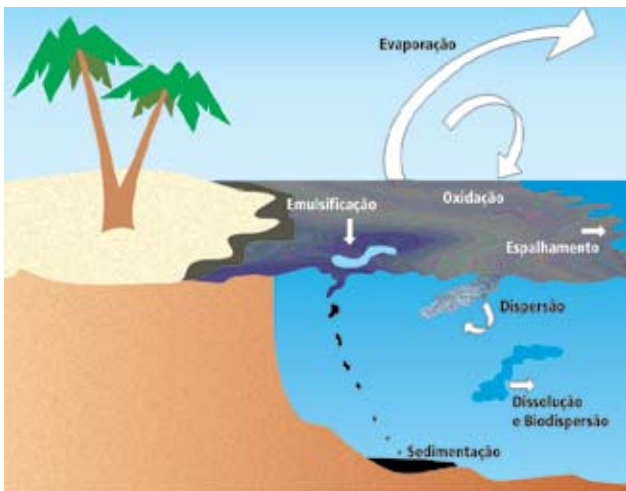
Grupo	Densidade relativa	°API	Meia-vida	Viscosidade cSt@ 15°C
Grupo I	<0,8	>45	~ 24h	0,5-2,0
Grupo II	0,80 < 0,85	35 a 45	~ 24h	4
Grupo III	0,85 < 0,95	17,5 a 35	~ 48h	8
Grupo IV	> 0,95	< 17,5	~ 72h	1500

em organismos aquáticos porque geralmente os óleos mais leves são mais voláteis e mais tóxicos.

Por fim, a *tensão superficial* é a força de atração entre as moléculas na superfície de um líquido. Essa força e a viscosidade determinam a taxa de espalhamento na superfície da água ou do solo. Assim, no caso de vazamento de óleos com baixa densidade relativa, à medida que a temperatura ambiente se eleva e a taxa de espalhamento aumenta, a tensão superficial tende a diminuir, facilitando a degradação natural.

### INTEMPERISMO

Depois de liberada no mar, a mancha de óleo passa por uma série de processos naturais denominada de intemperismo, que é influenciada pelas características físicas e químicas do produto vazado, pela irradiação solar, pelas variações na temperatura ambiente e da água, pela chegada de frentes frias, pela força dos ventos e pelo impacto das ondas e correntezas. A compreensão desses processos é importante como subsídio para as operações de resposta.



Intemperização do óleo no mar.

Souza, Mauro Teixeira (adaptado de ITOPE, 1986).

#### *Espalhamento*

A partir da fonte do vazamento, a mancha de óleo espalha-se horizontalmente na superfície da água, influenciada pela ação de ventos, marés, ondas e correntezas, deslocando-se para áreas distantes da origem, podendo atingir áreas sensíveis, mais intensamente nas primeiras 24 horas e durar acima de uma semana (API, 1999). O volume e tipo de óleo vazado e a capacidade de resposta também influenciam esse processo, pois quanto mais rapidamente for interrompida a fonte poluidora e iniciadas as ações de contenção e reco-

lhimento, menor será a taxa de espalhamento. Óleos densos, pesados e persistentes, que apresentam alta gravidade específica, espalham-se de forma mais lenta que os leves. Em águas calmas, o espalhamento tende a ocorrer em padrões circulares para fora do centro do ponto de liberação da mancha (CONCAWE, 1983 apud API, 1999). Em situação oposta, o óleo desloca-se pela influência de ventos e/ou correntes de superfície (NRC, 1985 apud API, 1999). Com base em registros anteriores sobre a influência dos ventos no deslocamento de manchas de óleo, no Canal de São Sebastião (SP), observou-se que o vento é o agente predominante no deslocamento das manchas a partir de 13 quilômetros por hora e que, em intensidade inferior, a tendência da mancha é seguir o sentido da corrente marinha predominante de superfície (POFFO et al., 1996).

#### *Evaporação*

Considerando a mancha de óleo na superfície, os compostos aromáticos dos hidrocarbonetos (os mais tóxicos) passam para a atmosfera sob interferência direta da temperatura ambiente e da radiação solar. Em dias quentes, sem nuvens e de baixa umidade relativa, espera-se maior taxa de evaporação, principalmente dos leves, de forma mais intensa nas primeiras horas (API, 1999; ITOPE, 1985a).

#### *Dissolução*

Os hidrocarbonetos aromáticos, entre outros compostos do óleo, dissolvem-se por ação das ondas e correntezas e passam para a coluna d'água. Isso é mais intenso na primeira hora e pode durar até 24 horas (API, 1999). Óleos leves são mais solúveis que os pesados.

#### *Dispersão natural*

A mancha de óleo é fragmentada em gotículas, em decorrência da agitação do mar, do vento e das ondas (dispersão natural), o que se inicia na primeira hora, ocorre mais intensamente nas 48 horas seguintes e pode durar até um mês (API, 1999). Pode ser acelerado quimicamente pela aplicação de dispersantes (BRASIL 2001), ou por ação mecânica (passagem de embarcações sobre a mancha, por exemplo).

#### *Emulsificação*

As moléculas de hidrocarbonetos incorporam moléculas de água, formando emulsão água-óleo, ou o chamado "mousse de chocolate", que ocorre mais intensamente entre as dez primeiras horas após o derramamento e os sete primeiros dias, e pode prolongar-se por até um ano (API, 1999). Emulsões de óleos



**2.1.** Mancha de óleo densa, nas primeiras horas após o vazamento. Banco de imagens da CETESB

pesados em ambientes de baixa circulação de energia como estuários, tendem a ser mais persistentes do que de óleos leves.

#### *Oxidação ou foto-oxidação*

A incidência da luz ultravioleta sobre a mancha de óleo aumenta a presença de oxigênio nos seus componentes. Os compostos formados nesta reação tornam-se mais tóxicos e solúveis na água e passam da superfície para a coluna d'água, processo que se inicia na primeira hora e pode durar até um mês (API, 1999; ITOPE, 1986).



**2.2.** Mancha de óleo tipo III, chegando à praia nas primeiras 24 horas depois do vazamento. Banco de imagens da CETESB



**2.3.** Manchas de óleo intemperizadas, 24 a 48 horas depois do vazamento. Banco de imagens da CETESB

#### *Sedimentação*

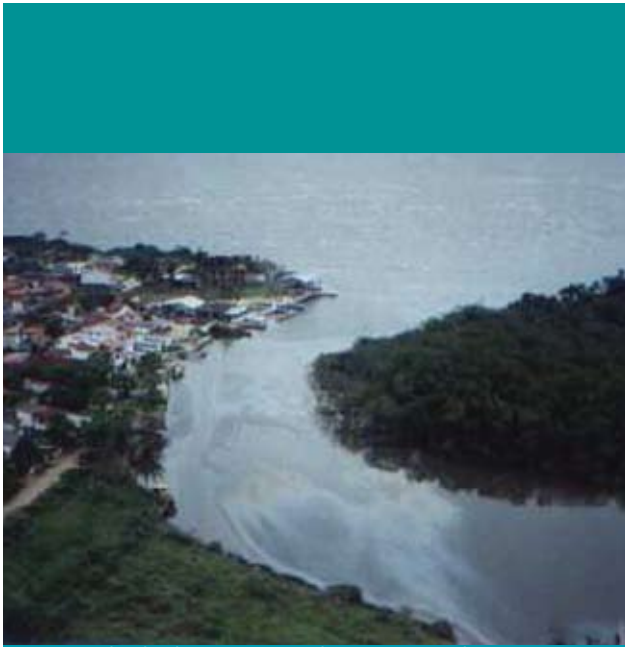
Os componentes mais pesados do óleo que não se dissolvem na água aderem às pequenas partículas inorgânicas e aos materiais sólidos flutuantes (detritos, galhos e resíduos) e tendem a ir ao fundo, processo que ocorre mais intensamente de 24 horas a um mês após o vazamento e pode durar vários anos (API, 1999).

#### *Biodegradação*

É a degradação natural das moléculas de hidrocarbonetos por bactérias e fungos, que ocorre na



**2.4.** Manchas de óleo tipo III, fragmentadas, 24 a 48 horas após o vazamento. Banco de Imagens da CETESB.

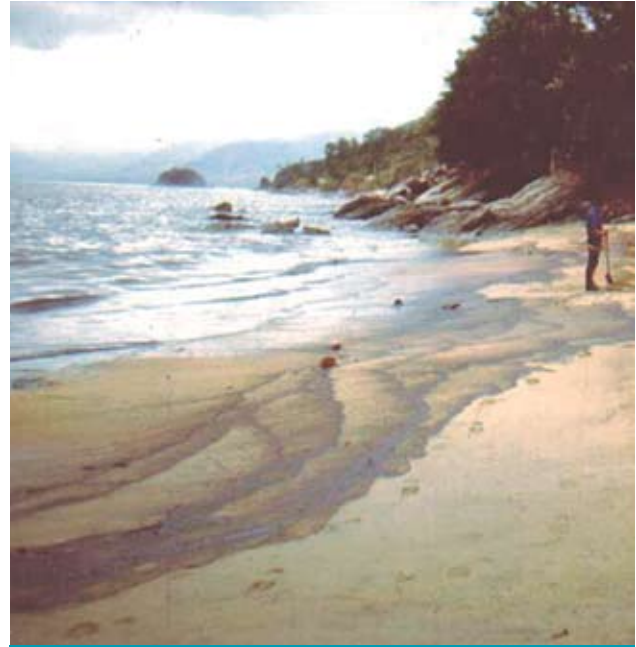


**2.5.** Mancha de óleo intemperizada, entre 48 e 72 horas após o vazamento. Banco de imagens da CETESB.

superfície, na coluna d'água, no sedimento e nos demais ambientes como praias, costões e manguezais. Este processo está diretamente ligado à disponibilidade de oxigênio, de nutrientes e à temperatura da água. Assim, as manchas de óleo tendem a ser degradadas mais lentamente nos meses frios e em áreas abrigadas como estuários, baías e enseadas. Ao contrário, será mais rápido em áreas onde existem ondas, correntezas e marés, ricas em nutrientes e com temperaturas acima de 18°C. De forma geral, inicia-se na primeira semana, torna-se mais intenso nos trinta dias seguintes e pode persistir até durante um ano (API, 1999).



**2.6.** Mancha de óleo denso, chegando à praia nas primeiras horas após o vazamento. Banco de imagens da CETESB.



**2.7.** Mancha na forma de "mousse", chegando entre 24/48 horas após o vazamento. Banco de imagens da CETESB.

Em razão do intemperismo, o óleo liberado no mar devido a um vazamento passa por mudanças marcantes na sua aparência. Quanto à coloração, o produto que se apresenta inicialmente preto ou marrom escuro (foto 2.1), passará para marrom claro e alaranjado após a emulsificação (foto 2.2) e a iridescente e prateado na fase final de degradação (foto 2.3).

Quanto à forma, as manchas densas e contínuas passarão a manchas esparsas e fragmentadas (foto 2.4), principalmente por ação dos ventos e das correntes marinhas, depois a filetes, placas, pelotas, espumas e gordura até a sua degradação total (foto 2.5). As manchas de óleo pesado, intemperizadas, chegam às



**2.8.** Pelotas de óleo, agrupadas e esparsas, chegando entre 48/72 horas após o vazamento. Banco de imagens da CETESB.

praias de formas diferentes. É importante observar esse detalhe durante as vistorias, pois a informação obtida norteará os procedimentos de limpeza mais adequados. Em grandes quantidades podem ter o aspecto de “mouse de chocolate”, densa, recobrando extensas áreas (foto 2.6). Em volume menor, apresentam-se mais esparsas (foto 2.7). Sua distribuição na faixa de areia também ocorre por influência da variação das marés e da declividade da praia, sendo menor nas praias com maior declive e maior nas mais planas. Quanto mais degradado e envelhecido estiver o óleo, maior será a tendência de chegar às praias na forma de pelotas (foto 2.8).

#### *Intemperismo e ações de combate*

Na liberação de pequenos volumes de óleos leves (gasolina e querosene) em dias ensolarados de primavera/verão, a intemperização será rápida. Na liberação de óleos pesados em períodos de outono/inverno, a situação esperada inverte-se, principalmente no que diz respeito à evaporação.

As ações de combate iniciadas nas primeiras horas, após o começo do processo de intemperização de óleos dos grupos II, III, IV e V, são mais eficientes do que quando o produto estiver intemperizado.

A dispersão mecânica auxilia a dispersão natural e deve ser empregada quando não houver mais possibilidade de recolhimento. Se empregada em manchas pouco intemperizadas logo no início da operação, possibilitará a rápida formação de pelotas de óleo que chegarão às praias e outras áreas sensíveis nos próximos dias.

No caso da liberação de grandes volumes de óleo, com possibilidade de atingir áreas sensíveis, é muito importante manter atualizadas as previsões meteorológicas e a tábua de marés, como subsídio às medidas de proteção ambiental. Recomenda-se também a consulta a pescadores ou marítimos que tenham conhecimento da região.

### **CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DERRAMADO, ANÁLISES LABORATORIAIS E ASPECTOS AMBIENTAIS**

Não havendo mais contato visual com as manchas na superfície da água e na areia das praias, muitos acreditam que a poluição está controlada e que o óleo foi removido. No entanto, sabe-se que há frações hidrossolúveis do óleo dispersas no mar e, dependendo do produto vazado, pode haver ainda deposição de placas de piche no sedimento de fundo, inclusive próximo das praias (POFFO, 2000). De acordo com Bicego (1988) considera-se o meio contaminado quando as

concentrações de hidrocarbonetos parafínicos totais encontradas na coluna d'água e/ou no sedimento forem iguais ou maiores que 5mg/g.

Segundo alguns autores, a gravidade e a extensão dos danos ambientais resultantes da liberação de óleo no ambiente marinho dependem de vários fatores que agem simultaneamente (SCHAEFFER-NOVELLI, 1990; LOPES et al., 1992; MILLANELI, 1994; POFFO, 2000), como:

- volume derramado;
- características físicas, químicas e toxicológicas do produto liberado;
- eficiência e rapidez dos procedimentos de contenção e recolhimento;
- distância entre a fonte do vazamento e as áreas atingidas;
- quantidade e extensão das áreas afetadas;
- hidrodinamismo da região;
- grau de sensibilidade dos ecossistemas atingidos;
- importância socioeconômica das áreas afetadas; e
- procedimentos adotados para a limpeza dos ambientes impactados.

#### **Análises físicas, químicas e toxicológicas**

Há muitos questionamentos sobre quais análises físicas, químicas e toxicológicas devem ser feitas para caracterizar o óleo vazado e seus efeitos à vida marinha bem como para subsidiar estudos de monitoramento. Análises de diferentes parâmetros podem ser realizadas. Porém, é importante lembrar o que se quer detectar especificamente, quais os pontos de amostragem, quem será designado para realizar as coletas, qual o material e metodologia adequados para coletar e acondicionar as amostras, quais os laboratórios capacitados e disponíveis para efetuar as análises e os parâmetros a serem analisados.

Os procedimentos para coleta e acondicionamento das amostras de óleo devem obedecer a critérios técnicos, desde a escolha correta dos frascos e a metodologia de coleta na água (superfície e coluna d'água), no sedimento e em organismos moribundos ou mortos, ao correto acondicionamento das amostras. As análises devem ser confiadas a laboratórios credenciados pelo INMETRO e com certificação de qualidade.

A análise comparativa de óleos é um procedimento destinado a auxiliar na identificação da fonte poluidora e verificar se há correlação entre o óleo liberado e as áreas impactadas. Podem ser coletadas amostras da mancha no mar, em sedimentos e em folhas contaminadas, preferencialmente por pessoas capacitadas. No interior do navio suspeito é preciso obter a autorização

do comandante e pode ser necessário o acompanhamento de oficiais da Capitania dos Portos.

Quando a Capitania tem interesse na análise para embasar processos de investigação, as amostras são encaminhadas para os laboratórios do Instituto de Estudos do Mar, da Marinha, no Rio de Janeiro (RJ). O Laboratório da PETROBRAS/CENPES, também no Rio de Janeiro, além de realizar estas análises, dispõe do Banco de Dados de Avaliação de Petróleo com as características físicas e químicas dos principais óleos transportados pela empresa.

Outras análises que podem ser realizadas durante um vazamento de óleo incluem:

- teores de óleos e graxas (OG) em amostras de sedimento e dos resíduos gerados;
- teores de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX);
- espectrometria para separação de contribuição entre hidrocarbonetos biogênicos (cadeias ímpares) e não biogênicos (cadeias pares) que às vezes utilizam pireno como indicador de biogênicos;
- teores de alcanos totais;
- análises de hidrocarbonetos em moluscos bivalves (mexilhões, mariscos, ostras).

Cada derramamento de óleo é um caso específico; assim, nem todos os resultados obtidos em um evento se aplicam necessariamente a outros.

### Testes de toxicidade

Quando não são conhecidas as características ecotoxicológicas do óleo sobre os organismos aquáticos, recorre-se aos testes de toxicidade que avaliam a concentração da amostra capaz de produzir efeito adverso na sobrevivência, crescimento e/ou reprodução dos organismos em um determinado período de exposição (RAND, 1995). Para realizar esses ensaios empregam-se metodologias padronizadas em normas, ou manuais de entidades como Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Environmental Protection Agency (USEPA), American Society for Testing and Materials (ASTM), e outras.

Devido à sua sensibilidade, os microcrustáceos e as larvas de equinodermos estão entre os organismos mais utilizados em laboratório para testes com a fração hidrossolúvel do óleo (FHS).

A CETESB avalia os efeitos tóxicos da fração hidrossolúvel de óleo por meio de testes de toxicidade aguda com o microcrustáceo *Mysidopsis juniae*. No fim do experimento, determina a concentração da FHS responsável pelo efeito letal a 50% dos organismos (CL50), após o período de exposição de 96 horas.

Os resultados indicam que a espécie *M. juniae* apresentou maior sensibilidade ao óleo MF 380. Apenas 6 ml da FHS deste óleo, presente em 100 ml de água, durante 96 horas de exposição, causou a mortalidade

Resultados dos testes de toxicidade aguda para alguns tipos de óleo com *Mysidopsis juniae* em vazamentos no litoral de São Paulo.

Tipo de óleo	Data da realização do teste	CL50; 96h (%fhs)
Albacora	1995	47,50%
Albacora	1997	32,70%
Árabe pesado	1998	58,00%
Marlim	1998	23,80%
MF 180	1994	9,00%
MF 180 (óleo intemperizado)	1998	55,00%
MF 380	2000	6,00%
Sergipano terra	1994	59,80%
Sergipano terra (óleo intemperizado)	1994	89,30%

Fonte: CETESB.



Apesar de todos os recursos disponíveis no combate a manchas de óleo no mar, em raros casos os ecossistemas costeiros não são atingidos. A limpeza desses ambientes, portanto, é parte integrante e essencial dos planos e ações emergenciais, e seus critérios devem ser previamente determinados e definidos.

A rotina do atendimento emergencial com vazamento de óleo no mar é marcada pela rapidez e eficiência estimuladas pela própria reação da sociedade usuária direta ou indireta dos recursos naturais afetados. Essa pressão recai sobre o poluidor e as instituições que atuam na resposta aos eventos.

Historicamente, no mundo inteiro existe uma cultura de “quanto mais rápida a limpeza, melhor”, ou seja, métodos que viabilizem a rápida remoção do óleo e deixem o ambiente visualmente “limpo” têm preferência nas frentes de limpeza. Esses métodos rápidos e nem sempre eficientes do ponto de vista ambiental têm a seu favor o fato de reduzir o tempo necessário para limpeza e, em consequência, o custo da operação e o desgaste gerado pela exposição dos acidentes ecológicos na mídia. Entretanto, em muitas situações empregam-se métodos cujos efeitos ambientais são desconhecidos ou ignorados pelos executantes (ITOPF, 2000b; DICKS, 1998). Para uma intervenção eficiente, é fundamental o conhecimento das características locais dos ambientes atingidos e dos impactos esperados tanto do vazamento como das ações de limpeza.

Métodos que atendem as premissas de eficiência em remoção são muitos e utilizam uma grande variedade de máquinas, veículos leves e pesados e equipamentos especialmente desenvolvidos para esse fim. Porém, quase todos os métodos de limpeza disponíveis provocam algum tipo de impacto adicional específico ao meio ambiente. Em muitos casos, os danos causados pelo procedimento são tão graves ou mais sérios que os gerados pelo próprio óleo, podendo causar a total supressão da comunidade biológica que existe no ambiente, dilatando significativamente o tempo de recuperação do ecossistema atingido (KERAMBRUN; PARKER, 1998; API, 1985; OCIMF; IPIECA; 1980; ITOF, 2000b, 2004b; DICKS, 1998; 2002; PEZENSKI, 2000).

Do ponto de vista do órgão ambiental, um procedimento de limpeza eficiente é aquele que possibilita a remoção do contaminante, com mínimos impactos adicionais ao ecossistema atingido e favorece a recuperação do ambiente no menor tempo possível. Nem sempre isso significa a total remoção de qualquer resquício de óleo (KERAMBRUN; PARKER, 1998; DICKS, 1998; DICKS et al., 2000). Nem sempre a limpeza rápida significa a rápida recuperação do ambiente. Esse não

é um problema recente e tem gerado conseqüências negativas em diversos eventos, como no vazamento do petroleiro Exxon Valdez (NOAA, 2004; WHITFIELD, 2003), na Guerra do Golfo, no acidente envolvendo o petroleiro Erika (DICKS, 2002) e, no Brasil, com o acidente ocorrido na Baía de Guanabara (RJ), em 2000 (MILANELLI et al., 2000; MICHEL, 2000).

Cabe destacar aqui o importante conceito *custo-benefício* dos procedimentos adotados na limpeza dos ambientes atingidos, que pondera os benefícios sociais e ambientais de cada método, de acordo com as demandas locais específicas de cada evento. Esse conceito é referido por alguns autores como “NEBA” - Net Environmental Benefit Analysis (DICKS, 1998; DICKS et al., 2000; ITOF, 2004a; KERAMBRUN; PARKER, 1998; WHITFIELD, 2003; BAKER, 1990). Muitas vezes há conflitos entre as prioridades sociais e ambientais, o que dificulta a escolha dos procedimentos mais adequados para a limpeza. Cada vazamento de óleo tem características e demandas particulares e incomparáveis a considerar. Os procedimentos de limpeza devem ser avaliados caso a caso, invariavelmente com a participação dos órgãos ambientais competentes e equipes capacitadas para esse fim (DICKS et al., 2000).

Outro aspecto importante a ser considerado é o conceito de zonas de sacrifício e áreas prioritárias de proteção. É preciso conhecer os ambientes vulneráveis para que essas ferramentas de gestão da emergência sejam adotadas. Ambientes mais fáceis de limpar e com recuperação mais rápida podem ser estrategicamente usados para interceptar manchas de óleo que ameacem ambientes mais sensíveis e de limpeza difícil.

Ações de limpeza mal planejadas não consideram a definição de prioridades durante um atendimento emergencial envolvendo limpeza de ambientes costeiros. Na primeira fase do combate, a prioridade é a contenção e a remoção em mar que, se bem feita, previne a costa da contaminação e necessidade de limpeza. Apesar disso, os recursos e a logística para a limpeza da costa precisam ser mobilizados desde a fase inicial da emergência e para tanto os procedimentos devem estar delineados para cada ambiente sob risco de contaminação e as equipes organizadas e treinadas.

Diante de uma situação em que vários ambientes são atingidos (praias, costões, manguezais, entre outros), um problema a ser solucionado é qual o ambiente a ser limpo primeiramente. Para isso devem ser identificadas as áreas prioritárias de proteção e intervenção, o que não impede que esse aspecto fundamental seja freqüentemente sujeito a interpretações conflitantes. Culturalmente, a tendência é dar prio-

ridade à limpeza das praias mais visadas pela mídia e de uso intenso pela população. Em conseqüência, a limpeza de costões rochosos e manguezais muitas vezes é considerada em um segundo momento. Na maioria dos casos, não se leva em conta a sensibilidade ecológica dos ecossistemas na definição de prioridades de limpeza.

Esse é um problema relevante do ponto de vista ambiental porque o critério para priorizar a limpeza deve considerar o grau de sensibilidade dos ambientes atingidos já definido internacionalmente (GUNDLACH; HAYES, 1978) e também no Brasil (BRASIL, 2004a). Assim, manguezais, marismas, planícies de marés, recifes de coral e costões rochosos abrigados são exemplos de ambientes que precisam receber cuidados especiais e, se necessário, intervenções prioritárias, por sua sensibilidade. Infelizmente são raros os exemplos de recursos que possibilitaram a intervenção simultânea em todos os ambientes afetados.

É fundamental que os procedimentos de limpeza se realizem após o óleo ter sido retirado das águas contíguas aos locais contaminados. Por conseguinte, a primeira etapa para a recuperação dos ecossistemas costeiros é a contenção e remoção mecânica do óleo nas águas adjacentes (API, 1985; API et al., 2001; ITOPE, 2000a). De outra forma, os ambientes atingidos podem ser contaminados inúmeras vezes, sendo necessário repetir a operação, o que acarreta maior estresse e danos adicionais à comunidade já perturbada pelo óleo e pela própria manipulação da limpeza. A pressa para iniciar a limpeza deve ser precedida de ações de contenção e remoção em água.

Finalmente, uma questão que costuma gerar conflito durante os atendimentos emergenciais é: “quão limpo é o suficiente?” (*How clean is clean?*). Demandas socioeconômicas podem estimular a limpeza em situações em que a recuperação natural é mais adequada, mas também podem prolongar a limpeza por tempo maior que o necessário, afetando negativamente o ambiente.

As equipes responsáveis pela recuperação de ambientes afetados por derrames de óleo devem estar cientes de que é impossível a remoção absoluta de todo e qualquer resíduo oleoso do ambiente. Muitos autores defendem alguns critérios para definir o momento da interrupção da limpeza. Entre eles, Tebau (1995 apud KERAMBRUN; PARKER, 1998), cita que praias de areia são aceitas como limpas quando não há mais sinais perceptíveis de óleo (visual, odor, ou outra forma de percepção). Segundo este autor, outros critérios consideram indicadores mais sensíveis,

como diagnósticos químicos e laboratoriais das concentrações de hidrocarbonetos no ambiente, como HPAs (hidrocarbonetos policíclico-aromáticos). A forma mais adequada de abordar esta questão depende de cada contexto e principalmente dos usos a que se submete o ambiente em questão.

Portanto, é necessário considerar a pergunta “quão limpo é o suficiente” durante a limpeza. Kerambrun e Parker (1998) sugerem que, como subsídio a essa decisão, sejam avaliadas as seguintes questões:

- o óleo que ainda existe no ambiente representa fonte potencial de risco aos recursos ambientalmente sensíveis?
- o óleo que ainda existe interfere nos aspectos estéticos ou usos dos ambientes atingidos?
- o óleo ainda presente afeta significativamente as atividades econômicas locais?
- os benefícios da continuidade no procedimento de limpeza serão significativos ou perceptíveis ?

Se alguma destas perguntas tiver resposta positiva, há motivos para discutir e justificar a continuidade da limpeza entre os agentes envolvidos.

## **AVALIAÇÃO DOS PRINCIPAIS MÉTODOS DE LIMPEZA**

À luz desta realidade, são descritos sumariamente os procedimentos fundamentais e os recursos disponíveis para a limpeza da costa. Como já citado, muitos deles apresentam severos danos ambientais e são aplicados para atender à demanda socioeconômica e à premissa da “eficiência”.

### **Remoção mecânica**

Com o fim de obter maior eficiência e rapidez na limpeza de praias, ainda são utilizados com frequência veículos e máquinas pesadas como tratores e retroescavadeiras (foto 3.1), tanto de roda como de esteira, que operam na faixa de praia e na zona entremarés, removendo óleo e areia. Também se utilizam caminhões-caçamba, caminhões-vácuo e veículos especialmente construídos para essa atividade.

A remoção mecânica é utilizada para recolher o óleo na zona entremarés e pode gerar graves danos à comunidade biológica que é removida junto com a areia (foto 3.2). Por sua vez, as máquinas causam a compactação do substrato, aumentando ainda mais os danos à comunidade existente na areia. Ressalta-se que a comunidade biológica das praias de areia concentra-se, em grande parte, nos vinte centímetros superficiais do sedimento.



3.1. Remoção de óleo e areia com máquina em zona entremarés. Banco de imagens da CETESB



3.2. Uso de máquina pesada no vazamento Hamilton Lopes, São Sebastião, 1986. Banco de imagens da CETESB

Além dos efeitos prejudiciais diretos à biota, esse procedimento causa a descaracterização fisiográfica da praia, devido à alteração do seu equilíbrio dinâmico, e causa processos erosivos de intensidade variável, que podem ter conseqüências imprevisíveis. O impacto da remoção de sedimentos é grave em praias de cascalho, porque não são rapidamente repostos, o que submete o ambiente a intensos processos de erosão perturbadores da estabilidade geomorfológica.

O volume de areia removido pela operação mecânica em geral é elevado, e grande parte de sedimentos limpos é retirada desnecessariamente do ambiente. Além dos prejuízos biológicos produz-se uma quantidade inútil de resíduos que, com freqüência, ultrapassa muitas vezes o volume total de óleo vazado. Em São Paulo esse procedimento foi adotado durante muitos anos, especialmente nas décadas de 70 e 80.

#### Absorventes

Nos últimos dez anos cresceu a oferta de novos produtos com propriedades absorventes para uso específico em vazamentos de hidrocarbonetos. São princípios de ação desses materiais a absorção e a adsorção.

Os produtos absorventes podem ser divididos em duas categorias básicas: sintéticos e naturais (LOPES; MILANELLI; GOUVEIA, 2005).

Os *absorventes sintéticos* são desenvolvidos industrialmente a partir de polímeros, espuma de poliuretano, fibras de polietileno e polipropileno, copolímeros especiais e fibra de *nylon*, entre outros. Têm as maiores capacidades de absorção: até setenta vezes o seu peso em óleo. Podem ser utilizados na forma de mantas, travesseiros, barreiras ou a granel.

Uma vez que têm baixíssimos potenciais de biodegradação, não devem ser lançados a granel no ambiente, sem ser recolhidos depois. Dessa forma, a granel são mais indicados para uso em áreas construídas (píeres, pátios, embarcações) e pavimentadas. Quando usados no ambiente, devem estar encapsulados na forma de barreiras, travesseiros, ou mantas e ser recolhidos após o uso. Nessa condição são muito úteis na limpeza de áreas abrigadas e pequenas manchas, mas sempre associados a corpos d'água como águas rasas, lagoas costeiras, lagoas, estuários e canais de manguezais, entre outros.

Os *absorventes naturais* podem ser minerais ou orgânicos. A produção dos absorventes minerais é feita a partir do tratamento industrial de rochas, calcários, sílica, terra diatomácea, argila, perlita e vermiculita. Possuem boa eficiência de absorção. No entanto, se lançados a granel em grande quantidade no ambiente podem causar impactos adicionais pelo recobrimento físico de organismos.

Aplicados no meio aquático, dependendo da dimensão dos grãos, podem afundar rapidamente conduzindo o óleo para o sedimento. Quando o absorvente mineral é lançado e não recolhido, os pequenos grânulos minerais adsorvem uma película de óleo, gerando um agregado óleo-mineral que é submetido a processos de intemperismo e biodegradação. Apesar de as partículas minerais serem indicadas como eficientes removeedores de óleo da água, não são a melhor opção para uso a granel nas águas costeiras, devido à dificuldade no seu recolhimento. No entanto, absorventes minerais podem ser utilizados em contaminação superficial do solo em áreas restritas e específicas como praias,

mangues, planícies de maré, etc. e posteriormente recolhidos. Em casos específicos, pondera-se que o lançamento de absorventes minerais, que podem ter a qualidade de adsorção, é melhor do que deixar o ambiente contaminado, mesmo quando há limitações operacionais para o seu recolhimento.

Os *absorventes naturais orgânicos* não industrializados na sua maioria são derivados de matéria-prima vegetal, como cortiça, palha, feno, bagaço de cana-de-açúcar, casca de coco, entre outros, (UNITED STATES, 2004) e são utilizados em situações emergenciais quando não se dispõe de outros recursos para ação imediata. Com esse material é possível improvisar barreiras absorventes e malhas de filtragem para absorver pequenas quantidades de óleo. Absorventes de origem animal também existem, como as penas de aves, mas ainda não estão bem representados no mercado.

Os *absorventes orgânicos industrializados* potencializam a capacidade de absorção e são preparados para otimizar a aplicação, o transporte e o armazenamento (foto 3.3). Entre eles estão os produtos à base de turfa, celulose e semente de algodão, que podem ser preparados de acordo com diferentes usos e granulometrias, ou mesmo ser enriquecidos com nutrientes para atuar como biorremediadores. As turfas vegetais (*peat*), geradas do *Sphagnum canadense*, vêm sendo muito utilizadas no Brasil. Apresentam muitos aspectos ambientalmente positivos, como biodegradabilidade, boa flutuabilidade, ausência de toxicidade e boa eficiência (taxas de absorção) (LOPES; MILANELLI; GOUVEIA, 2005). Devido às suas características adsorventes esses produtos, se não forem recolhidos, submetem o óleo a processos de biodegradação protegendo a biota e o ambiente.

O uso de absorventes é um método útil, do ponto de vista ecológico, uma vez que aplicados corretamente causam mínimos prejuízos ambientais. A eficiência do método no recolhimento é boa para pequenas quan-

tidades de óleo. Por isso, seu uso é indicado apenas em etapas posteriores ao recolhimento mecânico ou eventualmente integrado a elas.

Entre os possíveis impactos do uso inadequado de absorventes estão a contaminação de sedimentos, resultante do afundamento de material saturado e não recolhido, e a contaminação da teia alimentar associada à água e principalmente ao sedimento.

Ressalta-se que todos os esforços devem ser direcionados para o recolhimento de qualquer material absorvente lançado no ambiente, natural ou sintético (API et al., 2001).

### **Enterramento/revolvimento do sedimento**

Essa operação consiste em recobrir uma área atingida por óleo, como um trecho de praia, com sedimento não contaminado. Uma variação desse método é revolver o sedimento contaminado ou mesmo deslocá-lo para o infralitoral. É recomendado como procedimento de combate e limpeza de praias por alguns autores.

O enterramento justifica-se apenas do ponto de vista estético. Favorece a recuperação do aspecto exterior do local em curto prazo, mas mantém o óleo com grande possibilidade de liberação posterior e recontaminação do ambiente. O método também acarreta deslocamento de sedimento, e pode causar alteração da estrutura fisiográfica e ecológica da praia. Os efeitos do próprio petróleo recoberto pela areia refletem-se na comunidade existente no sedimento, uma vez que as ações se realizam comumente na zona entremarés. Agregam-se ao impacto do óleo no ambiente, os danos gerados pelo tráfego de máquinas pesadas na zona entremarés.

Um exemplo de intensa manipulação do sedimento é o revolvimento de sedimentos contaminados. Esse método baseia-se na descoberta do momento em que o óleo se agrega às partículas finas de sedimento,



**3.3.** Aplicação de turfa em mancha de óleo. Lagoa costeira, Praia da Lagoa, Ubatuba (SP). Banco de imagens da CETESB

como silte e argila, favorecendo a limpeza natural do ambiente através da floculação do agregado partícula-óleo, mesmo em locais abrigados da ação das ondas (OWENS, 1999). Esses agregados fazem com que o óleo adsorvido não adira ao substrato e aos organismos vivos, favorecendo o intemperismo natural e principalmente a biodegradação do produto. A fim de potencializar este fenômeno, alguns autores têm estudado o deslocamento de sedimento contaminado entremarés para o infralitoral, onde o óleo pode ser agregado aos particulados finos, como alternativa para acelerar a limpeza natural. O revolvimento e o reposicionamento do sedimento são feitos com máquinas pesadas. São evidentes os intensos impactos desse método, como conseqüência da circulação na zona entremarés e deslocamento de grande quantidade de sedimentos na zona de maior riqueza biológica da praia (franja do infralitoral).

O recobrimento pode também ocorrer naturalmente em praias, quando a contaminação se dá no período construtivo do ambiente. Este período está associado aos meses em que as condições de agitação marítima são menores, normalmente no verão, quando há entrada de sedimentos na face praial. Ao contrário, durante os meses de inverno ou de maior agitação marítima (frentes frias, por exemplo), as ondas e correntes intensas retiram areia das praias caracterizando a fase destrutiva do ciclo praial. Este sedimento é depositado em bancos de areia ao largo da costa. Com isso, os gestores da limpeza de praias, tendo conhecimento desse processo natural, devem tomar o cuidado de garantir que não existam áreas contaminadas recobertas com sedimento limpo. O período de um único ciclo de maré é suficiente para recobrir o óleo com uma fina camada de areia limpa. Caso contrário, o óleo encapsulado no sedimento será disponibilizado no período erosional, reaparecendo na praia e exigindo novas ações de limpeza.



3.4. Jateamento de costões rochosos, Baía de Guanabara, RJ, 2000. Banco de imagens da CETESB

#### Jateamento com água – alta e baixa pressão

O jateamento de estruturas e substratos consolidados sempre foi um dos métodos mais utilizados para remoção do óleo em costões rochosos e estruturas artificiais, como píeres, colunas de portos, enrocamentos e quebra-mares, devido à sua elevada eficiência de limpeza (foto 3.4). Consiste na remoção do óleo através de jatos de água com pressões que variam de menos de quinhentas a mais de dez mil libras por polegada quadrada (PSI). Pressões abaixo de quinhentas libras são consideradas baixas (*low pressure flushing*) e acima de mil libras, altas (*high pressure flushing*).

O jateamento pode ser feito por mar (embarcação com compressores), ou por terra, com água doce, ou salgada, quente, ou fria. Ainda podem ser utilizadas substâncias químicas associadas, como surfactantes e dispersantes, para aumentar a eficiência da limpeza.

O princípio do jateamento com água é a remoção mecânica pela pressão. Com isso, o óleo é removido da rocha mesmo em condições de alta viscosidade, densidade ou elevado processo de intemperismo, quando forma densas placas asfálticas recobrendo a rocha. Quanto mais denso o óleo no ambiente, maiores pressões são necessárias para removê-lo.

A principal e mais grave conseqüência ambiental do jateamento é a remoção mecânica da fauna e flora, quando o procedimento é realizado na zona entremarés, rica em espécies. O procedimento remove eficientemente o óleo, mas também promove a remoção da comunidade biológica.

O jateamento é um dos procedimentos mais usados no Brasil e foi intensamente adotado em São Paulo, até o início dos anos 90. A CETESB, ao questionar o método por ser muito agressivo à biota, comprovou, em experimentos, que as conseqüências do jateamento com alta pressão em costões rochosos são mais graves do que quando o ambiente é submetido à recuperação natural (sem qualquer ação de limpeza) (JOHNSCHER-FORNASARO et al., 1990; MILANELLI; LOPES; JOHNSCHER-FORNASARO, 1992; MILANELLI, 1994). Este fato também foi comprovado por outros autores (NELSON, 1982).

No Brasil, isso foi constatado após o acidente ocorrido em janeiro de 2000, quando costões localizados na Baía de Guanabara, RJ, foram jateados com água a alta pressão (MILANELLI et al., 2000). Acompanhamentos posteriores confirmaram os severos danos adicionais do jateamento à comunidade biológica de substratos consolidados. Apesar de o sedimento rochoso estar li-

vre do contaminante (e da fauna e flora originalmente presentes), são necessários muitos anos para o ecossistema retornar ao equilíbrio novamente. Os danos gerados pelo jateamento também estão ligados à contaminação do sedimento adjacente à área jateada e conseqüentemente da teia alimentar (API, 1985).

Pode-se considerar então a possibilidade de redução da pressão de jateamento para preservar a comunidade durante a limpeza. Estudos conduzidos nesse sentido indicam que mesmo com baixas pressões, abaixo de 500 psi, os impactos sobre a fauna e flora persistem, principalmente para as espécies mais frágeis e sensíveis (LOPES et al., 1992; MILANELLI; LOPES, 1998).

Com base no exposto fica claro que o jateamento de áreas habitadas como método de limpeza é apenas justificável do ponto de vista estético. No acidente envolvendo o petroleiro Prestige, na Espanha, em novembro de 2003, o jateamento com alta pressão não foi utilizado nos costões rochosos, mas apenas nas estruturas artificiais como pilares e muradas de portos. O jateamento utilizado durante as operações de combate no vazamento proveniente do petroleiro Exxon Valdez, ocorrido no Alaska, em 1989 (EUA), gerou intensos danos adicionais nas comunidades de substrato rochoso (NOAA, 2004). Em São Paulo, desde 1994 não se usa essa técnica na zona entremarés habitada, adotando-se outras técnicas de limpeza menos impactantes.

### **Jateamento com areia**

É a remoção do óleo por meio da projeção de um jato de areia (ou outro agente abrasivo) sob pressão, aplicado sobre superfícies sólidas como costões rochosos e substratos artificiais (enrocamentos, pilares de portos, rampas, píeres etc.).

Devido à abrasão e pressão do jato de areia, o procedimento remove completamente a comunidade biológica do substrato. O acúmulo de areia na base das rochas também pode causar o soterramento e asfixia das espécies ali instaladas. Esse método favorece a contaminação de áreas adjacentes, pois o óleo removido e/ou agregado aos grãos de areia tende a afundar. Este material tem potencial para recobrir organismos de fundo. A aplicação do jato de areia é fundamentada exclusivamente em razões estéticas.

### **Jateamento com vapor**

Um jato de vapor sob pressão é lançado sobre o óleo presente em superfícies sólidas. O princípio desse método é associar altas temperaturas ao efeito mecânico. O vapor a altas temperaturas liquefaz o óleo, removendo-o da rocha.

O calor e a pressão removem os organismos presentes. Uma vez liquefeito, o óleo se torna novamente uma fonte de contaminação da fauna e flora, caso não seja recolhido imediatamente. O óleo removido do substrato pode contaminar áreas adjacentes e penetrar mais profundamente em sedimentos arenosos. Segundo API (1985), este tipo de limpeza favorece a contaminação da teia alimentar por meio do recurso de trito contaminado. O ambiente inerte após esse tipo de limpeza necessita de muitos anos para ser recolonizado e atingir novamente a estabilidade.

### **Remoção manual**

A remoção do óleo é realizada com o uso de materiais simples, como rodos, pás, latas, baldes, carrinhos de mão, tambores etc. (foto 3.5). Propicia o acesso e a limpeza de locais restritos como fendas, poças de ma-



**3.5.** Remoção manual. Vazamento em oleoduto, São Sebastião, SP. Banco de imagens da CETESB.

rés e conjunções de rochas, bem como de áreas mais extensas como praias de areia.

Esta técnica não utiliza equipamentos ou máquinas na limpeza. Em muitos casos, adota-se a remoção manual por ser a escolha mais adequada do ponto de vista ambiental, ou por falta de recursos adequados.

É especialmente indicada em regiões sensíveis, que não suportam o impacto de procedimentos mais agressivos de limpeza, como manguezais, marismas e planícies de maré, entre outros. Na limpeza manual, bem orientada e treinada, a equipe tem condições de remover consideráveis quantidades de óleo do ambiente, causando mínimos danos adicionais. É adotada freqüentemente em conjunção com a aplicação de absorventes.

A desvantagem desse método é o fato de ser mais trabalhoso e requerer mais tempo, necessitando também de maior número de trabalhadores. Exige intensa fiscalização e supervisão por parte da coordenação de campo.

É técnica útil na remoção de óleo de áreas menos acessíveis, como costões rochosos, e onde houver formação de poças e acúmulo de produto.

Por esses motivos, a limpeza manual é um método recomendável desde que o procedimento seja definido criteriosamente, caso a caso, e com suporte logístico satisfatório.

#### Limpeza natural

Quando o óleo não é removido do ambiente pelos métodos convencionais, os processos naturais de limpeza e remoção começam a atuar. Os principais são a ação das ondas, das marés e as correntes marítimas/costeiras (foto 3.6). Isso significa que os principais processos naturais de limpeza da costa são mais eficientes em locais ou períodos de maior agitação hidrodinâmica (TKALICH; CHAN, 2002). No entanto, outros fatores também contribuem para a remoção natural do óleo, mesmo em ambientes mais abrigados da ação das ondas, entre os quais estão: biodegra-



3.6. Costão com elevado hidrodinamismo. Ponta de Toque-Toque Grande, São Sebastião (SP). Banco de imagens da CETESB.

dação, volatilização, solubilização, foto oxidação e dispersão, e outros.

Esse processo natural tem favorecido a limpeza de ambientes mesmo em regiões abrigadas da ação das ondas. Nessas condições, processos como a formação de emulsões óleo-mineral (silte-argila) tem favorecido a limpeza natural dos ambientes costeiros (OWENS, 1999).

A eficiência da limpeza natural depende de fatores como o tipo e a quantidade de óleo, o ambiente, a época do ano, entre outros, gerando resposta em períodos de tempo variáveis, de algumas semanas a vários anos.

Muitas vezes a escolha da limpeza natural como estratégia de combate gera críticas da mídia, ONGs e outros segmentos da sociedade, cuja expectativa é ver concretizadas ações e movimentação intensiva de combate à poluição. Quando o cenário do acidente é adequadamente avaliado e a limpeza natural é adotada com base em justificativa técnica, não deve ser confundida com negligência, pois nesses casos “não fazer” (*do nothing*) constitui a melhor estratégia. É necessário orientar devidamente a sociedade sobre as técnicas que serão adotadas.

A opção pela limpeza natural faz submeter o ambiente aos efeitos diretos do óleo resultantes do recobrimento e da toxicidade do produto, por um tempo muito variável. As frações mais tóxicas do óleo (compostos aromáticos) tendem a evaporar-se rapidamente nas primeiras horas após o derrame, enquanto o tempo de contato dos organismos com essas frações tende a ser relativamente pequeno. A exceção ocorre quando o vazamento provém de fontes em terra, como vazamentos de dutos, ou quando a fonte de impacto estiver muito próxima dos ambientes costeiros. Nestes casos a comunidade biológica é atingida pelo óleo ainda fresco, com todo o seu potencial tóxico.

Por outro lado, os ambientes em geral têm um potencial de limpeza natural, cuja eficiência é diretamente proporcional ao grau de hidrodinamismo presente. Em ambiente exposto, a remoção e a dispersão natural do óleo acontecem no prazo de semanas a meses. Contudo, em ambientes abrigados o óleo pode permanecer vários anos. Portanto, deve-se estabelecer imediatamente o uso de métodos auxiliares de limpeza, que não agreguem danos adicionais relevantes, favorecendo tanto quanto possível a recuperação natural do ambiente. Esses procedimentos devem ser avaliados e definidos caso a caso.

Muitos autores defendem a prioridade dos processos naturais de limpeza, uma vez que a maioria dos métodos

causa algum tipo de impacto adicional à comunidade biológica, em muitos casos mais prejudiciais que o próprio óleo (OCIMPF; IPIECA, 1980; MILANELLI, 1994; NOAA, 2000; API et al., 2001, DICKS et al., 2000).

No Estado de São Paulo, a limpeza natural é freqüentemente priorizada e se associa a métodos como bombeamento a vácuo, uso de absorventes e limpeza manual que aceleram o processo de recuperação do ambiente e são praticamente inócuos à biota, quando conduzidos de forma correta.

### **Corte da vegetação**

Não são raros os casos em que o óleo vazado atinge árvores de mangue, bancos de algas e plantas aquáticas (macrófitas) em marismas, estuários, lagoas costeiras ou mesmo margens de rios. A vegetação impregnada sofre os efeitos do contato direto (recobrimento e intoxicação), ocorrendo o mesmo com a fauna a ela associada. Além disso, tornam-se fontes de recontaminação do ambiente.

A vegetação impregnada com óleo pode ser retirada mecânica ou manualmente (foto 3.7). A dimensão da remoção associa-se à gravidade da impregnação. Pode ser feita a poda de partes da planta ou a remoção total da vegetação. A poda e a remoção da planta causam conseqüências adicionais negativas ao ambiente, devendo ser consideradas com cautela.

Embora as experiências envolvendo corte de vegetação sejam limitadas, a eficiência dessa técnica é questionável, devido aos possíveis danos conseqüentes do cor-



**3.7.** Poda controlada de vegetação contaminada com óleo. Foz do rio Guaecá, São Sebastião (SP). Banco de imagens da CETESB.

te. Utiliza-se este procedimento principalmente para macrófitas aquáticas como gramíneas marinhas (ex. *Zostera*) e marismas (ex. *Spartina*, *Fucus*, *Ascophillum*). Pode ser útil em cenários específicos onde a época e a fisiologia das espécies atingidas favorecem a rápida recuperação do ecossistema. Em outros casos, mesmo a poda controlada causa a morte da planta.

A justificativa adotada para o corte de marismas é principalmente evitar a morte da planta por intoxicação e asfixia e impedir a contaminação de aves e outros animais associados ao bosque. Em 26 cenários envolvendo corte de marismas, a recuperação do bosque foi positivamente afetada pelo corte em oito casos, negativamente afetada em 12 casos e não apresentou diferenças significativas com o corte em seis casos (NOAA, 1995).

A remoção total da vegetação gera impactos adicionais severos à biota e ao equilíbrio geomorfológico do ambiente (dinâmica de deposição de sedimentos, processos erosivos etc.). Segundo API (1985), pode causar também a modificação da estrutura da comunidade, uma vez que a fauna acompanhante depende do substrato vegetal para se estabelecer. A remoção de talos vegetais associados aos sedimentos lamosos gera também a ressuspensão de particulados, alterando as características dos micro-habitats relacionados a essas plantas. O recurso detrito tende a ser contaminado também com essa manipulação, uma vez que o óleo agregado às frondes vegetais pode desprender-se para a água e sedimento. Deve-se também considerar a perturbação física dessa manipulação, associada ao pisoteio de plantas e à movimentação de operários no substrato.

Em São Paulo, as poucas experiências com a poda controlada de vegetação, coordenadas pela CETESB, tiveram bons resultados, tanto na zona costeira como em ambientes fluviais interiores. Essas experiências foram cuidadosas e criteriosamente conduzidas nas margens externas de marismas e macrófitas aquáticas de lagoas costeiras. No entanto, considerando os cenários e a experiência internacional, é necessário cautela na consideração do uso dessa técnica.

#### **Biorremediação**

A biorremediação pode ser entendida como o ato de adicionar material ou substâncias a ambientes contaminados, para acelerar os processos naturais de biodegradação (SWANNELL; LEE; MCDONAGH, 1996). Segundo Lee e DeMora (1999) pode ser dividida em dois processos: *bioadição* que é o uso de bactérias e outros microrganismos no meio ambiente capazes de

degradar contaminantes, como suplemento à comunidade microbiológica existente; e *bioestimulação* que é a aplicação de nutrientes e co-substratos em áreas contaminadas para estimular o crescimento de populações autóctones de organismos capazes de degradar contaminantes.

Há, pelo menos, duas décadas, o processo de biorremediação encontra-se em desenvolvimento tecnológico. Foi aplicado em diversos cenários reais como os vazamentos dos navios Exxon Valdez, Amoco Cadiz, Apex Barge, Mega Borg, e Prestige (NOAA, 2004; SWANNELL; LEE; DONAGH, 1996, WHITFIELD, 2003). Atualmente estão em desenvolvimento vários produtos industrializados específicos, entre eles materiais absorventes enriquecidos com nutrientes que estimulam o desenvolvimento de bactérias e fungos capazes de degradar o óleo quando deixados no ambiente. Muitos desses produtos derivaram do uso na atividade agrícola.

No entanto, uma das principais limitações existentes à biodegradação induzida é a falta ou limitação de oxigênio em ambientes redutores como sedimentos de manguezais, marismas, baixios lodosos e planícies de marés. Nesses ambientes, mesmo com abundância de nutrientes, a degradação anaeróbica é muito menos eficiente. Sabe-se que a biodegradação é essencialmente um processo aeróbico (EVANS; RICE, 1974; LEE; DE MORA, 1999). Por outro lado, ambientes abertos como praias são menos sujeitos a limitações de oxigênio, mas torna-se difícil manter os nutrientes em sedimentos lavados pelas ondas e marés antes de serem incorporados pela microflora.

No Brasil a biorremediação de áreas contaminadas por vazamentos de óleo é determinada pela Resolução do CONAMA número 314 (BRASIL, 2002a) que está sendo regulamentada por Instrução Normativa específica.

A *bioadição* não é técnica legalmente permitida em ambientes naturais costeiros no Brasil, devido aos riscos de perturbação do equilíbrio ecológico local e pela falta de conhecimento específico sobre sua aplicação neste contexto.

A CETESB considera a aplicação de absorventes enriquecidos de nutrientes como técnica viável de biorremediação, mas em situações específicas, e considerando outros aspectos como as condições ambientais, a possibilidade de recolhimento do óleo, os impactos adicionais dos procedimentos e a limpeza natural. Atualmente a biorremediação não é um procedimento prioritário de limpeza para os ambientes costeiros.



## CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE

Os ambientes presentes em águas abertas pertencem à zona pelágica, que abrange toda a coluna d'água sobre os substratos marinhos, estendendo-se da linha da costa, a partir da linha de maré baixa, até as águas oceânicas.

A comunidade biológica da zona pelágica (águas abertas) é composta basicamente por plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) e nécton. O fitoplâncton engloba organismos, em sua maioria formados por uma única célula, que realizam fotossíntese. Os componentes do zooplâncton são animais que abrangem desde aqueles formados também por apenas uma célula, até pequenos vertebrados. Tanto a locomoção do fitoplâncton como do zooplâncton é determinada pelos movimentos das massas d'água, apesar de alguns representantes mostrarem certa mobilidade. O nécton compreende os organismos capazes de vencer as correntes marinhas, devido à sua capacidade de locomoção, como polvos e lulas, peixes, répteis, aves e mamíferos marinhos (LEVINTON, 1995).

A zona pelágica é dividida em águas costeiras e águas oceânicas, cujas características são descritas a seguir.

### Águas costeiras

Também denominadas como zona nerítica, abrangem os corpos d'água desde a zona entremarés até os limites da plataforma continental (até duzentos metros de profundidade e cinquenta a duzentos quilômetros da costa) e compreendem cerca de 10% de toda a área dos oceanos.

Tanto em quantidade como em diversidade, a zona costeira comporta a maioria dos organismos marinhos, como reflexo principalmente das condições favoráveis de nutrientes em suas águas. As grandes áreas pesqueiras comerciais do mundo inteiro estão localizadas nesta zona, próximas aos continentes, principalmente em regiões de ressurgência onde ocorre um intenso enriquecimento das águas com nutrientes vindos das zonas profundas dos oceanos. A grande biomassa de peixes é reflexo da abundância de plâncton que, por sua vez, é conseqüência da elevada presença de nutrientes na água. Dentro da complexa teia alimentar da zona costeira incluem-se também aves, mamíferos e répteis marinhos.

Ambientes especiais são as regiões abrigadas como baías fechadas, canais, áreas de portos, enseadas e estuários. Estes apresentam geralmente águas calmas e rasas, bastante produtivas, e freqüentemen-

te comportam comunidades biológicas típicas de cada uma dessas regiões como reflexo das suas características ambientais - turbidez, salinidade, temperatura, nutrientes, vindos de rios e ambientes costeiros adjacentes, padrões de circulação de água, ondas e marés.

### Águas oceânicas

São as águas além da plataforma continental com profundidade acima de duzentos metros, caracteristicamente pobres em nutrientes e que, em conseqüência, comportam comunidades biológicas mais pobres. No entanto, as espécies de alto-mar representam importante papel na teia alimentar pelágica. As mais comuns desta região são os peixes oceânicos, golfinhos e baleias, as aves marinhas como albatrozes, trinta-réis e petréis, todas com hábitos migratórios.

A dinâmica biológica do ambiente oceânico é determinada pelos padrões de circulação das grandes correntes oceânicas, que têm características intrínsecas e específicas de salinidade, nutrientes e temperatura. As correntes propiciam o desenvolvimento de comunidades adaptadas a cada uma dessas situações. As correntes oceânicas também representam um importante meio de transporte e distribuição de organismos, cujas larvas podem ser levadas de uma região a outra dos oceanos, como ocorre com várias espécies de moluscos e crustáceos.

## SENSIBILIDADE AO ÓLEO

Muitos efeitos subletais podem ocorrer em diferentes escalas nas comunidades pelágicas, causando algum grau de perturbação no equilíbrio das mesmas. Um dos principais efeitos subletais é a bioacumulação de hidrocarbonetos através da teia alimentar, uma vez que vários componentes do plâncton ingerem pequenas partículas de óleo e transferem este contaminante aos seus predadores, e assim por diante, até os níveis tróficos mais elevados da cadeia alimentar.

A teia alimentar pelágica parece ser menos vulnerável aos danos por óleo do que as comunidades que existem nos ambientes costeiros como praias, costões, manguezais e planícies de marés. É pouco provável que um derrame de óleo presente na superfície da coluna d'água em áreas mais profundas produza mudanças detectáveis nas populações de espécies pelágicas, exceto, possivelmente, em curto prazo, nos componentes do plâncton (API, 1985).

No entanto, em águas rasas e próximas à costa como baías, canais e enseadas abrigadas, os efeitos do óleo

nas comunidades pelágicas podem ser bem maiores, devido à circulação d'água reduzida destes ambientes e à maior permanência do produto em contato com os organismos. A contaminação nestes casos afeta especialmente o fitoplâncton, o zooplâncton e as populações de peixes (API, 1985).

### **Sensibilidade do plâncton**

A estrutura do ecossistema de águas abertas é extremamente influenciada e controlada pelo suprimento de nutrientes aos produtores primários (fitoplâncton), determinando o tamanho, composição, abundância e diversidade desses produtores, os quais suportam todo o resto da cadeia alimentar. Portanto, o fitoplâncton é a base de toda a comunidade marinha. Uma vez que o plâncton ocorre caracteristicamente na camada mais superficial do oceano, é justamente a fração mais susceptível ao óleo, com alto risco de exposição ao produto (API, 1985).

Trabalhos científicos mostram que várias espécies do fitoplâncton e zooplâncton são muito sensíveis ao óleo. Entre os componentes do zooplâncton os mais abundantes são os copépodos, especialmente sensíveis ao produto (API, 1985). As larvas de peixes são também sensíveis, mais que os respectivos estágios adultos (API, 1985).

Em águas oceânicas há rápida diluição e dispersão do óleo. Da mesma forma, o plâncton encontra-se irregularmente distribuído na massa d'água. Conseqüentemente não se espera um efeito significativo aos organismos planctônicos dessas regiões do oceano (ITOPF, 1987).

Em áreas costeiras, por outro lado, o plâncton é vulnerável a derrames, tendo em vista a menor circulação e renovação das águas, principalmente em baías e estuários. Além do contato com o produto, de sua fração hidrossolúvel ou mesmo pela ingestão no caso do zooplâncton, as manchas mais espessas de óleo impedem a incidência de luz nas camadas inferiores da coluna d'água, ocasionando mortalidade dos organismos fotossintetizantes.

Porém, em geral o plâncton tende a se recuperar em curto prazo, visto sua elevada taxa reprodutiva. Em certos casos, ovos e larvas de peixes podem ser afetados, reduzindo temporariamente o número de recrutas no estoque pesqueiro. Entretanto, não tem sido evidenciado efeito em longo prazo nas populações adultas (IMO, 1997).

### **Sensibilidade de peixes**

Devido à sua elevada mobilidade, os peixes, principalmente os de água oceânica, exibem baixa vulnerabi-

lidade ao óleo porque deixam as áreas contaminadas em busca de locais livres de poluentes (IPIECA, 1991). Peixes de águas costeiras, sobretudo os que vivem associados a fundos consolidados - corais, rochas -, que exibem comportamento territorial são mais vulneráveis, pois têm maior oportunidade de contato com as frações hidrossolúveis do poluente ou através da ingestão do produto pela contaminação de seus recursos alimentares.

As frações aromáticas solubilizadas podem manifestar efeito narcotizante aos peixes, causando a desorientação dos indivíduos. Com isso, os cardumes tornam-se mais suscetíveis a predadores. Perturbações olfativas e oculares previnem ou dificultam a fuga de predadores ou a obtenção de alimento; dessa forma, o óleo provoca um efeito negativo indireto às populações de peixes.

Os peixes podem ainda bioacumular o poluente pela ingestão de alimento contaminado, tornando a concentração de óleo em seus tecidos maior do que aquela presente na água do mar. Esta questão é de grande importância socioeconômica e sanitária, tendo em vista a utilização do pescado na dieta humana.

Em eventos reais com possibilidade de contaminação do pescado, os órgãos competentes com base no "princípio da precaução" proibem a extração desses recursos sob risco (pesca, extrativismo) com a finalidade de evitar, por prudência, que sejam utilizados pela população local.

### **Sensibilidade de répteis marinhos (tartarugas)**

As tartarugas marinhas encontram-se em declínio numérico. Várias espécies se acham sob risco de extinção. Dessa forma, constituem um grupo de particular interesse quando são abordadas questões de acidentes envolvendo derrames de óleo no mar. Quando estão no mar, as possibilidades de entrar em contato com o poluente, embora menores, representam certo risco, tendo em vista que sobem à superfície para respirar. Nessas ocasiões podem entrar em contato com manchas de óleo ou ainda inalar vapores tóxicos nas camadas sobrejacentes.

Nas épocas de procriação esses animais são especialmente vulneráveis, porque a postura se realiza em ninhos que constroem nas praias. Segundo IMO (1997), se esses ambientes estiverem contaminados, as tartarugas podem ser afetadas, porque:

- a ingestão de óleo pelas tartarugas adultas ocasiona danos a seu trato digestivo;
- o óleo pode causar irritação às mucosas nasais e

- oculares e evoluir para inflamações e infecções;
- os ovos podem contaminar-se pelo óleo presente nas areias, inibindo seu desenvolvimento; e
- as tartarugas jovens, após emergir dos ninhos, podem entrar em contato com o óleo durante seu percurso em direção à água.

### Sensibilidade de aves marinhas

As aves constituem os recursos biológicos mais vulneráveis a derrames de óleo (IMO, 1997). A avifauna costeira é mais vulnerável, visto que se encontra em maior número que em águas oceânicas.

Segundo IMO (1997), a sensibilidade das aves ao óleo reside em vários aspectos. Os principais são:

- penas contaminadas perdem a capacidade de isolamento térmico do animal. A água penetra entre as penas, diminuindo a temperatura corporal. Com isso o animal passa a evitar o contato com a água;
- para manter o equilíbrio térmico, grande quantidade de energia é gasta à custa do consumo de reservas calóricas que devem ser repostas pela alimentação. Como evitam o contato com a água, as aves não obtêm alimento, tornando-se debilitadas e predispostas ao desenvolvimento de infecções e outras doenças;
- o aumento de peso provocado pelo óleo aderido às penas dificulta ao animal alçar vôo para procurar alimento ou mesmo outras áreas não atingidas pelo óleo;
- os animais podem ingerir o poluente pela contaminação dos recursos alimentares ou na tentativa de limpar as penas atingidas. A ingestão do óleo pode ser fatal dependendo da quantidade e do tipo ingerido. Tem sido registrado o comprometimento de órgãos como fígado, intestino e glândulas nasais; e
- a redução na postura de ovos e insucesso na incubação pelo contato da superfície dos ovos com as penas das aves contaminadas.

### Sensibilidade de mamíferos marinhos

Os mamíferos marinhos apresentam elevada mobilidade e migram para áreas vizinhas livres do contaminante. Porém, animais de regiões costeiras e que apresentam distribuição restrita são mais vulneráveis a derrames de óleo. Lontras marinhas foram intensamente atingidas por ocasião do derrame de óleo no incidente com o Exxon Valdez. Os peixes-boi são exemplo de mamíferos marinhos vulneráveis no Brasil, em áreas definidas do Nordeste, associados a bancos de macrófitas aquáticas das quais se alimentam. Os efeitos estão ligados à ingestão de óleo pelo animal ou à inalação de vapores quando sobem à tona para respirar (IMO, 1997).

Animais atingidos pelo produto, em especial aqueles que habitam periodicamente ambientes praias (praias e costões) como focas e leões marinhos, entre outros, sendo mais susceptíveis podem exibir hipotermia e dermatites devido à contaminação da pele. Também pode ocorrer irritação das mucosas, ocasionando o desenvolvimento de lesões nas narinas e região ocular.

Animais jovens e imaturos exibem maior sensibilidade ao óleo, podendo haver a transferência de toxinas em animais em fase de lactação. A bioacumulação de hidrocarbonetos pode ocorrer devido à ingestão de alimento contaminado ou em consequência da tentativa de limpeza de seus pêlos.

Se impactadas, as populações de mamíferos marinhos apresentam recuperação lenta, pois são formadas normalmente por pequeno número de indivíduos. Além disso, a maturidade sexual só é alcançada tardiamente. Os poucos indivíduos das populações que estão aptos a reproduzir, quando o fazem, têm prole de poucos exemplares.

### MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS

Quando ocorre um vazamento, os procedimentos eficientes de contenção e remoção do óleo do mar são vitais para assegurar a minimização dos impactos, evitando, tanto quanto possível, que recursos biológicos e socioeconômicos, bem como ecossistemas costeiros contíguos ao local do acidente sejam atingidos.

A eficiência na resposta às ações de contenção e remoção do óleo permeia fatores como: rapidez no acionamento das equipes e desencadeamento das ações necessárias; disponibilidade de recursos e equipamentos em quantidade e especificidade adequadas ao cenário acidental; e disponibilidade de pessoal treinado e capacitado para o desenvolvimento das tarefas relacionadas à frente de trabalho. Esses fatores, programados e agregados a um plano de emergência, podem e devem ser aperfeiçoados para resultar no sucesso das operações em mar.

Os métodos de limpeza em relação a águas abertas referem-se à retirada do óleo da superfície da água com a utilização de materiais e/ou equipamentos específicos como barreiras de contenção, recolhedores (*skimmers*), absorventes, entre outros, ou à transferência das manchas de óleo para a coluna d'água pela dispersão química do produto. Além disso, os processos de intemperismo que ocorrem naturalmente podem ser entendidos como fatores que auxiliam a remoção do óleo do ambiente marinho, minimizando

os impactos do derrame tanto a ecossistemas costeiros como a recursos biológicos.

Em relação aos recursos biológicos, a contenção do óleo e o controle do destino das manchas constituem a primeira estratégia de resposta visando a proteção de aves, mamíferos e répteis marinhos, embora outros métodos possam ser também aplicados como a pré-captura e o resguardo da fauna, para evitar a aproximação de animais a áreas contaminadas (UNITED STATES, 2005).

Não é escopo desta publicação indicar os procedimentos para a reabilitação e limpeza de recursos biológicos como répteis, aves, ou mamíferos marinhos atingidos. Considera-se que, com a remoção do óleo da água, previne-se ou minimiza-se o contato e possíveis impactos sobre esses recursos.

#### **Barreiras e recolhedores (contenção e remoção)**

Esses métodos são eficientes quando utilizados com estrutura logística apropriada e material suficiente em relação à quantidade de óleo a ser recolhida. Podem ser adotados tanto em águas abertas como nas águas protegidas de enseadas e baías, inclusive de baixa profundidade, uma vez que não causam danos adicionais à comunidade pelágica e previnem a chegada de grande quantidade de óleo nos ambientes costeiros. Em regiões muito rasas o impacto causado por estes métodos é reflexo principalmente da mistura originada pela movimentação do corpo d'água com os barcos e equipamentos, o que pode levar ao aumento de turbidez da água e à penetração de frações de óleo no sedimento.

Existem vários tipos e modelos de barreiras e recolhedores, os quais devem ser adequados a cada tipo de cenário. Em locais protegidos como baías, enseadas, canais e estuários, podem ser utilizadas barreiras menos robustas (menores), ao passo que para águas oceânicas são indicados equipamentos de maior dimensão. Barreiras de cerca (foto 4.1) ou de cortina (foto 4.2), com flutuadores rígidos ou preenchidos a ar, são alguns exemplos dos tipos comumente utilizados para conter o óleo e facilitar sua remoção da água. Também servem como equipamentos para proteção de áreas sensíveis.

Em locais de baixa lâmina d'água, ou regiões entre-marés, pode-se utilizar barreiras de praia que apresentam uma saia dupla, preenchida com água, que confere estabilidade quando depositadas em local seco. Como não perdem a conformação, previnem a passagem do óleo em situações de oscilação do nível de água (foto 4.3).



4.1. Barreira de cerca em detalhe. Banco de imagens da CETESB



4.2. Barreira de cortina em detalhe. Banco de imagens da CETESB



4.3. Barreira de praia vista em detalhe. Banco de imagens da CETESB



4.4. Barreiras apropriadas para recolhimento de óleo em lâminas tênues de aspecto iridescente a prateado (modelo *current buster*). Banco de imagens da CETESB

## 4. Águas abertas, costeiras e oceânicas



4.5. Recolhedor (*skimmer*) de disco oleofílico. Banco de imagens da CETESB



4.6. Recolhedor (*skimmer*) do tipo vertedouro. RO-CLEAN DESMI



4.7. Barcaça recolhadora tipo *Egmopol* da Petrobras, em atividade durante exercício simulado. Banco de imagens da CETESB



4.8. Contenção e remoção conjugadas. Banco de imagens da CETESB

No caso de manchas mais tênues, que necessitam ser eficientemente concentradas para facilitar o recolhimento, existem barreiras especialmente projetadas para concentrar e aumentar a espessura de manchas prateadas ou iridescentes facilitando a remoção (foto 4.4).

Assim como para as barreiras, existem vários tipos de recolhedores com princípios de funcionamento distintos. Alguns modelos recolhem o óleo por adesão a discos giratórios (foto 4.5) ou cordas oleofílicas; outros por sucção, ou ainda recolhedores do tipo vertedouros (foto 4.6). Recolhedores ou *skimmers* com funcionamento por adesão são mais seletivos no recolhimento do óleo, porém exibem menor eficiência que os do tipo vertedouros. Estes, por sua vez, geram maior quantidade de resíduos oleosos. Portanto, a escolha do equipamento mais adequado está associada às condições do cenário, como local, tipo de óleo e necessidade de rapidez na remoção, entre outros.

As barcaças recolhadoras mostram-se adequadas à remoção de óleo em água nas regiões abrigadas (foto 4.7). Apresentam sistema de recolhimento por correias rotativas com uma eficiência de até 100 m<sup>3</sup>/h, e pequeno calado, podendo ser operadas em locais rasos, próximos a ambientes costeiros. O sistema separador água/óleo permite armazenar em seu tanque central uma quantidade de óleo de até 15m<sup>3</sup>.

Atualmente existem as embarcações Oil Spill Response Vessel (OSRV) que são equipadas com lances de barreiras de contenção, recolhedores de diferentes tipos, absorventes e tripulação treinada no combate a derrames de óleo no mar. Essas embarcações localizam-se em pontos estratégicos, em áreas sujeitas a acidentes como portos, terminais, entre outros, reduzindo o tempo de resposta a uma emergência, acarretando num potencial controle e minimização dos impactos.

Em geral, as operações de contenção do óleo no mar são conjugadas às ações de recuperação (foto 4.8), o que constitui uma tarefa de difícil realização. Aplicam-se grandes quantidades de recursos específicos nessas finalidades, simultaneamente, sendo necessário elevado desempenho das equipes envolvidas às atividades. Dessa forma, treinamento e capacitação constituem elementos essenciais para alcançar resultados positivos.

### Bombeamento a vácuo

Caminhões-vácuo e bombas portáteis são úteis apenas na remoção de óleo em águas adjacentes à linha costeira, devido ao reduzido alcance do sistema. Quando apropriados, removem eficientemente os resíduos oleosos da superfície da água. Porém são pouco seletivos, ou seja, removem indiscriminadamente



**4.9.** Aplicação de absorvente granulado (turfa) em água.  
Banco de imagens da CETESB

óleo e água, aumentando o inventário de resíduo líquido gerado na emergência.

### **Absorventes**

#### *Absorventes granulados*

O uso de absorventes em águas oceânicas não parece ser um método eficiente no recolhimento do óleo, sendo mais efetivos em ambientes restritos. Esse método é útil para recolhimento de quantidades menos significativas. Os danos adicionais causados pelos absorventes ocorrem quando são utilizados em grande quantidade em ambientes restritos e não são recolhidos, principalmente se forem de natureza sintética. Esse tipo de material se não for recolhido tende a permanecer no ambiente por tempo prolongado, porque exibe baixa taxa de degradabilidade (LOPES; MILANELLI; GOUVEIA, 2005).

Em muitos casos, o material pode ficar flutuando por tempo indeterminado em uma área abrigada, afetan-

do consideravelmente o plâncton, peixes e aves. Outros absorventes, como o pó de argila, afundam com o óleo, danificando a comunidade existente nos sedimentos sob a coluna d'água.

Se for escolhida a aplicação de absorventes granulados em água, deve-se dar preferência ao uso de produtos orgânicos naturais como turfas, que têm elevada eficiência, e são biodegradáveis, fator importante a ser considerado, porque as quantidades remanescentes não removidas são degradadas em curto prazo (foto 4.9).

#### *Barreiras absorventes*

As barreiras absorventes são úteis na contenção e principalmente no recolhimento de manchas mais tênues (prateadas ou iridescentes) localizadas em canais, baías e enseadas onde as barreiras convencionais teriam pouca eficiência (foto 4.10). Em corpos d'água restritos a aplicação de mantas absorventes mostra-se também pertinente. Pode-se ainda fazer o arranjo de maneira conjugada das barreiras absorventes acopladas a barreiras de contenção, assegurando o confinamento e a absorção das manchas principalmente aquelas de menor espessura - prateadas e iridescentes (foto 4.11)

#### *Pompons*

São absorventes formados por fibras de polipropileno, que apresentam elevada taxa de absorção (vinte a sessenta vezes seu próprio peso). Podem ser conectados a cabos, adquirindo uma conformação linear, ou ser utilizados individualmente.



**4.10.** Aplicação de barreira absorvente em água com presença de mancha de óleo no aspecto prateado. Banco de imagens da CETESB



4.11. Utilização conjugada de barreira absorvente com barreira de contenção. Banco de imagens da CETESB

No primeiro caso, as cordas de pompons são úteis na absorção de óleo sobrenadante próximo à linha de costa ou de produtos que se desprendem de praias, costões e outros ambientes costeiros devido à movimentação das marés. As cordas são dispostas ao longo dos trechos contaminados, absorvendo as frações que retornam ao ambiente marinho (foto 4.12).

Em ambientes costeiros de superfície dura e heterogênea como costões, recifes de arenito ou concreções lateríticas, onde haja a possibilidade de empoçamento de produto, os pompons podem ser utilizados individualmente, auxiliando a remoção das poças por encharcamento das fibras.

### Dispersantes químicos

Embora os procedimentos básicos de combate às manchas de óleo em mar sejam a contenção e a remoção, em algumas situações fatores meteoceanográficos muitas vezes prejudicam o bom desenvolvimento dessas atividades, resultando na perda do controle das manchas devido aos ventos e correntes demasiado intensos.

Da mesma forma, tem sido apontado que a eficiência de remoção do óleo em água por meio dos procedimentos clássicos (contenção e remoção) na maioria das vezes alcança taxas não superiores a 20% da quantidade vazada.



**4.12.** Detalhe de pompons ligados a cabos e dispostos ao longo de trechos de linha de costa contaminados. Banco de imagens da CETESB

Verifica-se, assim, que, em certas circunstâncias, a escolha de procedimentos alternativos ou complementares para resposta a acidentes no mar necessita ser discutida e estabelecida visando minimizar os impactos ambientais dentro do contexto geral.

Dispersantes são formulações químicas de natureza orgânica destinados a reduzir a tensão superficial entre o óleo e a água, contribuindo para a dispersão do óleo em gotículas que ficam em suspensão no meio aquoso. Conseqüentemente, o processo de biodegradação promovido pelos organismos naturalmente presentes na água é favorecido (API, 1999; IPIECA, 2001).

Os aspectos favoráveis ao uso dos dispersantes são que podem impedir que grandes quantidades de óleo cheguem aos ambientes costeiros mais sensíveis e vulneráveis e acelerar o processo de dispersão e degradação natural do óleo, uma vez que as manchas são quebradas em pequenas partículas com maior relação área/volume, em uma coluna d'água de vários metros de profundidade, podendo ser mais facilmente degradadas por microrganismos.

O óleo tratado com dispersante, ou seja, a mistura, pode causar efeitos adversos à vida marinha no local ou nas proximidades do local de aplicação. É preciso considerar, entretanto, quais seriam esses efeitos quando comparados àqueles do óleo sem tratamento atingindo ambientes costeiros sensíveis como manguezais, praias e costões. Esse balanço deve ser feito na iminência da aplicação de dispersantes em derrames de óleo, ponderando o benefício ambiental da aplicação ou da não-aplicação (IPIECA, 2001). Essas considerações devem ser previamente discutidas, pois a eficiência dos dispersantes decresce à medida que o óleo intemperiza, isto é, há um período durante a emergência em

que a técnica, se pertinente, deve ser colocada a termo (janela de oportunidade) (API, 1999; IPIECA, 2001).

No Brasil existe legislação específica sobre as questões envolvendo aplicação de dispersantes em derrames de óleo. Os dispersantes passíveis de utilização devem ser homologados pelo órgão ambiental competente, no caso o IBAMA, segundo procedimentos definidos na Instrução Normativa número 1, de 14/7/2000 (BRASIL, 2000c).

A Resolução CONAMA-269 de 14/9/2000 (BRASIL, 2001) estabelece as diretrizes para o emprego desses produtos durante as operações de emergência, apontando os critérios para sua utilização, restrições de uso e formas de aplicação. De qualquer maneira, independentemente da legislação em vigor, a aplicação dos dispersantes químicos está condicionada à anuência do órgão ambiental competente.

### Limpeza natural

A limpeza natural é muito eficiente em águas oceânicas, isso porque o óleo é submetido aos processos naturais de degradação, como dispersão, dissolução, evaporação, biodegradação e fotoxidação, entre outros (API, 1999). Como é pouco provável que os derrames em águas oceânicas atinjam os ecossistemas costeiros mais sensíveis, a limpeza natural é o procedimento mais adequado a esse tipo de ambiente. No entanto, quando se trata de águas costeiras abrigadas e rasas a não-intervenção é contra-indicada, uma vez que os efeitos do óleo são mais pronunciados neste tipo de ambiente. Além disso, existe risco muito grande de o óleo deixado sob ação da limpeza natural atingir as zonas costeiras como praias, costões e manguezais, onde o impacto seria significativamente mais grave.

Técnicas de limpeza recomendadas para águas abertas	
Águas costeiras	Águas oceânicas
Barreiras de contenção e <i>skimmers</i>	Barreiras de contenção e <i>skimmers</i>
Bombeamento a vácuo	Dispersantes*
Absorventes orgânicos granulados	Limpeza natural
Barreiras absorventes e pompons	
Dispersantes*	
Limpeza natural	

\*Utilização condicionada à aplicação da legislação pertinente e aprovação do órgão ambiental competente.

Ambientes costeiros entremarés de substrato inconsolidado representam um universo muito variado, tanto do ponto de vista geomorfológico como biológico. Uma caracterização detalhada necessitaria segregar cada um desses ambientes, respeitando suas especificidades ecológicas. Entretanto, como o objetivo desta publicação é orientar e estabelecer procedimentos emergenciais de limpeza ecologicamente adequados, os mesmos foram agrupados em um único tópico. Isso foi possível porque as ações de combate em praias são basicamente as mesmas, apesar das diferenças físico-ambientais entre elas.

### CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE

Praias são ambientes costeiros contíguos aos mares, oceanos, estuários e outros corpos hídricos. Formam-se, basicamente, de material inconsolidado mineral, comumente areias (fina, média, grossa) e podem ser compostas também por lodo (silte, argila)

cascalhos, pedras roladas, seixos, calhaus, conchas de moluscos, restos de corais e algas calcárias, entre outros (foto 5.1).

As praias estendem-se perpendicularmente à linha da costa, desde o nível de baixa-mar média, até a zona de vegetação terrestre permanente, como dunas, restingas e falésias, sendo dividida em porções denominadas antepraia e pós-praia (SUGUIO, 1992). A antepraia representa a zona entremarés propriamente dita, que recebe o efeito das ondas, enquanto a pós-praia só é atingida pelos borrifos das ondas ou, ocasionalmente, em marés vivas excepcionais e tempestades.

O aspecto geral de uma praia resulta da interação de uma série de fatores, principalmente os relacionados com as características do sedimento (textura, composição, grau de seleção, angulação dos grãos e estratificação da praia) e a dinâmica caracterizada pelo ciclo construtivo/destrutivo, que depende da direção



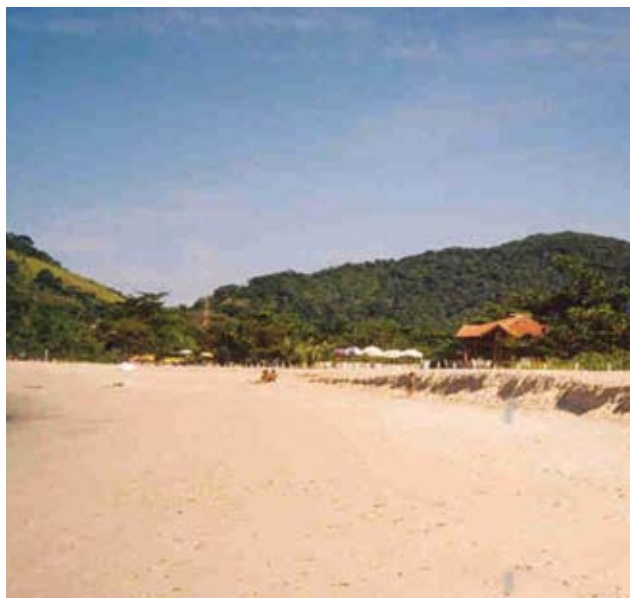
5.1. Aspecto geral de uma praia. Praia da Figueira, Ubatuba (SP). Banco de imagens da CETESB



5.2. Praia de baixo declive, Pontal da Barra, Maceió (AL). Poletto, Carolina Rodrigues Bio



5.3. Praia de alta declividade. Praia da Lagoa, Ubatuba (SP).  
Banco de imagens da CETESB



5.4. Praia erodida após passagem de frente fria, Itamambuca (SP). Milanelli, João Carlos Carvalho.

dos ventos, regime de tempestades, tipo de sedimento, regime de ondas e topografia da costa (HAYES; GUNDLACH, 1978).

O declive de uma praia está ligado basicamente ao tamanho dos grãos e ao hidrodinamismo. Segundo Suguio (1992), praias de baixa declividade, em que a energia das ondas é acentuadamente dissipada pelo atrito, são denominadas praias dissipativas (foto 5.2). Praias de alta declividade, acima de 4 a 5 graus de inclinação (foto 5.3), onde as ondas chegam com maior energia (praias de tombo), são chamadas praias reflexivas. Existe uma relação clara entre declividade e granulometria, ou seja, quanto mais grossa a granulometria mais inclinado o declive da praia. Portanto, quando se observa o perfil de uma praia, é possível inferir sobre o tipo de sedimento e, em consequência, sobre os aspectos biológicos e o comportamento do óleo.



5.5. Perfil praiado mostrando a berma, com abrupta modificação no declive. Litoral norte do Espírito Santo. Milanelli, João Carlos Carvalho

As praias são ambientes em equilíbrio dinâmico, com intensa movimentação de sedimentos em ciclos associados à circulação costeira e ao regime de ondas e marés. Em consequência, há praias com tendência natural de retirada de sedimentos, denominadas *erosionais*, normalmente niveladas. Por outro lado, as praias *deposicionais* tendem a acumular sedimentos e geralmente são inclinadas e desniveladas (MICHEL; HAYES, 1992).

As praias freqüentemente estão sujeitas às dinâmicas sazonais de entrada e saída de sedimentos chamadas de ciclo praiado. Durante este ciclo, nos meses de maior agitação marítima, ocorre o período destrutivo ou erosional, quando há remoção de areia da praia que é depositada em bancos de areia na zona costeira rasa (infralitoral), tornando a praia mais nivelada (foto 5.4). Nos meses de verão, com menor agitação marítima, o sedimento volta a ser empilhado na face praiado, constituindo um perfil mais heterogêneo, com a presença de feições características, como berma, cristas, e terraços de baixa-mar (foto 5.5). Em consequência, as praias podem apresentar perfis típicos de verão e inverno. O conhecimento desses aspectos é fundamental para a adequada gestão desses ambientes quando atingidos por vazamentos de óleo.

Uma feição praiado típica de zonas costeiras recortadas, como no Estado de São Paulo, com muitas ilhas, ilhotas e lajes costeiras, são os tómbolos, extensões arenosas que se formam entre as praias e as ilhas e que podem se tornar vulneráveis ao óleo durante os períodos de baixa-mar (foto 5.6). Os tómbolos podem evoluir geologicamente para penínsulas arenosas. A confluência das ondas tende a transportar sedimento para a face abrigada das ilhas. Da mesma forma, há uma tendência de acúmulo de óleo nessas áreas.

As praias são ambientes muito importantes ecologicamente, seja pela sua própria riqueza biológica, seja



5.6. Tómbolo entre ilha da Ponta e Praia da Lagoinha, Ubatuba (SP). Área com grande tendência de acúmulo de óleo. Luiz Carlos Bolina



5.7. Fauna de praia. Caranguejos eremitas (Crustacea – Anomura). Barra de Mamanguape (PB). Poletto, Carolina Rodrigues Bio

pelo papel que desempenham em relação aos outros ecossistemas costeiros, uma vez que constituem grande parte das áreas costeiras e são densamente povoadas. Em São Paulo existem 292 praias, que somam 426,7 quilômetros de costa (LAMPARELLI et al., 1998).

A macrofauna da zona entremarés de praias pode ser caracterizada como uma comunidade com baixa diversidade, reduzida riqueza e elevada dominância numérica de poucas espécies, quando comparada com a de regiões submersas (AMARAL et al., 1999). A riqueza e a composição biológica das praias são extremamente variáveis, o que depende principalmente das suas características geomorfológicas e hidrodinâmicas. Quanto maior o diâmetro do grão e a declividade, menor a diversidade e a abundância específica (McLACHLAN, 1983 apud AMARAL et al., 1999). Praias de areias médias, finas e mistas são biologicamente mais ricas do que praias de areia grossa. Praias lamosas também são muito ricas em organismos, com elevadas densidades populacionais.

Como já citado, assumindo-se que a comunidade biológica tem suas características definidas pelas condições ambientais, nas praias de areia grossa, pobres em matéria orgânica e fisicamente instáveis, há

predominância de animais filtradores, enquanto nas praias lodosas há o predomínio de espécies comedoras de sedimento (depositívoras), estimuladas pela maior quantidade de matéria orgânica. Se, por um lado, estes ambientes mais estáveis suportam a presença de espécies mais frágeis, por outro restringem o desenvolvimento biológico pela limitação de oxigênio e circulação intersticial.

A riqueza no ambiente praias pode chegar a centenas de espécies, pertencentes principalmente aos grupos animais Cnidaria, Turbellaria, Nemertinea, Nematoda, Mollusca (Gastropoda, Bivalvia), Echiura, Brachiopoda, Pycnogonida, Hemichordata, Echinodermata, Sipuncula, Crustacea (Amphipoda, Isopoda, Brachiura, Anomura), Polychaeta, Porifera, Ascidiacea e algas (como, por exemplo, *Enteromorpha*), grupos que se tornam mais frequentes em praias com presença de substratos mais consolidados (praia de calhaus, seixos, pedras roladas). Conforme Amaral et al. (1999), os grupos faunísticos numericamente mais importantes em praias são Polychaeta, Mollusca e Crustacea.

Estes organismos estão divididos nas categorias *epifauna*, espécies que vivem sobre o substrato (foto 5.7) e

*infauna*, espécies que vivem dentro do sedimento em túneis, galerias e tubos.

Há também as espécies que vivem entre os grãos, de tamanho reduzido (meiofauna) e de grande importância para a teia alimentar local. As proporções do número de espécies de cada grupo variam de acordo com o tipo de praia.

Quanto ao hábito alimentar, as espécies são filtradoras, detritívoras, pastadoras, predadoras, necrófagas, ou omnívoras. A dominância de um ou outro grupo também vai depender do tipo de praia; por exemplo, praias lamosas têm predominância de comedores de detrito/sedimento e carnívoros, enquanto em praias de areia predominam os animais filtradores (retiram o alimento filtrando a água).

Um importante aspecto do ambiente de praias é a existência de um gradiente de estresse por temperatura e dessecação, no sentido perpendicular à linha d'água. Quanto mais longe da água, mais variável é a temperatura e mais seco o ambiente. Conseqüentemente, há também um gradiente de espécies tanto em diversidade quanto em densidade, no mesmo sentido, mas inversamente proporcional. Quanto mais perto da água, mais rica e densa é a comunidade. Observa-se ainda que a distribuição das espécies obedece a uma estratificação (horizontal e vertical), de acordo com sua adaptação ao ambiente. Este é um processo denominado zonação estrutural, o qual não é só determinado pela pressão do ambiente, mas também por aspectos ecológicos como predação e competição. Este conceito ecológico é fundamental para a gestão de ações de limpeza de óleo em praias.

As modificações naturais causadas pela sazonalidade podem ser profundas, alterando a comunidade tanto em composição de espécies como em densidade de organismos. No ambiente de praias arenosas, o ciclo construtivo e destrutivo de forte caráter sazonal pode representar uma grande perturbação às espécies, uma vez que representa ou a entrada de grande quantidade de areia (soterramento), ou a retirada do substrato (desalojamento). Este processo pode ser muito intenso a ponto de tornar-se perceptível após um único ciclo de maré, sendo também capaz de modificar a granulometria da praia.

Conseqüentemente, presume-se que a comunidade de praia encontra-se em constante reestruturação em um contexto de equilíbrio dinâmico. Associadas a esse processo encontram-se outras alterações sazonais importantes como variações na temperatura da água e do ar e horário das baixas marés, bem como o regime de tempestades (dependendo da região geográfica).

Ressalta-se, portanto, que os ambientes com maior complexidade e riqueza biológica são as praias de areia fina e lamosas e que as praias de areia grossa e de cascalho são relativamente pobres em espécies. Por outro lado, considerando o gradiente ambiental e a zonação da comunidade na zona entremarés, o maior número de espécies está sempre associado à antepraia, faixa inferior da praia e franja do infralitoral. Tais aspectos precisam ser realçados, pois devem definir os critérios para a escolha dos procedimentos de limpeza destes ambientes.

## SENSIBILIDADE AO ÓLEO

Conforme diagnóstico apresentado por Amaral et al. (1999), as praias vêm sofrendo crescente descaracterização em razão da ocupação desordenada (foto 5.8) e das diferentes formas de efluentes lançados, tanto de origem industrial como doméstica, o que tem levado ao sério comprometimento de sua balneabilidade, principalmente daquelas praias próximas a centros urbanos. Tensores antrópicos como os esgotos domésticos e lixo afetam significativamente o equilíbrio desses ambientes. Também merecem destaque a crescente especulação imobiliária, a mineração, com a retirada de areia das praias e dunas, e o crescimento explosivo e desordenado do turismo, carente de planejamento ambiental e investimentos em infra-estrutura e saneamento básico.

Nesse contexto os vazamentos de óleo merecem especial destaque, pois as praias atingidas são, via de regra, o foco principal da mídia e da sociedade, como conseqüência da elevada demanda socioeconômica desses ambientes.

Os efeitos específicos do óleo nas praias estão direta ou indiretamente associados ao impacto físico de recobrimento e à intoxicação (impacto químico). Entre os efeitos mecânicos na comunidade biológica existe a interferência física na locomoção e nos processos de alimentação e absorção de água, de excreção e reprodução. O recobrimento físico pode matar por sufocamento resultante da restrição nas trocas gasosas. Pode também afetar a fauna por estresse térmico, gerado pelo efeito da insolação no óleo presente no sedimento e recobrindo os organismos (MICHEL; HAYES, 1992).

Os efeitos tóxicos do óleo afetam o crescimento, a reprodução, a respiração e o comportamento das espécies existentes no sedimento. Segundo API (1985), todos esses impactos podem causar alterações na estrutura e função da comunidade e na teia alimentar do ecossistema, por meio da:



5.8. Ocupação intensa da orla – Cidade de Santos (SP). Milanelli, João Carlos Carvalho

- eliminação seletiva de espécies ou grupos funcionais;
- ruptura (ruptura) do processamento de detritos (impacto na teia dos detritívoros);
- eliminação seletiva de espécies-chaves e espécies fundadoras essenciais para a estruturação da comunidade.

Efeitos subletais também podem ser esperados nas comunidades de praias afetadas pelo óleo nos processos fisiológicos de crescimento e reprodução, que podem ser percebidos a médio ou mesmo longo prazo.

Aqui cabe o esclarecimento sobre os conceitos *vulnerabilidade* e *sensibilidade*, muitas vezes confundidos e utilizados como sinônimos. No presente contexto, vulnerabilidade é um conceito complexo que contempla diferentes aspectos como suscetibilidade (possibilidade ou risco de um ambiente ser atingido), possibilidades de limpeza e recuperação, resiliência e sensibilidade da comunidade. A sensibilidade é, portanto, um aspecto da vulnerabilidade associado à forma de resposta da comunidade ao contato com o óleo (API, 1985; GUNDLACH; HAYES, 1978).

O índice de vulnerabilidade proposto por Gundlach e Hayes (1978), que classifica os ambientes costeiros de 1 a 10, segundo sua vulnerabilidade crescente ao óleo, enfatiza o tempo de residência do óleo e a geomorfologia do ambiente, considerando também os impactos biológicos esperados (sensibilidade).

De modo geral, as praias de areia são frequentemente consideradas como de baixa a moderada vulnerabilidade aos derrames de óleo. Segundo API (1985), o óleo tende a permanecer por poucas semanas nas praias de alta energia, enquanto em praias abrigadas e terraços lamosos pode permanecer durante décadas.

A visão prática e mais focalizada nos aspectos geomorfológicos de Gundlach e Hayes (1978) justificou a classificação das praias de areia fina como menos vulneráveis do que as praias de areia grossa (nas quais o petróleo tende a penetrar mais profundamente no sedimento, dificultando a limpeza e aumentando o tempo de contaminação). No entanto, nas praias com sedimentos finos a riqueza biológica é maior, o que do ponto de vista ambiental as torna mais sensíveis ao óleo do que as praias de granulometria grossa. As conseqüências desta interpretação são fundamentais porque subsidiam decisões envolvendo a escolha de áreas prioritárias de proteção e zonas de sacrifício, incluídas nas cartas de sensibilidade ambiental da costa brasileira.

A proposta de Gundlach e Hayes (1978) foi incorporada pela National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA), para a classificação da sensibilidade dos ambientes costeiros, com a criação do Environmental Sensitivity Index (ESI). No Brasil, por sua vez, o índice da NOAA serviu de subsídio para a criação das cartas SAO de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (BRASIL, 2004a).



5.9. Praia de areia grossa. Praia de Massaguaçu, Caraguatatuba (SP).  
Milanelli, João Carlos Carvalho

Na classificação das cartas SAO, os diversos tipos de ambientes praias do litoral brasileiro estão agrupados nos Índices de Sensibilidade do Litoral (ISL), ISL 3, 4, 5, 7 e 9, baseados principalmente na permeabilidade do sedimento (onde ambientes com baixa penetração do óleo são classificados como menos sensíveis) e no grau de exposição às ondas:

**ISL 3** - Praias dissipativas de areia média a fina, expostas;

**ISL 4** - Praias de areia grossa, praias intermediárias de areia fina a média, expostas, praias de areia fina a média, abrigadas;

**ISL 5** - Praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais;

**ISL 6** - Praias de cascalho (seixos e calhaus);

**ISL 7** - Terraço de baixa-mar;

**ISL 9** - Terraço de baixa-mar lamoso abrigado.

No Estado de São Paulo, a CETESB, respeitando as diversas interfaces das emergências que envolvem a limpeza dos ambientes costeiros, prioriza a proteção dos recursos vivos e o equilíbrio dos ecossistemas costeiros. Dessa forma, para a CETESB, praias compostas por sedimentos finos (areias e lamas), sendo ecossistemas mais ricos, complexos e com maior bio-



**5.10.** Praia de areia fina. Praia do Cauípe (CE). Poletto, Carolina Rodrigues Bio

diversidade, são consideradas mais sensíveis que as praias de areia grossa e cascalho.

Resumidos a seguir, encontram-se os principais ambientes praias, e o comportamento geral do óleo em cada um deles.

### **Praias de areia grossa**

Praias com as maiores declividades, comumente com presença de terraços planos de baixa-mar, zona entremarés inclinada, presença de berma e terraço plano de supralitoral (foto 5.9). São praias com perfil relativamente heterogêneo e instável. A granulometria freqüentemente difere ao longo do perfil praias, com sedimentos mais finos na antepraia (terraço de baixa-mar). As características granulométricas também podem variar ao longo do ano, como reflexo da dinâmica do ciclo construtivo/destrutivo.

Nessas praias o grau de compactação do sedimento é muito baixo, tornando-o instável e impedindo o desenvolvimento de uma comunidade biológica rica, especialmente em condições de hidrodinamismo intenso (ondas). Zona entremarés colonizada principalmente por crustáceos e moluscos.

Por seu elevado declive, essas praias têm uma faixa entremarés relativamente estreita quando comparada às praias de areia fina. Com isso, o substrato disponível para colonização biológica é também mais restrito. Da mesma forma, a área entremarés vulnerável ao óleo é muito menor do que em praias de areia fina, sob o mesmo regime de maré.

Eventualmente esses ambientes são colonizados temporariamente por espécies visitantes, migratórias, em períodos reprodutivos, como aves e tartarugas marinhas, as quais nidificam na franja de supralitoral de praias brasileiras, de novembro a março. Nestes períodos, as praias adquirem sensibilidade especial tanto ao óleo quanto às ações de limpeza, aspecto muito relevante em algumas regiões do Brasil, como o litoral do Nordeste e ilhas oceânicas.

Praias de areia grossa podem estar associadas a outras feições e ambientes costeiros como planícies de maré, dunas e restingas. A vegetação de duna do tipo jundu aparece com freqüência na porção superior da praia.

Nas praias de areia grossa a penetração do óleo pode superar 25 centímetros de profundidade no sedimento, fazendo com que o tempo de permanência seja mais elevado. O grau de penetração depende também das características do óleo. O sedimento frouxo dessas praias dificulta operacionalmente a limpeza e retirada do óleo.

Gundlach e Hayes (1978) e Michel e Hayes (1992), alertam que em fases construtivas o óleo pode ser recoberto com sedimento limpo, sendo disponibilizado apenas no período destrutivo, vários meses depois. O recobrimento do óleo pela areia foi constatado, por exemplo, durante os vazamentos gerados na Guerra do Golfo, em que centenas de praias foram atingidas por óleo (LINDÉN; JERNELOV; EGERUP, 2001). Esta situação dificulta a visualização e a limpeza das áreas contaminadas, tendo sido freqüentemente identificada em

acidentes em São Paulo, onde o ciclo praiial mobiliza até mais de um metro de sedimento (como, por exemplo, no litoral de São Sebastião).

Considerando a influência das marés e ondas na face praiial, há também uma tendência de o óleo acumular no terraço posterior da praia, atrás da berma. Considera-se que essa região é menos vulnerável biologicamente porque é colonizada por poucas espécies animais.

### Praias de areia fina

Praias com declividade suave e perfil relativamente plano são comumente associadas a outros ambientes costeiros contíguos como planícies de maré, terraços de baixa-mar, dunas, restingas e manguezais. Também sujeitas ao ciclo praiial, podem ter suas características de sedimento alteradas naturalmente ao longo do ano. O sedimento é mais estável e compacto, com menor espaço intersticial e maior capacidade de acúmulo de matéria orgânica associada a partículas mais finas. Nestes ambientes, a biota é consideravelmente rica, complexa, e sensível ao óleo, representada tanto pela epifauna como pela infauna/endofauna. A maior parte da biota concentra-se na camada superficial do sedimento (foto 5.10).

Pelas condições intrínsecas desses ambientes, a penetração do óleo no sedimento é baixa, permanecendo nas camadas superficiais. Em quantidades maiores, o óleo pode recobrir grandes extensões de areia, constituindo um pavimento asfáltico sobre ela (MICHEL; HAYES, 1992). Uma via de penetração do óleo no sedimento são os tubos e galerias criados por organismos como moluscos, crustáceos e poliquetas. Nestas praias, os procedimentos de limpeza usualmente empregados podem ser realizados eficientemente, o que faz diminuir o tempo de residência do óleo e os impactos à biota, acelerando o processo de recuperação da comunidade.

### Praias de cascalho e sedimentos bioclásticos

Os termos “praias de cascalho” referem-se a uma ampla variedade de sedimentos de granulometrias diferentes. Segundo Michel e Hayes (1992), contemplam:

Classe	Diâmetro dos grãos (mm)
Grânulo	2 a 4
Seixo – calhau	4 a 64
Pedregulho	64 a 256
Matacão	>256

Essas praias têm mobilidade de sedimento, mas, devido à maior granulometria, é necessária maior energia hidrodinâmica para essa mobilização. Portanto, em períodos de maior agitação marítima e tempestades formam-se perfis típicos com bermas de tempestade. As características geomorfológicas destas (e de outras) praias estão relacionadas não apenas ao hidrodinamismo local, mas também aos aspectos geológicos da região, como, por exemplo, a distância da fonte rochosa e a presença de rios (meios de transporte de sedimentos interiores para a costa). As praias de cascalho podem ser tanto dissipativas como reflexivas, de acordo com sua posição e configuração geográfica e, principalmente, com o regime de ondas.

Nas praias de cascalho, quanto maior o diâmetro do grão, maior o espaço intersticial. Se a praia tiver os sedimentos mal selecionados, esses espaços são preenchidos por sedimentos mais finos; mas se os sedimentos forem bem selecionados, os espaços intersticiais serão maiores. Devido à maior circulação intersticial, essas praias não são favoráveis à deposição de particulados finos e matéria orgânica (MICHEL; HAYES, 1992).

De forma análoga às praias de areia grossa, as praias de cascalho e sedimentos bioclásticos, por conta de sua mobilidade, instabilidade e limitação em nutrientes também são relativamente pobres biologicamente. Por outro lado, um aspecto típico desses ambientes é a possibilidade de presença de organismos de substrato consolidado, agregados aos pedregulhos, seixos e pedras roladas, como cracas, algas, e organismos coloniais - esponjas e ascídias. No entanto, a presença destas espécies está limitada a condições adequadas de hidrodinamismo (abrigadas das ondas).

Ainda nas praias de cascalho, durante o período de maior agitação marítima, o óleo pode ser conduzido para a faixa superior da praia (pós-praia) pelas ondas, acumulando-se na região de berma. Neste tipo de ambiente os sedimentos de elevada porosidade e



5.11. Jundu – zona posterior da praia. Litoral norte do Espírito Santo. Milanelli, João Carlos Carvalho

## Ambientes Costeiros Contaminados por Óleo Procedimentos de Limpeza



5.12. Recolhimento manual em praia contaminada Barequeçaba, São Sebastião (SP). Banco de dados da CETESB

permeabilidade permitem a profunda penetração do óleo (possivelmente mais de um metro). No entanto, em certas condições, a presença de seixos e pedregulhos alinhados superficialmente pelas correntes pode proteger o sedimento do contato direto com o óleo, diminuindo a intensidade de penetração vertical (MICHEL; HAYES, 1992).



5.13. Aplicação de turfa sobre areia contaminada São Sebastião (SP). Banco de dados da CETESB

Muita atenção deve ser dada ao fato de que em uma mesma praia de cascalho diferentes tipos de sedimento podem estar presentes, como seixos na zona de berma, areias na face praial superior e pedregulhos próximos à franja do infralitoral. Estas são condições apresentadas pelas praias de sedimentos mistos, su-



5.14. Limpeza fina da praia, São Sebastião (SP). Banco de imagens da CETESB

jeitos a um gradiente variável de movimentação hidrodinâmica (MICHEL; HAYES, 1992). Isso pode gerar comportamentos diferentes do óleo na praia.

Outra característica desses ambientes é o elevado potencial de recobrimento / soterramento do óleo, que resulta da movimentação do sedimento, especialmente durante períodos de maior agitação marítima (fases reflexivas) e na faixa superior da praia (zona de berma) (MICHEL; HAYES, 1992).

Em praias de cascalho abrigadas das ondas, existe a possibilidade de intenso acúmulo de óleo ou mesmo uma pavimentação asfáltica da face praial (entremarés). Nessas condições, onde a limpeza natural é limitada, espera-se que o produto, se não removido, permaneça por muito tempo no ambiente.

### MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS

Os principais métodos disponíveis para limpeza de praias são: absorção, remoção manual, bombeamento a vácuo, remoção mecânica, dispersão química, queima, limpeza natural e jateamento (API, 1985; API et al., 2001).

Para a limpeza de praias a CETESB prioriza a seleção de métodos que sejam eficientes esteticamente, mas que preservem a comunidade biológica de danos adicionais. Com essa expectativa foram feitos vários estudos e avaliações de procedimentos durante derrames reais, propiciando a determinação das diretrizes atualmente respeitadas. Em primeiro lugar, foi 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.

O sedimento arenoso e lamoso entremarés é saturado durante a subida da maré, favorecendo a ressuspensão do óleo a ele agregado. O óleo presente na água durante o período de preamar é normalmente transferido para a área mais elevada da praia, o que se repete uma ou duas vezes por dia (dependendo do regime de marés local, diurno ou semidiurno). As ondas também contribuem para a desagregação do óleo do sedimento e deslocamento para as faixas superiores da praia.

A estratégia atualmente adotada pela CETESB é a conjugação de métodos de remoção como recolhimento manual criterioso, uso de absorventes naturais e bombeamento a vácuo, com a limpeza natural (ação das ondas e principalmente da maré). As principais diretrizes do procedimento são as seguintes (MILANELLI; LOPES, 2001):



5.15. Ninhos de tartarugas marinhas. Base Tamar, Praia de Guriri (ES). Milanelli, João Carlos Carvalho

- máquinas e veículos não devem trafegar na zona entremarés, especialmente na faixa inferior, de maior sensibilidade ambiental. Os veículos de apoio, quando necessários, devem permanecer acima da zona entremarés, respeitando faixas vegetadas como jundus, vegetação de dunas e restingas (foto 5.11). Em praias lamosas e de cascalho, somam-se às limitações de trafegabilidade inerentes a esses ambientes;
- deve-se iniciar a limpeza das praias apenas quando a maior quantidade possível de óleo já tiver sido retirada da água, pelos procedimentos convencionais de combate em mar - barreiras, *skimmers*, bombeamento, barcaças, entre outros (ITOPF, 2000a; API et al., 2001);
- a faixa inferior (mais próxima da água nas marés baixas) da zona entremarés deve ser preservada de qualquer procedimento mecânico de limpeza, uma vez que esta é a região mais rica e sensível biologicamente. O óleo presente nesta faixa é naturalmente transportado às zonas superiores da região entremarés pela própria ação das ondas e marés. A penetração de água nos espaços intersticiais durante a subida das marés é efetiva, contribuindo para a limpeza natural do sedimento. A abrasão dos grãos e os processos de floculação também facilitam a retirada de óleo do substrato, que tende a acumular-se na faixa superior da praia;
- a zona entremarés inferior deve ser protegida do pisoteio, restringindo-se o acesso a essa área aos trabalhadores envolvidos na limpeza;
- o recolhimento manual do óleo deve concentrar-se na faixa superior da praia mediolitoral superior e franja do supralitoral (foto 5.12) e realizar-se criteriosamente, retirando-se o mínimo possível de areia. Para isso utilizam-se preferencialmente rodos de madeira, e na falta destes, pás e enxadas. Em geral são necessários vários dias de limpeza na faixa, uma vez que em cada maré cheia mais óleo é levado para a parte superior. Tal procedimento deve estar alinhado com os horários do ciclo de maré, pela consulta à tábua de marés. O período mais produtivo na limpeza é sempre nas horas seguintes ao pico de preamar.
- A cada ciclo de maré é importante inspecionar toda a extensão da praia, procurando identificar pontos de soterramento natural do óleo com sedimentos trazidos pela maré. Quando são encontrados bolsões de óleo sob a areia limpa procede-se o deslocamento (e não a remoção) da camada superficial limpa, expondo novamente o sedimento contaminado, retirando-o. Após a limpeza, a areia limpa é reposicionada no local;
- todo o óleo recolhido deve ser retirado da praia, de preferência em tambores lacrados, sacos plásticos reforçados ou *bigbags* identificados. Para a remoção de tambores e *bags* (normalmente de um metro cúbico) são necessários caminhões “munck” e/ou tratores de apoio. Essas máquinas devem operar no supralitoral, fora da zona habitada pela comunidade biológica (entremarés);
- apenas a remoção manual com os rodos não basta para retirar todo o óleo que existe no sedimento. Quando esse procedimento se torna ineficaz, entra-se na fase de limpeza fina da praia, por meio do uso de absorventes naturais. O produto deve ser espalhado na franja do infralitoral (região mais próxima da água), ao longo da extensão da praia, sempre nas marés baixas (foto 5.13). Consultando a tábua de marés, as equipes de limpeza come-

çam a espalhar o produto pouco antes do pico de baixa-mar. Esta atividade deve ser conduzida de forma adequada, para não desperdiçar absorvente nem utilizá-lo em quantidades insuficientes. Com a subida da maré, a ação do produto ocorre durante várias horas, e por toda a extensão da zona entremarés. Após a preamar seguinte à aplicação, o produto deve ser recolhido manualmente, respeitando-se, da mesma forma, as faixas inferiores da praia. O procedimento deve ser repetido até que a praia esteja limpa do produto. Normalmente são necessários de três a cinco dias, dependendo do tipo e quantidade de óleo, do tipo de praia atingida e das condições oceanográficas no momento da emergência;

- finalizada a fase dos absorventes, realiza-se a limpeza fina da praia retirando-se as pelotas de óleo em toda a zona entremarés. A limpeza deve ser feita manualmente com a utilização de pás, espátulas e enxadas, para recolher somente as “borras” de óleo (foto 5.14). O material recolhido deve ser transferido para carrinhos de mão e acondicionado depois em tambores ou *bags*. Nesta fase, os resíduos naturais contaminados, como folhagem, galhos e lixo também são removidos da praia.

Deve-se ressaltar que um ambiente limpo não significa a ausência total de vestígios de hidrocarbonetos (KERAMBRUN; PARKER, 1998; WHITFIELD, 2003). Segundo Dicks (1998), a presença de alguns resquícios pequenos e isolados de óleo não deve significar preocupação para os gestores da emergência, pois o intemperismo tende a degradar esses resíduos. O API (1985) sugere que um desempenho eficiente de limpeza não representa necessariamente a remoção total do óleo. Para a CETESB, no entanto, a limpeza das praias deve ser feita tanto quanto possível, desde que seja viável dentro da estrutura emergencial e não agregue impactos adicionais.

É comum o aparecimento de pelotas de óleo trazidas pela maré nas semanas que se seguem ao vazamento. As equipes de limpeza de praia devem continuar monitorando o ambiente nesse período, mantendo os recursos e a estrutura de trabalho para a limpeza.

Em ambientes lamosos, como terraços de baixa-mar, zonas entremarés de planícies de maré, margens de manguezais e marismas, o acesso e trafegabilidade são restringidos pelas condições do sedimento. Nesses ambientes extremamente sensíveis, as ações de limpeza devem concentrar-se apenas na faixa entremarés superior, normalmente associada a es-

treitas faixas de areia. Como ambientes com maior sensibilidade e dificuldade de intervenção, devem ser tratados com a máxima cautela, sempre com a participação e concordância dos órgãos ambientais competentes. As consequências negativas do uso de máquinas pesadas em planícies de marés lamosas foram constatadas, por exemplo, no acidente Exxon Valdez e no Amoco Cadiz (WHITFIELD, 2003). Esses ambientes serão tratados em capítulo específico.

Os procedimentos descritos têm mostrado ótimos resultados na limpeza de praias em vários acidentes ocorridos em São Paulo, como o vazamento de óleo proveniente do rompimento de um duto em 1994. Nessa ocasião, cerca de seiscentos metros cúbicos de óleo atingiram a praia de Barequeçaba, em São Sebastião (SP). Por meio desses métodos a praia foi recuperada esteticamente em uma semana, com mínimos danos adicionais à comunidade biológica local (CETESB, 1994). O método obteve sucesso também em outros derrames ocorridos em São Paulo (CETESB, 1998a, 1998b).

Especial cuidado deve ser dado às praias de areia nas regiões de desova de tartarugas marinhas do litoral brasileiro (foto 5.15). Durante os meses quentes do ano (novembro a março) diversas praias do Nordeste brasileiro são visitadas por centenas de tartarugas marinhas (cinco das sete espécies existentes no mundo desovam no Brasil) que constroem ninhos e desovam no local. Os ninhos se concentram próximos a pós-praia, onde não há influência da maré. Por isso, teoricamente não estão vulneráveis ao contato direto com o óleo, mas sim aos procedimentos e estrutura de limpeza instalados na praia. Centenas de operários, máquinas e caminhões, podem facilmente destruir as ninhadas. Nestas condições, as praias adquirem um *status* de elevada sensibilidade, uma vez que recursos biológicos especiais e protegidos estão sob risco; planos especiais de manejo e limpeza devem ser definidos pelo órgão ambiental competente.

O mesmo critério deve ser considerado em cenários envolvendo rotas de aves migratórias que usam sazonalmente as praias da costa brasileira para pouso, alimentação e reprodução

#### **Técnicas de limpeza recomendadas para praias**

Limpeza natural

Recolhimento manual

Absorventes naturais granulados

## CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE

Os sedimentos lamosos entremarés, compostos por silte, argila e partículas finas de areia, não definem uma categoria específica de praia, mas fazem parte de outras feições costeiras como terraços de baixa-mar, planícies de maré, e margens de manguezais e marismas (DITTMANN, 2002; BRASIL, 2004a). Estes ambientes têm declive muito suave (eventualmente menos de um grau) e ficam expostos durante a baixa-mar, ocorrendo em áreas costeiras normalmente abrigadas da ação direta das ondas, sendo, portanto, favoráveis à deposição de sedimentos finos. No entanto, podem ocorrer planícies de maré sujeitas a ação de ondas. Nesses casos predomina a areia e há menor proporção de sedimentos lamosos. As planícies de maré expostas têm sedimentos mais compactos e firmes.

Por conta do baixo declive, a zona entremarés das planícies de maré é, em geral, extensa, especialmente nas regiões onde a amplitude de maré é maior, como na costa do Maranhão (foto 6.1). Os terraços arenolodosos da Baía de São Marcos estão sujeitos a variações de maré de sete metros verticais, o que se reflete em zonas entremarés com várias centenas de metros expostos na baixa-mar. Esses terraços são comuns em estuários, baías, lagoas e lagunas e ambientes costeiros sedimentares.

Muitas vezes as margens das planícies de maré conectam-se a faixas arenosas na franja do supralitoral, sendo comumente confundidas com praias. Apesar de guardar alguma semelhança geomorfológica com as praias, as planícies de maré apresentam padrões menos intensos e mais lentos de erosão e deposição sedimentar. Muito mais energia hidrodinâmica é necessária para os processos erosionais (remoção do sedimento) do que para os processos deposicionais (MICHEL; HAYES, 1992).

No Brasil estas feições costeiras são abundantes (foto 6.2), ocorrendo associadas às margens das baías e enseadas, como a Baía de São Marcos (MA), a Baía de Guanabara (RJ), Parati (RJ), a Baía de Santos (SP), a Enseada de Caraguatatuba (SP), a Baía de Paranaguá (PR) e a Lagoa dos Patos (RS).



6.1. Planície de maré. Alcântara, Baía de São Marcos (MA).  
Milanelli, João Carlos Carvalho

Ambientes deposicionais como planícies de maré e terraços de baixa-mar lodosos são ricos biologicamente como consequência da relativa estabilidade física e abundância de alimento (altos índices de matéria orgânica). São ambientes propícios ao desenvolvimento de complexas comunidades bentônicas de invertebrados, com populações abundantes de crustáceos, moluscos, anelídeos e equinodermas, entre muitos outros grupos (SCHOLZ et al., 1994). Padrões de densidade populacional de invertebrados podem atingir vários milhares de indivíduos por metro quadrado (DITTMANN, 2002). As assembléias de peixes bentônicos e demersais também são muito ricas, uma vez que diversas espécies costeiras adentram esses ambientes para reproduzir, obter alimento e proteção contra predadores. Na Baía



6.2. Litoral de Belém (PA). Benavente, Ana Cristina

de Paranaguá (PR), uma região com extensas áreas de planícies de maré, Vendel (2003) identificou 54 espécies de peixes.

A elevada biodiversidade existente nas planícies de maré atrai não apenas peixes e mamíferos da zona costeira, mas também outros animais, como aves marinhas. Diversas espécies exploram as planícies de maré durante os períodos de baixa-mar em busca de alimento (MICHEL; HAYES, 1992).

Cenários envolvendo contaminação de planícies de maré e terraços de baixa-mar lodosos são ambientalmente preocupantes pela elevada sensibilidade biológica e limitações nos procedimentos de limpeza.

### **SENSIBILIDADE AO ÓLEO**

As planícies de maré e sedimentos lamosos são normalmente saturadas de água e com pouco espaço intersticial. De modo geral, esta característica faz com que haja reduzida penetração de óleo no sedimento. O grau de penetração está diretamente ligado à proporção entre silte/argila no substrato. Por outro lado, nesses ambientes, por conta do baixo hidrodinamismo, o tempo de permanência do óleo pode ser muito longo. Como resultado da ação de subida e descida das marés, o óleo tende a acumular na parte superior do ambiente. Em episódios de contaminação intensa, a pavimentação do substrato pode persistir por muitos anos (GUNDLACH; HAYES, 1978; MICHEL; HAYES, 1992; SCHOLZ et al., 1994; KINGSTON, 2002).

Como consequência do contato direto com o óleo, impactos ambientais nesses ecossistemas sensíveis podem ser severos (MICHEL; HAYES, 1992; SCHOLZ et al., 1994), resultantes do recobrimento físico e do efeito químico. Em termos gerais, os impactos esperados em praias de areia podem ocorrer também nas planícies de maré, como alteração no equilíbrio trófico, desaparecimento de espécies-chave e espécies fundadoras, redução da biodiversidade e efeitos subletais na fisiologia e comportamento das espécies, impactos associados aos efeitos do recobrimento e da intoxicação. Estes efeitos podem perdurar por longos períodos, como consequência da permanência do óleo em ambientes abrigados.

Por suas condições geomorfológicas, hidrodinâmicas e biológicas, as planícies de maré são ambientes mais sensíveis ao óleo que as praias (MICHEL; HAYES, 1992). Esta maior sensibilidade está refletida nas cartas Sensibilidade Ambiental ao Óleo (SAO), adotadas pelo MMA para a confecção de cartas de sensibilidade costeira a vazamentos de óleo na costa brasileira, Cartas

SAO (BRASIL, 2004a). Neste índice, que derivou dos Índices de Sensibilidade Ambiental (ESI) da NOAA, os ambientes lamosos, terraços de baixa-mar e planícies de maré estão classificados da seguinte forma:

**ISL 7** - Planície de maré arenosa exposta.  
Terraço de baixa-mar.

**ISL 9** - Planície de maré arenosa / lamosa abrigada.  
Terraço de baixa-mar lamoso abrigado.

**ISL 10** - Terraços alagadiços.

### **MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS**

Em ambientes sensíveis, como planícies de maré e baixios lodosos, as atividades ligadas à limpeza podem ser mais nocivas que o próprio óleo e causar danos em longo prazo (DICKS, 1998; API et al., 2001; ITOPE, 2000a). São ambientes com sedimentos instáveis que não suportam nem a presença de máquinas nem o pisoteio na zona entremarés (SCHOLZ et al., 1994). Portanto, as restrições à intervenção de limpeza desses ambientes são maiores do que as das praias de areia, o que os situa entre os mais sensíveis e vulneráveis.

Por conseguinte, para planícies de maré deve-se considerar a limpeza natural como um dos procedimentos prioritários de combate. Contudo, para cenários com intensa contaminação, a remoção manual criteriosa do óleo é necessária.

Da mesma forma que para os outros ambientes, deve ser removido em primeiro lugar e tanto quanto possível o óleo na coluna d'água adjacente ao ambiente, antes do início da limpeza (ITOPF, 2000a; API et al., 2001).

Associados à remobilização do óleo presente na superfície do sedimento pelas marés e ondas em direção ao supralitoral, devem ser considerados os procedimentos propostos para praias, nos quais se restringe a circulação de trabalhadores na zona entremarés e a presença de máquinas, utilizando-se técnicas de remoção manual, aplicação e recolhimento de absorventes naturais como a turfa vegetal. Estas ações devem concentrar-se na faixa superior da zona entremarés, comumente mais estável e menos sensível biologicamente.

#### **Técnicas de limpeza recomendadas para planícies de maré e terraços de baixa-mar lodosos abrigados**

Limpeza natural

Recolhimento manual

Absorventes naturais granulados

## CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE

Costões rochosos são afloramentos de rochas cristalinas na linha do mar, sujeitos à ação das ondas, correntes e ventos, que podem apresentar diferentes configurações como costões amplos e matacões. As falésias tanto são constituídas por rochas sedimentares de variada compactação (conglomerados, arenitos e calcários) e rochas do embasamento cristalino (gnaisses, quartzitos e migmatitos), como por materiais inconsolidados (areia e argilas). Podem ter altitude variável, de poucos metros a mais de 70 metros (MEIRELES, 2005), e ser vivas ou mortas. As falésias vivas são escarpas com elevado declive devido à ação marinha (solapamento, desgaste, embate das ondas) e modeladas pela dinâmica continental (foto 7.1). As falésias mortas ou paleofalésias não sofrem mais o ataque marinho.

Os costões amplos e matacões originam-se a partir da proximidade de estruturas cristalinas à linha de costa. O maciço da Serra do Mar, por exemplo, devido à proximidade da costa na Região Sudeste do Brasil origina os costões com feições particulares como paredões contínuos - costões homogêneos (foto 7.2) ou fragmentados - matacões (foto 7.3) (CARVALHAL; BERCHEZ, 2005).

Na porção sob efeito das marés (zona entremarés), os costões são subdivididos nas zonas *supralitoral* que recebe apenas os borrifos das ondas e marés excepcionalmente altas; *mediolitoral* que se encontra sob ação direta das marés e *infralitoral*, região do costão permanentemente submersa.

Os costões rochosos apresentam uma rica e complexa comunidade. O substrato duro favorece a fixação de larvas de diversas espécies de invertebrados, sendo comum a ocupação do espaço por faixas densas de cracas, mexilhões e ostras, além de diversas espécies de macroalgas, muitas das quais formando também densas coberturas na rocha. Os organismos sésseis fornecem abrigo e proteção para uma grande variedade de animais, servindo também como substrato para a fixação de outros organismos. As macroalgas também abrigam uma rica comunidade animal, denominada fital. Conseqüentemente, com toda essa diversidade, é possível encontrar mais de uma centena de espécies em um único costão.



7.1. Falésias vivas localizadas na Ponta Ubu, Anchieta (ES). Silva, Rosimere



7.2. Costão homogêneo, Caraguatatuba (SP). Banco de imagens da CETESB.



7.3. Matacões, Ilhabela (SP). Banco de imagens da CETESB.



7.4. Costão batido, Ilhabela (SP). Banco de imagens da CETESB

Os grupos animais mais comuns nos costões rochosos são os crustáceos, os moluscos, e muitos outros como Polychaeta, Porifera, Ascidiacea, Echinodermata, Cnidaria e Bryozoa. Entre as algas, as vermelhas (Rhodophyta) são mais abundantes quanto ao número de espécies, seguidas pelas algas verdes (Chlorophyta) e pardas (Phaeophyta).

Portanto, conclui-se que as comunidades biológicas de costões rochosos têm importante valor ecológico no equilíbrio dos ecossistemas costeiros, desde que representam ambientes ricos em recursos alimentares também explorados por peixes e aves. Possuem, igualmente, valor econômico, devido à exploração de recursos como ostras, mexilhões e algas.

Costões rochosos entremarés são tipicamente ambientes de transição, em que as variáveis físicas podem sofrer consideráveis alterações diárias devido à exposição periódica ao meio aéreo nas marés baixas. Durante esses períodos, a comunidade exposta é submetida a variações de temperatura, dessecação, aumento ou redução da concentração salina corpórea (pela evaporação ou diluição), redução do fornecimento de oxigênio e nutrientes e acúmulo de excretas.

Devido à presença destes fatores naturais de estresse, a comunidade apresenta estrutura espacial peculiar, denominada de zonação, que ocorre de acordo com o grau de sensibilidade de cada espécie aos gradientes ambientais verticais, em associação com as interações biológicas intra e interespecíficas como predação e competição.

Dois fatores ambientais de grande importância tomam parte na complexidade das comunidades de costão rochoso: o grau de hidrodinamismo, determinado principalmente pelo impacto das ondas, e a complexidade do substrato (heterogeneidade espacial). Em relação ao



7.5. Costão protegido, Ilhabela (SP). Banco de imagens da CETESB

hidrodinamismo, reconhece-se basicamente dois tipos de costão: o exposto ou batido (foto 7.4), e o protegido (foto 7.5). No primeiro tipo, o elevado grau de hidrodinamismo é um dos principais responsáveis pela mortalidade de organismos mais frágeis nos costões, o que resulta em um ambiente com menor diversidade de espécies presentes. Os costões abrigados, por sua vez, apresentam alto nível de complexidade, resultando numa grande riqueza de espécies (CARVALHAL; BERCHEZ, 2005).

O grau de heterogeneidade do substrato também tem elevada importância. Costões com grande quantidade de refúgios (matacões, por exemplo) propiciam a instalação, colonização e o desenvolvimento de uma variedade de organismos, tanto animais quanto vegetais, aumentando substancialmente a biodiversidade. Os refúgios (fendas, fissuras, poças, entre outros) constituem micro-habitats onde espécies vulneráveis a estresses físicos, ou mesmo pressões bióticas, como predação, acham-se protegidas, assegurando a manutenção de suas populações.

Os organismos habitantes da zona entremarés são capazes de resistir a elevadas variações de temperatura e salinidade, adaptações importantes para a sua sobrevivência. Mesmo assim, a comunidade está exposta constantemente a perturbações que a tornam instável temporal e espacialmente. O resultado direto dessa instabilidade é o elevado grau de heterogeneidade encontrado nos costões.

Perturbações, como o batimento das ondas, geram clareiras nas rochas que favorecem o aparecimento de espécies mais raras, ou menos competitivas, gerando um contínuo processo de sucessão local. Assim, em um costão pode-se ter diversas clareiras, de diversos tamanhos, em diferentes estágios de sucessão, estando, portanto, em constante transformação.

As variações sazonais também podem causar modificações consideráveis na comunidade. Uma vez que a competição por espaço é intensa nesses ambientes, a redução ou o desaparecimento de uma população em certa época do ano pode causar grandes modificações estruturais; exemplo disso é a ocupação da área disponível por uma espécie colonizadora primária, no curso de um novo processo de sucessão, assim como ocorre nas clareiras, geralmente durante o ano.

## SENSIBILIDADE AO ÓLEO

Assim como em outros ecossistemas, o impacto do óleo em costões está associado ao tipo de óleo (toxicidade, viscosidade e quantidade), à sensibilidade dos organismos em contato com o produto e ao tempo em que o ecossistema esteve submetido ao contaminante. Em situações mais severas têm sido registrados impactos de longo prazo, em que as comunidades somente mostraram recuperação após três anos do acidente (IPIECA, 1995).

Os organismos de costões rochosos exibem variável sensibilidade ao óleo. Certas macroalgas, principalmente algumas espécies de algas pardas, são pouco sensíveis devido à camada de mucilagem existente na epiderme que previne a adesão do óleo. Com a ação das marés, o produto é removido da superfície das algas, minimizando seu efeito. As cracas geralmente também são pouco sensíveis. Os impactos do óleo estão associados ao severo recobrimento físico sobre estes animais. Moluscos herbívoros, entretanto, são mais sensíveis. Tem sido registrada mortalidade expressiva em populações de gastrópodes herbívoros, especialmente quando atingidos por produtos de maior toxicidade (IPIECA, 1995).

Integrantes de espécies carnívoras como caranguejos, e equinodermos, como estrelas-do-mar, também podem ser afetados. Com isso, a pressão de predação é reduzida sobre os herbívoros, gerando desequilíbrio em toda a teia alimentar do ecossistema (IPIECA, 1995).

Costões rochosos da região entremarés podem apresentar diferentes graus de sensibilidade ao petróleo, de acordo com suas características ambientais. Segundo Gundlach e Hayes (1978), os costões rochosos expostos são menos vulneráveis que os costões rochosos abrigados. Diversos autores também classificam os costões nos mesmos moldes descritos. A configuração do substrato influencia igualmente a vulnerabilidade desses ambientes, porque os substratos mais fragmentados (heterogêneos), além de potencialmente possibilitarem o desenvolvimento de uma comunidade biológica mais expressiva, permitem a retenção de óleo em reservatórios como poças,

fissuras de rocha, reentrâncias, fendas, entre outros. Dessa forma, costões abrigados da ação das ondas e fragmentados são comparativamente mais sensíveis a derrames de óleo que costões batidos com superfície homogênea e uniforme.

### Costões abrigados

A classificação dos costões abrigados como muito vulneráveis aos derrames de petróleo está fundamentada nos seguintes aspectos:

- uma vez que a força das ondas e correntes é mínima, existe grande dificuldade de o óleo ser dispersado e eliminado naturalmente nesses ambientes. Nestes casos, o produto pode permanecer nas rochas por muitos anos, impedindo ou dificultando o processo de recuperação da comunidade atingida;
- as comunidades biológicas que existem nos costões rochosos abrigados têm em sua composição muitas espécies frágeis e delicadas sem proteção externa, como conchas e carapaças, uma vez que o ambiente sem ondas não representa uma fonte intensa de estresse mecânico. Em muitos casos, estas espécies são também muito sensíveis aos compostos químicos presentes no petróleo, além de não suportarem os efeitos do recobrimento e asfixia que o produto causa;
- como o petróleo tende a permanecer por muito tempo nos costões rochosos abrigados, isto impede a recolonização por meio do recrutamento de novos indivíduos trazidos pelos corpos d'água - larvas e esporos (foto 7.6).

### Costões expostos

Os costões rochosos expostos são favorecidos pela eficiente limpeza natural exercida pelas ondas associadas aos regimes de marés. Nesses casos, a limpeza se



7.6. Costão rochoso abrigado contaminado, Paranaguá (PR).  
Banco de imagens da CETESB

processa na escala de algumas semanas, favorecendo a recuperação natural da comunidade, relativamente em pouco tempo, com o benefício de não haver interferência de outros métodos de limpeza que em geral representam algum tipo de dano adicional à comunidade biológica.

É por esta razão que os costões batidos são considerados ambientes relativamente pouco vulneráveis ao petróleo. Acrescenta-se a esse fato a composição da comunidade existente nesses ambientes não contar com as muitas espécies frágeis e sensíveis presentes nos costões abrigados.

Com base nas Cartas SAO (BRASIL, 2004a), os costões são classificados em diferentes categorias de sensibilidade. Os principais fatores determinantes são o hidrodinamismo e o aspecto físico do substrato (inclinação e grau de heterogeneidade). Dessa forma, os índices de sensibilidade ao óleo (ISL) para esse tipo de ambiente são os seguintes:

**ISL 1** – Costões rochosos homogêneos de elevada declividade, em locais expostos à ação hidrodinâmica; falésias formadas por rochas sedimentares expostas à ação hidrodinâmica.

**ISL 2** – Costões rochosos homogêneos de média a baixa declividade, expostos à ação hidrodinâmica.

**ISL 6** – Encostas rochosas formadas por matacões (depósito de tálus).

**ISL 8** – Costões rochosos de superfície homogênea ou não homogênea em locais de baixa energia hidrodinâmica.

Embora a CETESB aceite e utilize as especificações técnicas contidas nas Cartas SAO, deve-se ressaltar que, quanto à sensibilidade biológica, os costões rochosos de elevada fragmentação e típicos de ambientes calmos, ou seja, encostas formadas por matacões, exibem grande biodiversidade e merecem especial atenção durante as etapas tanto preventivas (= proteção para prevenir a contaminação) como corretivas, devendo as técnicas de limpeza ser aplicadas de forma a minimizar os impactos à flora e à fauna presentes. Para efeito de sensibilidade a CETESB considera os matacões de áreas calmas tão sensíveis quanto os costões rochosos homogêneos ou não presentes em áreas similares, sendo classificados, portanto, como de igual sensibilidade (ISL 8).

## **MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS**

Diversos métodos de limpeza estão disponíveis para minimizar a contaminação de costões rochosos atingidos por petróleo. Isto não significa que os mesmos são pertinentes do ponto de vista ambiental, tendo em vista que a maioria das técnicas prioriza a remoção do óleo não considerando seus impactos aos animais e plantas.

A escolha das técnicas de limpeza está diretamente relacionada ao grau de exposição às ondas. Em alguns ambientes, a limpeza natural pode ser a única opção prática ou a mais eficaz (IMO, 1997). Segundo API (1985), entre os métodos disponíveis destacam-se: bombeamento a vácuo, remoção manual, remoção da vegetação, jateamento (baixa pressão, alta pressão, com água ou areia), lavagem com água corrente, uso de absorventes, queima, dispersantes e limpeza natural.

Das técnicas disponíveis, as mais utilizadas são: jateamento, bombeamento, remoção manual, lavagem, uso de absorventes e limpeza natural.

O jateamento aplicado aos costões pode ser extremamente impactante dependendo da pressão utilizada. Fluxos com altas pressões deslocam toda a comunidade biológica, agravando ainda mais o impacto biológico no ambiente atingido, devendo ser evitada sua aplicação (MILANELLI, 1994).

Embora menos estressante, o jateamento a baixa pressão é técnica que também promove danos, uma vez que o fluxo, mesmo mais suave, ocasiona desalojamento de espécies com menor poder de adesão ao substrato, além de provocar mortalidade de espécies mais frágeis. Mesmo as cracas, que apresentam estrutura protetora (carapaça), podem apresentar mortalidade significativa após receberem tratamento de limpeza a baixa pressão (LOPES et al., 1992; MILANELLI; LOPES, 1998).

### **Jateamento a baixa pressão**

Em locais abrigados onde a contaminação for intensa, o jateamento pode ser uma técnica aplicável que deve ser utilizada, preferencialmente, nas primeiras horas após o vazamento, pois o óleo ainda não intemperizado desprender-se-á do substrato mais facilmente. A técnica pode trazer impacto à comunidade, porém esse impacto pode ser menor se comparado à situação onde o costão for deixado à mercê da limpeza natural, que em locais abrigados não é efetiva. A remoção originará resíduos oleosos que poderão contaminar áreas adjacentes. Dessa forma, há necessidade de se conjugar ao jateamento ações de contenção do resíduo, o que pode ser realizado por meio de barreiras absorventes. O sobrenadante pode ser recolhido com a utilização de absorventes (mantas, almofadas, absorventes granulados) ou o bombeamento a vácuo.

### **Lavagem com água corrente**

É uma técnica aconselhável que promove mínimos danos adicionais. Porém, deve ser utilizada imediatamente após os locais serem atingidos e repetidamente



7.7. Bombeamento a vácuo de empoçamentos em costões heterogêneos. Banco de imagens da CETESB

enquanto o óleo estiver chegando no ambiente. De outro modo, mostrar-se-á ineficiente para retirar o óleo intemperizado e já aderido ao substrato. Assim como para o jateamento a baixa pressão, deve-se atentar para o fato de que o óleo retirado na lavagem deve ser recolhido por bombeamento ou pela aplicação de absorventes. O cerco do local a ser lavado com utilização de barreiras absorventes é importante para prevenir a recontaminação de áreas adjacentes e facilitar a recuperação do resíduo gerado.

### Bombeamento a vácuo

Essa técnica é altamente recomendada, devendo ser utilizada sempre que possível nas proximidades do costão atingido, inclusive nas poças de marés de maiores dimensões com acúmulo de óleo. Este procedimento deve repetir-se durante os dias que forem necessários, uma vez que causa mínimos danos adicionais ao costão rochoso. Pode ser operado por meio de barcas ou por terra, com caminhões-vácuo, caso as condições de acesso o permitam. Ao contrário, podem-se utilizar bombas portáteis. É técnica indicada e eficiente em ambientes onde haja acúmulo de óleo devido à conformação física do substrato como, por exemplo, em trechos de matacões (foto 7.7).

### Remoção manual

Essa operação auxilia a retirada de óleo de poças, fendas, depressões das rochas em áreas de difícil acesso, onde outras técnicas não são possíveis, ou mesmo como medida complementar em associação com outros procedimentos (foto 7.8). Cuidado especial deve ser tomado para evitar pisoteio em organismos (animais e algas) durante as atividades (principalmente nas marés baixas), o que pode representar intenso impacto mecânico, principalmente quando há grande número de pessoas em atividade em uma área restrita de costão. Deve-se orientar os trabalhadores para,



7.8. Remoção manual de empoçamentos. Banco de imagens da CETESB



7.9. Equipes trajando EPI durante remoção manual de óleo em corpo d'água, São Sebastião (SP). Banco de imagens da CETESB.

tanto quanto possível, trafegarem pela área evitando o pisoteio em superfícies rochosas habitadas por organismos. Procedimentos de segurança também são essenciais porque esses ambientes são irregulares, escorregadios e apresentam “cantos vivos”, facilitando a ocorrência de acidentes. Os trabalhadores devem usar Equipamentos de Proteção Individual (EPI) condizentes (foto 7.9).

### Absorventes

Produtos como turfas, que agregam o óleo, são úteis para facilitar a retirada do produto do ambiente. Porém, a aplicação de absorventes deve restringir-se a poças d'água adjacentes aos costões e ser evitada sua utilização diretamente sobre a comunidade biológica. A mistura óleo e absorvente forma uma camada que depois de seca promove impactos físicos sobre os organismos.

Muitas vezes a aplicação de absorventes na água deve repetir-se por muitos dias após o derrame, sendo eficiente na “limpeza fina” do ambiente, ou seja, deve ser aplicada após a remoção da maior parte do óleo presente na água. A aplicação de absorvente granu-



**7.10.** Cordões, almofadas e mantas absorventes de grande utilidade na remoção de empocamento de óleo. Banco de imagens da CETESB



**7.11.** Barreiras absorventes aplicadas adjacentes a costões atingidos por óleo. Banco de imagens da CETESB.

lado nas adjacências do costão deve ser feita preferencialmente conjugada com a colocação de barreiras absorventes de modo a conter o produto absorvido e facilitar sua remoção através de puçás, ancinhos etc., ou mesmo por bombeamento.

Mantas absorventes, almofadas e cordões são muito úteis, principalmente em empocamentos, porque agregam grande quantidade de óleo e são retirados com facilidade do ambiente (foto 7.10). Grupos isolados de pompons também podem ser utilizados nessas situações.

Depois de atingidas, as rochas impregnadas passam a liberar óleo devido à ação de lavagem proporcionada pelas ondas e marés. Com isso, nas proximidades dos locais atingidos formam-se manchas tênues com coloração prateada a iridescente. Nesse tipo de cenário, os absorventes são de muita utilidade, principalmente porque outras técnicas de remoção de óleo em água não se mostram eficientes. As barreiras absorventes (foto 7.11) e pompons são os mais indicados nesses casos (fotos 7.12 e 7.13).

**Limpeza natural**

É um agente muito efetivo. A ação das ondas, correntes e marés retira eficientemente o produto dos costões rochosos atingidos. Entretanto, ação de ondas influenciada pelo regime de ventos é o principal fator que participa na degradação do óleo. Isso ocorre porque as ondas transferem grande quantidade de energia à linha de costa, traduzindo-se num efetivo agente de limpeza



**7.12.** Aplicação de pompons de modo análogo à aplicação das barreiras absorventes. Banco de imagens da CETESB



**7.13.** Detalhe da eficiência dos pompons na absorção de óleo desprendido das rochas. Banco de imagens da CETESB

za de superfícies contaminadas. A limpeza natural não é propriamente uma técnica de limpeza, mas sim um procedimento escolhido criteriosamente. Muitas vezes a não interferência em um local atingido, permitindo sua recuperação natural, é o melhor procedimento a ser adotado, considerando as particularidades dos locais atingidos, especialmente em relação ao nível de energia presente, sendo particularmente indicado para costões expostos (IPIECA, 2000b).

<b>Técnicas de limpeza recomendadas para costões rochosos</b>	
<b>Costões abrigados</b>	<b>Costões expostos</b>
Limpeza natural	Limpeza natural
Bombeamento a vácuo	
Remoção manual	
Absorventes granulados na água adjacente	
Barreiras absorventes e pompons	
Lavagem sem pressão	
Jateamento a baixa pressão	

## CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE

Os substratos artificiais constituem estruturas edificadas para atender a várias finalidades. Formados a partir de materiais diversos como rocha, concreto, madeira, entre outros, essas estruturas, por fornecerem um substrato consolidado disponível, propiciam a instalação e a colonização de animais e plantas típicos de costões rochosos. A complexidade das comunidades biológicas que ocorrem nesses ambientes artificiais depende principalmente do local (de maior ou menor hidrodinamismo) onde as estruturas se encontram edificadas, bem como do tipo de construção, considerando o grau de heterogeneidade do substrato.

Dessa forma, por um lado, existem estruturas com superfície lisa em locais de elevado hidrodinamismo, onde se espera ocorrer menor riqueza e diversidade específica e, por outro, há construções com superfície fragmentada localizadas em áreas de baixo hidrodinamismo que propiciam uma maior complexidade biológica.

Geralmente, cais e molhes de atracação e rampas para embarcações localizam-se em áreas de baixa ação hidrodinâmica como portos, marinas, terminais aquaviários etc., com superfície lisa ou levemente fragmentada (fotos 8.1, 8.2 e 8.3). Embora apresentem arquitetura mais simples podem exibir maior riqueza em espécies do que estruturas mais heterogêneas como enroca-

mentos localizados em áreas abertas que servem para proteger e evitar da erosão trechos de costas sujeitos à ação das ondas (foto 8.4).

Animais e plantas que existem nesses ambientes são normalmente encontrados em ambientes de costões rochosos. É freqüente a ocorrência de poríferos, cnidários, moluscos, crustáceos, tunicados e macroalgas (fotos 8.5 e 8.6).

## SENSIBILIDADE AO ÓLEO

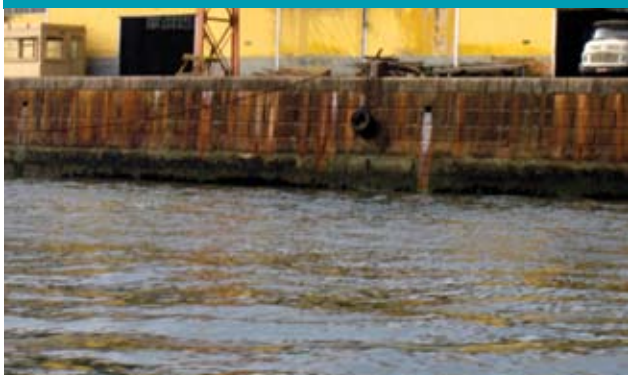
Em substratos planos, espera-se apenas a adesão do óleo à superfície, principalmente se o produto envolvido apresentar maior densidade e viscosidade (foto 8.7). Nos substratos formados por blocos (enrocamentos), existe a tendência de o produto penetrar entre os espaços, dificultando as ações de remoção (foto 8.8).

Portanto, quanto à natureza do substrato, os mais heterogêneos (substratos artificiais fragmentados) são mais vulneráveis que estruturas lisas ou planas devido à maior percolação e retenção do óleo, sobretudo se a estrutura estiver localizada em áreas de baixa circulação de água.

De modo similar, o ambiente mais heterogêneo propicia o desenvolvimento de comunidades biológicas mais complexas, portanto, mais sensíveis em termos ecológicos.



8.1. Terminal aquaviário da Alemoa, Santos (SP). Banco de imagens da CETESB



8.2. Cais do porto de Santos (SP). Banco de imagens da CETESB



8.3. Rampa para embarcação, Santos (SP). Banco de imagens da CETESB



8.4. Enrocamento localizado em Conceição da Barra (ES). Lopes, Carlos Ferreira



**8.5.** Pilar de molhe onde se observa a presença de organismos, Santos (SP). Banco de imagens da CETESB

Ao contrário, em ambientes de elevada hidrodinâmica a lavagem natural remove eficientemente o óleo, de modo que estruturas localizadas nesses locais são menos vulneráveis que as correspondentes em áreas mais protegidas.

As estruturas artificiais classificam-se em diferentes graus de sensibilidade ao óleo, considerando o local onde estão presentes (ambientes expostos e abrigados) e sua feição (estruturas lisas ou não lisas) (BRASIL, 2004a):

**ISL 1** - Estruturas artificiais lisas expostas; **ISL 6** - Enrocamentos expostos.

**ISL 8** - Enrocamentos e outras estruturas não lisas abrigados.

### **MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS**

Os métodos de limpeza indicados para substratos artificiais são similares aos recomendados para costões rochosos. Entretanto, como são ambientes artificiais, a prioridade para limpeza e proteção deve ser dada aos ambientes naturais. As intervenções de limpeza em



**8.6.** Cinturão de moluscos (ostras) em estrutura de cais, Paranaguá (PR). Lopes, Carlos Ferreira

estruturas artificiais devem ser realizadas numa etapa posterior da emergência, a menos que considerações estéticas/econômicas demandem esforços para remover o produto nos períodos iniciais do atendimento emergencial.

### **Jateamento a baixa e alta pressão**

Constituem métodos agressivos devido à pressão do jato. Segundo NOAA (2005), podem ser aplicados em etapas posteriores do atendimento à emergência, para remover o produto impregnado às estruturas (foto 8.9). São indicados principalmente quando os aspectos estéticos são considerados de relevância. Na sua aplicação exigem alguns cuidados, como o cerco com barreiras de contenção e/ou absorventes nas áreas adjacentes, para evitar a recontaminação de locais próximos pelo resíduo oleoso gerado que deve ser removido da água. Portanto, sempre que se optar pela aplicação de jateamento, deve-se ter em mente a necessidade do emprego de técnicas para recolher o resíduo. Em locais remotos ou de difícil acesso, essas ações apresentam maior dificuldade, pois alguns equipamentos (hidroja-



**8.7.** Superfície de pilar de molhe contaminado com óleo, Paranaguá, PR. Banco de imagens da CETESB



**8.8.** Região inferior de enrocamento com presença de óleo. Terminal da Companhia Vale do Rio Doce (ES). Lopes, Carlos Ferreira

tos, bombas etc.) são difíceis de movimentar e necessitam de fonte de alimentação elétrica. Os recipientes para deposição do resíduo líquido também são necessários e devem entrar como um item no planejamento do processo.

### Absorventes

Superfícies contaminadas de cais, portos, enrocamentos etc., tornam-se fonte de recontaminação para áreas adjacentes, porque com a movimentação das marés, quantidade variável de produto pode ser removida dessas superfícies, principalmente quando se trata de óleo pouco intemperizado. Nessas circunstâncias podem ser aplicadas barreiras absorventes ao longo do trecho contaminado com a finalidade de conter e absorver manchas tênues originadas pela ação de lavagem natural promovida pela ação hidrodinâmica. As barreiras devem ser monitoradas e substituídas tão logo se saturem com óleo. Em locais onde haja represamento de óleo, principalmente em enrocamentos, podem-se utilizar absorventes encapsulados em almofadas, cordões ou mesmo mantas absorventes, devido à eficiência de recolhimento e facilidade na coleta do resíduo gerado.

### Remoção manual

Indicada para situações de empoçamento de óleo, sobretudo em estruturas fragmentadas (enrocamentos) devido à facilidade de percolação e retenção do produto. Devem ser tomados cuidados para garantir os trabalhadores com equipamentos de proteção individual (EPI) adequados. As rochas formadoras desse tipo de estrutura apresentam cantos vivos que favorecem a ocorrência de acidentes de trabalho.

### Bombeamento a vácuo



**8.9.** Detalhe de jateamento a alta pressão em rampa contaminada, Santos (SP). Banco de imagens da CETESB

Em grandes empoçamentos, também em estruturas como enrocamentos, quando viável, por questões de acessibilidade, podem ser utilizados caminhões-vácuo ou bombas portáteis que removem grandes quantidades de produto em curto período de tempo.

### Limpeza natural

Indicada para qualquer tipo de estrutura, a eficiência desse tipo de limpeza será tanto melhor quanto maior a ação hidrodinâmica. Dessa forma, a limpeza natural deve ser escolhida como procedimento prioritário em enrocamentos, ou em outras estruturas situadas em locais de elevado hidrodinamismo, edificados para conter e estabilizar trechos de costa erodidos pela força das ondas. Em locais mais abrigados a limpeza natural deve ser também pensada como um procedimento escolhido dentro de um critério tecnicamente embasado, conjugada a outros procedimentos como os indicados anteriormente.

### Técnicas de limpeza recomendadas para substratos artificiais

De superfície homogênea	De superfície heterogênea
Barreiras absorventes	Bombeamento a vácuo
Jateamento a baixa-pressão*	Remoção manual
Jateamento a alta-pressão*	Absorventes (cordões, almofadas, mantas)
Remoção manual	Barreiras absorventes
Limpeza natural	Jateamento a alta-pressão*
	Jateamento a baixa-pressão*
	Limpeza natural

\*Técnicas aplicadas em situações de demanda estética e na fase final da emergência.



9.1. Vista aérea das Ilhas Redonda e Siriba (ao fundo), no Arquipélago dos Abrolhos. Parque Nacional Marinho dos Abrolhos. Silveira, Daniel

## CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE

Recifes de coral são estruturas calcárias tropicais, de água rasa que dão suporte a uma variada associação de organismos marinhos (foto 9.1). Classificam-se em três tipos principais: recifes de franja, recifes de barreira e atóis. Os dois primeiros tipos são paralelos à linha de costa, com recifes de franja localizados em águas rasas contíguas à costa. Recifes de barreira são mais afastados da costa, separados por lagunas e podem cobrir grandes extensões paralelas à costa, como, por exemplo, a Grande Barreira de Corais da Austrália, com dois mil quilômetros de extensão, ocupando área de 230 mil quilômetros quadrados (CASTRO, 1999). Os atóis constituem ilhas de coral, em forma de anel, contendo uma lagoa central; freqüentemente são associados a ilhas vulcânicas (API, 1985). Os recifes de coral são essencialmente ecossistemas submersos (infralitoral), mas podem ficar superficialmente expostos durante baixa-mares de sizígia.

Os corais formadores de recifes são animais que pertencem ao filo Cnidária, grupo do qual fazem parte também as águas-vivas, anêmonas-do-mar etc. Esses animais são capazes de secretar carbonato de cálcio, constituindo um esqueleto externo que abriga e protege seu corpo. Esta estrutura agregada por colônias de milhares de pólipos, forma a estrutura calcária recifal.

No interior do corpo desses animais são encontradas numerosas algas pardas (zooxantelas) essenciais ao seu desenvolvimento, uma vez que utilizam produtos da fotossíntese como fonte energética (MORAES, 2004). Conseqüentemente, os corais são restritos a pequenas profundidades, onde a penetração de luz é efetiva, propiciando a realização da fotossíntese pelas algas (IPIECA, 1992). A grande maioria dos corais formadores de recifes depende destas algas para sobreviver.



9.2. Recifes coralinos de Abrolhos. Vista aérea. Silveira, Daniel

Apesar de os recifes constituírem ecossistemas produtivos eles se localizam em águas de baixa produtividade. Águas menos produtivas apresentam menor quantidade de nutrientes e de fitoplâncton, tornando-se mais claras, favorecendo a penetração da luz (foto 9.2). A produtividade biológica nos recifes de coral, no entanto, é cinquenta a cem vezes maior que nas águas oceânicas que o cercam (IPIECA, 1992).

Com exigências ambientais específicas, os recifes de coral necessitam de elevada intensidade luminosa para o desenvolvimento das algas simbióticas, elevadas concentrações de oxigênio dissolvido e águas com baixa turbidez, altas temperaturas e salinidade oceânica entre 33° e 36°. Por isso, os recifes de coral se distribuem principalmente nas latitudes intertropicais, especialmente na linha do equador.

A distribuição dos recifes de coral, portanto, é restrita a regiões específicas do globo, principalmente Caribe, Oceano Índico e Pacífico Tropical. Nos dias atuais cobrem uma área total acima de seiscentos mil quilômetros quadrados (menos de 1% da área total dos oceanos) e são responsáveis por aproximadamente um quarto da biodiversidade marinha.

Esses ecossistemas servem de abrigo e substrato para uma diversificada fauna que aí vive (foto 9.3). Outros organismos, porém, incursionam aos recifes periodicamente para se alimentar, refugiar etc. Isto torna os recifes de coral ecossistemas muito ricos e de estrutura complexa (IPIECA, 1992; CASTRO, 1999).

Os recifes coralinos são as maiores estruturas biológicas do planeta. Essenciais ao homem como fonte de alimento, proteção da costa e fármacos movimentam bilhões de dólares por ano apenas com o turismo (NOAA, 2002).

Os recifes de coral são ambientes pouco conhecidos, mapeados e estudados, mas muito explorados e submetidos a estresse pelas ações antrópicas. Esse desconhecimento também se reflete no País, como constatado pelo Programa Nacional de Biodiversidade (PRONABIO) (CASTRO, 1999).

O Brasil não é rico em recifes de coral - ocupa o 37º lugar em áreas recifais no mundo -, tanto em área como em espécies de corais. Apesar disso, comparados com outros ambientes (CASTRO, 1999), os recifes brasileiros apresentam elevada diversidade biológica e são um importante patrimônio ecológico do litoral (foto 9.4).

Na costa brasileira os corais estão distribuídos de forma esparsa, limitados principalmente pelas grandes áreas estuarinas, com intensa descarga de rios, restritivas ao



9.3. Guaricema (*Ocyurus chrysurus*) nadando ao redor de *Milepora* sp, no topo de um chapeirão no Recife das Timbebas. Parque Nacional Marinho dos Abrolhos. Silveira, Daniel

desenvolvimento dos corais. Formações coralinas podem ser encontradas em três mil quilômetros do litoral brasileiro. Em toda essa extensão, existem apenas sete unidades de conservação marinhas, entre federais, estaduais e municipais, que englobam comunidades recifais significativas (GHERARDI; BRAGA, 2003). A principal delas é o arquipélago de Abrolhos, a região mais rica em formações recifais do Brasil e maior centro de dispersão zoogeográfica do Atlântico Sul, com 18 espécies de corais, muitas, endêmicas. De acordo com Castro (1999), a área de Abrolhos, localizada no sul da Bahia, é considerada a maior e mais rica área de recifes de coral do Atlântico Sul, com recifes relativamente bem

preservados que apresentam todas as espécies de corais recifais já descritas e registradas para o Brasil.

Áreas relevantes quanto à presença de recifes de coral no País ocorrem nas ilhas oceânicas como Atol das Rocas, Fernando de Noronha e no Parcel Manuel Luis (MA) (CASTRO, 1999).

A APA Costa dos Corais, que se estende por aproximadamente cem quilômetros de costa, entre as cidades de Tamandaré (PE) e Paripueira (AL), também é área muito relevante, assim como pequenas áreas protegidas por legislação: Recife de Fora



9.4. *Milepora* sp e *Mussismilia braziliensis* (no alto) na borda de um chapeirão no Parcel dos Abrolhos, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos. Silveira, Daniel

(Porto Seguro, BA) e Recifes da Pedra da Risca do Meio (Parque Estadual Marinho, CE). Também merece destaque o Grupo de Recifes do Cabo de São Roque pela biodiversidade marinha a ele associada (CASTRO, 1999).

Na Bahia e em outros estados do Nordeste, comunidades recifais se instalaram sobre bancos de arenito de praia, em geral estreitos, alongados e adjacentes à praia.

Castro (1999) descreve a costa dos arrecifes, de aproximadamente seiscentos quilômetros de extensão, entre Natal e a desembocadura do rio São Francisco, como

longas e retas linhas de arenito de praia, colonizadas por comunidades coralinas.

### SENSIBILIDADE AO ÓLEO

Os efeitos do óleo e a forma de combate nos recifes de coral representam mais uma maneira de impacto dentro da série de outras tensões antrópicas às quais estes frágeis ecossistemas estão submetidos (IPIECA, 1992; MORAES, 2004; PNUMA, 2003; IUCN, 2002; LAZAROFF, 2002; AIMS, 2002; NOAA, 2002; ENS, 2002; NOAA, 2001). Esses impactos já destruíram 27% dos recifes de coral e ameaçam outros 30% nos próximos

## PRINCIPAIS IMPACTOS ANTRÓPICOS NOS RECIFES DE CORAL

**Sedimentação gerada pelo desmatamento e erosão dos solos, dragagens, mineração** - Os sedimentos reduzem a taxa de crescimento dos corais e sua resiliência ao estresse, tornando-os mais vulneráveis a outros impactos. Em grandes concentrações esses sedimentos recobrem os recifes de coral e podem levá-los à morte.

**Impacto térmico de efluentes industriais (termoelétricas)** - Os efluentes com elevadas temperaturas afetam as condições naturais dos recifes coralinos.

**Poliuição orgânica e industrial** - Impacto direto pela degradação da qualidade da água, crescimento de algas sobre os corais e redução da biodiversidade.

**Pesca com explosivos** - Uso de dinamite na pesca de peixes ornamentais. A onda de choque produzida pelas explosões atordoam os peixes, que são coletados vivos. As explosões dizimam os recifes e a fauna associada na área de ação direta.

**Pesca com cianureto** - Pesca de peixes vivos para abastecimento de aquários e restaurantes de Hong Kong, China, Cingapura. Cianureto de sódio. Segundo a WWF, são consumidas anualmente vinte mil toneladas de peixes apenas em Hong Kong. Considerada toda a Ásia, a quantidade aumenta para cinquenta mil toneladas/ano. Os impactos desse procedimento aos recifes são severos, causando a morte dos corais, algas, invertebrados e peixes.

**Coleta de organismos para aquarismo** - O comércio global de organismos marinhos, principalmente dos recifes de coral, envolve a captura anual de pelo menos vinte milhões de peixes tropicais (1.038 espécies apenas no Pacífico), 12 milhões de corais e acima de dez milhões de invertebrados, movimentando mais de trezentos milhões de dólares (PNUMA, 2003).

**Turismo desordenado, ancoras, resíduos sólidos, mergulho predatório** - O pisoteio, a ancoragem e movimentação de barcos causam impactos físicos nos corais, especialmente nas zonas rasas dos recifes.

**Aquecimento global** - Causa o branqueamento dos corais, fenômeno relacionado à perda das algas simbióticas dos corais, e sua morte.

**Vazamentos de óleo** - Todos esses fatores tornam os recifes de coral mais vulneráveis a outros impactos, como vazamentos de óleo (NOAA, 2001). Concentrados na zona intertropical dos oceanos, os corais são vulneráveis às grandes rotas do transporte marítimo. Nas margens continentais também são vulneráveis às atividades portuárias, dos terminais e plataformas petrolíferas. Na Austrália, por exemplo, onde está a maior concentração de recifes coralinos do planeta (Grande Barreira de Corais), 19 colisões e 24 encalhes de navios foram registrados desde 1979. Aproximadamente dois mil grandes navios transitam nas proximidades dos recifes australianos anualmente - 5% deles, petroleiros (RAAYMAKERS, 1994).

30/40 anos. Acredita-se que 66% dos recifes costeiros encontram-se severamente impactados.

No Brasil, a atividade petrolífera próxima a várias áreas recifais da Bahia é causa de preocupação quanto a futuros impactos sobre a população de baleias e de organismos recifais. Isso ocorre em diversas etapas desta atividade, desde a sísmica até a exploração.

Centenas de navios petroleiros e cargueiros trafegam pela costa brasileira em rotas nacionais e internacionais, tornando suscetíveis os recifes de coral tanto na

costa como nas ilhas como Fernando de Noronha, Abrolhos e Atol das Rocas.

Eventuais derrames de óleo podem causar vários impactos e gerar consequências negativas no processo reprodutivo de diversos organismos marinhos, como os corais (GUZMÁN; HOLST, 1993, apud CASTRO, 1999). Ambientes recifais costeiros estão sujeitos a impactos crônicos e agudos, associados às atividades antrópicas em terminais, portos e centros urbanos.

Como já citado, os recifes de coral são encontrados tipicamente em águas rasas, com menos de duzen-



9.5. Vista aérea da Ilha Redonda – Arquipélago dos Abrolhos (BA). Recifes de franja circundam as ilhas. Silveira, Daniel

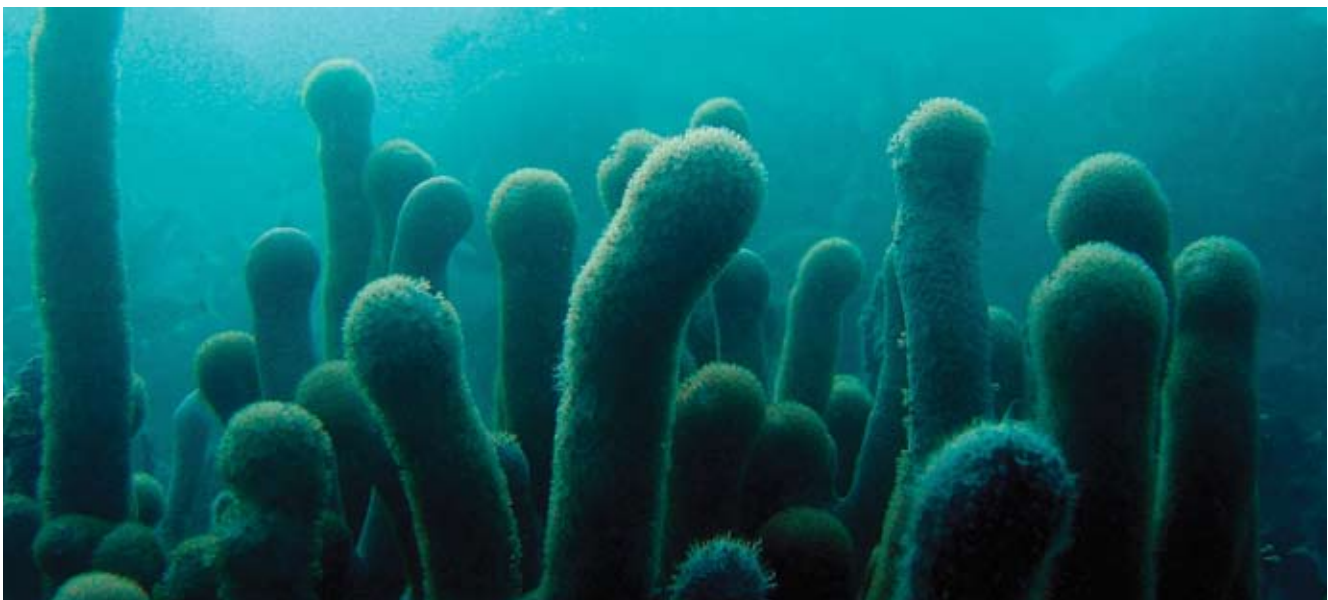
tos metros de profundidade (foto 9.5). Há, entretanto, aqueles que se encontram, parte do tempo, expostos durante a maré baixa. Estes são muito suscetíveis a derrames de óleo, visto que o petróleo normalmente flutua e pode alcançar a zona costeira durante marés baixas, atingindo-os diretamente (IPIECA, 1992).

O tipo do óleo é fator muito importante a ser considerado. Óleos leves, que apresentam frações tóxicas solúveis, exibem elevado perigo aos recifes de águas rasas. Óleos mais grossos dificilmente entram em contato com os corais das regiões do sublitoral, exceto quando atingem densidades maiores que a da água

do mar. Estas condições podem ocorrer com óleos da classe V e com óleos intensamente intemperizados.

Os recifes próximos da franja do infralitoral, em regiões de alta energia (elevado hidrodinamismo), exibem menor suscetibilidade do que recifes localizados em águas calmas. Nestes últimos, o tempo de permanência do óleo pode ser muito longo (décadas) (MICHEL; HAYES, 1992).

Partículas em suspensão tendem a facilitar o afundamento do óleo. Gotículas de óleo podem agregar-se a partículas minerais em suspensão (silte, argila) e



9.6. Pólipos dos corais. "Jardim" de Gorgônias (*Plexaurella* sp) no topo de um chapeirão. Parcel dos Abrolhos (BA). Silveira, Daniel

afundar, juntando-se ao muco produzido pelos organismos do coral, especialmente quando estressados. Este processo ameaça os organismos do coral pelo recobrimento físico que em certas condições pode ser fatal (IPIECA, 1992).

Segundo Bak e Eigershuizen (1976), os pequenos pólipos dos corais têm certa habilidade de reagir ao recobrimento de partículas e óleo devido à produção de muco e do movimento ciliar (foto 9.6). No entanto, essa habilidade é limitada e restrita. Segundo esses autores, o contato físico dos organismos com o óleo causa menos danos do que o contato químico com as frações tóxicas.

Os impactos do óleo nos corais são diversos, mas todos resultantes da morte direta por recobrimento, ou por intoxicação. Muitas outras perturbações indiretas e subletais podem ocorrer, como:

- crescimento de algas sobre os corais;
- redução nas taxas de crescimento;
- redução na fecundidade e sucesso reprodutivo;
- danos e ruptura em tecidos;
- produção excessiva de muco (reação ao estresse);
- redução na biodiversidade local;
- fragilização da saúde dos corais para enfrentar outras tensões ambientais;
- perturbação na teia trófica com empobrecimento das cadeias alimentares e alteração na composição de espécies acompanhantes.

Alguns autores sugerem as condições que definem o risco de impacto do óleo nos corais (NOAA, 2001; MICHEL; HAYES, 1992; IPIECA 1992):

- profundidade do recife;
- hidrodinamismo - agitação marítima e regime de marés;
- condição ambiental local - presença de outros tensores;
- características e condições do óleo (viscosidade, volume etc.);
- tempo de permanência do óleo no recife;
- características ecológicas do recife;
- momento do acidente (aspectos sazonais);
- procedimentos adotados na limpeza.

Águas com altas temperaturas e bem oxigenadas, necessárias ao desenvolvimento de corais asseguram um rápido crescimento de microrganismos capazes de degradar hidrocarbonetos. Entretanto, a natureza calcária formadora do esqueleto desses animais tem grande afinidade ao óleo, o qual é aderido e absorvido pelo recife. Dentro desse contexto, o óleo tende a persistir nestes ambientes por longos períodos, apesar de as condições de temperatura serem favoráveis ao

processo de biodegradação. A presença de ondas é um fator fundamental na regeneração e limpeza natural destes recifes.

Os efeitos do óleo podem ser maiores em ambientes tropicais (águas com temperaturas mais elevadas), onde o produto é geralmente mais solúvel. O aumento na concentração das frações hidrossolúveis leva muitos organismos a uma rápida incorporação do contaminante e à intoxicação química (API, 1985). No entanto, a intensidade desta intoxicação está relacionada ao tipo de óleo (óleos leves exibem maior fração hidrossolúvel e tóxica), e ao intemperismo (tóxicos solúveis são também mais voláteis e rapidamente eliminados da água por evaporação, ou solubilizados a concentrações não impactantes).

Os recifes de coral são ambientes sensíveis aos quais os derrames podem causar impactos desastrosos. Gundlach e Hayes (1978) já indicavam a necessidade de estudos mais detalhados para determinar a vulnerabilidade dos recifes de coral a impactos por petróleo. Baseados em considerações dos danos biológicos potenciais, esses mesmos autores classificaram os recifes de coral como medianamente (recifes localizados em maiores profundidades) a altamente sensíveis (recifes de águas rasas).

O fato de os recifes de coral necessitarem de muita luz para seu desenvolvimento os torna mais vulneráveis aos derrames de óleo, uma vez que o recobrimento afeta diretamente a incidência luminosa sobre os corais.

Os recifes de coral rasos, sujeitos à exposição durante as marés baixas, são especialmente vulneráveis e sensíveis, pois estão sujeitos ao contato direto com o óleo, sofrendo os efeitos tanto do recobrimento físico como da intoxicação química (NOAA, 2001).

Concordando com estas considerações, Michel e Hayes (1992) sugerem as seguintes classes de risco relacionadas às diferentes suscetibilidades dos recifes de coral:

- baixa: recifes localizados a mais de 5 metros de profundidade na maré baixa;
- média: recifes localizados entre 1 e 5 metros de profundidade na maré baixa;
- alta: recifes entremarés, em regiões abrigadas da ação das ondas.

Corais submersos são naturalmente protegidos do contato direto com o óleo flutuante por uma camada de água. No entanto, em certas condições a comunidade pode ser afetada por plumas de hidrocarbonetos solubilizadas ou dispersas fisicamente (pelas ondas) na coluna d'água. Muitos compostos tóxicos do óleo,

como os hidrocarbonetos aromáticos, podem solubilizar e entrar em contato com os organismos. Densidade do óleo, condição de agitação oceânica, altura e regime de marés são alguns dos aspectos fundamentais que podem agravar ou minimizar os impactos nos recifes de coral.

Estudos de longo prazo em corais cronicamente impactados por óleo têm demonstrado que a recuperação desses ambientes é muito lenta e pode durar muitas décadas. Devem ser tomados cuidados para prevenir sua contaminação.

Exposições de longo prazo dos recifes de coral ao óleo, mesmo em baixas concentrações, podem ser tão ou mais danosas do que exposições intensas resultantes de eventos isolados e de curto prazo. O impacto crônico do óleo impede o desenvolvimento, reprodução e crescimento dos corais (NOAA, 2001, RAYMAKERS, 1994). Por outro lado, os recifes de coral saudáveis, não sujeitos a impactos crônicos e outros tensores, recuperam-se mais rápido dos efeitos subletais (MICHEL; HAYES, 1992).

Estudos recentes indicam que os recifes de coral são mais suscetíveis a doenças e outros tensores ambientais em áreas sob impacto do óleo e outras fontes de poluição (MORAES, 2004).

Os recifes de coral têm elevada capacidade de bioacumulação e lentas taxas de depuração, sendo suscetíveis à contaminação da teia alimentar. Os hidrocarbonetos tendem a ser incorporados também pelas algas simbiotes e pelo esqueleto calcário dos recifes (NOAA, 2001).

Impactos adicionais afetam a fauna associada e eventual, como peixes pelágicos, tartarugas e mamíferos marinhos que freqüentam sazonalmente os recifes de coral em atividades reprodutivas e para obter alimento e abrigo contra predadores.

O período do ano em que ocorre o acidente é fundamental, porque a reprodução dos corais é bem definida sazonalmente e vazamentos coincidentes com períodos reprodutivos são especialmente danosos, já que as larvas e recrutas dos corais são mais sensíveis que os adultos (NOAA, 2001). Isso vale também para os ciclos reprodutivos da fauna associada.

No Brasil, em meses específicos do ano, a presença de tartarugas marinhas e cetáceos em atividade reprodutiva (meses de verão e inverno, respectivamente) eleva a vulnerabilidade ambiental desses ambientes nestes períodos.

Entre a grande variedade de ecossistemas costeiros, os recifes de coral são considerados entre os mais sensíveis ao óleo. A classificação da NOAA, adotada internacionalmente para a confecção de mapas de sensibilidade, não inclui os recifes de coral. Da mesma forma, a classificação proposta pelo Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2004a) não inclui esses ecossistemas, justificando que se trata de ambientes tipicamente submersos, sujeitos a cenários diferentes dos ambientes entremarés costeiros.

Gundlach e Hayes (1978), quando publicaram sua proposta de classificação de vulnerabilidade, também não inseriram os recifes de coral, mas indicaram que esses ambientes estariam classificados próximo da classe 8 (na escala crescente de 1 a 10), próximo de costões abrigados, marismas e manguezais.

Uma vez que não estão hierarquizados nas cartas SAO (BRASIL, 2004a), não são representados nas cartas de sensibilidade como feições específicas, mas como áreas, pontos ou polígonos isolados. Ressalta-se que os recifes de coral quando ameaçados ou atingidos em vazamentos de óleo devem ser considerados como áreas prioritárias de proteção, especialmente os recifes rasos, com menos de cinco metros de profundidade ou entremarés.

## MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS

Segundo API (1985) poucas técnicas de limpeza são potencialmente apropriadas em resposta a derrames de petróleo em recifes de coral: bombeamento a vácuo, absorventes, remoção manual, barreiras e *skimmers*, lavagem com água corrente, dispersantes, queima e limpeza natural.

As ações de limpeza dos recifes de coral são extremamente limitadas sob risco de agravar os impactos gerados pelo próprio óleo. Assim, para proteger os corais de impactos mecânicos, a limpeza deve ser concentrada na coluna d'água nas imediações do recife ou durante os períodos de preamar. Na prática, muitas vezes o acesso às áreas internas dos recifes é muito restrito, colocando em risco a navegação segura. Especial cuidado deve ser dado ao uso de cabos e âncoras durante as operações, os quais representam risco de impacto mecânico aos corais (foto 9.7), devendo ser utilizadas embarcações de pequeno calado. Caso seja possível, as ações convencionais de combate em mar, como o uso de barreiras de contenção, bombeamento a vácuo, *skimmers*, barreiras absorventes e absorventes naturais podem ser utilizados, desde que criteriosamente analisados e planejados pelas equipes de coordenação e pelos órgãos ambientais competentes.



9.7. Com estruturas delicadas, os recifes são vulneráveis a danos mecânicos das embarcações e âncoras. Parcel das Paredes Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (BA). Silveira, Daniel

### Bombeamento a vácuo e *skimmers*

São eficientes na retirada do óleo flutuante sobre os recifes. Podem ser conduzidos de embarcações, ou mesmo por terra, durante os períodos de preamar. O bombeamento a vácuo em poças de maré de recifes expostos durante ocasiões excepcionais de maré baixa deve ser considerado com cautela e realizado cuidadosamente no caso de situações extremas, evitando-se o pisoteio e a quebra das estruturas frágeis das colônias de coral.

*Skimmers* podem ser estrategicamente colocados em poças de maré e áreas abrigadas no interior do recife, para a remoção do óleo flutuante. Esses equipamentos podem estar conectados a embarcações leves posicionadas em canais no recife, para onde o óleo pode ser bombeado.

Esses procedimentos devem ser realizados por equipes treinadas e bem orientadas, sob supervisão do órgão ambiental, para evitar danos adicionais.

### Absorventes

Assim como o bombeamento a vácuo, os absorventes orgânicos naturais, como turfas e minerais, são eficientes no auxílio à retirada do óleo do ambiente, sendo, portanto, uma técnica aplicável para descontaminar a coluna d'água sobre os recifes. Em casos de contaminação de recifes em períodos de maré baixa excepcional, a utilização de absorventes deve ser evitada, uma vez que pode agravar os impactos de 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. A aplicação de absorventes naturais (orgânicos ou inorgânicos) nestas condições deve sempre ser planejada com o objetivo de recolher o material utilizado, sob risco de os agregados absorvente-óleo saturarem e afundarem, contaminando a comunidade biológica no infralitoral, originalmente protegida pela coluna d'água.

### Remoção manual

Este método é viável e eficiente para remover óleo retido em poças, fendas ou outras estruturas. Deve, no entanto, ser utilizado com extremo cuidado, para evitar danos físicos potenciais como pisoteio dos organismos, desalojamento, quebra das colônias etc. Pode ser realizado com pequenas embarcações em locais de difícil acesso, durante a preamar, utilizando-se absorventes (almofadas, barreiras, granel) e utensílios como baldes e tambores. Nessas situações são preferíveis embarcações sem motor, como botes, canoas e caiaques a remo. Barcos de apoio podem ser utilizados nos canais mais profundos, entre as formações recifais.

### Lavagem com água corrente

Em recifes de coral expostos durante a baixamar, a lavagem desses ambientes pode ser impactante e causar distúrbio ou remoção de organismos, ou de seus micro-habitats. Esta técnica, embora viável, deve ser evitada em ambientes de recifes de coral. Caso seja utilizada, recomenda-se anular o efeito mecânico da pressão e nunca usar água doce, porque os recifes de coral não suportam baixas salinidades (estenohalinos). O óleo desprendido dos corais com esta técnica deve ser recolhido da água pelos métodos convencionais, como bombeamento, *skimmers*, barreiras e absorventes.

### Limpeza natural

Método preferencial no combate a vazamentos em recifes de coral. Não promove riscos adicionais às comunidades e pode ser muito eficiente em ambientes de alta energia (elevado hidrodinamismo). Em recifes de locais abrigados, outras técnicas como o bombeamento a vácuo e, em alguns casos, a lavagem com água corrente devem ser aplicadas em conjunto com a limpeza natural (IPIECA, 1992).

### Dispersantes

Devido ao pouco conhecimento relacionado à propriedade da utilização ou não de dispersantes, no que se refere à toxicidade e eficiência dos produtos mais recentes, e também considerando a sensibilidade intrínseca dos organismos de recifes aos agentes químicos, esta técnica deve ser evitada. Diversos estudos têm sido realizados para avaliar a aplicabilidade dos novos dispersantes nestes e em outros ambientes costeiros. A maior justificativa do uso desses produtos é o fato de a mistura óleo/dispersante reduzir o poder de aderência do óleo a estruturas (calcários, troncos de árvores, conchas, tecidos vivos). Por outro lado, os dispersantes favorecem

a contaminação de camadas mais profundas das águas costeiras, tornando vulneráveis os corais de infralitoral, originalmente protegidos pela coluna d'água. Os dispersantes podem favorecer a ocorrência de hidrocarbonetos a vários metros de profundidade. No Brasil não é permitida a aplicação direta de dispersantes em recifes de coral ou em qualquer ecossistema costeiro (Resolução CONAMA 269, de 2000) (BRASIL, 2001).

### Queima *in situ*

Este procedimento é considerado viável por diversas instituições e autores (NOAA, 2001), uma vez que elimina rapidamente o óleo da coluna d'água e pode efetivamente proteger os recifes de coral do contato direto com o produto. No entanto, considerando as condições necessárias para o seu sucesso (espessura mínima da pluma, estado de agitação marítima, ventos, barreiras especiais - *fire booms*, isolamento de áreas urbanizadas etc.), nem sempre é um método aplicável.

Estudos e monitoramentos sobre queima *in situ* em áreas de recifes de coral são raros, assim como sobre os efeitos ambientais e toxicológicos dessa técnica (NOAA, 2001).

As conseqüências negativas desta técnica são a poluição atmosférica localizada e a formação de fumos e cinzas. Resíduos viscosos e persistentes originados durante a queima podem afundar, atingindo os recifes ao longo da coluna d'água, e provocar impactos por recobrimento físico. As altas temperaturas da queima na superfície restringem-se aos centímetros superficiais da coluna d'água e podem causar algum impacto apenas nos recifes entremarés.

A queima *in situ* pode ser justificada para combate de manchas de óleo em águas abertas, em rotas que ameacem áreas sensíveis de recifes de coral. No Brasil essa técnica não é legalizada como opção de combate em mar.

Técnicas de limpeza recomendadas para recifes de coral
Bombeamento a vácuo
Absorventes*
Barreiras de contenção e <i>skimmers</i>
Remoção manual
Limpeza natural

\*Não devem ser usados diretamente sobre recifes entremarés. Recolher após utilização.



## CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE

A areia é um sedimento sem coesão, cujas partículas apresentam diâmetro entre 0,062 mm e 2 mm, segundo escala de Wentworth. O arenito, por sua vez, corresponde à areia litificada na forma de mistura de grãos minerais e fragmentos de rochas provenientes da erosão de vários tipos de rochas (SUGUIO, 1980).

Os arenitos mais comuns são os ortoquartzíticos, os arcosianos, os líticos e as grauvacas. Os ortoquartzíticos apresentam mais de 95% de quartzo na sua formação. Já os arenitos arcosianos contêm mais de 25% de feldspato. Os líticos contêm mais de 25% de detritos e rochas e apresentam pouca matriz. Ao contrário, as grauvacas apresentam abundante matriz argilosa com grãos de areia de vários tamanhos. Em sua constituição encontra-se quartzo, além de feldspato e partículas líticas (SUGUIO, 1980).

Os arenitos de praia são muito comuns, ao longo da costa nordeste brasileira, geralmente paralelos à linha costeira, formando recifes ou bancos de arenito (AMARAL, 1998, DOMINGUEZ et al., 1990). Os bancos de arenito, mais comuns na costa brasileira que os recifes biogênicos (AMARAL, 1998), são constituídos por areia com 20% a 80% de quartzo, e o restante de fragmentos carbonáticos, principalmente de moluscos e algas (DOMINGUEZ et al., 1990).

Os recifes, ou bancos de arenito, chamados ainda de cordões de arenito, são formados a partir de um banco de areia consolidado, à custa de sedimentação com carbonato de cálcio ou óxido de ferro.

Em geral, os recifes areníticos apresentam um tipo estrutural denominado recife superficial, de pequena espessura, paralelos à costa e próximos à praia, com forma estreita e alongada, atingindo vários metros de comprimento (CORREIA, 1997).

São também freqüentes arenitos de praia dispostos adjacentes e paralelos à linha de praia, com formações permanentemente emersas, ou em parte do tem-

po durante as marés vazantes. Esse tipo de arenito de praia é uma formação fortemente erodida, que se caracteriza pela ocorrência de inúmeras escavações semelhantes a poças de maré, mostradas nas fotos 10.1 e 10.2 (LONGO, 1997).

Recifes de arenito são observados na costa do Ceará, sendo mais comuns ao longo da costa do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas. Este trecho da costa brasileira, denominado de costa dos arrecifes, apresenta linhas longas e retas de arenito de praia que emergem durante as marés baixas (AVALIAÇÃO..., 2005a). Essas formações contribuem para a proteção da costa, pois atuam como barreiras naturais, absorvendo grande parte da energia das ondas, antes que estas atinjam as praias.

Na costa da Bahia essas formações são também registradas na forma de cordões delgados paralelos à costa. Geralmente sobre esses arenitos desenvolvem-se comunidades de corais e algas calcárias (AVALIAÇÃO..., 2005a).

Martin et al. (1997) citam a ocorrência de arenito de praia no litoral do Espírito Santo e Rio de Janeiro. No litoral capixaba ocorrem alguns núcleos em trechos da costa junto à zona entremarés. No litoral norte fluminense, ao contrário, os bancos de arenito ocorrem no sublitoral encontrando-se permanentemente submersos.

Os bancos de arenito podem servir de substrato consolidado para a instalação e o crescimento de corais pétreos, ou seja, certos recifes de coral desenvolvem-se sobre arenito. Exemplos disso são alguns recifes na costa de Pernambuco e da Bahia (DOMINGUEZ et al., 1990). Dessa forma, a biodiversidade nesses locais é tão elevada quanto aquela registrada em ecossistemas de recifes coralinos.

Em bancos de arenito são registradas ocorrências de fauna pertencente a variados filos como Porifera, Cnidaria, Echinodermata, além de algas filamentosas e calcárias (RAMOS et al., 2004; VASCONCELOS, 2004).



10.1. Arenito de praia, Guarapari (ES). Lopes, Carlos Ferreira



10.2. Arenito de praia, Praia do Forte (BA). Poffo, Iris Regina Fernandes

Longo (1997), estudando poças de erosão em ambientes de arenito adjacentes à linha de praia, identificou uma abundante cnidofauna. Essa mesma autora (comunicação pessoal) relatou uma expressiva presença de invertebrados típicos de substratos consolidados.

## **SENSIBILIDADE AO ÓLEO**

Como apresentam uma comunidade biológica rica, os bancos de arenito são tipicamente ambientes sensíveis a derrames de petróleo e derivados. Como já citado, a fauna e a flora de recifes areníticos podem ser similares àquelas encontradas em recifes coralinos, com a presença de invertebrados reconhecidamente sensíveis a óleo como cnidários, equinodermos, tunicados, entre outros. Sob o aspecto biológico, portanto, esses ambientes são muito sensíveis a derrames.

Quanto à suscetibilidade, os bancos localizados em regiões entremarés são mais vulneráveis que os submersos, devido à maior oportunidade de ser atingidos numa situação de derrame.



**10.3.** Embate de ondas em face externa de recife de arenito, Canoa Vermelha (BA). Silva, Déborah Oliveira de Souza.

Os bancos de arenito formando feições lineares, paralelos à costa, apresentam menor hidrodinamismo na face voltada à linha de praia. Essa porção dos bancos é mais vulnerável tendo em vista a maior permanência do óleo, uma vez que nessas áreas a limpeza natural é menos efetiva comparada à face exposta voltada para o mar.

Arenitos localizados adjacentes às praias, expostos durante as marés vazantes, são muito vulneráveis a derrames, tendo em vista que o ambiente físico de elevada complexidade estrutural (heterogêneo) gera inúmeras poças de erosão (LONGO, 1997) que em situações de acidentes pode confinar e aprisionar o óleo, ampliando sua permanência.

Formada pela coesão de sedimento arenoso inconsolidado, a superfície das rochas areníticas exhibe textura

superficial distinta da observada nas rochas cristalinas, apresentando maior rugosidade. Devido a esse aspecto, o óleo pode penetrar nesses microespaços, aderindo-se à superfície irregular, dificultando a limpeza dos sedimentos atingidos.

De acordo com o que preconizam as Cartas SAO (BRASIL, 2004a), os recifes areníticos são classificados conforme o seu tipo fisiográfico:

**ISL 2** – Terraços areníticos emersos bem consolidados.

**ISL 5** – Recifes areníticos em franja, localizados adjacentes à costa.

**ISL 9** – Recifes areníticos servindo de substrato a corais biogênicos.

Deve-se frisar que a identificação de recifes areníticos como substrato para recifes de corais (ISL 9) é de extrema dificuldade para se proceder de forma expedita. Para tanto é necessário realizar um mapeamento desses ambientes tomando como base estudos e levantamentos que indiquem a presença de arenitos sob as formações coralinas.

## **MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS**

A natureza do sedimento e o elevado grau de heterogeneidade dos arenitos de praia facilitam o empoçamento de óleo e ao mesmo tempo dificultam a remoção do produto. Por ser formado pela coesão de sedimentos arenosos a superfície relativamente porosa permite que o óleo se agregue ao substrato ampliando sua retenção (foto 10.3)

### **Remoção manual**

Uma das técnicas mais recomendadas para ambientes com empoçamentos de óleo é a remoção manual com o emprego de trabalhadores retirando óleo de locais de difícil acesso como poças, fendas e reentrâncias de rochas. Entretanto, para esse tipo de ambiente, o pisoteio causado pelas equipes pode danificar as estruturas, visto que os arenitos têm estrutura frágil se comparados a rochas cristalinas como costões rochosos. Sendo inevitável a remoção do excesso de produto no ambiente, principalmente em locais de baixo hidrodinamismo onde o óleo tende a permanecer por maior tempo, essa técnica pode ser aplicada, porém de forma controlada, dimensionando-se a quantidade adequada de recurso humano. Preconiza-se o tráfego mínimo de pessoas envolvidas na limpeza, para que o pisoteio na área não ocasione um impacto ecológico adicional.

### **Bombeamento a vácuo**

Assim como a remoção manual, o bombeamento a

vácuo pode ser aplicado em casos de empoçamentos significativos. Aspectos vantajosos dessa técnica em relação à remoção manual residem na maior rapidez na retirada do óleo, bem como na menor agressão ao ambiente, pois apenas um técnico operador é suficiente para explorar a área e succionar as poças contaminadas diminuindo o impacto do pisoteio.

Por outro lado, a técnica de bombeamento a vácuo pode ser impeditiva, de acordo com as condições de acesso aos locais atingidos. Assim sendo, em áreas remotas não há possibilidade da aplicação de bombeamento por caminhões-vácuo. Pode-se, alternativamente, proceder ao bombeamento com o uso de bombas portáteis. No caso, é importante planejar aspectos como fonte de alimentação elétrica para os equipamentos e como os resíduos gerados serão provisoriamente acondicionados (bombonas, tambores etc.), e como os recipientes preenchidos serão movimentados para áreas de deposição provisória. Se não houver condições de acesso para veículos motorizados, esse procedimento pode também ser inaplicável.

Caso não haja outra possibilidade, as embalagens com resíduos podem ser movimentadas por meio de embarcações, tomando-se precauções com o fim de evitar incidentes de perda para o mar durante a transferência das embalagens para as embarcações ou mesmo durante o trajeto para áreas de depósito.

### Absorventes

Podem ser usados como coadjuvantes durante as ações de remoção manual. Deve-se, preferencialmente, utilizar absorventes encapsulados na forma de almofadas, barreiras e cordões. Pode-se também lançar mão de mantas absorventes. Esses materiais aplicados nas poças oleosas são facilmente removidos após saturados.

Uma vez que apresentam elevada eficiência, a remoção de empoçamentos é facilitada com a utilização desses materiais. Para aumentar ainda mais a eficiência nos trabalhos de recolhimento, podem ser utilizadas almofadas preenchidas com absorventes sintéticos que sorvem comparativamente mais produto oleoso do que os demais tipos de materiais absorventes.

Deve-se, no entanto, evitar o uso de absorventes granulados, principalmente os sintéticos, pois se não forem recolhidos tenderão a permanecer no ambiente por prazo indeterminado (LOPES; MILANELLI; GOUVEIA, 2005).

Outro tipo de absorvente que traz uma boa resposta a esse tipo de cenário são os pompons, cujas tiras podem ser aplicadas aos empoçamentos. Adicionalmente

podem ser colocados cordões de pompons paralelos à costa, adjacentes aos locais atingidos. Conforme a maré avança e retrocede os cordões se movimentam, absorvendo os produtos oleosos existentes nas reentrâncias das poças de erosão. Barreiras absorventes também podem ser utilizadas e aplicadas nas proximidades dos locais atingidos, com o objetivo de absorver resíduos oleosos que se desprendem do ambiente conforme se procede a lavagem natural, otimizando a coleta do óleo e evitando contaminação de outras áreas.

### Limpeza natural

Em locais de elevado hidrodinamismo deve-se deixar o ambiente submetido à limpeza natural. Em recifes de arenito paralelos à costa, o flanco voltado para o mar exibe maior hidrodinamismo comparado à sua face voltada para a costa (foto 10.4). Nesse tipo de cenário, intervenções de limpeza podem ser aplicadas nos locais de menor hidrodinamismo, optando-se pela limpeza natural na face de maior hidrodinâmica.

Da mesma forma, em arenitos contaminados associados a praias de elevado hidrodinamismo, deve-se optar pela limpeza natural. Nos casos em que os mesmos estejam presentes associados a praias de baixa energia, conjuga-se a limpeza natural aos demais procedimen-



10.4. Detalhe de arenito de praia mostrando a formação de poças de maré. Coroa Vermelha (BA). Lopes, Carlos Ferreira.

### Técnicas de limpeza recomendadas para recifes de arenito

Bombeamento a vácuo
Remoção manual
Absorventes – almofadas, mantas, cordões
Barreiras absorventes e pompons
Limpeza natural



11.1. Concreções lateríticas durante maré enchente. Lopes, Carlos Ferreira



11.2. Concreções lateríticas durante maré vazante. Silva, Rosimere

## CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE

As concreções lateríticas estão associadas à Formação Barreiras, ou Grupo Barreiras, que se constitui de sedimentos de origem continental pouco consolidados, dispostos em estreita faixa ao longo da área costeira no Brasil, desde o Rio de Janeiro até o Pará (ALBINO, 1999). De acordo com as características mineralógicas dos sedimentos, sugere-se que a Formação Barreiras se tenha depositado em épocas em que o nível do mar encontrava-se de cem a duzentos metros abaixo do atual (BIGARELLA, 1975).

No Espírito Santo, a título de exemplo, a Formação Barreiras está presente ao longo de todo o litoral. Quando estão próximas à linha de costa, formam as falésias (ALBINO, 1999). Ocasionalmente esses sedimentos sofrem intemperismo por meio do processo denominado laterização, próprio de climas quentes e úmidos, em que há concentração de ferro e alumínio no mineral (GEOTRACK, 2005).

Esses sedimentos laterizados também denominados concreções ou couraças lateríticas, são comuns no litoral capixaba, encontrando-se na região de antepraia (zona entre-marés), como mostram as fotos 11.1 e 11.2. Têm característica de sedimento consolidado, de coloração escura em tonalidade avermelhada e superfície erodida, formando um ambiente heterogêneo com muitas reentrâncias, fendas e concavidades (foto 11.3).



11.3. Detalhe mostrando a superfície heterogênea de couraças lateríticas. Lopes, Carlos Ferreira

A presença de couraças lateríticas na zona entremarés causa o represamento de sedimento, ocasionando a geração de praias com declive suave. Da mesma forma, as couraças servem de anteparo à ação hidrodinâmica, dissipando a energia de ondas (ALBINO, 1999).

Em termos biológicos, pouco conhecimento se tem quanto à composição e estrutura das comunidades associadas a esse tipo de substrato. Entretanto, de acordo com observações pessoais e expeditas realizadas em um trecho de costa na praia de Castelhanos, Anchieta (ES), observou-se a presença de fauna e flora típicas de costões rochosos, sendo os grupos mais conspícuos os crustáceos e os moluscos (foto 11.4).



11.4. Detalhe mostrando crustáceos do gênero *Chthamalus* sobre a superfície de laterito. Lopes, Carlos Ferreira

## Ambientes Costeiros Contaminados por Óleo Procedimentos de Limpeza

De acordo com análise de bioclastos feita em praias do Espírito Santo, Albino (1999) observou a presença de algas coralinas, conchas de moluscos e briozoários, relacionando a origem destes à fragmentação de incrustações biogênicas sobre couraças lateríticas.

Em teoria, há um potencial para o desenvolvimento de uma comunidade rica devido ao elevado grau de heterogeneidade desse tipo de ambiente.

### SENSIBILIDADE AO ÓLEO

Dos ambientes costeiros de substrato consolidado, as concreções lateríticas estão entre os mais heterogêneos no que diz respeito à arquitetura da superfície. Nota-se uma elevada quantidade de deformidades – concavidades, depressões, reentrâncias, fendas, fissuras etc. – que, se por um lado propiciam refúgio aos

organismos, por outro facilitam a retenção do óleo em situações de vazamentos (foto 11.5). A superfície rugosa confere, em micro-escala, porosidade que favorece a adesão do produto.

A eficiência da lavagem natural dependerá das condições locais de ondas e correntes, de forma que lateritos em locais mais abrigados tenderão a exibir a permanência do óleo por um tempo maior que lateritos em áreas mais abertas. De qualquer forma, devido à feição geomorfológica, espera-se que nesses ambientes o tempo de retenção do óleo seja de longo prazo.

A conformação desse tipo de substrato dificulta, senão impossibilita, a aplicação de certos procedimentos de limpeza. Devido às poucas opções, que podem se mostrar pouco eficientes, a vulnerabilidade desses locais torna-se ainda maior.



11.5. Concreções lateríticas onde se pode perceber o elevado grau de heterogeneidade do ambiente. Lopes, Carlos Ferreira

Face à elevada percolação e persistência do óleo associada à dificuldade de remoção, as concreções lateríticas encontram-se classificadas, juntamente com praias de cascalho, costões heterogêneos (matacões) e enrocamentos, como moderada a altamente sensíveis (ISL 6) (BRASIL, 2004a).

## MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS

Concreções lateríticas constituem ambientes de elevada heterogeneidade, o que propicia a retenção do óleo. Devido a essa conformação espacial, as atividades de limpeza podem ser trabalhosas ou de difícil aplicação.

### Bombeamento a vácuo

Diante da possível formação de empoçamentos, o bombeamento a vácuo pode ser uma técnica indicada. Por outro lado, assim como para outros ambientes, a técnica de bombeamento a vácuo pode ser impeditiva, segundo as condições de acesso. Assim sendo, em áreas remotas não há possibilidade da aplicação de bombeamento por caminhões-vácuo. Pode-se, alternativamente, proceder ao bombeamento com o uso de bombas portáteis. Nesse caso, é importante planejar aspectos como fonte de alimentação elétrica para os equipamentos, como os resíduos gerados serão provisoriamente acondicionados (bombonas, tambores etc.), e como os recipientes preenchidos serão movimentados para áreas de deposição provisória. Se não houver condições de acesso para veículos motorizados, esse procedimento pode também ser inaplicável.

### Remoção manual

A retirada manual do óleo pode ser uma técnica eficiente. Deve realizar-se com cautela, para evitar danos ao substrato e acidentes de trabalho. Em relação a este aspecto, a utilização de EPIs é de fundamental importância. Deve ser planejado o modo de acondicionamento dos resíduos líquidos gerados. Recipientes de maior capacidade volumétrica não deverão, em princípio, ser utilizados, devido à dificuldade na sua remoção depois de preenchidos. Devem ser tomados cuidados para sua deposição, pois, devido à feição irregular do substrato, podem tombar, liberando o conteúdo.

O tráfego intenso de trabalhadores sobre o substrato pode acarretar danos físicos comprometendo a estrutura geológica do substrato. Portanto, o dimensionamento e o controle do tráfego de trabalhadores é de grande importância para resguardar a integridade do ambiente evitando impactos secundários das atividades de limpeza.

### Absorventes

Podem ser usados como coadjuvante durante as ações de remoção manual. Deve-se dar preferência à utilização de absorventes encapsulados na forma de almofadas, barreiras e salsichões. Pode-se também lançar mão de mantas absorventes. Esses materiais após sua aplicação nas poças oleosas são facilmente removidos depois de saturados.

Uma vez que apresentam elevada eficiência, a remoção de empoçamentos é facilitada com a utilização desses produtos. Para aumentar ainda mais a eficiência nos trabalhos de recolhimento, podem ser utilizadas almofadas preenchidas com absorventes sintéticos que absorvem comparativamente mais produto oleoso que os demais tipos de materiais absorventes.

Entretanto, recomenda-se evitar o uso de absorventes na forma granulada, principalmente os sintéticos, pois, se não forem recolhidos, tenderão a permanecer no ambiente por prazo indeterminado (LOPES, MILANELLI; GOUVEIA, 2005).

Outro tipo de absorvente, que pode trazer uma boa resposta a este tipo de cenário, são os pompons, cujas tiras podem ser aplicadas aos empoçamentos. Da mesma forma pode-se aplicar barreiras absorventes nas proximidades dos locais atingidos, com o objetivo de absorver resíduos oleosos que se desprendem do ambiente conforme a lavagem natural, otimizando a coleta do óleo e evitando a contaminação de outras áreas.

### Limpeza natural

Independentemente das ações de limpeza aplicadas, a remoção natural do óleo deve ser entendida como uma técnica adicional, quer para locais expostos, onde a mesma será mais efetiva, quer para locais mais abrigados. Devido à dificuldade imposta por esse tipo de ambiente na aplicação de outras técnicas, é possível que a limpeza natural seja o procedimento mais eficiente na remoção do óleo.

Técnicas de limpeza recomendadas para concreções lateríticas
Bombeamento a vácuo
Remoção manual
Absorventes – almofadas, mantas, cordões
Barreiras absorventes e pompons
Limpeza natural



## CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE

As marismas são áreas úmidas freqüentemente inundadas, que se caracterizam por vegetação herbácea emergente adaptada às condições saturadas do solo (foto 12.1). São encontradas em regiões costeiras protegidas nas médias e altas latitudes, sendo substituídas por manguezais nas costas tropicais e subtropicais. Ocorrem na América Latina entre as latitudes de 32°N e 52°S (COSTA; DAVY, 1992).



12.1. Vista geral do ecossistema marismas. Banco de imagens da CETESB

No Brasil, as marismas dominam a paisagem de margens sedimentares em estuários, lagoas e baías dos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (NOGUEIRA; COSTA, 2005). As plantas e animais desses sistemas são adaptados a estresses de salinidade, inundações periódicas e limites extremos de temperatura.

O ecossistema marisma geralmente está associado às margens de baías, enseadas, barras, desembocaduras de rios, lagoas e reentrâncias costeiras, onde haja encontro das águas de rios com o mar, ou diretamente localizado na linha da costa. A cobertura vegetal se instala em substratos de vasa de formação recente, de pequena declividade, sob a ação diária das marés, recebendo, portanto, aporte periódico de água salgada ou salobra (AVALIAÇÃO..., 2005b).

A estrutura das marismas é dominada por uma comunidade vegetal predominantemente halófitas (plantas que ocorrem em ambientes salinos), na maioria das vezes composta ou dominada por uma ou poucas espécies de vegetais. Como exemplo, na Lagoa dos Patos (RS) existem aproximadamente setenta espécies de plantas superiores na flora das marismas. No entanto, somente cinco espécies recobrem mais de 50% de toda a área. Estas plantas dominantes, que têm suas distribuições no ambiente relacionadas com a topografia, são: macega-mol (*Spartina*

*alterniflora*), macega (*Spartina densiflora*), tiririca (*Scirpus maritimus* e *S. olneyi*) e junco (*Juncus effusus*).

As marismas possuem diversos componentes biológicos que incluem vegetação, comunidades animal e microbiana. Além disso, existem também o plâncton, os invertebrados, os peixes que habitam os canais, lagoas e estuários e as comunidades bentônicas associadas ao substrato típico desses ecossistemas.

A fisiografia heterogênea das marismas varia ao longo de gradientes espaço-temporais exercendo influência sobre a diversidade, abundância e distribuição de plantas e animais (SEELINGER; CORDAZZO, 2005). A elevada biomassa de plantas atrai invertebrados da infauna e epifauna. Na região da Lagoa dos Patos (RS), caranguejos como *Metasesarma rubripes* e *Chasmagnatus granulata* buscam alimento na gramínea do gênero *Spartina* e ciperácea do gênero *Scirpus*, auxiliando na sua fragmentação (SEELINGER; CORDAZZO, 2005). A proteção conferida pela densa vegetação atrai a presença de várias espécies de aves. Tomando-se ainda como exemplo a região da Lagoa dos Patos, aves como cisnes, galinhas d'água e garças buscam nos bosques de marismas locais para reprodução (SEELINGER; CORDAZZO, 2005).

Os consumidores podem ser divididos de maneira simples em herbívoros, que se alimentam da vegetação emergente, e consumidores de algas e detritos (MITSCH; GOSSLINK, 1986).

As marismas constituem sistemas ecológicos utilizados por larvas e jovens de numerosas espécies de peixes e invertebrados. Os planos de lama, planos vegetados, canais e poças de maré oferecem proteção e alimento para a fauna local, servindo como zona de criação para peixes, moluscos e crustáceos, muitos de importância comercial (NOGUEIRA; COSTA, 2005). Aves aquáticas migratórias procuram as marismas como escala para repouso e alimento. A importância das marismas entre os sistemas ecológicos litorâneos tem sido mostrada por numerosos autores. Sua cobertura vegetal, densa e contínua, assegura uma produtividade primária superior à maioria dos ecossistemas aquáticos e terrestres.

Constituem também um dos mais produtivos ecossistemas costeiros, principalmente aquelas dominadas pela gramínea *Spartina*. A produtividade das marismas é controlada pela amplitude das marés, salinidade, grau de inundações, disponibilidade de nutrientes e temperatura que determinam um ciclo sazonal no desenvolvimento das espécies da cobertura vegetal. Esse ecossistema nas regiões temperadas representa importante fonte de nutrientes e detritos para a cadeia alimentar (PANITZ, 1992).

## Ambientes Costeiros Contaminados por Óleo Procedimentos de Limpeza

Cerca de 5% do material produzido pelas halófitas típicas das marismas é aproveitado diretamente pelos consumidores primários e a degradação dos produtos vegetais constitui uma importante fonte de matéria orgânica que é a base de cadeias tróficas complexas.

Diversos fatores antrópicos têm refletido na destruição gradativa de áreas de marismas, destacando-se o aumento populacional dos municípios, com a consequente ocupação desordenada das margens de estuários, a constante expansão portuária e a construção de viveiros de cultivo (NOGUEIRA; COSTA, 2005). Da mesma forma, a poluição ordinária provocada pelos assentamentos urbanos e atividades industriais, bem como os acidentes tecnológicos de fontes variadas como indústrias, terminais, atividades de transporte, entre outros, têm gerado contaminação por vários produtos químicos, entre eles petróleo e derivados.

### SENSIBILIDADE AO ÓLEO

As marismas vêm sendo atingidas por óleo devido aos derrames que ocorrem na região costeira. Segundo API (1985), elas estão entre os ecossistemas costeiros mais sensíveis a derrames de óleo e devem ser consideradas prioritárias para proteção e limpeza. As marismas, juntamente com os manguezais, foram classificadas como os habitats mais vulneráveis (GUNDLACH; HAYES, 1978), embora se acredite que, pela própria estrutura mais simples desses ecossistemas, tenham recuperação mais rápida. Um dos principais motivos é o ciclo de vida mais curto dos vegetais.

As plantas podem ser afetadas de várias formas: a asfixia provocada pelo óleo leva a uma redução da transpiração, respiração e fotossíntese (foto 12.2); a absorção da fração tóxica do óleo pelas folhas ou raízes causa envenenamento das plantas pela ruptura das membranas e organelas celulares. Algumas espécies como *Juncus maritimus*, *J. gerardii* e *Spartina anglica* possuem epidermes ou células resistentes ao óleo (GETTER et al., 1984).

Existe uma variação considerável com relação à sensibilidade ao óleo. Algumas espécies são resistentes, como *Oenante lachenalii*, e outras muito menos, como *Salicornia sp.* Muitas das mais resistentes são perenes, com extenso sistema de raízes que lhes permitem crescer novamente depois que a porção aérea foi danificada.

Mudanças sazonais nas marismas podem afetar consideravelmente o efeito do óleo nesse ecossistema. Um derrame de óleo antes ou durante a floração pode causar redução na floração e produção de sementes. Durante os meses do inverno, muitas espécies per-



12.2. Recobrimento físico de óleo em trecho de marisma.  
Banco de imagens da CETESB



12.3. Banco de marisma contaminado, mostrando a baixa hidrodinâmica local. Mucciato, Mariele Borro

dem a porção aérea e o óleo pode atingir essa parte da vegetação morta; contudo, as raízes estão vivas. Na primavera e no verão essas espécies são mais vulneráveis porque nesse período crescem novos brotos e as sementes germinam.

As marismas ocorrem tipicamente em ambientes abrigados com baixo hidrodinamismo. Dessa forma, são muito vulneráveis porque uma vez contaminadas a ação natural de limpeza não é eficiente em remover o óleo (foto 12.3). Com a permanência do produto por maior período de tempo, os efeitos ao ecossistema podem intensificar-se e os processos de recuperação

ocorrem apenas em longo prazo. O próprio sedimento, geralmente lamoso, retarda a biodegradação do óleo, devido à sua condição relativamente anóxica.

Tem sido demonstrada a importância da característica do lençol freático subjacente aos bosques de marismas, influenciando a imobilização ou a restrição espacial do contaminante. Assim, em bosques com lençol raso nota-se a tendência de um menor aprofundamento do óleo comparado a bosques onde o lençol é caracteristicamente mais profundo (NOERNBERG; LANA, 2002). Essa condição pode também ser evidenciada em termos sazonais. Um mesmo local pode ser mais ou menos vulnerável quanto à amplitude espacial de contaminação, de acordo com as variações periódicas nos níveis do lençol.

As marismas são ambientes muito sensíveis à contaminação por óleo e devem ter prioridade em situações de contaminação. Existem registros de que o impacto do óleo em marismas pode ser severo e prolongar-se durante anos, se as ações de limpeza não forem levadas a termo (UNIVERSIDAD DE OVIEDO, 2005).

A vegetação de marismas atua como um absorvente natural do contaminante. Em certos casos, o óleo não é retido pelos vegetais, e tende a acumular-se nas extremidades dos bosques em suas porções superiores, de acordo com a atuação das marés. Nesses casos, não sendo removido, o produto tende a enrijecer, devido aos processos de intemperismo, formando um pavimento asfáltico que pode persistir por dez a 15 anos (UNIVERSIDAD DE OVIEDO, 2005).

Pelas razões expostas, as marismas são tidas como ecossistemas altamente sensíveis a derrames. De acordo com as cartas SAO (BRASIL, 2004), e como já citado, as marismas, juntamente com os manguezais, são classificadas como os ecossistemas costeiros de maior sensibilidade ao óleo (ISL 10).

## MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS

Devido à sensibilidade e importância das marismas, as medidas de proteção devem ser sempre iniciadas quando há qualquer possibilidade de o óleo contaminar o ambiente. Recomenda-se utilizar barreiras de contenção, *skimmers*, barcaças recolhedoras e bombeamento a vácuo nos rios, canais e águas adjacentes para reduzir a quantidade de óleo que poderia afetá-las (API, 1985).

O uso de máquinas pesadas e o próprio pisoteio não controlado de equipes de limpeza podem afetar negativamente o ecossistema, devido à introdução do contaminante nas camadas mais interiores do sedimento.

Além disso, o pisoteio pode expor o sistema radicular das plantas às substâncias tóxicas do produto (UNIVERSIDAD DE OVIEDO, 2005).

Dessa forma, poucas são as opções que podem ser implantadas em marismas contaminadas, que devem ser escolhidas com critério, ponderando os aspectos negativos e positivos do seu emprego, comparando os efeitos do emprego das técnicas versus a opção do não fazer (*do nothing*) ou a recuperação natural (IPIECA, 2000b).

As opções de limpeza disponíveis para marismas, segundo API (1985), são: jateamento, absorventes, remoção manual, remoção/corte da vegetação, aceleração da biodegradação e limpeza natural.

Muitas dessas técnicas foram escolhidas para remover o óleo das marismas após derrames ou para ser estudadas em experimentos. A seguir, são descritas algumas opções de limpeza para marismas.

### Jateamento

O jateamento a baixa pressão é um método disponível para remover o óleo da vegetação contaminada nos canais das marismas e águas costeiras mais próximas do litoral para subsequente contenção e recolhimento.

No entanto, o jateamento pode causar danos ou remover os organismos, provocando mortalidade ou tornando-os mais expostos às ações de predadores. Os sedimentos podem ser alterados ou removidos pela água e o sistema radicular das plantas ser exposto e danificado. O jateamento pode fazer com que o óleo penetre ainda mais no sedimento ou redistribuí-lo a áreas de marismas que ainda não foram contaminadas. Exceto se realizado por meio de barcos, o deslocamento da equipe de limpeza nas marismas pode causar danos às plantas e sistemas de raízes, alterações no sedimento e fazer com que o óleo penetre no sedimento atingindo camadas mais inferiores.

Devido à gravidade dos impactos adicionais gerados pelo jateamento, esse método deve ser descartado.

### Barreiras e recolhedores (contenção e remoção)

Uma vez que as operações de limpeza são limitadas e os impactos do óleo podem ser severos, as marismas são ambientes prioritários para proteção por meio de barreiras de contenção. Em águas circundantes a bosques de marismas podem ser aplicadas as técnicas consagradas de contenção e remoção de óleo em água. Devem ser tomados cuidados para operacionalizar essas atividades em pequena lâmina d'água,

uma vez que os canais que margeiam esses ecossistemas são tipicamente rasos, o que pode trazer prejuízos materiais e ambientais devido à danificação de equipamentos e distúrbios aos organismos associados ao sedimento.

### **Absorventes**

Os absorventes podem ser usados em duas situações: para evitar que o óleo alcance as marismas e para remover o produto do ecossistema contaminado.

O maior impacto associado ao uso do absorvente está relacionado com o deslocamento da equipe de limpeza na marisma durante a distribuição e recolhimento do material. O pisoteio pode amassar as plantas e danificar os sistemas de raízes, esmagar ou causar danos aos organismos e fazer com que o óleo penetre ainda mais no sedimento. Também devem ser considerados os impactos relacionados com o tipo de material de alguns absorventes, o não recolhimento de todos os absorventes e a remoção incompleta do óleo. Deve-se, portanto, evitar a aplicação de absorventes nos bosques de marismas.

Em canais e águas adjacentes, pode-se utilizar as técnicas convencionais de contenção e remoção de óleo em água onde as barreiras absorventes se mostram eficientes. Tais barreiras podem ser aplicadas de modo preventivo, evitando a contaminação por manchas que se encaminham à costa, ou de modo que o óleo presente nos bosques não recontamine áreas adjacentes durante as oscilações das marés (foto 12.4). As barreiras devem ser permanentemente monitoradas e substituídas à medida que estejam saturadas por óleo.

### **Bombeamento a vácuo**

A utilização de bombeamento a vácuo restringe-se às águas adjacentes aos bosques de marismas para remoção do óleo sobrenadante. Essa operação pode realizar-se conjugada às atividades de contenção das manchas com utilização de barreiras. Devido às limitações de acessibilidade, deve-se empregar para o bombeamento bombas portáteis, tanques ou outros recipientes para coleta do resíduo água e óleo gerado e providenciar alimentação elétrica portátil para a operação das bombas.



**12.4.** Aplicação de barreiras absorventes em trecho de marisma contaminada. Banco de imagens da CETESB



**12.5.** Corte de marisma contaminada, mostrando o ensacamento dos talos e aplicação de barreiras absorventes adjacente aos locais sob tratamento, Ilhabela (SP). Banco de imagens da CETESB

### Dispersantes químicos

O uso de dispersantes químicos em marismas é limitado pelos impactos que a mistura óleo e dispersantes pode provocar no ambiente, como mortalidade da vegetação e dos organismos, aumento da penetração do óleo no sedimento em algumas porções do ambiente, ou dispersão do óleo para áreas ainda não contaminadas. Cabe ressaltar que segundo a Resolução CO-NAMA número 269/2000 (BRASIL, 2001), não se deve utilizar dispersantes diretamente sobre ecossistemas costeiros, entre eles as marismas.

Em situações em que as manchas de óleo estão ao largo de ecossistemas de marismas, com possibilidade de atingi-los, deve-se ponderar quanto à aplicação de dispersantes, pois podem constituir um instrumento adequado, em certas situações, evitando que esses ambientes de elevada sensibilidade sejam atingidos. Entretanto, a utilização de dispersantes está atrelada à legislação vigente e à anuência do órgão ambiental competente.

### Corte da vegetação

Em certos casos, o corte da vegetação justifica-se, principalmente quando se observa grande intensidade de contaminação das plantas. Uma vez que a vegetação de marismas apresenta boa capacidade de rebrotamento, se o sedimento não estiver com contaminação extensiva, o corte se mostra como uma técnica pertinente (IPIECA, 1994).

A remoção da vegetação de marismas já foi utilizada em eventos como o ocorrido em Northampton County, Virgínia, sendo o principal método de limpeza empregado neste ambiente. As folhas das gramíneas impregnadas com óleo foram cortadas mantendo-se o sistema de raízes intacto (API, 1985). No Brasil, esta técnica já foi também posta em prática, após os derrames de óleo provenientes dos navios Maruim (São Sebastião, São Paulo, em 20/08/1998) e Vicuña (Paranaguá, Paraná, em 15/11/2004).

Se o corte for indicado, o pisoteio pelas equipes será inevitável; dessa forma, procedimentos adequados deverão ser seguidos, como envolver o mínimo de trabalhadores nas tarefas, estabelecendo áreas ou trilhas de acesso e circulação para evitar o pisoteio por toda a área atingida.

Para impedir danos adicionais ao ecossistema, recomenda-se a retirada das folhas com óleo das margens das marismas, evitando, assim, o pisoteio e o consequente dano às raízes, bem como o aumento da pene-

tração de óleo no sedimento. A poda deve realizar-se a alguns centímetros acima do sedimento, para favorecer a rebrota da vegetação.

Deve-se realizar o corte depois de todo o óleo ter sido retirado da água; caso contrário, os bancos expostos após o corte e não contaminados poderão ser atingidos por manchas remanescentes. Os talos contaminados devem ser ensacados evitando que óleo desprendido da superfície das plantas recontamine a área. O corte da fração superior das plantas de marisma pode ser um método utilizável que deve ser avaliado caso a caso. Recomenda-se para isso o uso de tesourões (foto 12.5).

Em certas circunstâncias, os bancos de marismas desenvolvem-se sobre sedimento arenoso. Nesses casos o corte controlado envolvendo o mínimo de trabalhadores pode ser feito por terra, porque o solo mais compacto previne o aprofundamento do óleo. Pode-se cercar a área onde está havendo a poda com barreiras absorventes para reter frações de óleo que se desprendam da vegetação durante o procedimento.

### Limpeza natural

Recomenda-se a limpeza natural como o melhor procedimento para esse tipo de ecossistema. Qualquer ação de limpeza diretamente nos bosques de marismas acarreta algum impacto adicional. Entretanto, como são um ecossistema típico de locais protegidos, a ação natural não tem grande eficiência na remoção do óleo; desse modo, outras técnicas, dependendo do cenário acidental, merecem ser empregadas de forma conjugada.

Técnicas de limpeza recomendadas para marismas	
Canais e águas adjacentes	Bosques
Barreiras flutuantes e <i>skimmers</i>	Limpeza natural
Barreiras absorventes	Corte controlado da vegetação
Bombeamento a vácuo	
Dispersantes*	
Limpeza natural	

\* Condicionado à aplicação da legislação e aprovação do órgão ambiental competente.



13.1. Manguezal Ilha da Restinga, Cabedelo (PB). Poletto, Carolina Rodrigues Bio



13.2. Manguezal foz do Rio Prataji,(AL). Poletto, Carolina Rodrigues Bio

## CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE

O manguezal pode ser descrito como um sistema costeiro de transição entre ambientes terrestres e aquáticos, característico de regiões tropicais e subtropicais (foto 13.1). É constituído por espécies vegetais lenhosas típicas adaptadas a flutuações de salinidade e a um sedimento predominantemente lodoso, de granulometria fina (silte/argila), sujeito às variações de maré e de salinidade. Estes sedimentos lodosos são ricos em matéria orgânica e pobres em oxigênio devido à elevada demanda na decomposição e à restrita circulação intersticial (MICHEL; HAYES, 1992; KATHIRESAN; BINGHAN, 2001).

Assim como em outras regiões do mundo, no Brasil os manguezais ocorrem normalmente associados às margens de baías, enseadas, barras, desembocaduras de rios, lagunas e reentrâncias costeiras, onde haja encontro de águas de rios com a do mar, ou diretamente expostos à linha da costa (SCHAEFFER-NOVELLI, 1999; KATHIRESAN; BINGHAN, 2001) (foto 13.2). São comumente associados a planícies de marés, marismas, terraços e baixios lodosos, praias, apicuns e restingas. Em zonas tropicais do Atlântico e do Indo-Pacífico, os manguezais aparecem freqüentemente associados a re-

cifes de coral (MICHEL; HAYES, 1992 ; IPIECA, 1993), com os quais estão ecologicamente integrados.

Os manguezais requerem um clima com alta temperatura e precipitação. A temperatura média mensal mínima deve ser superior a 20°C e a amplitude térmica anual não deve ultrapassar 5°C. A vegetação não suporta a geada. A alta taxa de precipitação é fundamental, porque proporciona a existência de muitos cursos d'água, evitando o acúmulo de sais e trazendo nutrientes e sedimentos para o desenvolvimento da vegetação.

São formações tipicamente tropicais, distribuídas entre as latitudes 23°30'N e 23°30'S, com extensões subtropicais até 30° em condições favoráveis. Seu maior desenvolvimento, no entanto, é encontrado na região equatorial. Com distribuição circuntropical, os manguezais ocorrem em 112 países e territórios, cobrindo uma área costeira estimada em 18 milhões de hectares (KATHIRESAN; BINGHAN, 2001).

No Brasil, ocupam uma vasta extensão da costa, entre 4°30'N, no Cabo Orange (Amapá), e 29°S, em Laguna (Santa Catarina). Entre as áreas com maiores concentrações de manguezais estão a costa no entorno da



13.3. Manguezal, Belém (PA). Benavente, Ana Cristina

### DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE BOSQUES

**Bosques de franja:** ocorrem ao longo de margens de costas protegidas, com um padrão de zonação de espécies relacionado diretamente com a declividade da linha da costa e a área de alcance da maré alta. A baixa energia das marés e a ação das ondas, bem como o vasto sistema de raízes-escora, favorecem a retenção de pequenos fragmentos orgânicos.

**Bosques ribeirinhos:** encontram-se nas margens dos rios, ocupando a planície de maré. Possuem fluxos intensos de água rica em nutrientes originados do escoamento terrestre. São inundados freqüentemente pelas marés e, em geral, sua salinidade intersticial é menor do que os demais tipos de bosques, variando entre 10% e 20%.

**Bosques de bacia:** muito comuns em depressões de drenagens que se localizam em áreas mais internas e em canais de escoamento em direção à costa. São inundados apenas nas marés altas, o que favorece a menor renovação das águas, com fluxos lentos ou mesmo ocorrência de águas estagnadas. Por outro lado, quando próximos à costa são expostos à influência de marés diariamente.

**Bosques de ilhote:** ocorrem em ilhas baixas e penínsulas que, devido ao seu alinhamento, dificultam o fluxo de maré em baías rasas e estuários. Como resultado, os manguezais são inundados na maré alta e qualquer fragmento orgânico é carregado pelas águas.

**Bosques anões:** possuem uma distribuição limitada e ocorrem ao longo de planícies costeiras. As plantas geralmente têm menos de um metro e meio de altura. Surgem onde não há fonte de nutrientes, mas condições de hipersalinidade também podem provocar sua formação.

foz do rio Amazonas, a região da Ilha do Marajó, o litoral da Bahia, as baías de Guanabara, Santos e Paranaguá e o complexo estuarino Cananéia-Iguape, entre outros (SCHAEFFER-NOVELLI, 1999) (foto 13.3), com uma área total estimada em 25 mil quilômetros quadrados (SAENGER et al., 1993 apud CUNHA-LIGNON, 2001).



**13.4.** Raízes adaptadas para sustentação no lodo, Belém (PA).  
Benavente, Ana Cristina

Os manguezais, ricos em matéria orgânica e biomassa, propiciam alimentação, proteção e reprodução para uma grande variedade de espécies animais locais e da zona costeira que freqüentam esses ecossistemas, pelo menos em uma fase da vida, fazendo deles verdadeiros berçários e celeiros naturais da biodiversidade marinha. Representam, portanto, um ecossistema-chave, cuja preservação é crítica para o funcionamento de outros ecossistemas maiores e mais diversos que se estendem além dos limites de um bosque de mangue (SCHAEFFER-NOVELLI, 1999; KATHIRESAN; BINGHAN, 2001).

Reconhecendo a elevada importância ecológica e os benefícios diretos e indiretos desse ecossistema, no Brasil os manguezais são considerados Áreas de Preservação Permanente conforme o artigo 2º da Lei Federal 4.771 de 15.09.65, e Reserva Ecológica, “em toda a sua extensão” conforme os artigos 1º e 3º da Resolução CONAMA número 004 de 18.09.85. São também considerados Patrimônio Nacional no artigo 225, § 4º da Constituição Federal de 1988 (SCHAEFFER-NOVELLI, 1999).

O ecossistema manguezal é sustentado primordialmente pelas espécies arbóreas adaptadas às condições

abióticas e geomorfológicas existentes. As plantas de porte arbóreo compõem o bosque de mangue e são representadas por 65 espécies no planeta (KATHIRESAN; BINGHAN, 2001). Essas árvores sustentam grande parte da biomassa desses ambientes.

No litoral brasileiro, as angiospermas do mangue pertencem a quatro gêneros, com um total de sete espécies: *Rhizophora mangle*, *R. harrisoni*, *R. racemosa*, *Avicennia germinans*, *A. schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Conocarpus erectus*. A fisionomia dos bosques é definida pelas características estruturais que incluem suas dimensões físicas como altura, densidade, diâmetro médio, tipo de dossel, entre outras. A formação e a fisionomia desses bosques variam de região para região e parecem ser controladas basicamente pelo clima e hidrologia locais.

Sendo o manguezal uma formação que oferece ambiente pouco favorável à maioria das plantas (alta salinidade da água e do solo, níveis muito baixos de oxigênio no solo, frequência de inundação pela maré, entre outros), estas devem possuir adaptações específicas para sobreviver, como, por exemplo, fixação mecânica em solo frouxo (foto 13.4), raízes respiratórias e mecanismos de aeração, viviparidade, mecanismos especializados de dispersão e desenvolvimento de estruturas xerofíticas (adaptações funcionais contra a falta de água) em relação à salinidade do solo.

Os manguezais podem ser classificados em cinco tipos de bosques, com base nos padrões de maré locais, drenagem da superfície terrestre e espécies de mangue, tais como: bosque de franja, de bacia, de ilhote, ribeirinho e anão. Cada um desses tipos apresenta maior ou menor vulnerabilidade ao óleo.



13.5. Caranguejo de mangue, Bertioga (SP). Banco de dados da CETESB.

A falta de conhecimento sobre os ecossistemas brasileiros também abrange os manguezais, que ainda carecem de estudos sobre o número total das espécies da fauna e da flora e de outros aspectos relacionados à sua estrutura e função. Essas informações são ainda mais escassas quando se trata da avaliação e diagnóstico dos diferentes tensores antrópicos (SOUZA; SAMPAIO, 2001).

De acordo com Schaeffer-Novelli (1999), a fauna dos manguezais tem sua origem nos ambientes terrestre, marinho e de água doce, permanecendo nesses ecossistemas toda sua vida como residentes, ou apenas parte dela na condição de semi-residentes, visitantes regulares ou oportunistas intimamente associados e dependentes desses ecossistemas.

Os manguezais estão entre os mais produtivos ecossistemas terrestres, sendo extremamente ricos em espécies animais (IPIECA, 1993; DUKE, 1997; KATHIRESAN; BINGHAN, 2001). A fauna dos manguezais possui alta diversidade, principalmente porque o ambiente é rico em matéria orgânica (DUKE, 1997). Com isso, grande número de espécies animais detritívoras e microrganismos decompositores ocorrem no sedimento. A fauna de fundo lodoso apresenta adaptações relacionadas à locomoção, alimentação e à deficiência de oxigênio. O sedimento lodoso/arenoso é colonizado por diversa fauna bêntica, que pode atingir altas densidades (KATHIRESAN; BINGHAN, 2001). Entre os grupos mais importantes da fauna associada aos manguezais estão os moluscos, poliquetas e crustáceos, grupos que incluem diversos herbívoros e carnívoros como caranguejos, camarões, siris, entre outros. Os moluscos encontram-se ligados principalmente a raízes, troncos e pedras, ocupando também o substrato e a água. Algumas espécies são exploradas tradicionalmente pelas comunidades locais, como, por exemplo, mariscos e ostras.

Os crustáceos (caranguejos) são o grupo animal mais característico do manguezal (foto 13.5). Esse grupo é muito importante na dinâmica do ecossistema, devido à sua participação na cadeia trófica como recurso alimentar para muitos peixes e aves, no revolvimento do lodo, trazendo matéria orgânica para a superfície, e na fragmentação das folhas da serapilheira. São encontrados no substrato e sobre troncos, raízes e pedras, além de viver em poças d'água doce e salobra. Podem ser citados como exemplo, camarões de água doce, salobra e marinha, siris e caranguejos.

Outros atrativos do ambiente manguezal são a variedade de micro-habitats disponíveis como refúgio, proteção e área de reprodução. Em um ambiente sedimentar e inconsolidado, o emaranhado de raí-

zes-escora e pneumatóforos do bosque de mangue atua como atrativo para ricas comunidades animais e vegetais (epibiontes) que nelas se instalam, tanto na fração submersa como na aérea, contribuindo de forma relevante para o aumento da biodiversidade do ecossistema (KATHIRESAN; BINGHAN, 2001). Os troncos e raízes das árvores servem como substrato consolidado a diversas espécies de invertebrados e macroalgas como *Bostrychia*, *Enteromorpha* e *Padina*. As algas, por sua vez, favorecem a ocorrência do fital, representado por diversas espécies animais que vivem entre seus filamentos.

A alta fertilidade estuarina promove intensa produtividade fitoplanctônica, formando a base alimentar da cadeia trófica, o que faz com que os estuários tenham as águas mais férteis e piscosas do planeta. Além da teia autotrófica, a matéria orgânica abundante dos manguezais sustenta também uma teia alimentar baseada na decomposição dos detritos.

Centenas de espécies da ictiofauna vivem direta ou indiretamente associadas aos manguezais. Destacam-se tainha, parati, robalo e bagre, entre outros. Estas espécies pertencem a vários níveis tróficos: alguns se alimentam de material detritico, diretamente do fundo. A maioria é constituída por carnívoros intermediários e superiores (alimentação indireta de detritos), vivendo na coluna d'água, associados ao fundo e às raízes de mangue (demersais e bentônicos). São, portanto, fun-

damentais para o equilíbrio trófico, funcional e estrutural do ecossistema (KATHIRESAN; BINGHAN, 2001).

Importantes constituintes da fauna do manguezal são aves como biguás, guarás, colhereiros, garças, socós e martins-pescadores, entre outras. As espécies vistas em manguezais, em sua maioria são visitantes urbanas e litorâneas. Há ainda as migrantes periódicas e as típicas permanentes que utilizam esse ecossistema para nidificação, alimentação e proteção. Elas são responsáveis pelo equilíbrio ecológico das populações animais, contribuem com matéria orgânica na forma de dejetos e representam a última etapa do nível trófico.

Periodica e esporadicamente, tartarugas marinhas exploram os manguezais em busca de alimento e proteção. Este fato já foi descrito no Brasil para as espécies *Dermochelys coriacea* (tartaruga-de-couro ou tartaruga gigante) e *Chelonia mydas* (tartaruga-verde) no complexo estuarino-lagunar de Iguape-Cananéia. As espécies *Caretta caretta* (tartaruga-amarela), *Eretmochelys imbricata* (tartaruga-de-pente) e *Lepidochelys olivacea* (tartaruga-pequena), todas ameaçadas, ocorrem no litoral do Brasil e também podem estar associadas a outros sistemas estuarinos da costa brasileira (SCHAEFFER-NOVELLI, 1999; SANCHES, 1999).

Mamíferos marinhos são observados com frequência em áreas de manguezais, especialmente nos canais e braços de estuário, onde vêm em busca do alimento



**13.6.** APA do Rio Mamanguape (PB), peixe-boi (*Trichechus manatus*). Poletto, Carolina Rodrigues Bio

abundante (foto 13.6). Ao longo da costa, como no Estuário de Cananéia e Ilha do Cardoso (SP), populações de golfinhos e toninhas (*Pontoporia blainvillei*) freqüentam as águas estuarinas e canais adjacentes (SANTOS et al., 2002). O peixe-boi marinho *Trichechus manatus*, severamente ameaçado de extinção, faz dos manguezais seu hábitat, especialmente no Nordeste, como, por exemplo, na APA de Mamanguape (PB) e no Parque Nacional Marinho de Paripuera (AL).

O valor do manguezal para o homem e a vida selvagem, como bem e serviços, é reconhecido mundialmente. Alguns dos principais benefícios da existência desses ambientes (SCHAEFFER-NOVELLI, 1999; KATHIRESAN; BINGHAN, 1991) são:

- constituem fontes de nutrientes para a zona costeira;
- permitem o extrativismo (madeira, mel, ostras, caranguejos, siris, camarões, peixes);
- servem de viveiros e tanques para camarões e peixes (aqüicultura);
- favorecem a existência de salinas;
- contribuem para evitar a erosão e manter a estabilização da costa;
- servem de proteção contra tempestades;
- têm potencial para formação de terras;
- favorecem a moradia e a ocupação em bairros, palafitas e balneários;
- retêm metais pesados e outros materiais tóxicos;
- favorecem a pesquisa científica, a farmacologia e os cosméticos;
- propiciam recreação e educação ambiental;
- preservam a biodiversidade, o apelo cênico etc.

Considerando um tensor como qualquer condição ou situação que induza um sistema a mobilizar seus recursos e aumentar seu gasto de energia e estresse como resposta a um ou mais fatores de tensão, pode-se afirmar que os manguezais são ecossistemas naturalmente estressados devido à salinidade, baixa concentração de oxigênio e constantes inundações, mas são adaptados a esses tensores. No entanto, uma vez que operam próximo ao limite de tolerância a tensores, são particularmente sensíveis a distúrbios adicionais como os criados pelas atividades humanas (KATHIRESAN; BINGHAN, 1991). Por conseguinte, a introdução de outros tensores naturais e/ou induzidos pelo homem, como os vazamentos de óleo, traz graves conseqüências para o sistema.

Por esse motivo, os manguezais em muitas regiões do mundo, e também no Brasil, vêm sofrendo severos e variados impactos de origem antrópica, que ameaçam sua estabilidade e equilíbrio. Entre os principais tensores antrópicos encontram-se os seguintes (SCHAEFFER-NOVELLI, 1989; KATHIRESAN;

BINGHAN, 1991; DUKE, 1997):

- poluição por efluentes domésticos e industriais;
- lixiviação de pesticidas, inseticidas e fungicidas usados em campos agrícolas;
- corte de raízes para a cata de ostras;
- poluição por resíduos sólidos, aterros e lixões;
- aterros da construção civil (marinas, bairros, atracadouros, portos, rodovias);
- desvio de corpos d'água para irrigação e outros fins;
- desmatamento para produção de madeira, lenha, carvão e tanino;
- desestabilização e erosão dos sedimentos em áreas desvegetadas;
- eutrofização resultante de atividades de aqüicultura e dos centros urbanos;
- pesca predatória, que resulta na redução dos estoques disponíveis nas águas costeiras, tanto de peixes, como de invertebrados, camarões e caranguejos.

### SENSIBILIDADE AO ÓLEO

Gundlach e Hayes (1978) citam que, entre os ambientes costeiros, o manguezal pode ser classificado como o ecossistema mais sensível quanto ao potencial de vulnerabilidade a impactos de derrames de óleo, o que é integralmente compartilhado por instituições como: American Petroleum Institute (API), Environmental Protection Agency (USEPA), National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA), International Petroleum Industry Conservation Association (IPIECA), International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF), entre outras. Tal vulnerabilidade baseia-se na interação da costa com processos físicos relacionados à deposição e permanência do óleo no ambiente, à extensão do dano ambiental e ao tempo de recuperação.

Também no Brasil os manguezais são considerados os ambientes costeiros mais sensíveis e vulneráveis a vazamentos de óleo. Essa sensibilidade está refletida nas Especificações e Normas Técnicas para Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo - Cartas SAO (BRASIL, 2004a), onde estão incluídos no ISL 10, na categoria de máxima sensibilidade.

Os manguezais brasileiros são vulneráveis e suscetíveis a impactos de vazamentos, porque em geral se concentram em enseadas, baías e estuários, justamente regiões com a maior concentração de indústrias, portos e terminais da costa do País. Isso significa que esses ambientes devem ser tratados prioritariamente, tanto nas ações emergenciais de proteção e recuperação, como nas ações preventivas dos planos de gerenciamento de risco individuais e regionais.

Segundo API (2001) e IPIECA (1993), os manguezais são classificados como altamente vulneráveis pela sua diversidade, extensão dos bosques de mangue, elevada sensibilidade aos poluentes, longo período para a recuperação de suas comunidades e dificuldade de remoção do óleo dos extensos sistemas de raízes-escora e pneumatóforos associados ao sedimento.

Michel e Hayes (1992) e Kathiresan e Bingham (2001), entre outros, alertam que a regeneração desses ecossistemas pode levar décadas. Atividades ligadas à indústria petroquímica, na produção, armazenamento e transporte têm gerado eventos de contaminação de manguezais com óleo, causando efeitos negativos sobre esses ecossistemas.

As árvores de mangue são muito sensíveis a derrames de óleo, pois normalmente crescem em condições anaeróbias e fazem suas trocas gasosas por meio de um sistema de poros ou aberturas propensos a ser cobertos ou obstruídos. O recobrimento das raízes e pneumatóforos pelo óleo pode causar asfixia e morte dessas árvores (IPIECA, 1993). Além disso, dependem das populações microbianas do solo para obter nutrientes e água, por meio de suas raízes. Dados sobre trocas gasosas mostram que 8% a 25% são feitas pelo solo, sedimento, troncos e raízes especializadas. Quando a troca se reduz em consequência do recobrimento físico do petróleo, as raízes e os microrganismos aeróbios diminuem sua capacidade de ação, e o balanço da água, nutrientes e sal dos sistemas pode ficar afetado, causando alterações estruturais.



**13.7.** Caranguejo recoberto com óleo, Paranaguá (PR).  
Banco de dados da CETESB.

O grau de impacto do óleo em manguezais varia de acordo com o tipo fisiográfico do bosque. Segundo API et al. (2001), bosques de bacia e porções internas de bosques de franja possuem maior potencial para longa persistência do óleo, enquanto este permanece por um período mais curto em bosques de ilhote. A recuperação das comunidades do manguezal pode levar mais de vinte anos, dependendo das espécies de mangue envolvidas, do tipo de bosque e da intensidade do derrame de óleo. A recuperação tende a ser mais rápida em bosques de ilhote, porque a quantidade do óleo que persiste no ambiente é menor. Nestes ambientes, quanto mais rápido o desenvolvimento de plântulas, mais rápido estarão no hábitat indivíduos jovens, estruturadores do bosque em recuperação.

Os bosques ribeirinhos podem ser menos vulneráveis a impactos por derrames em águas adjacentes, visto que os fluxos superficiais de água doce dificultam a penetração do óleo no estuário. Os bosques de bacia são mais suscetíveis a tenses originados em terra e, portanto, menos vulneráveis a derrames no mar.

Os manguezais de bacia podem ser severamente impactados por derrames em sistemas de dutos e tanca-gens (comuns em áreas interiores e retroterra), devido às condições naturais de deficiência na renovação da água que os caracterizam. Por outro lado, os bosques de franja e ilhote são mais vulneráveis ao óleo derramado no mar, porque o petróleo ou derivados penetram nas franjas e recobrem as raízes de *Rhizophora*. Essas raízes, extremamente abundantes nas franjas, podem acumular grandes quantidades desse produto.

Diversos impactos agudos e crônicos resultam da presença de óleo nos bosques de mangue e podem fragilizar sinergicamente as populações e causar mortalidade. Entre esses impactos, de acordo com Kathiresan e Bingham (2001), Michel e Hayes (1992), Scholz et al. (1992), Lamparelli, Rodrigues e Moura (1997), encontram-se os seguintes:

- redução nas taxas de respiração e fotossíntese que afeta a produtividade primária;
- desfolhamento;
- aborto de propágulos;
- alteração no tamanho foliar;
- formação de galhas e malformações foliares;
- aumento inicial na quantidade de sementes como reação ao estresse;
- impactos à fauna acompanhante, como resultado do estresse químico e do recobrimento físico. Tocas e galerias de crustáceos e outros invertebrados são vias de contaminação das camadas mais profundas do sedimento e atingem a fauna bentônica, em especial os caranguejos, fre-

qüentemente presentes em elevadas densidades populacionais. Se não causa morte direta por intoxicação ou recobrimento físico, o óleo pode desalojar esses animais, tornando-os suscetíveis a predadores e a outros estresses. Burger et al. (1991), (apud MICHEL; HAYES, 1992) registraram intensa mortalidade em decápodos por estresse térmico (baixas temperaturas), resultante do desalojamento causado pela presença de óleo nas galerias. Uma vez que a quantidade de oxigênio no sedimento mais profundo é muito baixa, o óleo tende a permanecer no ambiente por muitos anos ou décadas;

- bioacumulação na cadeia alimentar, processo mais intenso nas espécies detritívoras;
- impactos em peixes, mamíferos e aves, tanto pelo contato direto ou recobrimento (foto 13.7), como por ingestão e/ou inalação de vapores tóxicos.

Katirezan e Bingham (2001) citam vazamentos em manguezais no Panamá, onde se espera que sejam necessários, pelo menos, vinte anos para a toxicidade desaparecer e a recuperação natural viabilizar-se. Esses autores afirmam que as frações tóxicas presentes por longos períodos podem causar mutação como já observado em processos fisiológicos de *Rhizophora mangle*.

Em um dos mais completos acompanhamentos pós-impacto realizados com manguezais atingidos por óleo no Brasil, Lamparelli, Rodrigues e Moura (1997)



13.8. Manguezal contaminado com óleo. Rio Suruí, Baía da Guanabara (RJ). Milaneli, João Carlos Carvalho

identificaram as diferentes fases seqüenciais durante o longo processo de recuperação dos manguezais de Bertioga (SP), impactados por um vazamento de 2.500 metros cúbicos de petróleo, em 1983:

- efeitos imediatos em curto prazo;
- danos estruturais;
- estabilização dos impactos em médio e longo prazo;
- recuperação do bosque a partir de dez anos após o acidente.

O perfil fisiográfico e a declividade do ambiente são aspectos que influem na gravidade das conseqüências da contaminação por óleo de um manguezal. Manguezais caracterizados por bermas frontais tendem a aprisionar o óleo no interior do bosque, potencializando os impactos e o tempo de permanência do produto (MICHEL; HAYES, 1992).

Os resíduos vegetais abundantes no solo, compostos por folhas, galhos e raízes (serapilheira), atuam como absorventes naturais do óleo que, não removidos, tornam-se fontes de recontaminação do ambiente, além de ameaçar a cadeia alimentar de detritos baseada no consumo e decomposição desse material.

São esperados impactos químicos de produtos mais leves, com maiores concentrações de frações aromáticas e solúveis (MICHEL; HAYES, 1992), perceptíveis já nos primeiros dias após o impacto, resultantes da absorção ativa desses compostos pelas raízes das árvores. As frações tóxicas absorvidas pelas raízes são distribuídas aos tecidos vegetais pelos processos de transporte fisiológico e transpiração.

Apesar do largo espectro de impactos possíveis no ecossistema manguezal, a dimensão dos danos ecológicos de um acidente específico depende de fatores como o tipo de óleo, época do ano, grau de exposição (aguda ou crônica) e presença de outros tensores (MICHEL; HAYES, 1992).

### MÉTODOS DE LIMPEZA RECOMENDADOS

São poucas as técnicas de limpeza disponíveis para áreas de manguezal atingidas por óleo e pouco se conhece sobre sua eficiência e danos adicionais que podem gerar.

As ações de combate no manguezal devem dar prioridade à proteção do bosque do contato com o óleo (IPIECA, 1993; MICHEL; HAYES, 1992). Para isso, tanto quanto possível os esforços devem concentrar-se na contenção e remoção nas águas adjacentes, canais e meandros do bosque. Para manchas vindas

por mar, a proteção do manguezal com barreiras de contenção e barreiras absorventes ao longo da franja externa é uma ação simples e fundamental para controlar e minimizar a entrada de óleo. No caso de vazamentos em terra, o óleo presente nos rios, canais e meandros não deve ser contido no interior do manguezal e sim levado para as águas adjacentes, onde pode ser contido e recolhido. Nesses casos, as barreiras devem ser posicionadas ao longo das margens dos mangues e nunca fechando a saída dos corpos d'água. Nessas operações devem sempre ser consideradas possíveis inversões de sentido de fluxo dos corpos d'água (e das manchas de óleo), por conta do ciclo de marés.

Uma vez atingido o bosque e sedimentos entremarés, as ações de combate são muito restritas. As atividades de limpeza nesse ambiente resultam em alto risco de danos adicionais relevantes, possivelmente mais impactantes que o próprio óleo (GUNDLACH; HAYES, 1978; GANNING; REISH; STRAUGHAN, 1984; OCIMPF; IPIECA, 1980; ITOPI, 1987; OWENS, 1978; MICHEL; HAYES, 1992; 2005; API, 2001; IPIECA, 1993). Por essa razão, a limpeza natural do bosque é o procedimento mais indicado nessas condições. Outras técnicas são descritas como aplicáveis (mas não necessariamente recomendadas), como remoção manual, jateamento, bombeamento a vácuo, queima/corte, absorventes e dispersantes químicos. A biorremediação tem sido eventualmente considerada para manguezais e ambientes similares, como marismas (RPI, 1984; MICHEL; HAYES, 1992), apesar das limitações relacionadas às baixas concentrações de oxigênio nos sedimentos. A descrição geral de tais procedimentos encontra-se a seguir.

### **Absorventes**

Materiais absorventes podem ser utilizados para proteger o manguezal do contato direto com o óleo. Os absorventes naturais lançados a granel em manchas de óleo nas águas contíguas ao mangue podem ser eficientes, especialmente quando conjugados ao uso de barreiras absorventes que restringem seu espalhamento e facilitam o recolhimento. É essencial recolher o agregado absorvente-óleo, sob risco de afundamento e contaminação do sedimento. Deve-se dar prioridade aos absorventes orgânicos vegetais ou, na falta destes, aos produtos minerais. Esta técnica deve ser utilizada preferencialmente por meio de embarcações leves que possibilitam acesso a áreas mais restritas.

Os possíveis impactos do uso de absorventes a granel no bosque de mangue são os danos mecânicos

ou as alterações causadas pelo pisoteio da equipe de trabalho ou pelos barcos na aplicação e recolhimento do material. Danos também expressivos podem resultar do não recolhimento do absorvente, com a contaminação dos sedimentos. Resíduos de absorventes contaminados podem recobrir animais e plantas do mangue, causar impactos físicos e mecânicos, contaminar o recurso detrito e afetar as cadeias alimentares locais.

As equipes responsáveis pela operação podem causar danos à fauna e ao sedimento, aumentando a profundidade de penetração do óleo, danificando as raízes e pneumatóforos das árvores e organismos epibênticos associados, pelo simples pisoteio.

Materiais absorventes podem ser removidos pelas ondas e marés, mas também podem ficar isolados entre as raízes de mangue, em bosques com bermas frontais, dificultando o recolhimento. Recomenda-se que a equipe responsável pela aplicação e recolhimento do material seja treinada para essa atividade e acompanhada por profissionais especializados; caso contrário, o efeito da ação de limpeza pode prejudicar ainda mais o ecossistema.

### **Bombeamento a vácuo**

O bombeamento é muito útil na remoção do óleo na superfície dos corpos d'água contíguos ao bosque de mangue. Com possibilidade de recolher grandes volumes, esta técnica é uma das mais importantes para minimizar o contato direto do bosque com o óleo. Os mangotes podem ser posicionados em embarcações nas margens do mangue, ou mesmo por terra, com caminhões-vácuo ou bombas portáteis, respeitando-se as condições de acesso. Tanques flutuantes e portáteis podem ser usados nessa operação para armazenamento temporário, posicionados nos canais e meandros do bosque. Este procedimento deve ser conduzido na lâmina d'água, ou durante os períodos de preamar.

O principal impacto associado ao bombeamento a vácuo são os danos mecânicos resultantes do uso imprudente da técnica, que podem causar a remoção dos organismos e a remoção/revolvimento do sedimento. Com o tráfego de trabalhadores no interior do bosque, o óleo pode aprofundar-se no sedimento e as plântulas e pneumatóforos podem ser danificados pelo pisoteio. O uso inadequado do bombeamento pode também causar o aumento significativo dos resíduos oleosos devido ao bombeamento de água desnecessário. Manchas iridescentes e prateadas devem ser combatidas preferencialmente com absorventes e não com bombeamento.

### Dispersantes

O uso de dispersantes nas áreas de manguezal é tema polêmico e vem provocando discussões no meio científico. Os dispersantes químicos vêm sendo aplicados em várias áreas atingidas por derrames de óleo e em inúmeras situações experimentais e reais. Em muitos casos, porém, têm causado danos adicionais comparáveis aos do próprio óleo e em alguns outros, podem aumentar a penetração do óleo no sedimento na zona entremarés.

Novas técnicas e produtos estão em constante desenvolvimento para usos futuros. Evidências recentes sugerem que os dispersantes de nova geração, quando usados em concentrações apropriadas, causam poucos efeitos biológicos adicionais se comparados aos do óleo isoladamente. Há registros de que o óleo dispersado quimicamente apresenta grande variação na toxicidade às plantas, conforme a mistura, o tipo e o dispersante.

Um dos maiores benefícios dos dispersantes é a redução do poder aderente do óleo às raízes-escora e troncos de árvores, ao sedimento e aos organismos. Por outro lado, o óleo sujeito à dispersão química espalha-se verticalmente até vários metros de profundidade, atingindo populações associadas ao fundo marinho (MICHEL; HAYES, 1992).

A decisão de utilizar dispersantes em manguezais requer um estudo criterioso dos efeitos tóxicos da mistura óleo e dispersantes à comunidade do manguezal. Considerando o fato de não haver estudos mais detalhados sobre esse tema para as condições brasileiras, recomenda-se que não sejam aplicados em áreas abrigadas e próximas aos manguezais. Esta recomendação está de acordo com a Resolução CONAMA 269/2000 (BRASIL, 2001), que não permite o lançamento de dispersantes diretamente nos ecossistemas costeiros (praias, manguezais, costões rochosos, entre outros).

Cabe ainda ressaltar que é impossível salvar um bosque de mangue atingido por óleo, lavando-se as árvores com dispersantes. O uso de dispersantes em águas abertas é mais eficiente para a proteção dos manguezais, pois impede que a mancha se desloque para os ecossistemas costeiros mais sensíveis. De outra forma, penetrando no manguezal o óleo pode causar sérios prejuízos ao ecossistema, sendo necessárias décadas para que as árvores maduras voltem a estruturar o bosque.

### Biorremediação

Visto que a bioadição (aplicação de cepas de microrganismos biodegradadores criados em laboratório) não

é legalmente permitida no Brasil, apenas a bioestimulação da comunidade microbiana autóctone é um procedimento aplicável de biorremediação.

Em manguezais e outros ambientes redutores, como planícies de maré, marismas e terraços de baixa-mar lodosos, uma das principais limitações existentes à biodegradação induzida são as baixas concentrações de oxigênio nos sedimentos. Nestes ambientes, mesmo com abundância de nutrientes, a degradação é muito menos eficiente. Sabe-se que a biodegradação do petróleo é essencialmente um processo aeróbico (EVANS; RICE, 1974; LEE; DE MORA, 1999; USCG, 1999).

Outro aspecto relevante é a concentração de hidrocarbonetos do petróleo e a toxicidade do sedimento. Se o grau de contaminação for muito elevado, as bactérias e fungos responsáveis pela biodegradação não conseguirão desenvolver-se.

Alguns fabricantes de absorventes orgânicos de origem vegetal têm divulgado seus produtos como remediadores, por possuírem nutrientes orgânicos em sua formulação que estimulam o crescimento microbiano, acelerando, em conseqüência, a degradação do óleo. A aplicação desses produtos a granel em áreas de manguezal, com o propósito de estimular a biorremediação, deve ser considerada com cautela, pois a simples presença do nutriente (que já é naturalmente abundante nestes ambientes) não basta para o sucesso do processo. Em São Paulo, até que estudos e informações científicas mais consistentes sejam produzidos, a técnica não tem sido adotada em ações emergenciais coordenadas pela CETESB. Apesar disso, há uma expectativa positiva quanto ao uso futuro da biorremediação em áreas costeiras atingidas por vazamentos de óleo.

### Limpeza natural

Na maioria dos casos, a limpeza natural é o procedimento mais seguro e adequado para bosques de mangue contaminados por óleo. Ambientes com maior exposição são limpos mais eficientemente pela ação hidrodinâmica. A presença de praias e terraços arenosos nas margens dos manguezais indica maior grau de hidrodinamismo, o que pode favorecer os processos de limpeza natural (MICHEL; HAYES, 1992).

Para manguezais expostos, a limpeza natural é mais recomendada, uma vez que o fluxo de maré auxilia na remoção do óleo. A limpeza natural também é a opção mais viável e segura para manguezais protegidos, contaminados por pouca quantidade de óleo. Em casos catastróficos, em que o bosque é atingido por

grandes quantidades de óleo, as ações de remoção mecânica devem ser adotadas com critério, conforme as orientações técnicas já discutidas (RPI, 1984).

Os óleos mais pesados tendem a permanecer por mais tempo no manguezal, devido à sua maior viscosidade, densidade e persistência. Esta condição é agravada também pela biodegradação limitada pela menor disponibilidade de oxigênio. Comumente, por causa das condições saturadas e da granulometria fina do sedimento, o óleo não tende a aprofundar-se muito verticalmente, permanecendo nas camadas superficiais. Maiores profundidades de penetração ocorrem com óleos e derivados mais leves, menos densos e viscosos, como os produtos das classes I e II (ITOPF, 1986). Nesses casos, o tempo de residência do óleo no ambiente também é maior. Acrescente-se ainda que tocas de caranguejos facilitam a penetração do produto às camadas subjacentes do sedimento.

Considerando os aspectos já discutidos, destacam-se os seguintes procedimentos relativos à limpeza de manguezais:

- adotar medidas de proteção e isolamento dos manguezais (barreiras de contenção), respeitando a origem e direção da contaminação;
- adotar prioritariamente procedimentos de remoção em mar, nas águas adjacentes e contíguas aos manguezais, como bombeamento a vácuo, *skimmers* e barcas recolhedoras;
- considerar a possibilidade do uso de dispersantes químicos em mar, desde que respeitadas as condições e premissas que regulamentam a técnica na Resolução CONAMA 269/2000 (BRASIL, 2001);
- estabelecer prioridades técnicas de combate em água (canais e meandros) no interior do manguezal, que podem ser mais eficientes durante os períodos de preamar;

- priorizar o uso de embarcações pequenas, leves e de baixo calado. Observar cuidado especial com motores a hélice, que podem causar danos a plântulas, árvores jovens e marismas adjacentes aos manguezais;
- adotar a aplicação criteriosa de absorventes naturais combinada com o uso de barreiras absorventes, como complemento das técnicas mecânicas de recolhimento. Não aplicar absorventes sintéticos a granel;
- adotar a limpeza natural quando sedimentos e árvores do bosque forem atingidos;
- remover resíduos e vegetação flutuantes em áreas estuarinas, normalmente depositados e acumulados nos manguezais durante a maré enchente, de preferência a bordo de embarcações de pequeno porte, durante a preamar, evitando pisoteio nos bosques. Em contato com o óleo, esses resíduos passam a ser fonte adicional de contaminação;
- impedir o corte ou a remoção da vegetação contaminada;
- impedir a queima da vegetação contaminada, devido aos intensos impactos adicionais associados a esse procedimento;
- impedir procedimentos de limpeza mecânica no bosque, como jateamento com água, vapor ou areia, raspagem de troncos e raízes;
- impedir a remoção do sedimento contaminado. Em algumas situações, pode-se considerar a aplicação de absorventes naturais a granel sobre o sedimento, o que favorece a descontaminação, com a utilização de técnicas similares às de limpeza das praias;
- impedir o trânsito de pessoas no interior do mangue, em qualquer situação, para evitar danos gerados pelo pisoteio à fauna e às raízes, e principalmente a transferência do óleo para camadas mais profundas do sedimento onde a degradação natural é ineficiente.

#### Técnicas de limpeza recomendadas para manguezais

Canais e águas adjacentes	Bosques
Isolamento com barreiras de contenção	Limpeza natural
<i>Skimmers</i>	
Bombeamento a vácuo	
Barcas recolhedoras	
Barreiras absorventes	
Absorventes naturais granulados	
Dispersantes*	

\* Condicionado à aplicação da legislação e aprovação do órgão ambiental competente.

Os ecossistemas costeiros mais vulneráveis ao impacto do óleo encontram-se na zona entremarés. No entanto, estão cercados por outros ecossistemas terrestres que, mesmo não suscetíveis ao contato direto com o óleo, são vulneráveis aos impactos gerados pelas complexas operações emergenciais de combate e limpeza. Assim, após as praias, manguezais, marismas, planícies de marés e costões rochosos, podem ocorrer dunas, restingas, apicuns, matas e outros biomas.

Os ecossistemas associados merecem especial atenção no planejamento e execução das ações de limpeza, pois são essenciais ao equilíbrio da zona costeira, ricos em biodiversidade e extremamente importantes do ponto de vista socioambiental.

## CARACTERÍSTICAS DOS AMBIENTES

### Apicuns

Os apicuns são ambientes estritamente associados aos manguezais e se concentram na porção mais interior dos mesmos, na interface médio/supralitoral. Constituem uma região salgada, de transição (ecótono) com solo geralmente arenoso, ensolarada, desprovida de cobertura vegetal, ou abrigando uma vegetação herbácea.

Formados por camadas de solo ricas em nutrientes, os apicuns funcionam como reservatório de nutrientes para o manguezal e a zona costeira, mantendo em equilíbrio os níveis de salinidade e minerais.

Apesar de sua grande importância no equilíbrio ecológico dos manguezais, os apicuns são relativamente pobres em biodiversidade da fauna e flora. São colonizados principalmente por vegetação herbácea e rasteira. A fauna é composta por crustáceos decápodos (caranguejos) e insetos, além de aves e mamíferos visitantes.

### Dunas

As dunas são depósitos arenosos associados às planícies costeiras. Fortemente vinculados aos regimes de vento (fotos 14.1 e 14.2) esses sistemas estão intimamente associados aos ambientes praias que fornecem material para sua formação. A areia retirada da praia pode ser acumulada de encontro às escarpas de praia, elaboradas por ondas de tempestade, num processo que pode levar centenas de anos. Segundo Pethick (1994, apud ÂNGULO 1993), cordões dunares bem desenvolvidos podem demorar entre setenta e duzentos anos para se estruturarem. Existem diversos tipos fisiográficos de dunas eólicas no litoral brasileiro — linguóides ou dômicas, entre outras —,



14.1. Dunas vegetadas – Barra de Mamanguape (PB). Poletto, Carolina Rodrigues Bio



14.2. Dunas não vegetadas, Barra do Cauípe, Fortaleza (CE). Poletto, Carolina Rodrigues Bio

## Ambientes Costeiros Contaminados por Óleo Procedimentos de Limpeza

condicionadas por fatores como tipo de sedimento da área-fonte (praia), regime de ondas, marés e aporte fluvial, morfologia da costa, regime de ventos e tipo de vegetação (ÂNGULO, 1993).

Caracteristicamente formadas por sedimentos não consolidados, as dunas têm elevada mobilidade espacial quando não vegetadas. A vegetação de dunas, com seus sistemas radiculares, é eficiente na estabilização das areias (ÂNGULO, 1993). As diversas plantas que colonizam as dunas costeiras tornam esses ambientes

ecologicamente importantes, com espécies típicas e endêmicas, e sustentam importante variedade de fauna a elas associada. Matias e Nunes (2001), por exemplo, estudando as dunas da Área de Proteção Ambiental de Jericoacara (CE), identificaram dezenas de espécies vegetais nas dunas locais. Esta riqueza biológica pode chegar até a faixa entremarés, sendo limitada pela zona de ação de preamar de sizígia. Nas bordas dunares, na face praial, ocorre a vegetação denominada jundu, tipicamente graminóide, fundamental na estabilização fisiográfica da pós-praia. Bigarella (2001) caracteriza



14.3. Vegetação de restinga. Ilha da Restinga, foz do rio Paraíba, Cabedelo (PB). Poletto, Carolina Rodrigues Bio

estas áreas como antedunas, às quais se associam espécies vegetais de fixação das areias, como *Ipomoea pes-caprae*, *Hydrocotyle umbellata*, *Remirea maritima*, *Salicornia*, gramíneas, ciperáceas, entre outras.

### Restingas

As restingas são estruturas geomorfológicas intrinsecamente associadas à evolução da planície costeira, com vegetação típica crescendo sobre solos arenosos, mas que apresentam grandes variações fisionômicas (BIGARELLA, 2001; SCHINEIDER; TEIXEIRA, 2001) (foto 14.3). De acordo com Silva (1990, apud TEIXEIRA, 2001), “restinga é um conjunto de ecossistemas que mantém estreita relação com o oceano, tanto na sua origem como nos processos nele atuantes, possuindo características próprias relativas à composição florística, estrutura da vegetação, funcionamento e nas interações com o sistema solo-atmosfera”.

Assumpção e Nascimento (2000) citam que o termo é utilizado para designar formações diferentes e relativamente variadas. Sugiyama (1998 apud ASSUMPCÃO; NASCIMENTO, 2000) considerou “vegetação de restinga” como um conjunto de comunidades vegetais fisionomicamente distintas, sob influência marinha e flúvio-marinha, distribuídas em mosaico e que ocorrem em áreas com grande diversidade ecológica.

Essas formações vegetais podem seguir padrões de zonação, como acontece com o jundu das faces praias, substituído por arbustos e palmáceas acima da franja do supralitoral. No Brasil, a vegetação de restinga pode alcançar as primeiras elevações da Serra do Mar (RIZZINI 1979 apud ASSUMPCÃO; NASCIMENTO, 2000).

Dos nove mil quilômetros de extensão da linha costeira do Brasil, cinco mil quilômetros apresentam restingas como um conjunto complexo de ecossistemas constituídos por uma variedade de vegetação herbácea, arbórea e arbustiva típica, que fornece características peculiares a esses ambientes (SCHINEIDER; TEIXEIRA, 2001). Originária de outros ecossistemas como Mata Atlântica, Tabuleiros e Caatinga, a vegetação de restinga tem importante papel na estabilização do substrato, assim como a vegetação de duna, protegendo-o principalmente da ação dos ventos, importante agente modificador da paisagem litorânea (ASSUMPCÃO; NASCIMENTO, 2000).

Centenas de espécies que estruturam formações vegetais típicas fazem parte do ecossistema restinga, incorporando também as plantas de dunas. Nesses ambientes, ocorrem espécies arbustivas, herbáceas ou mesmo

de porte arbóreo/lenhoso, como descrito por Assumpção e Nascimento (2000) para a restinga de Iquirá, São João da Barra (RJ).

As restingas suportam rica e diversa comunidade animal, que se desenvolve nos nichos oferecidos pela vegetação (PEDROSO JÚNIOR, 2003). A variedade animal é enriquecida também por espécies visitantes de ambientes vizinhos, como manguezais, dunas e matas de encosta. Predominam entre os invertebrados insetos e aracnídeos, enquanto os vertebrados são representados por várias espécies de anfíbios, lagartos e serpentes. As aves da restinga são abundantes e variadas, bem como a fauna de mamíferos, que encontra neste ambiente abrigo e alimento (TEIXEIRA, 2001; SCHINEIDER; TEIXEIRA, 2001). Em fragmentos de restinga na costa do Paraná, Pedroso Júnior (2003) encontrou 64 espécies de aves, associadas a 14 micro-habitats específicos, mostrando a heterogeneidade ambiental desse ambiente como importante estímulo para a biodiversidade.

### IMPACTOS DAS AÇÕES DE LIMPEZA

Os ecossistemas costeiros terrestres transicionais, como dunas, apicuns e restingas são indevidamente desconsiderados durante as operações de emergência que envolvem vazamentos de óleo no mar. Isso ocorre naturalmente porque como esses ambientes não são diretamente vulneráveis ao óleo, deixam de ser objeto de limpeza pelas equipes de combate.

Apesar disso, reconhecendo sua importância e suscetibilidade indireta às perturbações associadas a vazamentos de óleo, esses ecossistemas são considerados na classificação de sensibilidade do litoral ao óleo definida pelo Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2004a) para mapeamento da costa, da seguinte forma (em ordem crescente de sensibilidade, de 1 a 10):

#### ISL 3 - Índice de Sensibilidade do Litoral

Faixas arenosas contíguas à praia, não vegetadas.

Restingas isoladas ou múltiplas, feixes alongados de restingas tipo *long beach*.

Campos de dunas expostas.

#### ISL 10 - Índice de Sensibilidade do Litoral

Vegetação adaptada ao meio salobro, ou salgado; apicum.

Os impactos diretos gerados pelas operações de combate e limpeza nesses ambientes começam pelos acessos ao mar. O contingente de trabalhadores, máquinas e equipamentos precisam ser conduzidos e instalados na área próxima às regiões atingidas, utilizando vias de passagem já existentes. No entanto, freqüentemente as vias locais constituem “picadas” e caminhos no

interior da mata e vegetação costeira que restringem o trânsito de equipamentos pesados como caminhões a vácuo, caminhões *munk* e caçambas. Nesses casos, a circulação de veículos ao longo de semanas ou meses de trabalho causa perturbações localizadas como desmatamento lindeiro aos acessos, alargamento das vias, poluição atmosférica e geração de ruído. Essas atividades também afugentam a fauna local e alteram as rotas de forrageio.

Em alguns casos, na ausência de acessos a áreas impactadas, é necessário criar novos caminhos, com retroescavadeiras e máquinas pesadas. Quando utilizadas na operação de combate, essas atividades causam danos localizados aos ecossistemas. Logo, só podem ser conduzidas com a expressa autorização e acompanhamento dos órgãos ambientais competentes, normalmente mediante o compromisso de posterior recomposição da área.

Outra ameaça aos ambientes terrestres contíguos ao mar são as atividades de logística ligadas ao suporte das equipes de campo. As bases de campo instaladas nas áreas de maior demanda operam sem interrupção, especialmente nos primeiros dias/semanas da emergência. Nestas bases de apoio se concentram recursos materiais como equipamentos de limpeza, EPIs, suprimentos (água, alimento) e logística de comunicação. Cada uma delas pode agregar centenas de pessoas.

Geralmente instaladas nas áreas de restinga ou de mata, as bases de apoio causam perturbações ambientais como: desmatamento, abertura de clareiras para instalação das barracas de apoio, criação de diversos caminhos e acessos pelos trabalhadores, desmatamento e perturbações na fauna, risco de incêndio, contaminação e poluição local. Este último aspecto merece especial atenção porque é reflexo de ações mal conduzidas das equipes de campo. Também são comuns a presença de grande quantidade e variedade de lixo sólido e a contaminação fecal das imediações das áreas de apoio.

Os representantes dos órgãos ambientais, atentos a essas questões, nem sempre conseguem fiscalizar e controlar centenas de trabalhadores em extensas áreas de atividade. Em inúmeros casos os impactos resultam de falha no planejamento da empresa responsável e falta de recursos como sanitários químicos, tambores e sacos de lixo. Muitas vezes há desrespeito às orientações e recomendações das reuniões de planejamento e de campo. Em atendimento realizado pela CETESB durante vazamento de óleo no litoral norte paulista, em 2002, a contaminação fecal da restinga

foi tão intensa, durante os quase dois meses de trabalho, que exigiu a descontaminação e o “saneamento” de toda a área pelos próprios trabalhadores envolvidos na operação, sob ativa fiscalização.

Os trabalhos de praia podem ameaçar o jundu, vegetação rasteira pós-praia, como resultado do tráfego intenso de trabalhadores, veículos e equipamentos. A destruição dessa vegetação tende a desestabilizar o sedimento e pode resultar em perturbações fisiográficas da face praial.

Ante essa realidade, alguns cuidados e procedimentos devem ser adotados para minimizar os impactos das ações de combate nesses ambientes:

- preservar tanto quanto possível os acessos naturais existentes, evitando o desmatamento e poda desnecessária de vegetação;
- impedir o tráfego de veículos fora dos acessos sob risco de danificar a fauna e a flora das restingas, dunas e apicuns;
- criar novos acessos, estritamente quando necessário e de forma criteriosa, estabelecendo trajetos que minimizem os danos à fauna e à flora;
- adotar medidas de proteção quando os acessos atravessarem cursos d'água, para evitar o assoreamento a jusante como resultado da passagem de veículos pelo leito;
- orientar as equipes de campo para não contaminarem o ambiente com resíduos sólidos (reservatórios para acondicionamento de lixo podem ser colocados ao longo dos acessos);
- instalar sanitários químicos ao longo dos acessos, para preservar o ambiente da contaminação fecal;
- manter estrutura para recolhimento de resíduos sólidos e sanitários químicos nas bases fixas;
- impedir a queima de resíduos sob risco de incêndio, especialmente na restinga;
- controlar os acessos secundários, orientando os trajetos com fitas zebradas e estacas, para evitar a circulação desnecessária pelo interior da mata, causando impactos na flora e fauna pelo pisoteio;
- estabelecer adequadamente uma área para disposição temporária de resíduos, impermeabilizada com lona, e devidamente demarcada e monitorada;
- restabelecer as áreas afetadas após o término da operação;
- submeter toda e qualquer ação de manipulação ou alteração do ambiente à apreciação e aprovação dos órgãos ambientais e governamentais competentes;
- lembrar que estes ambientes são protegidos por lei e as infrações estão sujeitas às sanções legais.

Entende-se por resíduo oleoso todo material que contenha óleo em quantidade não desprezível e que tendo perdido as características funcionais não possa mais ser empregado com sua utilidade original.

As ações de resposta aos derrames de petróleo e derivados geram diferentes tipos de resíduos oleosos, decorrentes da própria operação de combate como a mistura água-óleo recolhida pelos equipamentos, as barreiras e demais produtos absorventes usados no mar bem como o lixo e a areia contaminados removidos das praias. Há também a geração de vários tipos de resíduos não oleosos como embalagens descartáveis que envolvem produtos absorventes, água e alimentos destinados às equipes de trabalho e restos de refeições servidas em campo, entre outros.

Um procedimento freqüentemente observado nas ações de emergência é o acondicionamento conjunto e sem critério de todos os tipos de resíduos contaminados e não-contaminados, recicláveis e não-recicláveis. Muitas vezes ocorre a remoção de mais volume de areia das praias do que o necessário, sem os devidos cuidados com o acondicionamento e forma de disposição em campo, nem com o transporte para a instalação provisória e sua destinação.

Geralmente observa-se que os cuidados no recolhimento e acondicionamento desses resíduos só se iniciam nas etapas finais da operação de combate, resultando na geração de grandes volumes de embalagens (*big bags*, tambores, sacos plásticos etc.), e que poderiam ter sido previamente segregados em embalagens distintas, considerando o tratamento posterior e a disposição final.

O plano de ação de emergência de um terminal marítimo, porto ou instalação que manuseie petróleo e derivados deve incorporar a gestão de resíduos oleosos, que abrange basicamente as seguintes etapas:

- identificação e triagem dos resíduos gerados;
- coleta e acondicionamento segregado segundo tipo e destinação;
- disposição provisória *in loco* e na instalação;
- procedimentos de transporte;
- caracterização e classificação dos resíduos;
- definição do processo de tratamento e disposição.

Assim sendo, um bom entrosamento entre o gerenciamento das atividades de combate do óleo no mar, a limpeza das áreas afetadas e o gerenciamento de resíduos em uma operação emergencial somente trará benefícios ambientais, econômicos e à saúde pública, pois a retirada de pequenas quantidades de areia contaminada não só minimiza o impacto já provocado pelo óleo, como reduz os custos de embalagem, tratamento e destinação.

A remoção, transporte, armazenagem e destinação dos resíduos oriundos dos vazamentos de óleo no mar são sempre de responsabilidade do agente poluidor. A gestão desses resíduos deve ser aprovada pelo órgão estadual de controle ambiental.

Durante as operações de emergência coexistem várias formas de pressão para a limpeza dos ambientes afetados ser realizada no prazo mais curto possível. A fim de acelerar a limpeza, “o agente poluidor” recruta trabalhadores, às vezes com pouca experiência, que recebem rápida orientação sobre a atividade a ser realizada, após o que são distribuídos pelas praias de acordo com certas prioridades como, por exemplo, gravidade da contaminação, importância socioeconômica e política do local, entre outras.

A preocupação com a estética e a exigência da limpeza imediata tanto pela comunidade, mídia, como prefeituras, muitas vezes se sobrepõem a critérios e recomendações técnicas para que as ações de remediação não se tornem mais danosas aos ecossistemas do que os efeitos do próprio óleo (MILANELLI; LOPES; JOHNSCHER-FORNASARO, 1991; LOPES et al., 1992; LOPES; MILANELLI; JOHNSCHER-FORNASARO, 1994a, 1994b; MILANELLI, 1994; POFFO et al., 1996).

Para otimizar a gestão de resíduos formados nessas ocorrências, é necessário o planejamento antecipado, tal como ocorre nos procedimentos para contenção e remoção do óleo no mar e limpeza dos ambientes atingidos. A incorporação do gerenciamento ambiental de resíduos oleosos à operação de emergência é recente. Empregada pela primeira vez em 1998, revelou-se eficiente para minimizar o volume de resíduos produzidos (CETESB, 1998), pois antes desta data a relação entre o volume de resíduo gerado nas operações de combate no litoral de São Paulo chegou a ser três vezes maior do que a quantidade de óleo vazada (POFFO et al. 1996). Este cenário mudou efetivamente a partir de 2000, quando foram implantados procedimentos de recolhimento e acondicionamento de resíduos oleosos dos não oleosos de forma segregada na própria praia (CETESB, 2000, 2001).

O plano de gerenciamento de resíduos em derrames de óleo obteve amparo legal com a Resolução CONAMA 293, de 12/12/2001 (BRASIL, 2002), que dispõe sobre o conteúdo mínimo dos Planos de Emergência Individual e norteia no Anexo I, Inciso 3.5.8, portos organizados, instalações portuárias ou terminais, dutos, plataformas e suas respectivas instalações de apoio, a descreverem os procedimentos previstos para coleta, acondicionamento, transporte, classificação, descontaminação e

disposição provisória (*in loco* e na instalação) e definitiva dos resíduos gerados nas operações de controle e limpeza do derrame de óleo, em áreas previamente autorizadas pelo órgão ambiental competente.

Com base na experiência adquirida pela CETESB em ocorrências dessa natureza, verificou-se a necessidade de elaborar uma proposta de modelo básico de gerenciamento de resíduos em ações de emergência, cujo teor é apresentado nesta publicação.

## TIPOS DE RESÍDUOS GERADOS

No atendimento a uma emergência envolvendo derrames de óleo, quer durante as atividades de contenção e remoção em mar, na limpeza de ambientes, ou nas frentes de trabalho, pelas equipes associadas, diversos tipos de resíduos podem ser gerados, entre os quais, estão:

- resíduos oleosos líquidos ou mistura água-óleo e resíduos sólidos impregnados com óleo, lixo flutuante (embalagens plásticas, algas e vegetação terrestre, principalmente após fortes chuvas), barreiras de contenção, barreiras absorventes, materiais absorventes e cabos de amarração danificados, entre outros;
- resíduos oleosos líquidos recolhidos e resíduos sólidos impregnados com óleo. Além dos já citados, produtos absorventes utilizados na limpeza de superfícies das praias, costões entre outros ecossistemas e resíduos trazidos pela maré (vegetação, troncos, animais mortos ou moribundos) etc.;
- óleo impregnado em rampas, muretas, colunas de píeres, costado de embarcações, maricultura, equipamentos de pesca (remos, redes, cercos e currais), poitas de atracação e bóias de sinalização. Os resíduos constituem-se basicamente de material empregado na contenção e limpeza, lixo flutuante e todo equipamento de pesca sem condições de ser reaproveitado, e muitos outros;
- resíduos provenientes de oleodutos terrestres. O volume de resíduo gerado neste caso tende a ser muito grande, pela própria característica do cenário acidental, o ambiente terrestre. Constitui-se principalmente de terra e vegetação removidas na faixa do duto e áreas adjacentes impregnadas com óleo. Inclui materiais de limpeza, animais mortos ou moribundos (insetos, peixes, répteis, aves e pequenos mamíferos) e o resíduo oleoso passível de coleta mecânica ou manual, entre outros;
- resíduos gerados nas situações pós-emergenciais. Também chamadas de “operação pente-fino”, abrangem a remoção do óleo intemperizado à deriva, desprendido das áreas afetadas (costões, vegetação e sedimento), como manchas iridescentes, pelotas e placas de piche trazidas pela maré para as praias, bem como o material utilizado na limpe-

za de estruturas. Entre outros resíduos, há também água oleosa que provém da lavagem das barreiras e demais equipamentos empregados nos trabalhos de remoção e contenção;

- vários tipos de resíduos gerados pelas equipes que atuam nas frentes de trabalho. Destacam-se, entre outros, embalagens para alimentos (alumínio, plástico ou isopor), garrafas plásticas de água, latas de refrigerantes, pratos e talheres descartáveis, resíduos de alimentos, embalagens para acondicionar EPIs, panos e estopas usadas para limpeza pessoal (sujos ou não de óleo), e roupas impregnadas com óleo.

## FATORES QUE INFLUENCIAM O VOLUME DE RESÍDUOS GERADOS

O volume dos resíduos gerados, sólidos e líquidos, varia de acordo com:

- tempo de resposta das equipes de combate - quanto mais rápido e eficiente for o início dos trabalhos de contenção e remoção do óleo no mar e de proteção das áreas sensíveis, menor será a possibilidade de os ambientes serem atingidos e a quantidade de áreas afetadas;
- volume vazado - quanto maior a quantidade de óleo vazado e mais lenta a capacidade de resposta, maior será o volume de resíduo gerado;
- tipo de óleo envolvido - vazamentos de óleos leves tendem a gerar menos resíduo que os óleos pesados ou misturas oleosas, porque apresentam menor possibilidade de infiltração no sedimento e de adesão às superfícies;
- aspecto e forma como o óleo atinge a região costeira - óleos leves e óleos pesados bem intemperizados (na forma de filmes iridescentes, placas de piche ou pelotas) tendem a atingir praias, costões, marismas, manguezais e estruturas de forma superficial e gerar volume pequeno de resíduos. Manchas densas e escuras com aspecto de “mousse” de chocolate aderem com facilidade ao sedimento, dificultam sua remoção, tendem a agregar lixo e vegetação flutuante e geram maior volume de resíduos;
- tipo de áreas afetadas - entre os ambientes naturais, as praias contaminadas tendem a gerar mais resíduos do que os costões, marismas e manguezais, devido ao volume de areia contaminada que será removido, principalmente se houver infiltração no sedimento. Nas áreas construídas, como muretas, estruturas portuárias, estaleiros, píeres de atracação de embarcações e estabelecimentos náuticos é de se esperar que seja removido razoável volume de lixo flutuante normalmente encontrado nesses locais. A técnica de limpeza empregada nessas áreas pode minimizar ou aumentar a geração de resíduos;

- amplitude de exposição das áreas atingidas - as manchas de óleo podem chegar na maré alta, no período entremarés, ou na maré baixa. Poderá haver maior geração de resíduos oleosos se as áreas forem atingidas no período entremarés;
- presença de lixo flutuante ou na orla - nos locais onde há maior concentração desse resíduo é grande o volume de material a ser removido, acondicionado, transportado e disposto. Há locais de fácil acesso, como algumas praias e áreas construídas e os de difícil acesso, como certas praias, costões e manguezais. Os bosques de mangues próximos de núcleos urbanos apresentam a tendência de acumular o lixo trazido pela maré entre as árvores; caso esteja impregnado com óleo, pode-se prever a retirada desse resíduo por meio de embarcação pequena e de baixo calado durante a maré alta;
- presença de chuvas e ventos fortes - a ocorrência de períodos de fortes chuvas, ventos e ressacas tende a transportar grandes volumes de vegetação terrestre e aquática, animais marinhos e lixo flutuante, principalmente em áreas próximas a desembocaduras de rios, manguezais, instalações portuárias e palafitas;
- período do ano em que ocorreu o derrame de óleo - vazamentos de óleo fora dos períodos de temporada tendem a gerar menos resíduos do que em períodos de alta temporada e feriados prolongados, quando é grande o número de turistas e considerável o volume de produtos descartáveis deixados nas praias e levados pelas marés;
- metodologia empregada na limpeza das áreas afetadas - a utilização de recursos mecânicos para limpeza e rápida liberação das praias e demais áreas afetadas e o emprego de muitos trabalhadores de forma desorientada tendem a remover grandes volumes de areia ou de terra contaminados. O mesmo não ocorre quando a remoção manual é criteriosa.

### CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

Os resíduos gerados em uma ação de emergência devem ser caracterizados para identificar sua periculosidade e orientar o tipo de gestão mais adequado.

Para caracterizar o resíduo oleoso e verificar a adequabilidade da destinação pretendida é necessário obter informações específicas sobre sua composição, especialmente quanto ao teor de benzeno, hidrocarbonetos poliaromáticos (HPAs), hidrocarbonetos totais de petróleo (HTPs) e propriedades como estado físico e poder calorífico.

Na classificação dos resíduos quanto ao perigo ao meio ambiente e à saúde pública, recomenda-se con-

sultar as Normas ABNT/NBR 10.004 Resíduos sólidos – Classificação (ABNT, 2004a), e ABNT/NBR 10.007 – Amostragem de resíduos (ABNT, 2004b) que fixa as condições exigíveis para amostragem, preservação e estocagem das amostras. Os resíduos são classificados como perigosos e não-perigosos, o que depende de sua composição e propriedades.

#### Resíduo perigoso (Classe I)

Serão classificados como perigosos os resíduos nos quais forem verificadas propriedades de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e/ou patogenicidade e que podem apresentar perigo à saúde pública, provocando ou contribuindo para o aumento de mortalidade ou incidência de doenças e/ou efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

Servem de exemplo areia contaminada, animais petrolizados mortos, materiais absorventes (panos, estopas, turfa, barreiras absorventes), barreiras de contenção contaminadas e danificadas, vegetação marinha e terrestre, embalagens plásticas (garrafas, PETs), cabos de náilon e demais resíduos impregnados com óleo. A determinação do conteúdo de óleos em areias é realizada idealmente pela análise de HTP.

#### Resíduo não-perigoso (Classe II)

Serão classificados como não-perigosos os resíduos ou a mistura de resíduos que não se enquadrem na Classe I. Exemplos: barreiras de contenção descontaminadas, embalagens plásticas (garrafas e sacos plásticos), cabos de náilon e lonas sem óleo.

### GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS NAS OPERAÇÕES DE COMBATE

A preocupação com os resíduos deve ter início antes que o óleo atinja as praias e outras áreas sensíveis. Para aperfeiçoar esse procedimento, recomenda-se que no organograma do plano de ação de emergência seja indicado um representante para responder pela coordenação das operações de limpeza, que será acionado simultaneamente com o coordenador das operações de combate no mar, e que colocará em prática os procedimentos básicos sugeridos para a gestão dos resíduos oleosos: planejamento, triagem e embalagem, identificação e pesagem, armazenagem, transporte, tratamento e destinação, a seguir descritos.



**15.1.** Infra-estrutura montada em campo, com embalagens para acondicionar resíduos oleosos. Banco de Imagens da CETESB

### Planejamento

É importante que o responsável geral por esta atividade acompanhe a operação de combate desde o início, para melhor planejar sua estratégia de ação, e que indique um ou mais técnicos para acompanhar os trabalhos de gestão de resíduos, conforme a quantidade de áreas afetadas, antes de acionar o deslocamento das equipes. Recomenda-se que o responsável geral atue em consonância com representantes do órgão de controle ambiental e a prefeitura envolvida. Para ajudar a planejar a metodologia a ser empregada, devem ser verificados os seguintes itens:

- quantidade e tipo de ambiente afetado, com prioridade para os de maior sensibilidade ecológica e importância socioeconômica;
- forma como o óleo chegou ou está chegando às áreas afetadas (denso, mousse, filmes e pelotas) e extensão das áreas afetadas;
- presença ou ausência de lixo flutuante e de resíduos trazidos pela maré;
- possibilidade do recolhimento prévio dos resíduos antes da chegada do óleo, ou de recontaminação;
- viabilidade de coletar resíduos limpos, de modo seletivo, separando os que não estão contaminados e os que podem ser recicláveis;
- embalagem mais adequada para acondicionar os resíduos;
- disponibilidade de áreas para disposição provisória *in loco* dos resíduos, acima do limite da maré mais alta, considerando a necessidade de impermeabilizar o solo;
- local utilizado para armazenagem temporária dos resíduos e de materiais a serem utilizados (foto 15.1);
- vias de acesso às áreas atingidas por terra e por mar para caminhões basculantes, caminhão *munck*, ou barcaças, se for o caso;
- necessidade de designar técnico para coletar as amostras que servirão para classificar os resíduos conforme normas da ABNT;



**15.2.** Recolhimento manual de resíduo oleoso em costão rochoso e armazenagem temporária em tambor. Banco de Imagens da CETESB

- tratamento e destino final dos resíduos contaminados;
- empresas capacitadas e credenciadas pelo órgão ambiental competente para transportar, receber e tratar os resíduos.

Cabe lembrar a importância da relação prévia dos recursos materiais e humanos que serão empregados na operação (próprios e de terceiros), abrangendo a localização dos equipamentos de apoio (ferramentas manuais e maquinaria como retroescavadeira, escavadeira hidráulica e caminhão *munck*), e os responsáveis que serão contatados, inclusive fora do horário comercial. Recomenda-se o cadastro e o treinamento (teórico e prático) de contratados e voluntários.

Para gerenciar os resíduos líquidos, o responsável pelo planejamento e pelas ações poderá ser o próprio coordenador das operações de mar ou o técnico designado pelo coordenador geral da operação.

Além de providenciar os recursos mais adequados para o recolhimento do óleo no mar, ou em áreas onde ficou confinado (por exemplo, em poças de maré e entre pedras), para acondicionamento temporário, como barcaças recolhedoras, armazenadores infláveis e tambores (15.2 e 15.3) e para transporte do produto recolhido, é necessário verificar a capacidade da instalação para armazenagem, o tempo em que ficará temporariamente disposto e o destino a ser dado.

Os tanques portáteis infláveis vêm sendo muito utilizados para acondicionar temporariamente a mistura oleosa no mar ou em terra (foto 15.4) e podem ser transportados facilmente para as instalações onde serão descarregados. O líquido contido nos tanques pode ser transferido ainda em campo para caminhões-tanque ou caminhões-vácuo e ser transportado à instalação que vai recebê-lo.



15.3. Recolhimento de resíduo oleoso a vácuo e armazenagem temporária em tambor. Banco de Imagens da CETESB.

Nas instalações que normalmente manuseiam óleo, o resíduo líquido pode ser transferido para os separadores de água e óleo (SAO) e, na falta destes, ser destinado a tanques ou locais adequados, após aprovação do órgão de controle ambiental. Entretanto, no caso de acidentes ambientais de grandes proporções, é necessário prever a disponibilidade do emprego de veículos apropriados para a retirada dos tanques cheios e a transferência do seu conteúdo para a instalação onde todos os resíduos serão acondicionados de maneira segura e eficiente.

### Triagem e embalagem

O trabalho de triagem e embalagem diferenciada dos diferentes tipos de resíduos ajuda a reduzir o volume gerado e otimiza o processo de armazenagem e disposição.

A triagem consiste em segregar e acondicionar os resíduos oleosos dos não-oleosos e identificá-los de forma adequada, considerando o tipo de tratamento e a disposição que devem ter. Os resíduos não-oleosos podem ser divididos em recicláveis e não-recicláveis. Os oleosos devem ser separados de forma a identificar quais são passíveis de tratamento, como resíduo líquido oleoso, barreiras de contenção não danificadas e panos de limpeza. Areia, materiais absorventes e vegetação contaminada podem ser separados de acordo com o grau de contaminação e tipo de destino.

Em campo, onde os trabalhos de limpeza estiverem sendo realizados, a triagem pode ser feita no próprio local, desde que haja condições favoráveis, como terreno plano, distância de corpos d'água e impermeabilização do solo, por exemplo, com lonas plásticas. No interior da instalação na qual os resíduos estiverem sendo recebidos, a área deve ser plana, preferencialmente coberta, cimentada ou revestida com lona, distante de canais de água pluvial, de modo a evitar a contaminação do terreno, o escoamento e perdas para corpos d'água. Deve ser ventilada, a fim de impedir o enclausuramen-



15.4. Tanques infláveis para acondicionamento de resíduo oleoso. Banco de Imagens da CETESB.

to de possíveis vapores inflamáveis. Recomenda-se dar prioridade à tarefa de triagem em campo, para agilizar os trabalhos posteriores de destinação.

Para uma boa embalagem, os resíduos sólidos oleosos recolhidos devem ser acondicionados adequadamente em recipientes apropriados, de modo a evitar que haja extravasamento do óleo e contaminação de áreas limpas enquanto estiverem temporariamente dispostos ou durante a operação de transporte. Entre os materiais mais utilizados estão tambores de metal ou plástico de 200 litros, com tampa, sacos de ráfia e do tipo *big bag* para grandes volumes e sacos plásticos comuns para pequenas quantidades.

De acordo com a caracterização dos resíduos, recomenda-se separá-los da seguinte maneira:

- resíduos sólidos domésticos recicláveis não contaminados, oriundos do recolhimento manual ou mecânico: embalar, identificar e encaminhar para reciclagem (foto 15.5);
- resíduos sólidos não-recicláveis e não-contaminados, oriundos do recolhimento manual ou mecânico: embalar, identificar e encaminhar para o local utilizado pela prefeitura municipal;
- resíduos e efluentes sanitários - instalar sanitários químicos para evitar contaminação adicional da área de trabalho, desconfortos indesejáveis aos transeuntes e necessidade de limpeza posterior (foto 15.6), considerando a grande quantidade de trabalhadores em campo distantes do acesso a sanitários públicos;
- resíduos contaminados trazidos pela maré oriundos do recolhimento manual ou mecânico (foto 15.7): embalar, identificar e encaminhar para armazenamento temporário e depois para destinação;
- areia levemente contaminada oriunda do recolhimento manual (foto 15.8): embalar, identificar e encaminhar para armazenamento temporário e depois para destinação. Dependendo do grau de



**15.5.** Resíduos provenientes das refeições dos trabalhadores durante a operação de combate. Banco de Imagens da CETESB

intemperismo do óleo e da granulometria do sedimento, podem ser usadas peneiras para separar a areia limpa da contaminada ou providenciada a remoção manual das pelotas de óleo;

- areia intensamente contaminada oriunda do recolhimento manual (foto 15.9): embalar, identificar e encaminhar para armazenamento temporário e depois para destinação;
- produtos absorventes com óleo, oriundos do recolhimento manual (fotos, 15.10, 15.11 e 15.12): embalar, identificar e encaminhar para armazenamento temporário e depois para destinação;
- trapos e panos utilizados na limpeza oriundos do recolhimento manual: embalar, identificar e encaminhar para armazenamento temporário e depois para destinação.



**15.6.** Sanitário químico temporário. Banco de Imagens da CETESB



**15.7.** Vegetação e resíduos oleosos dispostos corretamente. Poffo, Iris / Banco de Imagens da CETESB.



**15.8.** Triagem de areia levemente contaminada trazida em caçamba. Poffo, Iris/Banco de Imagens da CETESB.

### Identificação e pesagem

Para identificar os diferentes tipos de resíduos gerados na ocorrência, recomenda-se elaborar previamente etiquetas padronizadas (foto 15.13) com os seguintes campos: Data, Empresa responsável, Nome da operação de emergência, Origem (nome da praia/local de onde o resíduo foi removido/município), Tipo de resíduo (areia, vegetação, sucata etc.) e Peso estimado.

Recomenda-se que todos os diferentes tipos de resíduos sejam pesados, de preferência diariamente, e para tanto sugere-se a elaboração de tabelas contendo: nome da operação, data, local (praia e município ou somente município), tipo de resíduo e volume, conforme exemplo:

Operação	Referência ao nome da operação, do evento ou da instalação
Local	Identificação da praia/município
Tipos de resíduos	Areia contaminada.....=> 95 m <sup>3</sup> Lixo contaminado.....=> 5 m <sup>3</sup> Material reciclável .....=> 1 m <sup>3</sup> Barreiras absorventes .....=> 10 m <sup>3</sup> Areia contaminada .....=> 95 m <sup>3</sup>
Somatório parcial	Diária e/ou por município .....=> 111 m <sup>3</sup>
Somatório total	Cálculo a ser efetuado no encerramento da operação

## 15. Gerenciamento de resíduos oleosos em operações de emergência



15.9. Areia contaminada segregada e acondicionada corretamente em tambor. Poffo, Iris / Banco de Imagens da CETESB



15.11. Barreiras absorventes dispostas em tambores. Poffo, Iris / Banco de Imagens da CETESB



15.10. Barreiras absorventes (brancas) sendo usadas na remoção de óleo no mar. Poffo, Iris / Banco de Imagens da CETESB



15.12. Barreira absorvente disposta em separador de água e óleo. Banco de Imagens da CETESB

### Armazenamento

Toda e qualquer armazenagem de resíduos oleosos deve ser feita em sistemas projetados e implantados para esse fim, minimizando a contaminação ambiental, conforme critérios estabelecidos pelas normas ABNT/NBR 12.235 – Armazenamento de resíduos sólidos perigosos (ABNT, 1992) e procedimento ABNT/NBR 11.174 – Armazenamento de resíduos sólidos Classe II (ABNT, 1990a).

Durante as operações de combate aos derrames de óleo, podem existir três tipos de armazenagem:

- temporário *in loco*, na própria área onde estão sendo desencadeadas as atividades de limpeza (praia, porto, píer, faixa do oleoduto etc.);
- temporário na instalação, no interior da empresa responsável ou em local combinado no município para esse fim, com ciência do órgão estadual de controle ambiental e da prefeitura municipal, se for o caso;
- permanente, no local combinado entre a instalação responsável pelos resíduos, o órgão ambiental competente e a empresa contratada para tratamento e destinação.

Dependendo das peculiaridades da ocorrência e das soluções que serão adotadas para o tratamento ou a destinação do resíduo, o armazenagem temporário junto ou próximo à área de trabalho poderá ser necessário; no entanto, deve ser consultado o órgão estadual de controle ambiental para sua aprovação. Devem-se

adotar precauções especiais para garantir a proteção ambiental, o manuseio seguro dos resíduos e minimizar eventuais perdas do produto, como o revestimento sintético no local da armazenagem para evitar contaminação do solo (fotos 15.14 e 15.15).

A foto 15.16 exemplifica a disposição provisória adequada de resíduos oleosos em galpão de uma área portuária, na qual o piso foi forrado com lonas plásticas resistentes e mantas absorventes. Para evitar perda do óleo residual colocaram-se barreiras absorventes alinhadas nas extremidades, tanto próximo à parede do fundo como na extremidade dianteira e nas laterais. Extintores de incêndio também foram providenciados.



15.13. Etiqueta adesiva de identificação de resíduo colada em um big bag. Banco de Imagens da CETESB



**15.14.** Armazenamento temporário de pequeno volume na praia em um depósito. Banco de Imagens da CETESB



**15.16.** Disposição temporária correta em galpão. Ecosorb Tecnologia Ambiental

### Transporte

A preocupação com o transporte de resíduos deve começar assim que o processo de limpeza tiver início, principalmente para avaliar a viabilidade de acesso ao local onde serão realizados os trabalhos manuais. Determinados locais podem estar próximos às vias públicas e rodovias por onde ocorrerá o trânsito de veículos leves e pesados (caminhonetes e caminhões) para o transporte de resíduos até a instalação. Porém também é possível que o acesso seja restrito apenas aos pedestres ou às embarcações, dificultando a mobilização de pessoas e de materiais, ainda mais se a área atingida for de grande extensão. Recomenda-se verificar previamente se o tráfego de qualquer tipo de veículo motorizado será permitido nas unidades de conservação situadas na orla marítima, como os parques nacionais.

No caso da retirada de grandes volumes de resíduos por mar, é necessário dispor de embarcação apropriada

que possa chegar à praia (baixo calado), considerando a área abrigada ou exposta à ação das ondas, as condições de mar (calmo ou revolto), de maré (baixa-mar e preamar) e a segurança do barco e da tripulação (fotos 15.17 e 15.18).

Levando em conta essas e outras variáveis que possam surgir, recomenda-se que o responsável pelo gerenciamento de resíduos faça uma avaliação preliminar das áreas atingidas junto com o coordenador das atividades de limpeza, por meio terrestre, marítimo e aéreo, antes de desencadear a mobilização dos recursos, tendo como material de apoio mapa de áreas sensíveis, outros mapas da região e o equipamento Global Position Satellite (GPS) para anotação de coordenadas geográficas.

Uma vez avaliada a área atingida e determinadas as melhores condições de acesso, pode-se pensar na etapa de transporte dos resíduos para a instalação onde serão



**15.15.** Disposição temporária de grandes volumes no interior de uma instalação. Banco de Imagens da CETESB



**15.17.** Transporte de resíduos da praia para uma embarcação (workboat). Banco de Imagens da CETESB



**15.18.** Transferência de resíduos entre embarcações.  
Banco de Imagens da CETESB.

aconicionados temporariamente e para o destino final onde serão tratados, tomando-se as devidas precauções para evitar perda da carga durante o percurso. Da área afetada até a instalação, qualquer veículo pode ser empregado para o transporte de resíduos, considerando que poderão passar por vias públicas municipais, trechos de rodovias e travessia de balsas (fotos 15.19 e 15.20).

Da instalação até a empresa onde será feito o tratamento final, os veículos e equipamentos devem portar os documentos de inspeção e capacitação (em validade) que atestam sua adequação. Deve-se observar a Resolução ANTT 420 de 20/02/2004 (BRASIL, 2004b).

### Roteiro básico para o gerenciamento de resíduos

As sugestões de Chiuviute e Andrade (2001) para a gestão de resíduos sólidos industriais em empresas foram incorporadas à realidade dos derrames de óleo com base na experiência da CETESB nas operações de emergência, conforme os seguintes procedimentos:

- caracterização do resíduo - levantamento preliminar de todos os tipos de resíduos que podem ser gerados durante as operações de combate ao óleo no mar e nos ambientes costeiros (naturais e



**15.20.** Transporte de resíduos oleosos por balsa.  
Banco de Imagens da CETESB.

antrópicos), e identificação dos possíveis pontos de geração do material residual. Exemplo: areia ou terra oleosa, materiais absorventes contaminados, barreiras de contenção danificadas, embalagens de equipamentos e de alimentos;

- destinação - verificação da forma de destino mais adequada para cada tipo de resíduo já caracterizado;
- cadastro de empresas - identificação e cadastramento das empresas mais capacitadas para transporte, recebimento e tratamento dos resíduos e sua classificação por município ou região de acordo com a especialidade;
- minimização - avaliação das possibilidades de inibição e/ou minimização da geração de resíduos. Exemplos: evitar a remoção desnecessária de areia, terra e vegetação oleosa; retirar resíduos domésticos nos ambientes costeiros antes que sejam atingidos pelas manchas de óleo; providenciar a substituição de barreiras absorventes usadas por novas, apenas quando estiverem totalmente impregnadas;
- reaproveitamento - possibilidade de reaproveitar o resíduo gerado. Exemplo: segregar e providenciar a lavagem dos tecidos e outros materiais utilizados na limpeza dos trabalhadores e equipamentos, reu-



**15.19.** Descarregamento de resíduos em "big bags" por caminhão *munck* na instalação. Banco de Imagens da CETESB.



**15.21.** Lavagem de barreiras de contenção sujas de óleo.  
Banco de Imagens da CETESB.

utilizar barreiras absorventes não saturadas para circundar embalagens com resíduos sólidos oleosos na área destinada à disposição provisória; identificar as barreiras de contenção que não foram danificadas seriamente e submetê-las ao processo de lavagem (fotos 15.21 e 15.22);

- inventário - levantamento dos tipos de resíduos gerados diariamente durante a operação de emergência (areia/terra/vegetação oleosa, equipamentos, embalagens descartáveis e recicláveis não-contaminadas etc.). Registro dos dados em planilha, conforme sugerido a seguir:

Inventário de resíduos oleosos. Operação XYZ – planilha 1							
Data	Município	Local/praia	Volume (m³)	Tipo de resíduo	Classe de resíduo	Destinação provisória	Observações

Podem ser incluídas outras colunas para a descrição do estado físico dos resíduos, aspecto geral, forma de embalagem (tambores metálicos, tambores plásticos, sacos plásticos ou de rafia etc.) e meio de transporte, se necessário.

Devem ser previstos os tipos de resíduos que podem ser gerados nas ações pós-emergenciais, ou seja, limpeza de estruturas, de embarcações de pesca ou lazer, de equipamentos de pesca, limpeza e remediação dos

ecossistemas afetados, se procedente, entre outros. Deve-se ainda considerar a possibilidade de inibição e/ou minimização dos resíduos e seu reaproveitamento.

Com base na planilha diária poderá ser elaborada a planilha geral da operação. Caso estejam envolvidos vários municípios, sugere-se a adoção de planilhas separadas. Também poderão ser incluídas outras colunas, conforme exemplo anterior.

Planilha geral de resíduos oleosos gerados Operação XYZ Período: ..... a .....Mês/Ano – Município:.....					
Tipo de resíduo	Volume (m³)	Classe de resíduo	Estado físico	Destinação provisória	Tipo(s) de tratamento

## TRATAMENTO E DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS OLEOSOS

Há muitas opções disponíveis que variam de acordo com:

- estado físico do resíduo (líquido, sólido);
- quantidade de resíduo gerado;
- características físicas e químicas do resíduo;
- concentrações dos contaminantes presentes no resíduo e toxicidade;
- condições de armazenagem até o tratamento ou disposição;
- geração de novos resíduos durante o transporte e tratamento do resíduo;
- condições climáticas e geológicas do local onde será disposto;
- custo dos métodos de transporte, tratamento e destinação;
- características do entorno onde será feito o tratamento, de maneira que não cause perigo e incômodo à comunidade circunvizinha.

A técnica escolhida para tratamento e destinação de resíduos oleosos deverá ser aprovada pelo órgão estadual de controle ambiental.

As técnicas de tratamento e destinação que vêm sendo empregadas com maior frequência para os resíduos líquidos e sólidos gerados em operações de combate aos derramamentos de óleo são:

- rerrefino para resíduos líquidos oleosos,
- aterros,
- incineração,
- dessorção térmica,
- *landfarming*,
- biopilha,
- lavagem da areia contaminada,
- solidificação, e
- co-processamento.

### Rerrefino para resíduos líquidos oleosos

As técnicas de rerrefino e recuperação baseiam-se na separação do óleo não oxidado dos demais resíduos, por uma seqüência de tratamentos físicos e químicos ou por destilação. Em condições ideais, todo o óleo derramado deveria ser coletado para reutilização, o que depende de fatores como o tipo de produto liberado e as condições de intemperização em que se encontra.



15.22. Lavagem de barreiras de contenção sujas de óleo. Banco de Imagens da CETESB

### Aterros

Os aterros para recebimento de resíduos devem ter características construtivas e de projeto que minimizem os impactos ao ambiente, e apresentar impermeabilização inferior, sistema de drenagem de líquidos percolados e drenagem superficial, além de operação, monitoramento, encerramento e cobertura final adequados. Devem ser projetados, implantados e operados de acordo com as Normas Técnicas ABNT/NBR 10.157 - Aterro de resíduos perigosos – Critérios para projeto, construção e operação – Procedimentos para os resíduos classificados como perigosos (ABNT, 1987) e ABNT/NBR 13.896 - Aterro de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação para os demais resíduos (ABNT, 1997b).

A disposição de areia e de outros materiais contaminados com óleo poderá ser tolerada em situações emergenciais, desde que não comprometa a operação normal e a vida útil do aterro e que seja aprovada pelo órgão de controle ambiental.

Entretanto, em virtude das características físicas e químicas, a disposição de resíduos com teores de óleos superiores a 5% em aterros sanitários e industriais não é considerada uma técnica apropriada para a sua destinação pela CETESB. Também não podem ser recebidos em aterros resíduos contendo líquidos livres, conforme a Norma Técnica ABNT/NBR 12.988 – Líquidos livres – Verificação em amostra de resíduos (ABNT, 1993), que estabelece o método utilizado para determinação da presença desses líquidos em amostras representativas obtidas de acordo com a ABNT/NBR 10.007 – Amostragem de resíduos – Procedimentos (ABNT, 2004b).

### Incineração

Para a queima dos resíduos perigosos os incineradores devem ser projetados e operados de modo a atender ao disposto na Norma Técnica ABNT/NBR 11.175 – Incineração de resíduos sólidos perigosos – Padrões de desempenho (ABNT, 1990b), que fixa as condições exigíveis de desempenho do equipamento para incineração desses resíduos, exceto aqueles assim classificados apenas por patogenicidade ou inflamabilidade. Recomenda-se consultar a Resolução CONAMA 316, de 29/10/2002 (BRASIL, 2002b), que dispõe sobre procedimentos e critérios para funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.

Os incineradores podem ser fixos e móveis. Os incineradores fixos destroem os compostos tóxicos pela queima em equipamentos que operam em alta temperatura (acima de 800°C) sob condições controladas. Os incineradores podem ser de vários tipos: injeção líquida, forno rotativo, leito fluidizado e forno de múltiplos estágios. Entre as vantagens da utilização do processo de incineração estão a velocidade de destruição do resíduo e a possibilidade do seu aproveitamento como combustível auxiliar devido ao elevado poder calorífico. As desvantagens são o alto custo associado ao seu sistema de controle de poluição do ar. É uma técnica apropriada para a queima do óleo recuperado que não pode ser utilizado no rerrefino e para os materiais absorventes.

Os incineradores móveis são adaptados para deslocamento até as frentes de trabalho. São apropriados para resíduos que contenham entulho e vegetação. Apresentam como vantagem não ser necessário retirar o material do local, o que elimina os gastos com trans-

porte. Como desvantagem, além do custo elevado, destaca-se a dificuldade de licenciamento pelo órgão de controle ambiental.

A queima do resíduo no próprio local onde se realizam as atividades de limpeza (a céu aberto) não é considerada aceitável, em virtude da emissão para a atmosfera de compostos tóxicos indesejáveis, cuja formação estaria associada à queima incompleta dos resíduos que podem produzir níveis não aceitáveis de poluição do ar. O incinerador deve ter 99,99 % de eficiência na destruição e remoção de Principal Composto Orgânico Perigoso (PCOP) que requer tempo de residência e temperatura suficientes para ser completamente destruído.

Deve ser prevista a instalação de equipamentos adequados de controle de poluição do ar para a retenção de eventuais compostos tóxicos formados. Sempre que esse procedimento for sugerido em uma emergência, o órgão ambiental competente deverá ser consultado quanto à pertinência de sua aplicação.

### **Dessorção térmica**

Trata-se de processo no qual o solo contaminado com óleo é submetido a 600°C em forno rotativo, quando então os compostos orgânicos são evaporados. O solo limpo é resfriado, umedecido e transferido para pilhas. O gás contendo os contaminantes volatilizados é encaminhado para uma câmara de pós-combustão na qual os compostos voláteis são destruídos a 1.200°C. O tempo de residência na câmara de pós-combustão é de cerca de dois segundos. Os gases são tratados para minimizar as emissões atmosféricas e atender aos padrões ambientais vigentes.

A dessorção térmica oferece vantagens econômicas em relação à incineração. O solo processado pode ser empregado como material de enchimento e de cobertura em aterros. Devido à temperatura relativamente baixa de operação, tanto a estrutura quanto as propriedades do solo não mudam de modo significativo.

### **Landfarming**

O resíduo oleoso é incorporado ao solo, sob condições controladas, para promover a degradação e a imobilização dos contaminantes perigosos. O resíduo é aplicado à superfície de uma área e misturado com o solo por meio de equipamentos convencionais, como tratores equipados com arados e/ou grades. Para o projeto e operação dessa forma de tratamento deve-se observar o que estabelece a Norma Técnica ABNT/NBR 13.894 – Tratamento no solo (*landfarming*) (ABNT, 1997 a). Esta técnica é apropriada para tratar óleo não passível

de recuperação, como material orgânico absorvente impregnado (palha, serragem e turfa) e as emulsões de água em óleo. Não é recomendada para a areia retirada das praias porque a incorporação ao solo não permite seu reaproveitamento e também porque a adição de grandes quantidades de areia reduz a eficiência do *landfarming*, alterando as características físicas, químicas e biológicas desse meio.

### **Biopilha**

É um processo usado para reduzir a concentração dos compostos de petróleo nos solos por meio da biorremediação. No tratamento por biopilha os solos ou a areia a ser tratada são misturados na área especialmente preparada para esse fim, dotada de sistema de coleta de percolados e na qual está disponível alguma forma de aeração.

A área de tratamento em geral é coberta e dotada de impermeabilização inferior para minimizar os riscos de contaminação pela lixiviação. O material drenado pode ser tratado em reator biológico, antes de ser reciclado na pilha. Para estimular a degradação utilizam-se nutrientes, aditivos e diferentes métodos de incorporação na pilha a ser tratada. Muitas vezes as formulações são adaptadas às condições específicas do material que receberá tratamento.

De modo geral, as pilhas de solo e células de recebimento são dotadas de um sistema de distribuição de ar por insuflação ou vácuo. Caso o solo a ser tratado emita compostos voláteis, o ar que dele procede deverá ser tratado para remoção ou destruição desses compostos, antes da emissão para a atmosfera. Este tratamento pode durar de algumas semanas até vários meses.

### **Lavagem da areia contaminada**

Consiste na adição de volumes de água à areia com óleo. A técnica de lavagem de areia contaminada por óleo pode ter sua eficiência melhorada significativamente por meio da utilização de surfactantes usados para romper a tensão superficial do óleo, fazendo com que o mesmo fique em solução na forma coloidal. A vantagem do método é que permite o controle total do processo, minimiza a poluição e, em alguns casos, tem alcançado mais de 90% de remoção do óleo. Como desvantagem, gera um efluente que necessita de tratamento adicional, de preferência em estações de tratamento projetadas para esse fim, dotadas de separadores de água e óleo (SAO).

Existem duas formas de aplicação dessa técnica: no próprio local (*in situ*) ou em reatores. A forma

*in situ* não é muito empregada, haja vista a introdução de mais um contaminante no ambiente (água residual oleosa) e também pela dificuldade de estabelecer condições operacionais e ambientais seguras. A aplicação dessa técnica apresentou resultados satisfatórios em ensaios realizados no atendimento a algumas ocorrências. O resíduo foi misturado a uma solução contendo 0,5% de surfactante e submetido a agitação.

### Solidificação

Consiste no pré-tratamento de areia, terra e brita contaminadas no qual os constituintes perigosos do resíduo são transformados e mantidos nas formas menos solúveis ou menos tóxicas, após o que ocorre a geração de uma massa monolítica de resíduo tratado, melhorando tanto sua integridade estrutural quanto as características físicas, tornando seu manuseio e transporte mais fáceis. O objetivo do processo é melhorar as características físicas e de manuseio do resíduo, diminuir a área superficial onde possa ocorrer perda de poluentes e limitar a solubilidade de quaisquer constituintes perigosos contidos no mesmo. O pré-tratamento é usado principalmente para resíduos que contêm metais tóxicos, não sendo muito adotado no caso de resíduos oleosos.

### Co-processamento

Técnica aplicável para areia ou terra contaminada com óleo, embalagens de produtos químicos, resinas e emborrachados, entre outros tipos de resíduos que possam ser utilizados como combustível auxiliar porque possuem aporte térmico compatível para emprego como combustível alternativo. O resíduo oleoso é utilizado em substituição a uma das matérias-primas normalmente empregadas no processo original da indústria, ou permitindo a redução do consumo de combustível. Não podem ser co-processadas embalagens metálicas, nem lixo doméstico, vidro, pilhas ou material radioativo (RESOTEC, 2001). Recomenda-se a consulta à Resolução CONAMA 264 de 26/08/99 (BRASIL, 2000a).

A tabela a abaixo resume as informações apresentadas neste item.

É válido reforçar a importância da elaboração de um bom plano de contingência para resíduos, a começar pelo preparo para o gerenciamento das diversas etapas e atividades que se seguem durante uma operação de emergência, com o principal objetivo de minimizar o volume gerado, o que certamente trará benefícios para o meio ambiente e redução das despesas para o poluidor.

### Orientação para tratamento e destino final de resíduos oleosos.

Tipo de resíduo	Hierarquia das alternativas de destinação
Borra oleosa	Rerrefino, <i>landfarming</i> , co-processamento, incineração
Brita e areia com óleo	Lavagem, biopilha, co-processamento, dessorção térmica, solidificação, aterro
Terra com óleo	Biopilha, <i>landfarming</i> , co-processamento, dessorção térmica, aterro
Vegetação com óleo	Biopilha, <i>landfarming</i> , co-processamento, aterro, incineração
Outros resíduos sólidos oleosos	<i>Landfarming</i> , co-processamento, dessorção térmica, aterro
Resíduo oleoso líquido	Separador de água e óleo, rerrefino
Resíduo sólido "limpo"	Aterro sanitário
Material reciclável "limpo"	Usinas de reciclagem

### RESUMO DA PROPOSTA DE MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS OLEOSOS DA CETESB DURANTE A OPERAÇÃO DE COMBATE

**Quanto maior a quantidade de areia e sedimento não contaminado removida, maior o volume de resíduos sólidos a ser acondicionado, transportado e submetido à destinação final.**

**Quanto maiores os esforços para conter e recolher as primeiras manchas de óleo, proteger áreas sensíveis e otimizar a operação de limpeza, menores serão o volume de resíduos gerado, as atividades relacionadas com remoção, transporte e disposição final, as despesas gerais, e os "incômodos" administrativos.**



- ABNT. **NBR 10.157**: aterro de resíduos perigosos – critérios para projeto, construção e operação – procedimentos para os resíduos lassificados como perigosos. Rio de Janeiro, 1987. 13 p.
- ABNT. **NBR 11.174**: armazenamento de resíduos sólidos classe II não inertes e III inertes. Rio de Janeiro, 1990a. 7 p.
- ABNT. **NBR 11.175**: incineração de resíduos sólidos perigosos – padrões de desempenho. Rio de Janeiro, 1990b. 5 p.
- ABNT. **NBR 12.235**: armazenamento de resíduos sólidos perigosos. Rio de Janeiro, 1992. 14 p.
- ABNT. **NBR 12.988**: líquidos livres – verificação em amostra de resíduos. Rio de Janeiro, 1993. 2 p.
- ABNT. **NBR 13.894**: tratamento no solo (landfarming) – procedimento. Rio de Janeiro, 1997a. 10 p.
- ABNT. **NBR 13.896**: aterro de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação para os demais resíduos. Rio de Janeiro, 1997b. 12 p.
- ABNT. **NBR 10.004**: classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004a. 71 p.
- ABNT. **NBR 10.007**: amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b. 21 p.
- AIMS. **Pristine reefs affected by coral disease**. Austrália, 2002.
- ALBINO, J. **Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das praias de Bicanga a Povoação, ES**. 1999. 175 f. Tese (Doutorado em geologia sedimentar) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1999.
- AMARAL, F.D. Recifes de corais e de arenito do Brasil. In: IMPÓSIO DE BIOLOGIA MARINHA, 13., 1998, São Sebastião, SP. **Resumos...** São Sebastião: CEBIMar, 1998. p. 5.
- AMARAL, A. C.Z. et al. Diagnóstico sobre praias arenosas: avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da zona costeira e marinha. In: FUNDAÇÃO TROPICAL DE PESQUISAS E TECNOLOGIA ANDRÉ TOSELLO. **Base de Dados Tropical**. 1999. Disponível em: <<http://www.bdt.fat.org.br/sci>>. Acesso em: [2004?]
- ÂNGULO, R. J. Morfologia e gênese das dunas frontais do litoral do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 23, n. 1, p. 68-80, 1993.
- API. **Oil spill cleanup**: options for minimizing adverse ecological impacts. Washington, Tetra Tech., 1985. 580 p. (API, 4435).
- API. **Fate of spilled oil in marine waters**: where does it go? What does it do? How do dispersants affected it? Washington, D.C., 1999. (API Publication, 4691).
- API. **Environmental Commitment** – transportation. Washington, 2005. Available from: <<http://api-ec.api.org/environ/index.cfm?bitmask=75F7276E-65D6-4D23934A13611FFEA305>>. Access on: 2005 march 28.
- API et al. **Characteristics of response strategies**: a guide for spill response planning in marine environments. Washington, 2001.
- ASSUMPÇÃO, J.; NASCIMENTO, M.T. Estrutura e composição florística de quatro formações vegetais de restinga no complexo lagunar Grussaí/Iquipari, São João da Barra, RJ. **Brasil. Acta Bot. Bras.**, São Paulo v. 14, n. 3, p. 301-315, 2000.
- AVALIAÇÃO e ações prioritárias para a conservação da zona costeira e marinha – Recifes de Coral. In: FUNDAÇÃO TROPICAL DE PESQUISA E TECNOLOGIA ANDRÉ TOSELLO. **Base de Dados Tropical**. 2005a. Disponível em: <<http://bd.fat.org.br/workshop/costa/recifes/resultados>>. Acesso em: 21 mar 2005.
- AVALIAÇÃO de ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da zona costeira e marinha. In: FUNDAÇÃO TROPICAL DE PESQUISAS E TECNOLOGIA ANDRÉ TOSELLO.
- Base de Dados Tropical**. 2005b. Disponível em: <<http://www.bdt.fat.org.br/workshop/costa/mangue/relatorio>>. Acesso em: 13 abr. 2005.
- BAK, R.P.M.; EIGERSHUIZEN, J.H.B.W. Patterns of oil-sediment rejection in corals. **Marine Biology**, v. 37, p. 105-113, 1976.
- BAKER, J.M. **The net environmental benefit approach for oil spill response**. Seattle: NOAA, 1990.
- BÍCEGO, M.C. **Contribuição ao estudo de hidrocarbonetos iogênicos e o petróleo no ambiente marinho**. 1988. 156 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Química e Geológica) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.
- BIGARELLA, J.J. The Barreiras Group in northeastern Brasil. **An. Acad. Bras. Cie.**, v. 47, p. 365-393, 1975.
- BIGARELLA, J.J. Contribuição ao estudo da planície litorânea do Estado do Paraná. **Braz. Arch. Biol. Technol.**, Curitiba, jubilee v. 1946-2001, p. 65-110, 2001.
- BRASIL. Lei Federal nº 5.357 de 17 de novembro de 1967. Estabelece penalidades para embarcações e terminais marítimos ou fluviais que lançarem detritos ou óleo em águas brasileiras, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 20 de novembro de 1967.
- BRASIL. CONAMA. Resolução nº 264, de 26 de agosto de 1999. Licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de co-processamento de resíduos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 de março de 2000a.
- BRASIL. Lei federal No 9.966, de 28 de abril de 2000. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 29 de abril de 2000b.
- BRASIL. IBAMA. Instrução normativa nº 1 de 14 de julho de 2000. Estabelece critérios a serem adotados pelo IBAMA para concessão de registro de dispersantes químicos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 de julho de 2000c.
- BRASIL. CONAMA. Resolução nº 269, de 14 de setembro de 2000. Dispõe sobre procedimentos e critérios para utilização de produtos químicos dispersantes no combate aos derramamentos de óleo no mar. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 12 de janeiro de 2001.
- BRASIL. CONAMA. Resolução nº 314, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre o registro de produtos destinados à remediação e dá outras \ providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 20 de novembro de 2002a.
- BRASIL. CONAMA. Resolução nº 316, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 de novembro de 2002b.
- BRASIL. CONAMA. Resolução nº 293, de 12 de dezembro de 2001. Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo originados em portos organizados, instalações portuárias ou terminais, dutos, plataformas, bem como suas respectivas instalações de apoio, e orienta a sua elaboração. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 29 de abril de 2002c.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo**: cartas SAO. Brasília, 2004a. 107 p. Anexos
- BRASIL. Resolução ANTT nº 420, de 12 de fevereiro de 2004. Aprova as instruções complementares ao transporte terrestre de

- produtos perigosos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 31 de maio de 2004b.
- CARVALHAL, F.; BERCHEZ, F.A.S. **Costão rochoso**: a diversidade em microescala. São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/ecosteiros/costao%20web/costao/index2.html>>. Acesso em: 21 mar. 2005.
- CASTRO, C.B. **Recifes de coral**: avaliação e ações prioritárias para conservação da biodiversidade da zona costeira e marinha. [S.L.], 1999. Disponível em: <<http://www.bdt.org.br/workshop/costa/recifes>>. Acesso em: [2004?]
- CETESB (São Paulo). **Operação Tebar V**: relatório de atendimento. São Paulo, 1994. 45 p. Anexos.
- CETESB (São Paulo). **Operação HEIMAR VIGOUR**: relatório. São Paulo, 1998a.
- CETESB (São Paulo). **Operação N/T MARUIM**: relatório. São Paulo, 1998b. 19 p. Anexos.
- CETESB (São Paulo). **Operação Mafra IV**: relatório técnico. São Paulo, 2000. 26 p. Anexos.
- CETESB (São Paulo). **Operação Vergínia II**: relatório técnico. São Paulo, 2001. 39 p. Anexos.
- CETESB (São Paulo). **Operação TEBAR VII – Pier Sul**: relatório técnico. São Paulo, 2003. 23 p. Anexos.
- CHIUVITE, T.B.S.; ANDRADE, T.C.S.. Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Empresa. **Revista Meio Ambiente Industrial**, v. 6, ed. 31, n. 30, p. 112-115, 2001.
- CORREIA, M.D. **Distribuição espacial dos organismos macrobentônicos no recife de coral da Ponta Verde, Maceió, Alagoas - Brasil**. 1997. 194 f. Tese (Doutorado em ciências) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- COSTA, C.S.B.; DAVY, A.J. Coastal saltmarsh communities of Latin America. In: SEELIGER, U. (Ed.). **Coastal Plant Communities of Latin America**. San Diego, California: Academic Press, 1992. Chap. 12, p. 179-199.
- CUNHA-LIGNON, M. **Dinâmica do manguezal no sistema de Cananéia-Iguape, Estado de São Paulo – Brasil**. 2001. Dissertação (Mestrado em oceanografia) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- DICKS, B. The environmental impact of marine oil spills: effects, recovery and compensation. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON TANKER SAFETY, POLLUTION PREVENTION, SPILL RESPONSE AND COMPENSATION, 1998, Rio de Janeiro, BR. **Proceedings...** [S.L.: s.n.], 1998.
- DICKS, B. Termination of shoreline cleanup: a technical perspective. In: CEDRE TECHNICAL LESSONS LEARNT FROM THE ERIKA INCIDENT AND OTHER SPILLS SEMINAR, 2002, Brest, FR. **Proceedings...** [S.L.: s.n.], [2002?].
- DICKS, B. et al. Management and work force requirements for effective shoreline cleaning operations. In: INTERSPILL: a new millennium – a new approach to spill response, International Conference and exhibition, 2000, Brighton, UK. **Proceedings...** [S.L.: s.n., 2000?].
- DITTMANN, S. Benthic fauna in tropical tidal flats: a comparative perspective. **Ecology and Management, Wetlands**, v. 10, n. 3, p. 189-195, June 2002.
- DOMINGUEZ, J.M.L. et al. Geologia do quaternário costeiro do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, n. 1-4, p. 208-215, 1990.
- DUKE, N.C. Mangroves in the Great Barrier Reef World Heritage Area: current status, long-term trends, management implications and research. In: WACHENFELD, D.; OLIVER, J.; DAVIS, K. (Eds.). **State of the great barrier reef world heritage area workshop**. Townsville: Great Barrier Reef Marine Park Authority, 1997. p. 288-299.
- ENS. **Reef fish laundering hides Pacific overfishing**. [S.L.], 2002. Available from: <<http://ens-news.com/ens/jul2002/2002-07-15-02.asp>>. Access on: [2004?].
- EVANS, D.R.; RICE, S.D. Effects of oil on marine ecosystems: a review for administrators and policy makers. **Fish. Bull.**, [S.L.], v. 72, n. 3, p. 625 - 638, 1974.
- GANNING, B.; REISH, D.S.; STRAUGHAN, D. Restoration of rocky shores, sandy beaches, tidal flats and shallow subtidal bottoms impacted by oil spills. In: CAIRNS, J.; BUIKEMA, A.L. (Eds.). **Restoration of habitats impacted by oil spills**. [S.L.]: Butter Worth: Ann Arbor Science book, 1984. p. 7-36.
- GEOTRACK. **Laterização**. 2005. Disponível em: <<http://www.geotrack.com.br/pdiciol.htm>>. Acesso em: 6 abr. 2005.
- GESAMP. **Impact of oil and related chemicals and wastes on the marine environment**. London, 1993. 180 p. (Reports and Studies GESAMP, 50).
- GETTER, C.D. et al. The recovery and restoration of salt marshes and mangroves following an oil spill. In: CAIRNS JR, J.; BULKEMA JR, A.L. (Eds.). **Restoration of habitats impacted by oil spills**. Toronto: Butterworth, 1984. Chap. 3, p. 65-113.
- GHERARDI, D.F.M.; BRAGA, C.Z.F. Utilização de imagens TM landsat-5 para o mapeamento dos recifes da área de proteção ambiental Costa dos Corais (Al / Pe). In: SBSR, 11., 2003, Belo Horizonte, BR. **Anais...** [S.L.]: INPE, 2003. p. 1637 - 1640.
- GOUVEIA, J.L.N. Química e toxicidade do óleo: processos de degradação. In: LOPES, C.F.L. (Coord.). **Derrames de óleo em ambientes costeiros**. São Paulo: CETESB, 2003. Apostila de curso.
- GUNDLACH, E.R.; HAYES, M.O. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. **Mar. Tech. Soc. J.**, v. 2, n. 4, p. 18-27, 1978.
- HAYES, M.D.; GUNDLACH, E.R. **Coastal processes field manual for oil spill assessment**. Columbia, US: RPI, 1978.
- IMO. **Field guide for oil spill response in tropical waters**. London, 1997. 54 p.
- IPIECA. **Guidelines on biological impacts of oil pollution**. London, UK, 1991. 15 p. (IPIECA Reports Series, 1).
- IPIECA. **Biological impacts of oil pollution: coral reefs**. [S.L.], 1992. (IPIECA Report Series, 3).
- IPIECA. **Biological impacts of oil pollution: mangroves**. [S.L.], 1993. (IPIECA Reports Series, 4).
- IPIECA. **Biological impacts of oil pollution: saltmarshes**. London, 1994. 20 p. (IPIECA Reports Series, 6).
- IPIECA. **Biological impacts of oil pollution: rocky shores**. London, 1995. 20 p. (IPIECA REPORT SERIES, 7).
- IPIECA. **A guide to contingency planning for oil spills on water**. London, 2000a. 28 p. (IPIECA Report Series, 2).
- IPIECA. **Choosing spill response options to minimize damage: net environmental benefit analysis**. London, 2000b. 22 p. (IPIECA REPORT SERIES, 10).
- IPIECA. **Dispersants and their role in oil spill response**. London, 2001. 38 p. (IPIECA Reports Series, 5).

- ITOPF. **Effects of marine oil spill**. London, 1985a. 8 p. (Technical Information Paper, 10).
- ITOPF. **Contingency planning for oil spills**. London, 1985b. 8 p. (ITOPF, Technical Information Paper, 9).
- ITOPF. **Response to marine oil spills**. 2nd ed. London, UK: Witherby & Co., 1987. 150 p.
- ITOPF. **Shoreline clean-up: response strategies**. [S.L., 2000?a]. Available from: <<http://www.itopf.com/shoreline.html>>. Access on: 2004a.
- ITOPF. **Effects of marine oil spills**. [S.L., 2000?b]. Available from: <<http://www.itopf.com/effects.html>>. Access on: 2004b.
- ITOPF. **ITOPF handbook 2004/2005**. London, UK, 2005. 48 p.
- UCN. **Silence on the reefs**. [S.L.], 2002. Available from: <[http://www.iucn.org/en/news/archive/2001\\_2005/press/cordio.pdf](http://www.iucn.org/en/news/archive/2001_2005/press/cordio.pdf)> Access on: [2004?].
- JOHNSCHER-FORNASARO, G. et al. **Estudo de metodologias para a recuperação de costões rochosos impactados por óleo**: relatório técnico. São Paulo: CETESB, 1990. 38 p.
- KATHIRESAN, K.; BINGHAM, B.L. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. **Advances in Marine Biology**, v. 40, p. 81- 251, 2001.
- KERAMBRUN, L.; PARKER, H. **When should clean-up operations be brought to a close: HOW CLEAN IS CLEAN? 20 years after the Amoco Cadiz Symposium, 15-17 October 1998 Brest. France**: [s.n.], 1998.
- KINGSTON, P.F. Long-term environmental impact of oil spills. **Spill Science & Technology Bulletin**, v. 7, n. 1-2, p. 53-61, 2002.
- LAMPARELLI, C.C. et al. **Ecosistemas costeiros do estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB: Secretaria de Estado do Meio Ambiente: Páginas e Letras, 1998.
- LAMPARELLI, C.C.; RODRIGUES, F.O.; DE MOURA, D.O. A longterm assessment of an oil spill in a mangrove forest in São Paulo, Brazil. In: KJERFVE, B.; LACERDA, L.D.; DIOP, S. (Eds.). **Mangrove ecosystem studies in Latin America and África**. Paris: UNESCO, 1997. p. 191-203.
- LAZAROFF, C. **All U.S. coral reefs face human threats**. [S.L.]: Environment News Service, 2002.
- LEE, K.; DE MORA, S. In situ bioremediation strategies for oiled shoreline environments. **Env. Technol.**, London, v. 20, n. 8, p. 783-794, 1999.
- LEINZ, V.; LEONARDOS, O.H. **Glossário geológico**. São Paulo EDUSP, 1970. 236 p.
- LENTZ, S.A.; FELLEMAN, F. **Oil spill prevention: a proactive approach**. Vancouver, 2005. Available from: <<http://www.iosc.org/docs/IssuePaper1.pdf>>. Access on: 2005 march 28.
- LEVINGTON, J.S. **Marine biology: function, biodiversity, ecology**. New York: Oxford University, 1995. 420 p.
- LINDÉN, O.; JERNELOV, A.; EGERUP, J. **The environmental impacts of the Gulf war 1991**. Austria: International Institute for Applied Systems Analysis, 2004. (Interim Report, IR-04-019).
- LONGO, L.L. **Repartição espaço-temporal da cnidofauna em arenito de praia em Santa Cruz (Aracruz - ES)**. 1997. 87 f. Dissertação (Mestrado em Zoologia) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- LOPES, C.F. et al. **Efeitos ecológicos do derrame de óleo Penelope e da limpeza por jateamento a baixa-pressão nos costões rochosos da praia do Viana**. São Paulo: CETESB, 1992. 14 p. Anexos.
- LOPES, C.F.; MILANELLI, J.C.C.; GOUVEIA, J.L.N. Materiais absorventes. **Meio Ambiente Industrial**, São Paulo, v. 9, n. 53, p. 42-46, 2005.
- LOPES, C.F., MILANELLI, J.C.C., JOHNSCHER-FORNASARO, G. Programa de biomonitoramento de costões rochosos sujeitos a impactos por petróleo. **Publicação ACIESP**, v. 87, n. 3, p. 293-300, 1994a. Trabalho apresentado ao 3º Simpósio Sobre Ecosistemas da Costa Brasileira: Subsídios a um Gerenciamento Ambiental.
- LOPES, C.F., MILANELLI, J.C.C., JOHNSCHER-FORNASARO, G. **Monitoramento integrado da região do Canal de São Sebastião: subsídios para avaliação de impactos provocados por derrames de petróleo**. In: MINI-SIMPÓSIO DE BIOLOGIA MARINHA: CEBIMAR, , 9., 1994, São Sebastião. **Resumos**. São Sebastião, 1994b. p. 15.
- LOPES, C.F.; POFFO, I.R.F.; HADDAD, E. Atendimento emergencial ao derrame de óleo ocorrido em São Sebastião (SP), provocado pelo navio "Vergina II". **Meio Ambiente Industrial**, São Paulo, n. 29, p. 76-83, 2001.
- MARTIN, L. et al. **Geologia do quaternário costeiro do litoral norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo**. Belo Horizonte: CPRM: Serviço Geológico do Brasil, 1997. 112 p., il. Mapas.
- MATIAS, L.Q.; NUNES, E.P. Levantamento florístico da área de proteção ambiental de Jericoacara, Ceará. **Acta Bot. Bras.**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 35-43, 2001.
- MEIRELES, A.J.A. Falésias do litoral leste do estado do Ceará: análise dos processos morfológicos e impactos ambientais. **Revista GeoNotas**, Paraná, v. 3, n. 2, 2005. Disponível em:<<http://www.dge.uem.br/geonotas/vol3-2/meireles.html>>. Acesso: 21 mar. 2005.
- MICHEL, J. Assessment and recommendations for the oil spill cleanup of Guanabara Bay, Brazil. **Spill Science & Technology Bulletin**, United Kingdom, v. 6, n. 1, p. 89-96, 2000.
- MICHEL, J.; HAYES, O. Sensitivity of coastal environments to oil. In: NOAA. **An introduction to coastal habitats and biological resources for oil spill response**. [S.L.], 1992. (NOAA Report, HMRAD 92-4). Available from: <<http://www.response.restoration.noaa.gov/oilaid/monterey.html>>. Access on: [2004?]
- MILANELLI, J.C.C. **Efeitos do petróleo e da limpeza por jateamento em um costão rochoso da praia de Barequeçaba, São Sebastião, SP**. 1994. 103 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 94.
- MILANELLI, J.C.C.; LOPES, C.F. Efeitos do derrame de óleo "Penelope" e do jateamento a baixa-pressão sobre populações de *Chthamalus* spp. da Praia do Viana, Ihabela, SP. **Publicação ACIESP**, SP, v. 104, n. 4, p. 61-79, 1998. Apresentado ao 4º SIMPÓSIO DE ECOSISTEMAS BRASILEIROS.
- MILANELLI, J.C.C.; LOPES, C.F. Recuperação de praias atingidas por derrames de óleo: procedimentos emergenciais adotados pela CETESB In: SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA: oceanografia e sociedade - um desafio à teoria e prática, 14., 2001, Rio Grande, RS. **Anais...** [S.L.: s.n., 2001?]. Trabalho n° 83.
- MILANELLI, J.C.C.; LOPES, C.F.; JOHNSCHER-FORNASARO, G. **Estudo de metodologias para a recuperação de costões rochosos impactados por óleo**. São Paulo: CETESB, 1991. 28 p.
- MILANELLI, J.C.C.; LOPES, C.F.; JOHNSCHER-FORNASARO, G. Efeitos do derrame de óleo "Penelope" e do jateamento a baixa-pressão sobre populações de *Chthamalus* spp. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ECOLOGIA, 2.; CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 1992, Caxambú, MG. **Anais ...** [S.L.: s.n., 1992?].

## Ambientes Costeiros Contaminados por Óleo Procedimentos de Limpeza

- MILANELLI, J.C.C. et al. **Vazamento de óleo ocorrido em 18 de janeiro de 2000 – Oleoduto PE-II – PETROBRAS – Baía de Guanabara**: relatório técnico. São Paulo: CETESB, 2000. 177 p. Anexos. Apresentado ao Ministério Público Federal no Rio de Janeiro.
- MITSCHE, W.J.; GOSSELINK, J.G. **Wetlands**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986. 539 p.
- MORAES, O. C. C. Ameaça na floresta submersa. Mudanças climáticas põem em risco simbiose que sustenta recifes de coral. **Scientific American – Brasil**, v. 24, maio 2004. Disponível em: <[http://www2.uol.com.br/sciam/conteudo/materia/materia\\_44.html](http://www2.uol.com.br/sciam/conteudo/materia/materia_44.html)>. Acesso em: [2004?].
- NELSON, W.G. Experimental studies of oil pollution on the rocky intertidal community of a Norwegian fjord. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.**, v. 65, p. 121-138, 1982.
- NOAA. **Cutting oiled marshes**: a review of the effects on vegetation recovery, with illustrated examples from riverine salt and brackish-water environments. [S.L.], 1995. (HAZMAT Report, 95-6).
- NOAA. **The state of coral reef ecosystems of the United States and Pacific freely associated states**: 2002. [S.L.], 2002.
- NOAA. **Response to the Exxon Valdez spill**. [S.L., 2000?]. Available from: <<http://response.restoration.noaa.gov/intro/valdez.html>>. Access on: 2004.
- NOAA. **Oil spills in coral reefs**: planning and response considerations. [S.L.], 2001. Available from: <<http://www.response.restoration.noaa.gov/oilspills/coral/reports>>. Access on: [2004?].
- NOAA. **Characteristic coastal habitats**: choosing spill response alternatives. [S.L., 2005?]. Available from: <<http://response.restoration.noaa.gov/oilspills/coastal/coastal.html>>. Access on: 2006 July 12.
- NOERNBERG, M.A.; LANA, P.C. **A sensibilidade de manguezais e marismas a impactos por óleo**: fato ou mito?: uma ferramenta para a avaliação da vulnerabilidade de sistemas costeiros a derrames de óleo. **Geografias**, Vitória, n. 3, p. 109-122, 2002.
- NOGUEIRA, R.X.S.; COSTA, C.S.B. **Mapeamento das marismas do estuário da Lagoa dos Patos (RS – Brasil) utilizando fotografias aéreas digitais 35mm no modo infravermelho**. [S.L.], 2005. Disponível em: <<http://www.peld.furg.br/grp/ccosta/Anais/Nogueira&Costa2003b.PDF>>. Acesso em: 13 abr. 2005.
- OCIMF; IPIECA. **Oil spills**: their fate and impact on the marine environment. [S.L.]: Witherby, 1980.
- OWENS, E.H. **Coastal Environments of Canada**: the impact and cleanup of oil spills. Ontario, Canadá: Environment Canada, 1978. 413 p. Environmental Protection Service Econ. and Tech. Rev. Report, EPS-3-EC-77-13)
- OWENS, E.H. The interaction of fine particles with stranded oil. **Pure Appl. Chem.**, v. 71, n. 1, p. 83-93, 1999.
- PANITZ, C.M.N. Ecological aspects of a saltmarsh ecosystem in Santa Catarina Island, Brazil. In: SEELIGER, U. (Ed.). **Coastal plant communities of Latin America**. San Diego, California: Academic Press, 1992. Chap. 14, p. 213-230.
- PEDROSO JÚNIOR, N.N. Microhabitat occupation by birds in a restinga fragment of Paraná coast, Pr, Brazil. **Braz. Arch. Biol. Technol.**, Curitiba, PR, v. 46, n. 1, p. 83-90, 2003.
- PEZENSKI, S.R. et al. The effects of oil spill and clean-up on dominant US Gulf coast marsh macrophytes: a review. **Environmental Pollution**, UK, v. 108, n. 2000, p. 129-139, 2000.
- PNUMA. **Dos oceanos para os aquários**: o comércio global de ornamentais marinhos. [S.L.], 2003.
- POFFO, I.R.F. **Vazamentos de óleo no litoral norte do Estado de São Paulo**: análise histórica (1974-1999). 2000. 137 f. Anexos. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – PROCAM, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- POFFO, I.R.F. et al. **Dinâmica dos vazamentos de óleo no Canal de São Sebastião, SP (1974-1994)**. São Paulo: CETESB, 1996. 2 v.
- RAAYMAKERS, S. Ship sourced oil pollution in the Great Barrier Reef: causes, frequency, response and prevention. In: OTTESSEN, P. **Hulls, hazards and hard questions shipping in the Great Barrier Reef**: reducing the risk of spilling oil and other hazardous substances. Austrália: Great Barrier Reef Marine Park Authority, 1994.
- RAMOS, M.A. et al. Zonação dos organismos bentônicos nos bancos de arenito da Praia do Porto de Galinhas - PE, com destaque para os cnidários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA, 25., 2004, Brasília, DF. **Resumos...** Brasília, 2004. p. 48.
- RAND, G.M. (Ed.) **Fundamentals of aquatic ecotoxicology**: effects, environmental fate, and risk assessment. 2nd ed. Washington, D.C.: Taylor & Francis, 1995. 1125 p.
- RESOTEC. Co-processamento. **Revista Meio Ambiente Industrial**, v. 6, ed. 31, n. 30, p. 107-108, 2001.
- RPI. **The sensitivity of coastal environments and wild life to spilled oil in the West Florida regions**. Columbia, 1984. 105 p.
- SANCHES, T.M. **Tartarugas marinhas**: avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade costeira e marinha. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1999. Programa Nacional de Biodiversidade – PRONABIO; Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO Sub-projeto Biodiversidade da Zona Costeira e Marinha.
- SANTOS, M.C.O. et al. Records of Franciscana (*Pontoporia blainvillei*) from the coastal waters of São Paulo State, Southeastern Brazil. **LAJAM**, v. 1, n. 1, p. 169-174, 2002. Special Issue 1.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Perfil dos ecossistemas litorâneos brasileiros, com especial ênfase sobre o ecossistema manguezal**. São Paulo: IO/USP, 1989. 16 p. (Publicação Especial do Instituto Oceanográfico, 7).
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Vulnerabilidade do litoral norte do Estado de São Paulo a vazamentos de petróleo e derivados. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA SÍNTESE DE CONHECIMENTOS, 2., 1990, Águas de Lindóia, SP. **Anais ...** São Paulo: Academia de Ciências do Estado, 1990. v. 2, p. 375-399.
- SCHINEIDER, J. A.; TEIXEIRA, R.L. Relacionamento entre anfíbios anuros e bromélias da restinga de Regência, Espírito Santo, Brasil. **Iheringia**, Porto Alegre, RS, v. 91, p. 41-48, 2001. (Série Zoologia).
- SCHOLZ, D. et al. **Biological resources**: an introduction to coastal and biological resources for oil spill response. [S.L.]: NOAA, 1992. (NOAA Report, HMRAD 92-4).
- SCHOLZ, D.K. et al. **Assessment of risks associated with the shipment and transfer of group V fuel oils**. [S.L.]: NOAA, 1994. (NOAA - HAZMAT Report, 94-8).
- SEELINGER, U; CORDAZZO, C.V. **Estuário da Lagoa dos Patos e Costa Adjacente**: site 8. [S.L.], 2005. Disponível em: <[http://www.icb.ufmg.br/~peld/port\\_site08.pdf](http://www.icb.ufmg.br/~peld/port_site08.pdf)>. Acesso em: 13 abr. 2005.

SOUZA, M.M.A; SAMPAIO, E.V.S.B. Variação temporal da estrutura dos bosques de mangue de Suape-PE após a construção do porto. **Acta Bot. Bras. São Paulo** v. 15, n. 1, p. 1-12, 2001.

SUGUIO, K. **Rochas sedimentares**: propriedades, gênese, importância econômica. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 500 p.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia marinha**. São Paulo: T.A. Queiroz, 1992. 171 p.

SWANNELL, R.P.J; LEE, K; MC DONAGH, M. Field evaluations of marine oil spill bioremediation. **Microbiological Reviews**, US, v. 60, n. 2, p.342-365, 1996.

TEIXEIRA, R.L. Comunidades de lagartos da restinga de Guriri, São Mateus – ES, Sudeste do Brasil. **Atlântica**, Rio Grande, v. 23, p. 77-84, 2001.

TKALICH, P.; CHAN, E.S. Vertical mixing of oil droplets by breaking waves. **Marine Pollution Bulletin**, UK, v. 44, n. 11, p. 1219- 1229, 2002.\

UNITED STATES. EPA. **Understanding oil spills and oil spill response**. Washington, 1999. Available from: <<http://www.epa.gov/oilspill/pdfbook.htm>>. Access on: 2005 april 20.

UNITED STATES. EPA. **Oil spill prevention, preparedness & response**: response techniques – sorbents. WASHINGTON, [2000?]. Available from: <<http://www.epa.gov/>>. Access on: 2004.

UNIVERSIDAD DE OVIEDO. **Recomendaciones para la limpieza de marismas costeras tras el vertido del Prestige**. [S.L.], 2005. Disponível em: <<http://www10.uniovi.es/prestige/informes/limpieza/limpiezamarismas.htm>>. Acesso em: 13 abr. 2005.

USCG. Bioremediation in oil spill response. **RRT III Fact Sheet**, v. 1, n. 99-4, 1999. Available from: <<http://www.dot.gov/dotinfo/uscgilantarea/rrt/rrtmain.htm>>. Access on: [2004].

VASCONCELOS, S.L. Composição e distribuição espacial de cnidários e outros organismos bentônicos dos recifes de Enseada dos Corais - PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA, 25., 2004, Brasília, DF. **Resumos...** Brasília, 2004. p. 48.

VENDEL, A . L. Fish assemblages in a Tidal Flat. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 46, n. 2, p. 233-242, 2003.

WHITFIELD, J. How to clean a beach. **Nature**, v. 422, p. 464 – 466, 2003.

WIKIPEDIA. **Diesel**. [S.L.], 2004. Disponível em: <<http://www.pt.wikipedia.org/wiki/diesel.htm>>. Acesso em maio de 2004.

ZANARDI, E. **Hidrocarbonetos no Canal de São Sebastião e na plataforma interna adjacente**: influência do derrame de maio de 1994. 1996. 112 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Química e Geológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

