



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JULIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS



Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE TÉCNICAS UTILIZADAS NAS OPERAÇÕES DE
EMERGÊNCIA DE DERRAMAMENTO DE ÓLEO EM AMBIENTES COSTEIROS E
FLUVIAIS

Fernanda Nosse Niime

Prof.Dra. Paulina Setti Riedel

Rio Claro (SP)

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

FERNANDA NOSSE NIIME

LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE TÉCNICAS UTILIZADAS
NAS OPERAÇÕES DE EMERGÊNCIA DE DERRAMAMENTO
DE ÓLEO EM AMBIENTES COSTEIROS E FLUVIAIS

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Rio Claro - SP

2013

FERNANDA NOSSE NIIME

LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE TÉCNICAS UTILIZADAS
NAS OPERAÇÕES DE EMERGÊNCIA DE DERRAMAMENTO
DE ÓLEO EM AMBIENTES COSTEIROS E FLUVIAIS

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Paulina Setti Riedel (orientador)

Lucilia do Carmo Giordano

Marcelo Elias Delaneze

Rio Claro, 27 de novembro de 2013

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Calixto e Olga, por terem me apoiado e financiado meus estudos aqui em Rio Claro, e sempre fazerem o seu melhor para nos criar. Além de ajudarem sempre que eu pedia, como me levar de carro para Rio Claro por eu não querer pegar ônibus. Por este e outros motivos é que sempre agradecerei por terem eles e sempre os amarei.

Agradeço a profa. Dra. Paulina Setti Riedel, pela orientação e a paciência durante um ano. Além de sempre estar disponível para me receber, e ainda por corrigir minha monografia sempre que eu mandava. Agradeço pelo apoio e o ensinamento que me deu.

Aos meus irmãos, Fabio e Marcelo, que sempre me importunaram e jogaram videogame comigo. Obrigada por sempre me fazerem rir por bobagens.

As todas as meninas daqui de Rio Claro, Ana, Beatriz, Carolina Andrade, Carolina Manabe, Caroline, Fernanda, Heloise, Laura, Paula e Verna, e também ao Caio, que foram uma segunda família para mim, sempre aturando meu jeito, minha falta de sensibilidade, minha dislexia na fala e outros defeitos meus. Obrigada por todos os momentos que me deram, como minha festa surpresa ou meu lindo Odie.

A todos os professores que fizeram parte da minha graduação. Agradeço por me passarem seus conhecimentos durante as aulas.

E por fim, a todos, que fizeram esses últimos cinco anos tão especiais e adoráveis. Espero que encontre a mesma recepção nessa próxima etapa da minha vida, com que fui recebida quando cheguei ao Câmpus Unesp Rio Claro.

*“Se todas as coisas boas durassem para sempre,
você saberia como são importantes?”*

Calvin e Haroldo – Bill Watterson

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo levantar as principais técnicas de remediação nos ambientes costeiros e fluviais e analisar os impactos gerados referentes à aplicação destas técnicas. A revisão bibliográfica possibilitou a compreensão desde a elaboração das primeiras Cartas SAO, até os impactos possíveis gerados pela aplicação das técnicas de limpeza em ambos os ambientes. Estudos relacionados aos ambientes fluviais são em menor quantidade comparados aos realizados para os ambientes costeiros. Para os dois ambientes podem-se empregar as mesmas técnicas, seja de contenção e recuperação, ou de remoção do óleo nos ambientes afetados. A maioria dos impactos ambientais graves gerados é devido à má escolha da técnica a ser aplicada ou ainda à falta de treinamento das equipes de limpeza. No acidente do *Deepwater Horizon*, Golfo do México, 2010, a aplicação de dispersantes resultou em uma mistura de óleo e dispersantes 52 vezes mais tóxica que o próprio óleo. No Brasil, a aplicação da técnica de corte de vegetação pela equipe de limpeza no acidente no rio Guacá, 2004, resultou na supressão desnecessária de plantas, aumentando o volume de resíduos. Em suma, concluiu-se que os ambientes fluviais sofrem mais impactos pela aplicação das técnicas, pois para o seu emprego é necessário acessar as margens, que muitas vezes possuem mais vegetação e organismos do que os ambientes costeiros.

Palavras-chave: Carta SAO, técnicas de remediação, derrame de óleo, ambientes costeiros e fluviais.

ABSTRACT

This present paper aims to identify the main response techniques for coastal and fluvial environments and analyze impacts on the application of these techniques. The literature review allowed us to understand since the establishment of first environmental sensitivity index map, in coastal and fluvial environment, until the possible impacts generated by the application of cleanup techniques in both environments. Studies related to freshwater environment are less common compared to coastal environment. For both environments the same techniques may be employed, as well as containment and recovery, or removal of oil in the affected areas. The most serious environmental impacts generated are due to the poor choice of technique to be applied or the lack of training of the cleaning crews. In Deepwater Horizon accident, Gulf of Mexico, 2010, application of dispersants, resulted in a mixture of oil and dispersing 52 times more toxic than the oil itself. In Brazil, the technique of vegetation removal by the cleaning staff in the accident on the river Guacá, 2004, resulted in unnecessary elimination of vegetation, increasing the volume of waste. It was concluded that the freshwater environment often suffer more impacts by applying the techniques, once is necessary to access the banks, which normally have more vegetation and organisms than shoreline of coastal environment.

Keywords: ESI maps, spill cleanup techniques, oil spill, marine and freshwater environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma das etapas de trabalho.....	12
Figura 2 – Sistema de contenção de óleo com barreiras.....	49
Figura 3 – Recuperação do óleo pela técnica de bombeamento na praia Barequeçara, 1994..	49
Figura 4 – Aplicação de queima in situ no Golfo do México.....	51
Figura 5 – Aplicação da técnica de dispersão por meio de avião.....	52
Figura 6 – Aplicação das técnicas de remoção manual.....	54
Figura 7 – Aplicação das técnicas de remoção mecânica.....	54
Figura 8 – Aplicação de absorventes orgânicos em São Sebastião.....	55
Figura 9 – Fotografia da relocação dos substratos para mais perto das ondas em 21 ago. 1993, Flórida.....	56
Figura 10 – Aplicação da técnica de jateamento a alta pressão com água quente no acidente do Exxon Valdez, 1989.....	57
Figura 11 – Corte de marisma contaminada, mostrando o ensacamento dos talos e aplicação de barreiras absorventes adjacente aos locais sob tratamento, Ilhabela (SP).....	58
Figura 12 – Barreiras de contenção e barragens no rio Guaecá, respectivamente.....	60
Figura 13 – Aplicação e remoção manual das turfas em Guaecá, 2004.....	62
Figura 14 – Aplicação de turfa no rio Guaecá, 2004.....	63
Figura 15 – Poda da vegetação marginal contaminada do rio Guaecá, 2004.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional do Petróleo
ARPEL	Associação Regional das Companhias de Óleo e Gás na América Latina e no Caribe
Carta SAO	Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derrames de Óleo
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ESI	Environmental Sensitivity Index
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IMO	International Maritime Organization
ISF	Índice de Sensibilidade Fluvial
ISL	Índice de Sensibilidade do Litoral
IТОPF	The International Tanker Owners Pollution Federation
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NEBA	Net Environmental Benefit Analysis
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OPRC-90	Preparo, Resposta e Cooperação em Caso de Poluição por Óleo
OSBAT	Oleoduto São Sebastião-Cubatão
PEI	Plano de Emergência Individual
PNC	Plano Nacional de Contingência
REDUC	Refinaria Duque de Caxias
REPAR	Refinaria Presidente Getúlio Vargas
RPBC	Refinaria Presidente Bernardes – Cubatão
RSI	Reach Sensitivity Index
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
TASS	Terminal Aquaviário de São Sebastião
WVI	Watershed Vulnerability Index

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Motivação	10
2. OBJETIVO.....	11
3. METODOLOGIA	12
3.1. Definição do problema.....	13
3.2. Histórico das cartas SAO costeiras	14
3.3. Histórico das cartas SAO costeiras no Brasil	16
3.4. Histórico das cartas SAO fluviais	18
3.5. Histórico das cartas SAO fluviais no Brasil	20
3.6. Levantamento e análise de técnicas de remediação costeiras.....	21
3.6.1. <i>Técnicas recomendadas para ambientes costeiros</i>	31
3.7. Levantamento e análise de técnicas de remediação fluviais.....	37
3.7.1. <i>Técnicas recomendadas para ambientes fluviais</i>	38
3.8. Impactos causados pela implantação das técnicas de remediação nas zonas costeiras – exemplos de acidentes	47
3.9. Impactos causados pela implantação das técnicas fluviais – exemplos de acidentes	59
4. DISCUSSÃO.....	66
5. CONCLUSÕES.....	69
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
ANEXOS.....	78
ANEXO A – Tipos de absorventes baseados na CETESB (2007)	79

1. INTRODUÇÃO

Os derramamentos de óleo e derivados são responsáveis por grandes prejuízos aos ambientes naturais e às atividades socioeconômicas em várias regiões do mundo. Nas últimas décadas, acidentes envolvendo derrames de óleo tornaram-se muito frequentes devido à grande demanda pela produção do produto e obsolescência dos meios transportadores e despreocupação com os aspectos de segurança. Muitos desses acidentes trouxeram grandes prejuízos ambientais, causando danos às espécies que integram o ecossistema atingido, além de grandes prejuízos às populações residentes e à economia.

Um importante instrumento para monitoramento e, principalmente, para tomadas de decisões emergenciais em caso de acidentes, são as Cartas de Sensibilidade ao Óleo (Cartas SAO). Estas cartas são produzidas para se identificar as áreas mais sensíveis, que devem ser prioritariamente protegidas num eventual derrame. A metodologia para este mapeamento foi definida inicialmente pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), dos Estados Unidos da América; e posteriormente adaptada e validada para áreas brasileiras em 2002, pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), para as regiões costeiras. Nessa classificação são atribuídos índices de sensibilidade, que variam de 1 a 10, sendo 1 atribuído ao ambiente menos sensível.

Para os ambientes fluviais, existem poucos trabalhos no Brasil e no mundo. A própria NOAA adaptou a metodologia costeira para os ambientes fluviais, utilizando também índices de 1 a 10 (PETERSEN et al., 2002). Assim, sejam em ambientes costeiros ou em ambientes fluviais, quando ocorre um acidente de derrame de óleo, as cartas SAO auxiliam na determinação de ambientes mais sensíveis a serem protegidos à contaminação.

Uma vez que o óleo foi derramado, decisões urgentes precisam ser feitas sobre as opções disponíveis para a limpeza, para que tanto os impactos ambientais quanto os impactos socioeconômicos sejam reduzidos ao mínimo. Conseguir um equilíbrio entre esses impactos é sempre um processo difícil e, inevitavelmente, surgem conflitos que precisam ser resolvidos da melhor maneira possível (IPIECA, 2000).

1.1. Motivação

Devido à gama de possibilidades na escolha de procedimentos de limpeza para cada ambiente e seus impactos relacionados faz-se necessário analisar os impactos causados pelo emprego de cada técnica de limpeza nos ambientes costeiros e fluviais, e assim, comparar as limitações e os diferentes danos causados por cada técnica, nos dois ambientes.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica para levantar e analisar técnicas empregadas na remediação emergencial de derramamentos de óleo em ambientes costeiros e fluviais, e avaliar os impactos causados pela utilização dessas técnicas no meio ambiente.

3. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido com base em revisão bibliográfica, a fim de se ter uma visão geral do tema, com foco nos ambientes costeiros e fluviais. Para o desenvolvimento do trabalho, foram efetuadas as etapas descritas no fluxograma exposto na Figura 1.

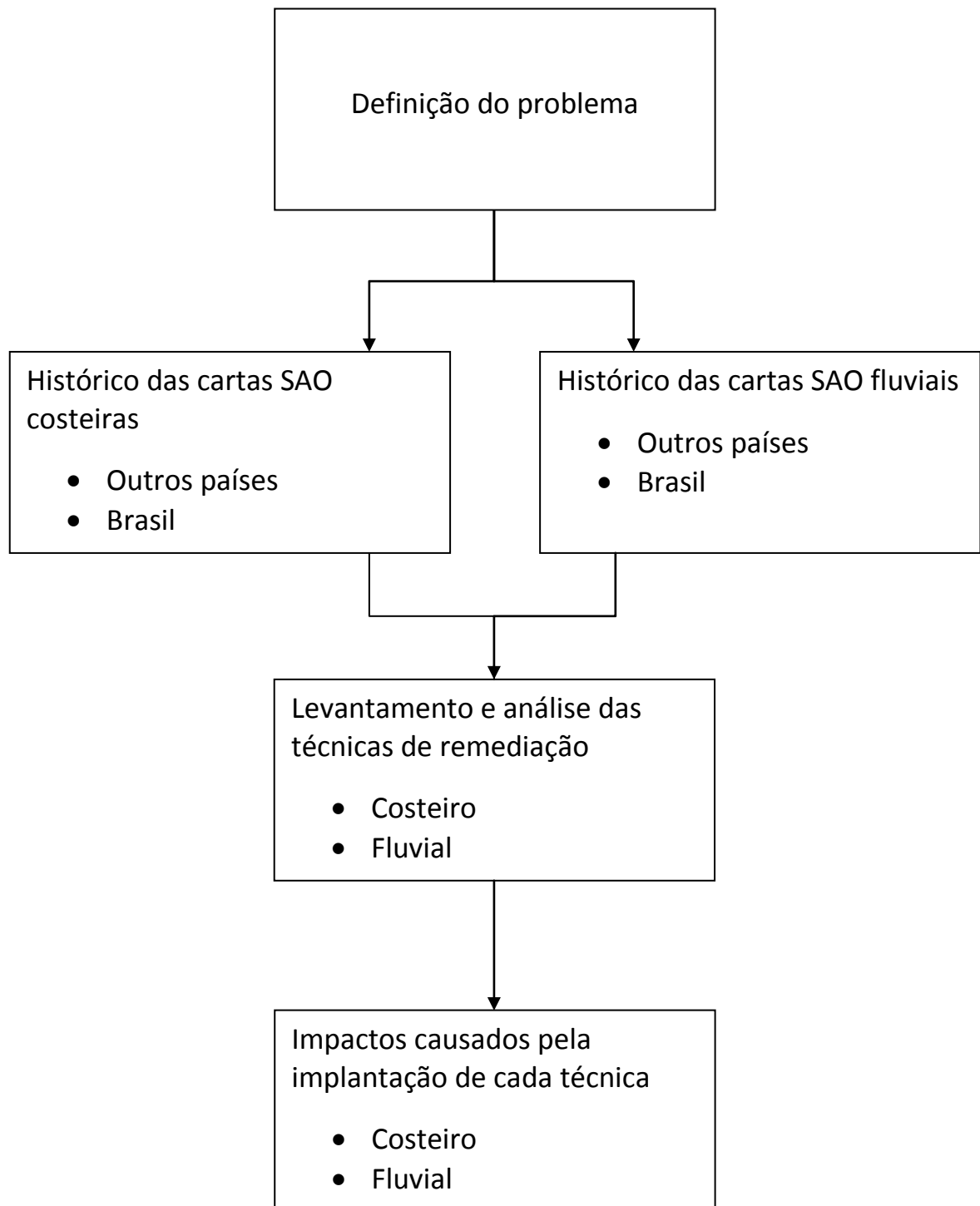


Figura 1 – Fluxograma das etapas de trabalho.

3.1. Definição do problema

Nas últimas décadas o petróleo tem exercido um papel preponderante na sociedade. Com esse crescente aumento mundial no consumo de petróleo e gás, os vazamentos de petróleo e seus derivados tornaram-se mais frequentes, tanto durante as atividades de extração, quanto ao transporte (rodoviário, dutoviário), acarretando sérios danos aos recursos biológicos presentes na área afetada.

Desde a década de 1970, o mapeamento da sensibilidade ambiental vem sendo utilizado e representa uma importante ferramenta técnico-gerencial à priorização dos ambientes a serem protegidos e a serem aplicados ou concentrados esforços em episódios de acidentes e/ou emergências. Estas cartas têm a finalidade de reduzir os impactos ambientais negativos, tanto do derrame quanto dos esforços de limpeza (ARAÚJO, 2002).

As Cartas de Sensibilidade Ambiental para derramamentos de Óleo (Cartas SAO) são documentos cartográficos que visam auxiliar as operações de emergência em caso de derrames de óleo. As informações contidas nas cartas têm por objetivo a localização das áreas mais sensíveis para que as prioridades de proteção possam ser estabelecidas e as estratégias de limpeza selecionadas, visando à proteção da vida humana e à redução do impacto ambiental negativo, em episódios de derramamento de óleo (COSTA, 2010).

Os acidentes de óleo da barcaça *Nestucca* em 1988, no estado de Washington, e do navio-tanque *Exxon Valdez* em 1989, no Alasca, demonstraram que a capacidade de resposta não era suficiente para lidar com incidentes de derramamento de grandes proporções (SOUZA, 2006).

Esta constatação provocou uma profunda avaliação do sistema utilizado, que acarretou o estabelecimento das legislações internacionais, baseadas no caráter ambiental, com o intuito de definir diretrizes a respeito das atividades de prospecção, transporte e armazenamento de petróleo e derivados. Em novembro de 1990, surgiu a Convenção Internacional para Preparo, Resposta e Cooperação em Caso de Poluição por Óleo (OPRC-90), realizada pela *International Maritime Organization* (IMO), que estabeleceu a elaboração de Planos Nacionais de Contingência (PNC) aos países signatários (CETESB, 2007).

Apesar da grande repercussão dos acidentes nas regiões costeiras, Yoshioka e Carpenter (2002) demonstraram em um estudo que, nos últimos anos, os acidentes ligados a grandes derrames de óleo nos Estados Unidos ocorrem mais pelos dutos, no interior do país, do que na área costeira, pelas embarcações. Isto sem levar em conta o grave acidente na

plataforma *Deepwater Horizon*, operado pela *British Petroleum*, no Golfo do México, ocorrido em 20 de abril de 2010, onde uma explosão e posterior incêndio danificaram uma plataforma de perfuração em águas profundas a cerca de 50 km ao sudeste de *Venice*, Louisiana, aproximadamente 5 milhões de barris de óleo foram liberados.

No Brasil, um dos mais graves derramamentos de óleo em ambiente fluvial, ocorreu no rio Guaecá, em 18 de fevereiro de 2004, na região da Praia de Guaecá, em São Sebastião, estado de São Paulo. O vazamento foi causado por uma fenda longitudinal no oleoduto OSBAT da PETROBRAS/TRANSPETRO, que liga o Terminal Aquaviário de São Sebastião (TASS) a Refinaria Presidente Bernardes em Cubatão (RPBC). Ocorreu dentro de Unidade de Conservação (área do Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo São Sebastião), atingindo o rio Guaecá, corpo d'água classe 1, afetando severamente a biota aquática. A contaminação afetou toda a extensão do corpo d'água, na serra e na planície costeira, até a praia de Guaecá, que também foi atingida (CETESB, 2005).

Historicamente, o mundo está habituado à ideia de que o melhor método de limpeza é aquele em que se faz a remoção do óleo mais rapidamente. Esses métodos são escolhidos pelo fato de que com a redução do tempo necessário para a limpeza, haverá menor custo de operação e também menor desgaste gerado pela exposição dos acidentes ecológicos na mídia. Porém, a aplicação de métodos, sem o conhecimento das características locais dos ambientes atingidos e dos impactos esperados tanto do vazamento como das ações de limpeza, podem causar efeitos ambientais desconhecidos ou ignorados por quem executa.

3.2. Histórico das cartas SAO costeiras

A identificação e mapeamento das áreas sensíveis a derramamentos de óleo tiveram sua origem nos planos de contingência dos Estados Unidos (CETESB, 2007). A partir de uma escala de sensibilidade relativa, os ambientes costeiros foram mapeados e hierarquizados, gerando assim um índice de sensibilidade ao impacto por óleo. Na década de 90, a criação de mapas de sensibilidade ambiental dos ambientes costeiros referentes à poluição por óleo, foi possível graças ao uso de imagens obtidas por sensores orbitais, aerotransportados e de sistemas de informações geográficas (SIG) (GHERARDI et al., 2008).

Uma das primeiras classificações quanto à sensibilidade dos ambientes litorâneos ao contato com petróleo foi apresentada por Gundlach e Hayes (1978). De acordo com esses autores, tal classificação baseia-se na sensibilidade de um ambiente costeiro em relação aos

processos físicos que controlam a deposição do óleo, persistência ou longevidade do óleo no ambiente e extensão do dano biológico. Outro estudo pioneiro importante de classificação é de Michel, Hayes e Brown (1978), que considera principalmente o modo de ocorrência e a longevidade do óleo nos diferentes ambientes costeiros (MARTINS, 2012)

A partir dessas propostas, os primeiros mapas de sensibilidade foram elaborados nos Estados Unidos, como componentes dos Planos de Contingência. Porém, estes mapas iniciais se restringiam a uma classificação do litoral de acordo com o índice de vulnerabilidade do meio físico, sem levar em consideração os aspectos bióticos e socioeconômicos.

A partir daí, os mapas de sensibilidade foram evoluindo e sendo adotados em diversos países, dentre eles alguns grandes produtores de petróleo, como: Austrália, Mar Vermelho no Egito, Venezuela, Emirados Árabes, Ilha de Trinidad no Caribe, Ilha de Svalbart, Israel, entre outros (PINCINATO, 2007).

Desta forma, foram inseridas diversas variáveis e utilizadas diferentes abordagens para a avaliação da sensibilidade ao derrame variando de acordo com o objetivo do estudo. O estudo de Abdel-Kader et. al. (1998), no parque nacional Ras-Mohammed, Egito, desenvolveu um mapa que levou em consideração três classes de prioridade de proteção. Para obter tal resultado, considerou o índice de vulnerabilidade de Gundlach e Hayes (1978), ambiente urbano, características geomorfológicas da costa, recursos biológicos e sua sensibilidade.

Nansingh e Jurawan (1999) sugeriram para o litoral de *Trinidad*, região do Caribe, um índice de sensibilidade ambiental para quinze zonas costeiras representativas, baseando-se em parâmetros físicos e biológicos durante as estações secas e chuvosas. A classificação resultante não se afastou daquela proposta por Gundlach e Hayes (1978), a única diferença foi que em sua classificação os ambientes de recifes de coral estavam inclusos, com o índice de sensibilidade ambiental igual a 9, apenas sendo menos sensíveis dos manguezais (índice de sensibilidade ambiental 10).

Os mapas de sensibilidade a derrames de óleo, desde 1989, passaram a conter três tipos de informações: a classificação da sensibilidade dos ambientes na escala de 1 a 10; os recursos socioeconômicos e os recursos bióticos presentes na área mapeada (WIECZOREK, 2006).

A fim de padronizar os mapas de sensibilidade a derrames de óleo, o Serviço Nacional de Administração dos Oceanos e da Atmosfera dos Estados Unidos (NOAA – *National Ocean*

and Atmospheric Administration) publicou “*Environmental Sensitivity Index Guidelines*” (PETERSEN et. al, 2002), que orientou os mapeamentos de sensibilidade em todo o mundo.

3.3. Histórico das cartas SAO costeiras no Brasil

A partir do acidente envolvendo o *Exxon Valdez*, nos EUA, as cartas SAO nacionais também começaram a ganhar destaque, devido à preocupação com os ambientes costeiros. Alguns estudos para o litoral brasileiro já tinham sido desenvolvidos antes que esse acidente ocorresse. Awazu e Poffo (1986) propuseram áreas a ser protegidas dos derrames de petróleo e derivados, no Litoral Norte de São Paulo.

No Brasil, o acidente da Baía de Guanabara, em janeiro de 2000, e o acidente da REPAR, em julho de 2000, foram importantes marcos que alteraram a forma do Brasil se posicionar com relação aos derrames de óleo.

O acidente na Refinaria Duque de Caxias (REDUC/PETROBRAS), localizada na Baía de Guanabara, em 18 de janeiro de 2000, ocorreu por consequência de um vazamento do duto que liga a Refinaria ao terminal da Ilha D'Água. Com isso, foram despejados 1,3 milhões de m³ de óleo e graxa nas águas da Baía. A mancha se espalhou por 40 quilômetros quadrados. As consequências desse desastre tiveram uma proporção incalculável, pois o vazamento atingiu os manguezais de Guapimirim, uma área de proteção ambiental com inúmeras espécies da fauna e flora, além de provocar graves prejuízos tanto de ordem social, como econômica à população local.

Na Refinaria Presidente Getúlio Vargas (REPAR/PETROBRAS), quatro milhões de litros de óleo foram despejados nos rios Barigui e Iguazu, no Paraná, devido a uma ruptura da junta de expansão de uma tubulação da REPAR, acarretando impacto ambiental significativo, com contaminação de rios e afluentes da região. O acidente levou duas horas para ser detectado, tornando-se o maior desastre ambiental provocado pela Petrobras em 25 anos (AMBIENTE BRASIL, 2013).

Maldonado, Ishihata e Polette (1987) realizaram o mapeamento da vulnerabilidade dos ambientes costeiros em Ubatuba, São Paulo. No estudo foram utilizados apenas três níveis de sensibilidade, que se baseava em atribuições de pesos a fatores (configuração da costa, granulometria do sedimento, presença de manguezal, entre outros), e a classificação do índice foi feita para cada praia.

O Brasil adotou o compromisso com a OPRC-90 através do Decreto-Lei nº43, de 1º de junho de 1998. Com promulgação da Lei nº 9.966, de 28 de abril de 2000, os planos de contingência para combate a vazamentos de óleo no mar receberam grande impulso.

Nesta lei, são regulamentadas, para portos, plataformas e navios, ações ligadas ao transporte e armazenamento de óleo, além de definir que o órgão federal do meio ambiente estabelecerá os planos de contingência locais e regionais, na forma do Plano Nacional de Contingência (PNC), conforme com o disposto na OPRC 90. Ainda determina, para portos organizados, instalações portuárias, plataformas, e suas instalações de apoio, a elaboração dos Planos de Emergência Individuais (PEI).

Para padronizar o conteúdo dos PEI de instalações portuárias, houve a Resolução MMA/CONAMA 293, de 12 de dezembro de 2001 (BRASIL, 2002), que determinava que os procedimentos de limpeza das áreas costeiras atingidas devem levar em consideração fatores da geomorfologia, o tipo de óleo, grau de exposição da área, tipo e sensibilidade da biota local e atividades socioeconômicas relacionadas. Atualmente, esta resolução foi revogada pela Resolução MMA/CONAMA 398, de 11 de junho de 2008 (BRASIL, 2008).

Em 1993, a Petrobras divulgou o primeiro mapa de sensibilidade, que mapeou as áreas de influência das atividades da companhia na Bacia de Campos, Rio de Janeiro. Em 1996, a Associação Regional das Companhias de Óleo e Gás na América Latina e no Caribe (ARPEL) sugeriu a utilização das mesmas metodologias, nos moldes da NOAA, para a elaboração dos mapas (ARAUJO et al., 2006).

As primeiras iniciativas de se buscar um guia de padronização para a elaboração das cartas SAO em ambientes costeiros brasileiros foram realizadas por Araujo, Silva e Muehe (2002), com a publicação do “Manual básico para elaboração de mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo no sistema Petrobras: ambientes costeiros e estuarinos”.

Posteriormente, o Ministério do Meio Ambiente elaborou as “Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo” (BRASIL, 2004) para a zona costeira e marinha, trabalho realizado em conjunto com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), responsável direto pelo controle ambiental e pelo licenciamento das atividades da indústria do petróleo, e a Agência Nacional do Petróleo (ANP), órgão regulador do setor petrolífero. Este documento oficial visa à padronização da elaboração das Cartas SAO, adaptando o índice de sensibilidade do litoral (ISL) às características dos ambientes costeiros brasileiros.

Nessas cartas são utilizados os seguintes fatores: a sensibilidade dos ecossistemas costeiros e marinhos; recursos biológicos e usos humanos dos espaços e recursos (atividades socioeconômicas) (BRASIL, 2004).

O Quadro 1 apresenta uma comparação entre a classificação de ISL adotada pela NOAA (PETERSEN et. al, 2002) e a proposta feita pelo MMA (BRASIL, 2004), para as costas brasileiras.

3.4. Histórico das cartas SAO fluviais

Os primeiros trabalhos de sensibilidade ambiental a derrames de óleo foram feitos para os ambientes marinhos e costeiros. Devido ao fato dos maiores acidentes ocorrerem nestes ambientes, atualmente, tem-se uma variedade de metodologias para a classificação da sua sensibilidade. Porém, há um crescente interesse em estudar a sensibilidade ambiental ao óleo em ambientes diferentes do costeiro, tendo destaque os ambientes fluviais.

Atentando a esse fato, foram incluídas nas atualizações do guia da NOAA, índices de sensibilidade para ambientes estuarinos, lacustres, fluviais e palustres (NOAA, 1994b; PETERSEN et al., 2002).

Hayes, Michel e Montello (1997) propuseram o Índice de Sensibilidade de Alcance (*Reach Sensitivity Index* – RSI) para ser aplicado em pequenos rios e córregos do sudeste dos Estados Unidos. Esse índice considera como fatores a navegabilidade do rio, o padrão de corrente d'água, o tamanho do rio, a ocorrência de pontos de acúmulo próprio ao tipo do rio e a presença de escoamento e bifurcações nos canais.

No estudo de Zengel et al. (2001) foi desenvolvido o RSI para mapeamento de pequenos rios e córregos em Porto Rico, Ilhas Virgens dos Estados Unidos e Ilhas Virgens Britânicas, em toda sua área protegida do interior e montanhosa, utilizando como índices a sensibilidade biológica e o uso humano dos recursos. Essa classificação pode ser aplicada em córregos com ambientes similares como o Caribe, Havaí e outras áreas montanhosas tropicais. No entanto, a classificação RSI é diferente da classificação de índice de sensibilidade ambiental tradicional, porque o rio está subdividido em segmentos, ou alcance (JENSEN HALLS e MICHEL, 1998).

Quadro 1 – Comparação da classificação de sensibilidade adotada pela NOAA com a proposta para o Brasil

Índices	Classificação NOAA	Classificação para a costa brasileira
1	Molhes expostos e outras estruturas sólidas feitas de concreto, madeira ou metal, impermeáveis	<ul style="list-style-type: none"> • Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos • Falésias em rochas sedimentares, expostas • Estruturas artificiais lisas (paredões marítimos artificiais), expostas
2	Escarpas e taludes íngremes de argila (barreiras) Plataformas de argila erodidas pelas ondas	<ul style="list-style-type: none"> • Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos • Terraços ou substratos de declividade média, expostos (terraço ou plataforma de abrasão, terraço arenítico exumado bem consolidado, etc.)
3	Praias de areia fina Escarpas e taludes íngremes de areia	<ul style="list-style-type: none"> • Praias dissipativas de areia média a fina, expostas • Faixas arenosas contíguas à praia, não vegetadas, sujeitas à ação de ressacas (restingas isoladas ou múltiplasm feixes alingados de restingas tipo “long beach”) • Escarpas e taludes íngremes (formações de grupo Barreiras e Tabuleiros Litorâneos), expostos • Campos de dunas expostas
4	Praias de areia grossa	<ul style="list-style-type: none"> • Praias de areia grossa • Praias intermediárias de areia fina a média, expostas • Praias de areia fina a média, abrigadas
5	Praias mistas de areia e cascalho (ou conchas)	<ul style="list-style-type: none"> • Praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais • Terraço ou plataforma de abrasão de superfície irregular ou recoberta de vegetação • Recifes areníticos em franja
6	Praias de cascalho (ou de conchas) Enrocamentos expostos (para proteção da costa)	<ul style="list-style-type: none"> • Praias de cascalhos (seixos e calhaus) • Costas de detritos calcários • Depósitos de tálus • Enrocamentos (“rip-rap”, guia corrente, quebra-mar) expostos • Plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas)
7	Planícies de maré (inundáveis) expostas	<ul style="list-style-type: none"> • Planície de maré arenosa exposta • Terraço de baixa-mar
8	Estruturas artificiais sólidas abrigadas (piers, instalações portuárias, molhes) Enrocamentos abrigados Escarpas abrigadas	<ul style="list-style-type: none"> • Escarpa/encosta de rocha lisa, abrigada • Escarpa/encosta de rocha não lisa, abrigada • Escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados • Enrocamentos (“rip-rap” e outras estruturas artificiais não lisas) abrigados
9	Planícies tidais (inundáveis) abrigadas Margens de rios com gramíneas e árvores	<ul style="list-style-type: none"> • Planície de maré arenosa/lamosa abrigada e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas • Terraço de baixa-mar lamoso abrigado • Recifes areníticos servindo de suporte para colônias de corais
10	Pântanos salobros e salgados Pântanos de água doce (vegetação herbácea) Pântanos de água doce (vegetação de mata)	<ul style="list-style-type: none"> • Deltas e barras de rio vegetadas • Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas • Brejo salobro ou de água salgada, com vegetação adaptada ao meio salobro ou salgado; apicum • Marismas • Manguezal (mangues frontais e mangues de estuários)

Fonte: BRASIL, 2004

Para a classificação em uma unidade de escala regional, há o Índice de Sensibilidade de Bacias Hidrográficas (*Watershed Vulnerability Index – WVI*). No estudo de Jensen, Halls e Michel (1998), o WVI tem como objetivo identificar as bacias hidrográficas de alta prioridade ao mapeamento e planejamento das áreas vulneráveis, que são baseados em dois indicadores de risco de derrames (comprimento de tubulações e localização de instalações de petróleo), e das áreas sensíveis, com quatro indicadores de consequência (consumo de água potável de superfície, zonas úmidas, a ocorrência de espécies e comunidades de interesse de conservação, e os locais de terras manejadas).

Para Weathers, Hayes e Michel (2009), o WVI tem como proposta identificar em qual setor da bacia há rios e córregos ambientalmente mais sensíveis. Esses índices de sensibilidade são baseados nas características morfológicas do ambiente e nas características físicas da bacia.

3.5. Histórico das cartas SAO fluviais no Brasil

Para a confecção das cartas SAO fluviais, seguindo o modelo utilizado pela NOAA, deve-se levar em conta três aspectos ambientais em relação aos derrames de óleo: a classificação dos ecossistemas fluviais, baseada na sensibilidade aos derrames de óleo; as espécies biológicas especialmente sensíveis; e a identificação dos recursos socioeconômicos que podem ser afetados (ARAUJO et al., 2006)

São ainda relativamente em pequeno número os trabalhos realizados para ambiente fluvial no Brasil. Araujo et al. (2006) propuseram o índice de sensibilidade fluvial da região amazônica a derrames de óleo. No projeto foram considerados os tipos de feições encontradas no canal, (margem de rio, praias, cachoeiras, barras/bancos), em planícies fluviais (lago/planície exposta, floresta alagável, chavascal e banco vegetado) e de transição entre ambas (furos e bocas de lagos). Após a apresentação das feições fluviais existentes na região amazônica, foram hierarquizados os ecossistemas no ranking de 1 a 10, similar ao feito pela NOAA.

No trabalho realizado por Lacerda (2006), foram utilizadas dois tipos de classificação dos índices de sensibilidade para a Costa Oeste da Lagoa dos Patos/RS, Brasil, a proposta por Araujo et al. (2006) e pelo MMA (BRASIL, 2004). Nesse estudo foram analisadas as diferenças entre as metodologias, além de mostrar que a estação do ano pode alterar significativamente a análise.

Ferreira e Beaumord (2008) fizeram a classificação do índice de sensibilidade ambiental de quatro trechos da bacia do rio Canhanduba, Itajaí, Santa Catarina, interceptados por dutos. O índices de sensibilidade ambiental basearam-se na classificação do MMA (BRASIL, 2004), adaptada para ser utilizada em feições ribeirinhas. Na elaboração das cartas foram utilizados os atributos sensibilidade do ecossistema, recursos naturais, e usos humanos dos espaços e recursos (atividades sociais econômicas). Um dos aspectos fundamentais para classificação do ambiente foi a caracterização geomorfológica do segmento em análise, uma vez que permite alguma inferência sobre a determinação do tempo de permanência e grau de impacto do óleo derramado.

Martins (2012), em seu estudo sobre derramamentos de óleo na Estrada dos Tamoios (SP-099), utilizou como método para avaliar o índice de sensibilidade fluvial o proposto pela NOAA. Os demais componentes constituintes da Carta SAO foram adaptados em sua totalidade, seguindo as especificações e normas técnicas do MMA.

Na maioria dos estudos relacionados aos ambientes fluviais, utilizam-se os índices de sensibilidade fluvial propostos pela NOAA para ambientes estuarinos, lacustres, fluviais e palustres (PETERSEN et al., 2002); pelo MMA para ambiente costeiros e estuarinos (BRASIL, 2004); e por Araujo et al. (2006).

3.6. Levantamento e análise de técnicas de remediação costeiras

A escolha da mais apropriada técnica de limpeza em caso de derrame de óleo dependerá das exatas circunstâncias do incidente e de diferentes variáveis a serem consideradas. Para Etkin (1999), a localização é um dos mais importantes fatores para a escolha da técnica, porque são envolvidas as características geográficas, políticas e legais.

Outro fator que deve ser considerado para as ações de resposta é o período em que o acidente ocorre, pois vários fatores estão relacionados a isso, por exemplo, com a subida da maré os danos podem ser mais severos, ou se o acidente ocorrer na época de reprodução de uma determinada espécie, o que também aumenta a magnitude do problema (MULER, 2008).

Durante a escolha da técnica mais apropriada a ser aplicada podem aparecer alguns conflitos. O mais freqüente é a necessidade de remoção total do óleo na costa. Essa necessidade é criada pelo pouco conhecimento dos efeitos da poluição do óleo e a limpeza, e também é inspirada pelo desejo de reparar os impactos causados pelo acidente do homem, ou

pode ser ainda motivada politicamente. A completa remoção não é necessária, pois a capacidade do ambiente à recuperação natural é relativamente rápida, por exemplo, quando acontecem as perturbações como as tempestades e variações climáticas.

Outro conflito que afeta a decisão da técnica de limpeza a ser utilizada é a relação entre o interesse turístico na área, o ambiente e a pesca. A indústria de turismo procura a técnica que resultará em uma limpeza mais rápida possível, principalmente quando ocorre o acidente durante a alta temporada. Isso, geralmente, leva ao uso de técnicas mais agressivas para a limpeza, que não levam em consideração os riscos de impactos nos recursos ambientais e nas pescas (DICKS et al., 2002).

Nesse contexto, tem-se o *Net Environmental Benefit Analysis* (NEBA), cujo papel é dar pesos a vantagens e desvantagens de cada método de limpeza, além de levar em conta os fatores sociais, econômicos e ambientais para a escolha da mais adequada técnica de limpeza para a situação determinada.

A definição de prioridades é de suma relevância para o planejamento do atendimento emergencial de limpeza nos ambientes costeiros. Na primeira fase, caso ocorra acidente de derrame de óleo, a prioridade é a contenção e a remoção em mar, que pode prevenir a costa da contaminação e da limpeza. Quando vários ambientes são atingidos, devem-se priorizar áreas de proteção. Culturalmente, a prioridade de limpeza é dada às praias mais visadas pela mídia e de uso intenso pela população, ficando em segundo plano a limpeza de costões rochosos e manguezais (CETESB, 2007).

Outro aspecto importante a ser considerado é o conceito de zonas de sacrifício, que são locais de baixa sensibilidade que, se necessário, recebem o óleo derramado ao invés de áreas mais sensíveis. É necessário conhecer os ambientes sensíveis para que essas ferramentas de gestão da emergência sejam adotadas. As zonas de sacrifício são áreas com ambientes de baixo ISL, com menores concentrações de atividades humanas e de recursos biológicos, além de ser ambientes mais fáceis de limpar e com recuperação mais rápida, ou seja, com locais de fácil acesso para equipes humanas e que possibilitem o manuseio adequado dos equipamentos de limpeza e remoção (MULER, 2008).

Vale ressaltar que as técnicas de limpeza nem sempre são necessárias. Muitas vezes, o óleo poderá ficar apenas no mar, onde sofrerá a dissipação e a degradação natural, sem afetar os recursos costeiros ou os animais selvagens. Nesses casos, o monitoramento e a modelagem da mancha de óleo são suficientes. Entretanto, um pequeno derrame de óleo cru persistente ou

de combustível bruto pesado, pode requerer uma limpeza eficiente, especialmente se recursos ambientais sensíveis estão sendo ameaçados (ITOPF, 2012).

A seguir são descritas técnicas de limpeza para ambientes marinhos, ou seja, antes que o óleo chegue a contaminar a costa, segundo *The International Tanker Owners Pollution Federation* (2012).

- Limpeza natural

A limpeza natural ocorre quando os processos naturais de limpeza atuam como a ação das ondas, das marés e das correntes marítimas/costeiras. E nas áreas mais abrigadas da ação das ondas ocorre a biodegradação, volatilização, solubilização, foto oxidação e dispersão, e outros, além que a formação de emulsões óleo-mineral (silte-argila) tem favorecido a limpeza natural dos ambientes costeiros.

A eficiência de tal método depende de fatores como o tipo e quantidade de óleo, o ambiente, a época do ano, grau de hidrodinamismo, entre outros. Em ambientes abrigados o óleo pode permanecer por anos, assim é necessário imediatamente que seja estabelecido o uso de métodos auxiliares de limpeza, que não agreguem danos adicionais relevantes, favorecendo tanto quanto possível a recuperação natural do ambiente.

Essa técnica geralmente gera críticas pela mídia, ONGs e parte da sociedade, que desejam ver ações concretas feitas. Entretanto, tal técnica pode ser a melhor escolha em um acidente, desde que seja avaliado adequadamente o cenário.

- Barreiras

São utilizadas para prevenir a entrada de óleo nas áreas sensíveis ou para desviar o óleo para uma área de coleta. As barreiras podem consistir de bermas de terra, cercas de filtro, barreiras de bolhas de ar, ou trincheiras. Quando for necessária a passagem da água, por causa da quantidade de água ou necessidades de fluxo, podem-se empregar barragens underflow (para baixas vazões) ou barragens de transbordamento. Se a barreira não falhar, é a estratégia mais eficiente para excluir o óleo de uma área sensível (NOAA, 1994a).

- Bombas

Essa técnica é usada para controlar o movimento de óleo flutuante com a finalidade de conter, desviar, defletir ou excluir a mancha, pois forma uma barreira para que o óleo não atinja áreas sensíveis ou para direcioná-lo a um local de coleta. Tem como objetivo a

recuperação do óleo. Entre os impactos que pode causar, o principal é a perturbação causada pelo tráfego dos trabalhadores. Uma de suas limitações é o acesso à área, para o tráfego dos caminhões de bombeamento a vácuo, e a dificuldade da utilização de bombas portáteis por falta de acesso à alimentação de energia no local (ITOPF, 2012).

- Recolhedores (*skimmers*)

Recolhedores têm a finalidade de recuperar o óleo da superfície da água. Em conjunto com as bombas é a técnica ideal, pois se efetivo, poderá remover o óleo do ambiente marinho. Infelizmente, apresenta diversos problemas, pois o óleo tem a tendência natural de se dispersar, propagar e fragmentar pela influência do vento, ondas e correntes marinhas.

Assim, mesmo que o sistema de contenção e de coleta seja operado nas primeiras horas do acidente, o óleo flutuante no ambiente estará em baixas concentrações. Por isso, mesmo em situações ideais, a proporção de recuperação do derrame de óleo é relativamente pequena (10 a 15%).

Existem vários tipos de recolhedores com princípios de funcionamento distintos, como os recolhedores por adesão a discos giratórios ou cordas oleofílicas; outros por sucção, ou ainda do tipo vertedouros. Recolhedores com funcionamento por adesão são mais seletivos no recolhimento do óleo, porém possuem menor eficiência que os do tipo vertedouros. Estes, por sua vez, geram maior quantidade de resíduos oleosos (CETESB, 2007).

Portanto, é importante selecionar equipamentos adequados para a retirada do óleo no ambiente, deve-se considerar o tipo de óleo e as condições do clima/oceano. Além disso, deve-se visar às concentrações de óleos mais pesados e áreas onde a coleta do óleo irá reduzir a probabilidade de impactos nos ambientes costeiros mais sensíveis.

- Queima *in situ*

Devido às dificuldades logísticas de se coletar o óleo da superfície do mar e armazená-lo antes da destinação final em terra, uma alternativa é a concentração do óleo com o auxílio das bombas especiais à prova de fogo para, posteriormente, queimá-lo.

Um certo número de limitações físicas restringi a possibilidade de utilizar a técnica de queima *in situ*. Estes fatores incluem a velocidade do vento, altura da onda, a espessura do óleo, tipo de óleo, o grau de intemperismo, e emulsificação de óleo. Além de que na medida em que os componentes mais inflamáveis de óleo vão rapidamente evaporando, a ignição

pode ser difícil. A seguir são regras gerais para a realização de queima *in situ* (McKENZIE e LUKIN, 1999):

- Ventos inferiores a 20 kt (37 km/h ou 23 mi/h);
- Ondas menores de 62 cm a 92 cm;
- Uma espessura mínima de 2 mm a 3 mm de óleo cru fresco, e mais grosso para diesel ou óleo persistente;
- Para a maioria dos óleos brutos, menos de 30% da perda por evaporação;
- Para emulsões de óleo-água, um conteúdo de água menos de 25%.

Outra dificuldade é com relação aos derrames próximos à costa, onde a aplicação da técnica pode causar problemas na segurança e na saúde dos habitantes próximos, além de ter o risco do fogo se espalhar, perdendo-se o domínio da queima controlada (ITOPF, 2012).

- Dispersantes

Os dispersantes químicos são utilizados para aumentar a dispersão natural do óleo no mar. Essa técnica divide o óleo em pequenas gotículas, que são dispersas na coluna de água, onde eles são diluídos pelas correntes e, posteriormente, quebradas naturalmente.

Dispersantes de baixa toxicidade foram desenvolvidos no princípio da década de 1970. Estes eram conhecidos como “hidrocarboneto-base”, “convencional” ou Tipo 1 (classificação do Reino Unido). O solvente utilizado foi o querosene com um teor de aromático muito baixo e que também continha uma baixa concentração de surfactantes. Apesar de baixa toxicidade, estes dispersantes precoces são de baixa eficácia e precisam ser usados em taxas muito elevadas de tratamento de 1:2 ou 1:3 de dispersante e óleo, respectivamente. A água-diluível ou Tipo 2 (classificação do Reino Unido) é a adição da água do mar no dispersante com alto teor de surfactantes, o que o torna mais eficiente (IPIECA, 2001).

Dispersantes de maior desempenho foram produzidos pelo emprego de misturas de diferentes tipos de surfactantes. Estes são conhecidos como "concentrado" ou dispersantes “3ª geração”. Modernos dispersantes concentrados contêm maior taxa de surfactantes que os antigos dispersantes. Eles podem ser pulverizados sem diluição (como Tipo 3, classificação do Reino Unido) ou diluída em água (Tipo 2). Embora este método de pulverização seja adequado para a dispersão de óleos crus leves a médio, não deve ser usado em óleos pesados ou de óleos que estão no mar por algum tempo, porque o água-diluível dispersante é facilmente lavada pela ação das ondas antes de atingir o efeito desejado (IPIECA, 2001).

Para aplicação do dispersante são utilizados barcos, aviões e helicópteros para pulverização do mesmo. Para melhor eficiência na aplicação da técnica é necessário que os dispersantes sejam aplicados antes que o óleo se torne viscoso, por causa da evaporação, ou tenha a formação de emulsão.

O uso controlado de dispersantes pode reduzir os impactos de um derrame de petróleo sobre os recursos ambientais e econômicos. Porém, seus efeitos devem ser monitorados, pois o óleo é transferido da superfície do mar para dentro da coluna de água, assim deve haver uma avaliação cuidadosa do risco relativo dos recursos potencialmente sensíveis em diferentes partes do ambiente marinho. Se há prioridades conflitantes, estas precisam ser resolvidas na fase de planejamento de contingência.

Devido ao seu potencial de causar impactos negativos se usado de maneira incorreta, a aprovação de produtos dispersantes e seu uso é controlado pelas autoridades governamentais competentes.

A Resolução CONAMA nº 269, de 14 de setembro de 2000 (BRASIL, 2001), regulamenta o uso de dispersantes químicos em derrames de óleo no mar. Nela são listados alguns critérios para a aplicação, como por exemplo, quando houver risco à saúde humana, perigo de incêndio na instalação e/ou embarcação, ou quando a contenção do óleo mostrar-se ineficiente, ou ainda quando a mancha de óleo se aproxima de áreas sensíveis ou proibidas para uso de dispersante.

Quando os ambientes costeiros são afetados, podem-se utilizar as seguintes técnicas de limpeza em suas margens, segundo a CETESB (2007).

- Remoção manual

A remoção manual utiliza como ferramentas materiais simples, como rodos, pás, latas, baldes, carrinhos de mão, tambores etc. É uma técnica útil para a remoção de óleo em áreas de difícil acesso, como costões rochosos, e onde houver formações de poças e acúmulo do produto. É recomendada a utilização dessa técnica em regiões mais sensíveis, uma vez que tais regiões não suportam grandes impactos negativos causados pelos procedimentos da limpeza. Esta técnica não utiliza equipamentos ou máquinas na limpeza, e quando a equipe é bem orientada e treinada, podem-se remover consideravelmente quantidades de óleo no ambiente.

Em muitos casos, a remoção manual é escolhida por ser mais adequada do ponto de vista ambiental, pois causa mínimos danos adicionais. Esta metodologia é aplicada frequentemente em conjunção com a aplicação de absorventes (CETESB, 2007).

Entretanto, esse método é muito trabalhoso, requer mais tempo e necessita de um maior número de trabalhadores, além de exigir uma intensa fiscalização e supervisão por parte da coordenação de campo.

- Remoção mecânica

A remoção mecânica é utilizada para a limpeza da areia contaminada com o óleo que fica na faixa de praia e na zona entremaré. Essa técnica é utilizada com a finalidade de obter maior eficiência e rapidez na limpeza das praias com o auxílio de veículos e máquinas pesadas, como tratores e retroscavadeiras.

Como desvantagem de utilização da remoção mecânica pode-se citar os graves danos que tal técnica pode gerar à comunidade biológica do local. As máquinas removem a comunidade junto com a areia, que se concentra, em grande parte, nos vinte centímetros superficiais do sedimento. Além de que os veículos podem compactar o substrato, aumentando ainda mais os danos à comunidade. Esse procedimento ainda pode causar a descaracterização fisiográfica da praia, alteração do equilíbrio dinâmico e alteração na intensidade dos processos erosivos (CETESB, 2007).

- Absorventes

Os materiais absorventes são normalmente utilizados após a utilização de técnicas de contenção e remoção, quando maior parte do produto já foi recolhida. São duas categorias básicas em que os produtos absorventes podem ser divididos: sintéticos e naturais. Para a escolha do material absorvente mais apropriado devem-se levar em conta a sua composição química, sua toxicidade, os efeitos crônicos e agudos na saúde humana causados pela exposição em excesso ao material absorvente, dados químicos e físicos, sua forma de aplicação e sua disposição final.

Os tipos de absorventes, segundo a CETESB (2007) e Lopes, Milanelli e Gouveia, (2005), são apresentados resumidamente no ANEXO A.

- Enterramento/revolvimento do sedimento

Nesse procedimento, a área atingida pelo óleo, como um trecho de praia, pode ser coberta por sedimentos não contaminados, ter seus sedimentos contaminados revolvidos, ou ainda ser deslocado para o infralitoral. Para nível estético utiliza-se o processo de enterramento, favorecendo a recuperação do aspecto exterior do local em curto prazo, pois há grande possibilidade da liberação e recontaminação posteriormente.

O método de revolvimento de sedimentos contaminados é usado quando o óleo se agrega às partículas finas de sedimento, favorecendo a limpeza natural do ambiente. Esses agregados partículas-óleo fazem com que o óleo adsorvido não se junte ao substrato e aos organismos vivos, favorecendo o intemperismo natural e a biodegradação do produto. Para potencializar esse fenômeno, pode-se deslocar o sedimento contaminado de entremarés para o infralitoral. Para utilizar o método de revolvimento e reposicionamento, é necessária a utilização de máquinas pesadas (CETESB, 2007).

- Jateamento com água – alta e baixa pressão

Esse método tem o objetivo de extrair o óleo em costões rochosos e estruturas artificiais através da remoção mecânica pela pressão. Mesmo o óleo de alta viscosidade, densidade ou elevado processo de intemperismo são removidos, a pressão utilizada pelo jateamento é diretamente proporcional à densidade do óleo no ambiente.

O principal dano causado pelo uso dessa técnica é a remoção mecânica da fauna e flora, principalmente quando é realizado na zona entremarés, que é rica em espécies. E estudos indicam que o uso de jateamento de alta pressão em costões rochosos pode ser mais grave que a limpeza natural do ambiente, sem qualquer utilização de técnicas (CETESB, 2007).

- Jateamento com areia

Jateamento com areia é a projeção de um jato de areia (ou outro agente abrasivo) sob pressão, sendo aplicado sobre superfícies sólidas como costões rochosos e substratos artificiais (enrocamentos, pilares de portos, rampas, píeres etc.).

Esse método é exclusivamente utilizado por razões estéticas, assim como o método anterior. Por causa da abrasão e da pressão que o jato de areia faz sobre a superfície contaminada, é removida completamente a comunidade biológica do substrato. A areia contaminada pode atingir outras áreas adjacentes do acidente, pois os grãos contaminados

tendem a afundar. Além de que o acúmulo de areia na base dos costões pode causar o soterramento e asfixia das espécies ali instaladas (CETESB, 2007).

- Jateamento com vapor

Esse método consiste em um jato de vapor com pressão sobre o óleo presente em superfícies sólidas. Assim, é associado às altas temperaturas com o efeito mecânico da pressão, fazendo com que o vapor liquefaz o óleo das rochas.

Porém, além do calor e a pressão removerem os organismos presentes, o óleo liquefeito torna-se novamente uma fonte de contaminação da fauna e flora e das áreas adjacentes, caso o recolhimento não seja imediato (CETESB, 2007).

- Lavagem com água corrente

Consiste, basicamente, em lavar o óleo encalhado na superfície da terra até a beira da água para a coleção. É realizado através de um tubo coletor perfurado ou mangueira, que são colocados acima da costa oleada ou da margem. Em sedimentos porosos, a água flui através do substrato, empurrando o óleo solto pela frente (ou o óleo flutua na superfície da água), em seguida, o óleo desce a encosta para coleta. O fluxo é mantido para remover a maioria do óleo livre (NOAA, 1994a).

Este método é frequentemente utilizado junto com outras técnicas de lavagem, como o jateamento de baixa pressão ou de alta pressão. Seu uso não é apropriado onde os sedimentos costeiros contêm ricas comunidades biológicas. Além disso, o ambiente pode ser perturbado fisicamente pelo tráfego de trabalhadores durante as operações. E os sedimentos com óleo podem ser transportados para áreas marginais rasas, contaminando e sufocando os organismos bentônicos presentes (NOAA, 1994a).

- Corte da vegetação

Tal técnica constitui na retirada mecânica ou manual da vegetação que está contaminada de óleo. O quanto será removido, seja parte ou a remoção total da vegetação contaminada, está associado à gravidade da impregnação. Essa poda e remoção devem ser cautelosamente avaliadas, pois causam consequências adicionais negativas ao ambiente. Utiliza-se esta metodologia principalmente em macrófitas aquáticas como gramíneas marinhas e marismas.

Esse método pode gerar vários impactos negativos para o ambiente. Sua remoção total causa impactos severos à biota, ao equilíbrio geomorfológico do ambiente (dinâmica de deposição de sedimentos, processos erosivos etc.) e modificação da estrutura da comunidade, pois a fauna acompanhante depende do substrato vegetal para se instituir. Além de que a manipulação pode causar o desprendimento do óleo para água e sedimento, e também a perturbação física dessa manipulação, como o pisoteio de plantas e a movimentação de substratos (CETESB, 2007).

- Biorremediação

É a adição de materiais ou substâncias nos ambientes contaminados para acelerar os processos naturais de biodegradação. É dividida em dois processos: a bioadição (bactérias e micro-organismos como suplemento à comunidade microbiológica existente) e a bioestimulação (nutrientes e co-substratos para estimular o crescimento de populações autóctones de organismos capazes de degradar contaminantes).

Uma das principais limitações desta técnica é a falta ou limitação de oxigênio em ambientes redutores, como sedimentos de manguezais, marismas, baixios lodosos e planícies de marés. Esses ambientes possuem baixa eficiência na degradação anaeróbica, mesmo com a abundância de nutrientes. Em contrapartida, ambientes abertos como as praias, que não possuem limitações na taxa de oxigênio, apresentam dificuldade em manter a quantidade de nutrientes necessárias por ação das ondas e marés (CETESB, 2007).

A utilização de técnicas de limpeza gera quantidades significativas de resíduos do próprio óleo e do material utilizado para a limpeza, que precisam ser transportados, armazenados temporariamente e, finalmente, eliminados de uma forma ambientalmente aceitável. Tais operações continuam por muito tempo, mesmo após o término da fase de limpeza.

Óleo líquido e água oleosa podem ser reprocessados em uma refinaria. Material oleoso pode ser usado como uma matéria-prima de qualidade inferior, em alguns processos industriais e também podem ser estabilizadas para utilização em projetos de construção, como matéria-prima um derivado de baixo custo. Vias de eliminação mais tradicionais incluem incineração e aterro sanitário (ITOPF, 2012).

3.6.1. *Técnicas recomendadas para ambientes costeiros*

A CETESB (2007) indica, para cada tipo de ambiente costeiro, a utilização de determinadas técnicas de limpeza, para assegurar a minimização de impactos. A seguir são descritos os ambientes e as técnicas recomendadas para os mesmos.

- Águas abertas, costeiras e oceânicas

Para este ambiente, são necessários procedimentos eficientes de contenção e remoção do óleo do mar para evitar que recursos biológicos e socioeconômicos, bem como ecossistemas costeiros contíguos ao local do acidente sejam atingidos.

A retirada do óleo da superfície da água pode ser feita através da utilização de materiais e/ou equipamentos específicos como barreiras de contenção, recolhedores, bombas a vácuo, e absorventes. Para melhor eficiência desses métodos, é necessário levar consideração o tipo e modelo mais adequado para cada cenário, e material suficiente em relação à quantidade de óleo a ser recolhida.

Pode-se utilizar ainda o método de dispersão química, que faz a transferência das manchas de óleo para a coluna d'água, conseqüentemente, o processo de biodegradação promovido pelos organismos naturalmente presentes na água é favorecido.

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 (CETESB, 2007).

- Praias e planícies de maré

As praias estendem-se perpendicularmente à linha da costa, desde o nível de baixamar média, até a zona de vegetação terrestre permanente, como dunas, restingas e falésias, sendo dividida em porções denominadas antepraia e pós-praia. 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 (CETESB, 2007).

Na classificação das cartas SAO (BRASIL, 2004), os diversos tipos de ambientes praias do litoral brasileiro estão agrupados nos seguintes Índices de Sensibilidade do Litoral

(ISL), 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.

As planícies de maré são favoráveis à deposição de sedimentos finos, pois ocorrem em áreas costeiras normalmente abrigadas da ação direta das ondas, além de possuir uma declividade muito suave e ficar expostos durante a baixa-mar. Em alguns casos, as planícies de maré podem sofrer a ação de ondas, onde predomina a areia e há menor proporção de sedimentos lamosos. As planícies de maré expostas têm sedimentos mais compactos e firmes.

Por suas condições geomorfológicas, hidrodinâmicas e biológicas, as planícies de maré são ambientes mais sensíveis ao óleo que as praias. Assim, os ambientes lamosos, terraços de baixa-mar e planícies de maré estão classificados da seguinte forma de acordo com MMA (BRASIL, 2004):

- **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.

Os principais métodos disponíveis para limpeza desses ambientes são: absorção, remoção manual, bombeamento a vácuo, remoção mecânica, dispersão química, queima, limpeza natural e jateamento. Sendo que a limpeza natural deve ser aproveitada ao máximo durante os procedimentos de limpeza.

Assim como os outros ambientes, primeiramente, deve ser removido tanto quanto possível o óleo na coluna d'água adjacente ao ambiente, antes do início da limpeza.

- **Costões Rochosos**

Costões rochosos são afloramentos de rochas cristalinas na linha do mar, sujeitos à ação das ondas, correntes e ventos, que podem apresentar distintas conformações como

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

Os principais fatores determinantes para a classificação deste ambiente são o hidrodinamismo e o aspecto físico do substrato (inclinação e grau de heterogeneidade). Dessa forma, os índices de sensibilidade ao óleo (BRASIL, 2004) 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.

Para a seleção das técnicas de limpeza deve-se atentar ao grau de exposição dos costões às ondas. Em alguns ambientes, a limpeza natural pode ser a opção prática ou a mais eficaz.

Os métodos disponíveis para estes ambientes são 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. Sendo as mais utilizadas jateamento, bombeamento, remoção manual, lavagem, uso de absorventes e limpeza natural (CETESB, 2007).

- Substratos artificiais

Os substratos artificiais compõem-se de estruturas edificadas, são formados a partir de materiais diversos como rocha, concreto, madeira, entre outros. Em substratos planos, o óleo possui menor adesão que em substratos em blocos (enrocamentos), assim o substrato artificial fragmentado é mais sensível que estruturas lisas, pois possui maior percolação e retenção do óleo, sobretudo se a estrutura estiver localizada em áreas de baixa circulação de água. Além disso, esses ambientes mais heterogêneos propiciam o desenvolvimento de comunidades biológicas mais complexas, portanto, mais sensíveis em termos ecológicos.

As estruturas artificiais são classificadas em diferentes graus de sensibilidade ao óleo, tendo como fatores o local onde estão presentes (ambientes expostos e abrigados) e sua feição (estruturas lisas ou não lisas) (BRASIL, 2004):

- **ISL 1** - Estruturas artificiais lisas expostas;
- **ISL 6** - Enrocamentos expostos.
- **ISL 8** - Enrocamentos e outras estruturas não lisas abrigados.

Para os substratos artificiais são indicados os mesmos métodos de limpeza para costões rochosos. São recomendadas: barreiras absorventes, bombeamento a vácuo, jateamento (baixa pressão e alta pressão), remoção manual, absorventes, limpeza natural. Por serem ambientes artificiais, as intervenções de limpeza devem ser feitas na etapa posterior da emergência, pois a prioridade para limpeza e proteção é dada a ambientes naturais (CETESB, 2007).

- Recifes de coral

Recifes de coral são estruturas calcárias tropicais, de água rasa onde uma variedade de organismos marinhos habita. Esses ambientes são pouco conhecidos, mapeados e estudados, porém muito explorados e submetidos a estresse pelas ações antrópicas. Por estarem em águas rasas são muito suscetíveis a derrames de óleo, visto que o óleo normalmente flutua e pode alcançar a zona costeira durante marés baixas, atingindo-os diretamente.

Os recifes de coral são considerados os mais sensíveis ao óleo entre a grande variedade de ecossistemas costeiros. Tanto a NOAA como o MMA (BRASIL, 2004) não incluem esses ecossistemas, pois justificam que se trata de ambientes tipicamente submersos, sujeitos a cenários diferentes dos ambientes entremarés costeiros.

Na classificação proposta por Gundlach e Hayes (1978), os recifes de coral não foram inseridos, entretanto, os autores indicaram que esses ambientes estariam próximos de costões abrigados, marismas e manguezais, ou seja, próximo do índice 8 (na escala crescente de 1 a 10).

Como não estão na classificação do MMA (BRASIL, 2004), esse tipo de feição é representada como áreas, pontos ou polígonos isolados. E quando ameaçados ou atingidos por vazamento de óleo, principalmente os recifes rasos, com menos de cinco metros de profundidade ou entremarés, devem ser considerados como áreas prioritárias de proteção.

Como ações de limpeza recomendadas, caso seja possível, deve-se utilizar as ações convencionais de combate em mar, como o uso de barreiras de contenção, bombeamento a vácuo, recolhedores, limpeza natural, barreiras absorventes e absorventes naturais podem ser utilizados, desde que criteriosamente analisados e planejados pelas equipes de coordenação e pelos órgãos ambientais competentes.

Pode-se também empregar a remoção manual, para remover óleo retido em poças, fenda ou outras estruturas, desde que sejam evitados os impactos por pisoteio. Esse método pode ser feito em pequenas embarcações em locais de difícil acesso, durante a preamar, utilizando-se absorventes (almofadas, barreiras, granel) e utensílios como baldes e tambores (CETESB, 2007).

- Recifes de arenito/arenito de praia e concreções lateríticas

Esses recifes de arenito apresentam uma comunidade biológica rica, os bancos de arenito são tipicamente ambientes sensíveis a derrames de petróleo e derivados. Os recifes de feições lineares, paralelos à costa, apresentam menor hidrodinamismo na face voltada à linha de praia, sendo mais vulnerável em relação à maior permanência do óleo, uma vez que nessas áreas a limpeza natural é menos efetiva comparada à face exposta voltada para o mar.

Nas Cartas SAO (BRASIL, 2004), 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.

As concreções lateríticas possuem um elevado grau de heterogeneidade tanto em aspectos biológicos quanto a respeito à arquitetura da superfície. A irregularidade da superfície proporciona um refúgio aos organismos, em contrapartida, facilita a retenção do óleo. A configuração desse tipo de substrato dificulta a aplicação de certos procedimentos de limpeza, ou até mesmo impossibilita. Devido às poucas opções, que podem se mostrar pouco eficientes, a vulnerabilidade desses locais torna-se ainda maior.

As concreções lateríticas, que possuem elevada percolação e persistência do óleo associada à dificuldade de remoção, são classificadas, de acordo as cartas SAO (BRASIL, 2004):

- **ISL 6** – Plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas)

Para ambos locais, as técnicas de limpeza recomendadas são: bombeamento a vácuo, remoção manual, absorventes (almofadas, mantas, cordões), barreiras absorventes e pompons e limpeza natural

A limpeza natural deve ser submetida em locais de elevado hidrodinamismo. Assim, deve ser aplicado em recifes de arenito paralelos à costa, pois o flanco voltado para o mar exhibe maior hidrodinamismo comparado à sua face voltada para a costa. Em recifes voltados para a costa, por ter baixo hidrodinamismo, deve-se associar as técnicas de limpeza em conjunção com a limpeza natural (CETESB, 2007).

- Marismas

Gundlach e Hayes (1978) classificaram as marismas, juntamente com os manguezais, como os habitats mais vulneráveis. Por as marismas ocorrem tipicamente em ambientes abrigados, possuem baixo hidrodinamismo, conseqüentemente, uma vez contaminadas a ação da limpeza natural não é eficiente em remover o óleo. Existem registros de que se as ações de limpeza não forem levadas a termo, o impacto ocasionado pelo óleo em marismas pode ser severo e prolongar-se durante anos.

Por essas razões, as marismas são tidas como ecossistemas altamente sensíveis a derrames. De acordo com as cartas SAO (BRASIL, 2004) são classificadas:

- **ISL 10** - Marismas

Devido à sensibilidade e importância desses ambientes, sobre qualquer possibilidade de o óleo contaminar as marismas medidas de proteção devem ser iniciadas, por meio de contenção e remoção do material contaminante. São poucas opções de técnicas que podem ser empregadas nas marismas, que devem ter os aspectos negativos e positivos devidamente ponderados para o seu emprego. Recomenda-se empregar barreiras de contenção, recolhedores, barcaças recolhedoras e bombeamento a vácuo, dispersantes químicos, corte de vegetação e limpeza natural (CETESB, 2007).

Quando um acidente ocorre em área de marismas ou manguezal, a recuperação é bastante difícil, todas as técnicas de remediação causam impactos e a limpeza natural, apesar de ser lenta ou mesmo não acontecer, ainda é o melhor procedimento para esse tipo de ecossistema, pois qualquer ação de limpeza diretamente nos bosques de marismas acarreta em

algum impacto adicional. Entretanto, como são locais protegidos, a ação natural não tem grande eficiência na remoção do óleo, assim, outras técnicas devem ser conjugadas, dependendo do cenário.

- Manguezais

Os manguezais brasileiros são vulneráveis e suscetíveis aos impactos de vazamentos, pois em geral se localizam em enseadas, baías e estuários, exatamente regiões com a maior concentração de indústrias, portos e terminais da costa. Em consequência disso, 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.

Assim como as marismas, os manguezais são considerados os ambientes costeiros mais sensíveis e vulneráveis a vazamentos de óleo. Assim são classificados nas cartas SAO (BRASIL, 2004) com ISL mais alto:

- **ISL 10** – Manguezal (mangues frontais e mangues de estuários)

Para áreas de manguezal atingidas por óleo são poucas as técnicas de limpeza disponíveis e pouco se conhece sobre sua eficiência e danos adicionais que podem gerar. Assim como as marismas, os esforços iniciais devem ser feitos para a contenção e remoção do óleo em áreas adjacentes, canais e meandros de bosque.

Para esses ambientes as técnicas recomendadas de limpeza são isolamento com barreiras de contenção, limpeza natural, recolhedores, bombeamento a vácuo, barcas recolhedoras, barreiras absorventes, absorventes naturais granulados e dispersantes.

A limpeza natural é o procedimento mais seguro e adequado para bosques de mangue contaminados por óleo, pois é um ambiente com maior exposição, que são limpos mais eficientemente pela ação hidrodinâmica. Entretanto, em casos mais graves de acidentes com óleo, seja por grandes quantidades ou por óleos mais pesados, as ações de remoção mecânica devem ser adotadas.

3.7. Levantamento e análise de técnicas de remediação fluviais

As técnicas de limpeza utilizadas em ambientes fluviais são as mesmas utilizadas em ambientes costeiros. São seguidas as mesmas etapas que para a remediação costeira, que são a

contenção e concentração do óleo, por meio de bombas, a remoção através de recolhedores, a utilização de técnicas para a limpeza do local, e por fim a disposição final dos resíduos gerados. Do mesmo modo que as áreas marinhas, para a escolha da técnica de limpeza que será utilizada deve-se levar em conta alguns fatores como o tipo de óleo derramado; a geologia das margens e a vazão da água fluvial; e o tipo e a sensibilidade da comunidade biológica afetada.

A contenção e concentração do derrame de óleo são feitas através de barreiras, e para a recuperação do óleo utilizam-se as bombas e recolhedores. Absorventes também podem ser utilizados nessa etapa para a recuperação do óleo através dos mecanismos de absorção, adsorção, ou ambos (EPA, 1999).

Métodos químicos e biológicos são usados para conter e limpar o derrame de óleo no ambiente aquático. Essa alternativa de tratamento, geralmente, está relacionada com a adição de agentes químicos e biológicos nos derrames de óleo e também pode incluir queima *in situ*. Esses métodos podem ser usados em conjunto com as formas mecânicas para conter e limpar o óleo (EPA, 1999).

A limpeza das margens afetadas pode ocorrer de acordo com os processos naturais, sem qualquer tipo de técnica, e por metodologias físicas. Os procedimentos físicos podem ser uso de absorventes, jateamento, corte da vegetação, entre outros métodos previamente explicados. Os resíduos gerados durante os procedimentos de limpeza devem ser destinados ambientalmente correta. A negligência deste fato pode acarretar em novos riscos ambientais.

3.7.1. *Técnicas recomendadas para ambientes fluviais*

A NOAA (1994a) listou em umas das suas publicações, as técnicas de limpeza a derrame de óleo e avaliou qual das técnicas causa menores impactos adicionais para os ambientes fluviais. A seguir são descritos os ambientes e citadas as técnicas que acarretaram no menor dano.

- Águas abertas

As águas abertas são grandes corpos d'água, como a região dos Grande Lagos, no nordeste dos Estados Unidos, Lago Champlain, no leste dos Estados Unidos e Canadá, e Lago Mead, o maior lago artificial dos Estados Unidos. Além disso, possuem as mesmas condições que os oceanos, como movimentos de ondas, entretanto, as correntes de lagos são geralmente

fracas. São ambientes com mudanças climáticas bruscas, além de possuírem altas cargas de sedimentos em suspensão. A foz dos rios desses ambientes são áreas com altas concentrações de sedimentos em suspensão e cargas de detritos, de zonas rasas e construções antrópicas, que criam complexos padrões de circulação de água.

Apesar de todas as águas interiores serem cercados por terra, as operações de resposta para ambientes de águas abertas devem ser feitas na água, com intuito de contenção e de remoção do óleo.

Nesses ambientes podem ocorrer floras flutuantes em baías abrigadas de lagos ricas em nutrientes. Estas ilhas flutuantes de vegetação podem ser particularmente sensíveis ao petróleo, pois sua localização nas baías é onde o petróleo pode acumular. Além disso, essas plantas localizam-se sob água, igualmente ao óleo, sem raízes subterrâneas para regenerarem após ser lubrificadas (NOAA, 1994a).

As técnicas mais recomendadas para esses ambientes são o bombeamento, recolhedores, queima *in situ* e a limpeza natural. Essas ações sugeridas são as que menos causam impactos adicionais ao ambiente. Outros procedimentos podem ser utilizados como jateamento, absorventes, corte da vegetação, agentes emulsificantes, agentes solidificadores, dispersantes, remoção manual, porém esses métodos podem ocasionar alguns impactos adicionais. A biorremediação para esse ambiente não é recomendando por não ter informações suficientes dos impactos e efeitos que essa técnica pode causar.

- Grandes rios

Grandes rios têm diferentes salinidades, canais sinuosos e altas taxas de fluxo. Estes rios não são necessariamente navegáveis para grandes navios. Se eles são, o ambiente pode incluir bloqueios associados, represas, piscinas e outras estruturas feitas pelo homem. Exemplos de grandes rios incluem o rio Mississippi e seus principais afluentes, o rio Hudson, o rio Delaware, e do rio Columbia, no Brasil, pode-se citar os rios da Amazônia.

Grandes rios têm média sensibilidade a impacto por derramamento de óleo, porque, apesar de terem altas taxas de remoção naturais, eles também possuem recursos biológicos e humanos extensos. Sob condições de inundação, várzeas de rios contêm áreas altamente sensíveis que são habitats importantes para muitas espécies. E ainda, esses ambientes podem ter presença de ilhas flutuante de vegetação em áreas de baixo fluxo. Uso recreativo dos rios também é muito alto, e muitos são os principais corredores de transporte.

Altas correntes, redemoinhos, barreiras no meio do rio e inundações podem complicar as medidas de resposta neste habitat. Além disso, deve-se se atentar ao fluxo de água através de açudes e barragens, pois podem possuir alta velocidade e as manchas de óleo podem passar sobre estas estruturas. Ademais, o óleo pode ser adsorvido por partículas de sedimentos, que se encontra em águas calmas, tornando-se potencial contaminante nesses habitats (NOAA, 1994a).

As técnicas mais recomendadas para a limpeza dos grandes rios são o bombeamento e recolhedores. O método de bombeamento é usado principalmente para desviar manchas para pontos de coleta em áreas de baixa corrente, desviando ou removendo o derramamento para longe de recursos sensíveis.

Para esses ambientes podem também ser usadas as técnicas de limpeza natural, jateamento, absorventes, queima *in situ*, agentes emulsificantes, corte da vegetação, agentes solidificadores, remoção manual e remoção mecânica. Porém essas metodologias podem acarretar mais danos que os procedimentos citados anteriormente. A limpeza natural pode ser usada para pequenos derrames, pois com a evaporação e a dispersão, o óleo é rapidamente removido do ambiente.

- Pequenos lagos e lagoas

Lagos e lagoas são corpos d'águas de tamanho e profundidade variáveis. As ondas e as correntes formadas são geralmente muito baixas, embora a superfície da água pode se tornar instável. Os níveis de água podem variar muito ao longo do tempo, principalmente em lagos artificiais. Os sedimentos de fundo perto da costa podem ser moles e lamosos, e a terra circundante pode incluir prados úmidos e pântanos. Além de ser comum a presença das ilhas flutuantes de vegetação. Em águas rasas, as operações de barco seriam limitadas e a maioria das operações de resposta seria conduzida a partir da costa.

Pequenos lagos e lagoas têm média a alta sensibilidade ao impacto do derramamento de petróleo por causa das baixas taxas de remoção, a diluição limitada e a mistura de óleo na coluna de água, além do elevado uso biológico e humano. Eles fornecem habitat valioso para a migração e nidificação aves e mamíferos, e dão suporte aos peixes também. Pequenos lagos podem ser o foco de atividades recreativas locais (NOAA, 1994a).

A mancha de óleo é controlada pela ação do vento, segurando o óleo contra uma costa ou espalhá-lo ao longo da costa e em áreas de influência. Mudanças de vento podem mudar completamente a localização das manchas, contaminando áreas previamente limpas. Assim, a

proteção prévia de áreas sensíveis é importante. Os impactos causados pelo óleo nas ilhas flutuantes dependem da quantidade de óleo na área, com possibilidade de eliminação dessas plantas em doses elevadas.

Para esses ambientes as técnicas que ocasionará menores impactos são o bombeamento, recolhedores e absorventes. Outras técnicas que pode ser utilizadas, porém acarretarão em alguns impactos no ambiente, são a limpeza natural, queima *in situ*, remoção de resíduos, remoção vegetal, jateamento e agentes solidificadores. A limpeza natural para óleos leves causa poucos impactos, entretanto, para óleos médios a pesados podem persistir e afetar o habitat das margens (NOAA, 1994a).

- Pequenos rios e córregos

Pequenos rios e córregos são caracterizados por águas rasas (geralmente 1 a 2 metros) e canais estreitos. O fluxo de água pode ser altamente variável, tanto ao longo das estações do ano e com a distância a jusante. Este agrupamento inclui uma ampla gama de massas de água, podendo ser de águas lólicas com baixas quedas e inúmeras corredeiras sobre leito rochoso e cascalho, ou podendo ser igarapés lênticos cercados por baixas margens lamacentas e franjas com vegetação. Tanto o acesso por barcos quando por veículos pode ser muito limitado, muitas vezes o único acesso será através de pontes.

Esses ambientes têm média a alta sensibilidade ao derramamento de óleo. Derramamentos de óleo podem ter mais impacto em pequenos rios e córregos que em grandes rios, devido a uma variedade de condições, tais como baixas condições de fluxo, taxas de menor diluição, menor de energia e uma maior gama de habitats naturais. Zonas úmidas e várzeas adjacentes estão intimamente ligadas a pequenos rios e córregos, e eles são áreas de uso biológico alto e com baixas taxas de remoção naturais (NOAA, 1994a).

As manchas normalmente contaminam ambas as margens, e óleos não viscosos são facilmente misturados em toda a coluna de água em fluxos superficiais, expondo ambos os organismos aquáticos e bentônicos ao óleo. Taxas de intemperismo iniciais podem ser mais lentas, porque o espalhamento e evaporação são restritos em canais estreitos e cobertura de vegetação pesada.

Nesses ambientes as ações de menores danos são métodos de contenção e remoção, como as bombas, recolhedores, absorventes e barreiras. Pode ainda ser utilizados jateamento, limpeza natural, agentes solidificadores, corte da vegetação e queima *in situ*. O jateamento é

utilizado para a retirada do óleo incrustado nos galhos, barragens, rochas, vegetação e detritos que se encontram ao longo da área afetada.

- Taludes

De acordo com a classificação da NOAA (PETERSEN et al., 2002), esses ambientes possuem os seguintes índices de sensibilidade fluvial:

- **ESI 1A** – Falésias expostas (Exposed rocky cliffs)
- **ESI 2A** – Costas de taludes íngrimes (Shelving bedrock shores)
- **ESI 8A** – Costões rochosos abrigados (Sheltered rocky shores)

Este tipo de linha de costa é caracterizado por um substrato rochoso impermeável. A superfície da pedra pode ser altamente irregular, com numerosas fissuras e fendas. A inclinação da linha de costa varia de penhascos rochosos verticais para rochas que desce gradualmente, onde camadas de rochas planas ou de declive suavemente foram cortadas pelas ondas em grandes plataformas. Habitats com taludes estão expostos a uma grande amplitude na energia das ondas; promontórios nos Grandes Lagos, nos Estados Unidos, e em outros grandes lagos são os mais expostos, e costas de taludes em lagos abrigados são os menos expostos.

Ambientes com taludes têm uma gama de sensibilidade a derramamentos de óleo, dependendo de seu grau de exposição a processos naturais de remoção. Eles têm alguns organismos e plantas anexados, e produtividade costeira rochosa é tipicamente baixa. No entanto, eles podem servir de abrigo para peixes e locais de nidificação para as aves que podem estar presentes em grande número em águas próximas da costa.

Para esses ambientes são mais recomendadas a limpeza natural, absorventes. Outras técnicas que podem ser utilizadas, porém com alguns danos, são o jateamento (baixa pressão e alta pressão), remoção manual, bombas portáteis, queima *in situ* e agentes químicos para limpeza (NOAA, 1994a).

- Substratos artificiais

Esses ambientes possuem os seguintes índices de sensibilidade fluvial, seguindo a classificação da NOAA (PETERSEN et al., 2002):

- **ESI 1B** – Estruturas artificiais sólidas expostas (Exposed, solid man-made structures)
- **ESI 6B** – Enrocamentos (Riprap structures)

- **ESI 8B** – Estruturas artificiais sólidas abrigadas (Sheltered, solid man-made structures)

Estruturas artificiais têm uma gama de sensibilidades de derramamentos de óleo, dependendo do grau de exposição a processos de remoção natural. Nesses ambientes, comunidades biológicas são escassas. Muitas vezes, existem fontes de poluição ou degradação do habitat nas proximidades, tais como escoamentos urbanos, pequenos derrames de óleo crônicas em marinas, a má qualidade da água e circulação de água limitada. Técnicas de limpeza mais intrusivas são muitas vezes conduzidas, devido ao baixo uso biológico, maior demanda de público para a remoção do óleo por razões estéticas, além da necessidade de minimizar a exposição humana ao óleo em áreas povoadas.

Para esses ambientes os procedimentos de limpeza que resultarão em menor dano são remoção manual, jateamento de alta pressão, absorventes, bombas portáteis e a limpeza natural. O jateamento de alta pressão é efetivo para a remoção de camadas de óleo incrustadas nos enrocamentos. E quanto mais cedo se utilizar as bombas portáteis, maior quantidade de óleo será recuperada. A limpeza natural é mais efetiva para óleos leves, já para óleos pesados deve-se utilizar junto com outras técnicas (NOAA, 1994a).

- Bancos de areia

Segundo a NOAA (PETERSEN et al., 2002), esses ambientes possuem o seguinte índice de sensibilidade fluvial:

- **ESI 4** – Praias de areia (Sand beaches)

A margem pode ser composta de areias de um tamanho principal, ou de misturas de areia com lama, areia com cascalho, ou uma combinação dos dois. Praias de areia expostas podem sofrer alterações rápidas de erosão ou de deposição durante as tempestades. Em áreas desenvolvidas, praias de areia podem ser criadas artificialmente pelo homem e são comumente usadas para a recreação. Barras de areia e bancos de rios também estão incluídas neste habitat.

Habitats de areia têm baixa a média sensibilidade a derramamentos de óleo. Eles geralmente não têm comunidades biológicas consideráveis, exceto onde o habitat tende a ser protegido e consiste de mistura com sedimentos lamacentos. Em áreas desenvolvidas, praias de areia são consideradas sensíveis por causa de seu uso recreativo alta.

Para as praias de areia, as metodologias de limpeza que causarão menores impactos são a limpeza natural, lavagem com água e absorventes. A limpeza natural tem baixos impactos para pequenos derrames, óleos leves e áreas remotas. Técnicas como a remoção manual, remoção mecânica, jateamento de baixa pressão, bombas portáteis, revolvimento de sedimentos, biorremediação, agentes químicos de limpeza das costas, solidificadores e queima *in situ* também podem ser utilizadas, mas esses métodos causarão alguns impactos adicionais (NOAA, 1994a).

- Areia com cascalho e ambientes com cascalhos

A NOAA (PETERSEN et al., 2002) classifica o ambiente de areia com cascalho com índices de sensibilidade fluvial de:

- **ESI 3B** – Escarpas erodidas em sedimentos não consolidados (Eroding scarps in unconsolidated sediments)
- **ESI 5** – Praias mistas de areia e cascalho (Mixed sand and gravel beaches)

Areia com cascalho é caracterizada por um substrato que é composto predominantemente de uma mistura de areia com sedimentos de cascalho. Geralmente, as praias são expostas a algumas ondas ou de ações de correntes, que separa e transporta os sedimentos mais finos, no entanto, a distribuição de sedimento não indica, necessariamente, a energia em particular na linha de costa. Taxas de reposição natural são muito lentas para cascalho, em comparação com areia. Esses ambientes têm média sensibilidade a derramamentos de óleo. Comunidades biológicas são muito escassas por causa da mobilidade de sedimentos e baixo teor de matéria orgânica.

Para ambientes com cascalhos são dadas a seguinte classificação:

- **ESI 6A** – Praias de cascalho (Gravel beaches)

Ambientes com cascalhos são caracterizados por um substrato que é composto predominantemente de sedimentos cascalhos. Estes sedimentos são altamente permeáveis porque há poucos sedimentos de areia para preencher os espaços dos poros entre as partículas de cascalho individuais. Substratos de cascalho também podem ter baixa capacidade de suporte e, conseqüentemente, não podem suportar o tráfego de veículos. Esses habitats de cascalho têm média sensibilidade a derramamentos de óleo. Comunidades biológicas são também muito escassas por causa da mobilidade de sedimentos e baixo teor de matéria orgânica.

Lavagem, limpeza natural, jateamento de baixa pressão, absorventes são as técnicas que causam menores impactos nesses dois ambientes. Pode ser também usados as bombas portáteis, remoção manual, revolvimento de sedimentos, remoção mecânica, agentes químicos para limpeza, biorremediação, queima *in situ* e solidificadores, a utilização dessas técnicas pode causar alguns danos (NOAA, 1994a).

- Ambientes com margens vegetadas

Segundo a NOAA (PETERSEN et al., 2002), esses ambientes possuem o seguinte índice de sensibilidade fluvial:

- **ESI 9B** – Baixas margens vegetadas (Vegetated low banks)

Esses ambientes são compostos por margens com vegetação não-pantanal, que são características comuns dos sistemas de rios e lagos. Suas encostas na margem podem ser suaves ou acentuadas, e a vegetação é composta por gramíneas, arbustos ou árvores comuns aos habitats terrestres adjacentes. As margens podem ser inundadas sazonalmente e estão expostos a processos de remoção relativamente de alta energia, pelo menos periodicamente.

Margens vegetadas são consideradas como tendo média a elevada sensibilidade para os derramamentos de petróleo. Eles não são habitats particularmente importantes para os animais e as plantas sensíveis, embora muitos animais utilizam as margens vegetadas para beber (NOAA, 1994a).

Margens com plantas oleadas durante um período de inundação podem ser suscetíveis, especialmente se a inundação desaparecer rapidamente, permitindo que o óleo penetre sedimentos das margens e entre em contato com os sistemas radiculares. Em margens suaves, há um maior potencial de óleo para acumular em poças, penetrando no substrato. Nas áreas urbanas e suburbanas desenvolvidas, o uso humano e a estética seriam as principais razões.

Para esses ambientes, os procedimentos que causam menos impactos adversos são a limpeza natural, lavagem e jateamento de baixa pressão. A limpeza natural é indicada para pequena a média mancha de óleos leves. A lavagem é apropriada as margens suaves onde o óleo está empoçado, assim o óleo liberado pode ser direcionado para dispositivos de recuperação ou absorventes. As técnicas que ocasionam alguns impactos adversos são absorventes, remoção manual, bombas, corte de vegetação, biorremediação e queima *in situ* (NOAA, 1994a).

- Ambientes lamosos

A NOAA (PETERSEN et al., 2002) classifica esses ambientes com índice de sensibilidade fluvial de:

- **ESI 9A** – Planícies de areia e lama abrigadas (Sheltered sand/mud flats)

Habitats de lama são caracterizados por um substrato composto predominantemente de sedimentos de silte e argila. Ambientes lamosos geralmente são de baixa energia e abrigado da ação das ondas e elevadas correntes. Estes habitats de granulação fina, muitas vezes estão associados a zonas úmidas e neste ambiente a vegetação aquática domina.

Ambientes lamosos são muito sensíveis a vazamentos de óleo e atividades de resposta subsequentes. São susceptíveis, ricos em matéria orgânica e apoiam uma abundância de endofauna. Ambientes lamacentos são importantes áreas de alimentação para as aves e para de criação de peixes.

Nestes ambientes a taxa de remoção natural pode ser muito lenta, cronicamente expondo recursos sensíveis ao óleo. A baixa capacidade de suporte dessas costas significa que as ações de resposta pode facilmente deixar impressões duradouras, causar erosão significativa, e misturar o óleo mais profundamente nos sedimentos. Métodos de resposta podem ser dificultados pelo acesso limitado, vastas áreas de águas rasas, franjas de vegetação e substrato macio.

Para esses ambientes, a maioria das técnicas de limpeza pode acarretar significativos impactos. As metodologias que causam menor dano ao ambiente são a limpeza natural, lavagem e absorventes. Sendo que a lavagem é efetiva apenas em óleo e fluido frescos, e a topografia do local pode limitar a capacidade de controlar, onde o fluxo da água e do óleo é liberado. As bombas portáteis podem ser utilizadas, entretanto, causam alguns impactos. A utilização de bombas portáteis, devem-se controlar acessos, para minimizar os danos (NOAA, 1994a).

- Zonas úmidas

Conforme a NOAA (PETERSEN et al., 2002), as zonas úmidas possuem os seguintes índices de sensibilidade fluvial:

- **ESI 10A** – Pântanos de água doce (vegetação herbáceas) (Freshwater marshes (herbaceous vegetation))

- **ESI 10B** – Pântanos de água doce (vegetação de mata) (Freshwater swamps (woody vegetation))

Zonas úmidas são caracterizadas pela água, solos únicos que diferem das zonas de montanha adjacente, e vegetação adaptada às condições úmidas. Esses ambientes incluem uma variedade de habitats, como pântanos, brejos, mangues.

Esses ambientes são altamente sensíveis a vazamentos de petróleo. A diversidade biológica nestes ambientes é significativa e que proporcionam um habitat crítico para muitos tipos de animais e plantas. Derramamentos de petróleo afetam tanto o habitat (vegetação e sedimentos) quanto os organismos, que direta e indiretamente dependem do habitat. Surpreendentemente, pouco se sabe sobre o impacto do óleo em plantas de água doce. Teias alimentares à base de detritos são de fundamental importância em áreas úmidas, óleo poderia afetar estes, diminuindo as taxas de decomposição de material vegetal.

Para esses ambientes mais sensíveis, os procedimentos de limpeza que resultaram em menores danos são limpeza natural, absorventes, lavagem, jateamento de baixa pressão. A limpeza natural seria para pequenos derrames e para óleos leves, e em conjunção com outras técnicas de limpeza. Para a utilização de absorventes deve-se ter cuidado na colocação e remoção destes a fim de minimizar os distúrbios. A erosão dos substratos e vegetação pode ser um dos problemas causados pela lavagem, porém pode ser usado para remover óleos pesados localizados, o mesmo se aplica para o jateamento de baixa pressão.

Como alternativas pode-se aplicar as técnicas de limpeza como queima *in situ* e bombas portáteis, porém essas técnicas produzem alguns impactos adicionais. A queima *in situ* pode ser um dos meios menos fisicamente prejudiciais para a remoção de óleo pesado, além que a presença de camada de água na superfície das zonas úmidas pode proteger as raízes da vegetação próxima (NOAA, 1994a).

3.8. Impactos causados pela implantação das técnicas de remediação nas zonas costeiras – exemplos de acidentes

Para a remoção do óleo dos ambientes pode-se utilizar uma grande variedade de máquinas, veículos leves ou pesados, e equipamentos. Entretanto, a maioria dos métodos de limpeza disponível provoca algum tipo de impacto negativo ao meio ambiente. Esses

impactos, em muitos casos, podem ser mais graves ou mais sérios que os gerados pelo próprio acidente, aumentando ainda mais o tempo de recuperação do ecossistema atingido.

Do ponto de vista do órgão ambiental, um procedimento de limpeza eficiente é quando se possibilita a remoção do contaminante, prezando pelos mínimos impactos adicionais ao ecossistema atingido e que ainda favorece a recuperação do ambiente no menor tempo possível (CETESB, 2007).

A limpeza natural é apenas aplicada em casos em que o emprego de técnicas causará maiores prejuízos do que deixar o ambiente se recuperando sozinho. Esse procedimento é mais adequado quando o derrame é pequeno, a área afetada é sensível e as praias possuem auto-recuperação, como praias expostas e impermeáveis. Além disso, o óleo do derrame tem que ser leve como gasolina e óleo diesel.

A seguir estão descritos os impactos gerados na utilização de cada técnica de remediação.

- Barreiras, bombas e recolhedores

Essas três técnicas de contenção e remoção são utilizados em todos os acidentes de derrame à óleo, seja para conter o máximo de óleo chegue nas costas, ou para desviar o fluxo de áreas mais sensíveis. 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, como enseadas e baías, inclusive com baixa profundidade. A Figura 2 ilustra a utilização das barreiras para a contenção do óleo do acidente com navio Vicuña, na bacia do Paranaguá, 2004.

Caminhões-vácuo e bombas portáteis são úteis apenas na remoção de óleo em águas adjacentes à linha costeira, devido ao reduzido alcance do sistema. Porém para a utilização destes métodos é necessário ter acesso ao local e uma fonte de alimentação de energia para seu funcionamento. São técnicas pouco seletivas, ou seja, removem indiscriminadamente óleo e água, aumentando o inventário de resíduo líquido gerado na emergência. Além disso, os caminhões-vácuo podem causar compactação do substrato da costa ao acessar a área contaminada, e ocorre pisoteio do substrato pelo tráfego dos trabalhadores. A Figura 3 mostra a utilização da técnica de bombeamento na praia Barequeçaba, São Sebastião/ SP, 1994.



Figura 2 – Sistema de contenção de óleo com barreiras. **Fonte:** Beraldin et al. (2005)



Figura 3 – Recuperação do óleo pela técnica de bombeamento na praia Barequeçara, 1994. **Fonte:** CETESB (1994).

O principal impacto causado pelo o emprego dessas técnicas em regiões muito rasas é o aumento de turbidez da água e a penetração de frações de óleo no sedimento, devido a mistura originada pela movimentação do corpo d'água com os barcos e equipamentos (CETESB, 2007).

- Queima *in situ*

Mesmo com as condições necessárias para o emprego desta técnica (espessura mínima da pluma, estado de agitação marítima, ventos, barreiras especiais - *fire booms*, isolamento de áreas urbanizadas, etc) nem sempre se pode aplicar.

Este método foi utilizado no acidente ocorrido no *Exxon Valdez*, 1989. Aproximadamente 12 a 15 mil galões de óleo foram queimados. Apesar de o método ter sido satisfatório, alguns residentes localizados a milhas do local da queima *in situ* reportaram irritação nos olhos e na garganta. Na época, o *Alaska Department of Environmental Conservation* tomou a posição de que não se opunha à queima, enquanto as comunidades não fossem prejudicadas e seus moradores fossem notificados de uma próxima queima (SKINNER e REILLY, 1989).

No acidente da plataforma petrolífera *Deepwater Horizon*, Golfo do México, 2010, essa técnica também foi utilizada. A queima *in situ* foi uma técnica eficiente para remover grandes volumes de óleo da superfície da água, reduzindo o impacto que este óleo poderia causar sobre áreas ambientais e economicamente sensíveis (Figura 4).

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 e provocar impactos por recobrimento físico. E as altas temperaturas da queima na superfície, que se restringem aos centímetros superficiais da coluna d'água.

Em 2003, *Coast Guard Research and Development Center* publicou "*Oil Spill Response Offshore, In Situ Burn Operations Manual*", foi planejado para se tornar um manual operacional para a utilização de queima *in situ* e um modelo para ser usado pela equipe de resposta regional (U.S. COAST GUARD, 2011).

No Brasil essa técnica não é legalizada como opção de combate em mar, implicando que a sua eventual utilização fique exclusivamente a critério dos órgãos ambientais, sem parâmetros objetivos previamente estabelecidos que orientem esta tomada de decisão (IBP, 2012).



Figura 4 – Aplicação de queima in situ no Golfo do México. **Fonte:** Cetesb International Workshop. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/emergencias-quimicas/workshop-mar-2012/dispersantes-queima-in-situ/petrobras-dispersantes-queima-insitu.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2013

- Dispersantes

O uso de dispersante deve ser empregado ao lado de outras estratégias de resposta, e sua aplicação na superfície do mar e na subsuperfície, em condições adequadas, pode melhorar substancialmente a eficácia de uma resposta a derramamento de óleo. Essa técnica é aplicada através de navios e aviões, conforme ilustrada na Figura 5.

Sua utilização pode desempenhar um papel importante na preservação da saúde dos trabalhadores envolvidos na resposta. No incidente do Golfo do México, 2010, sua aplicação diminuiu a exposição dos profissionais aos compostos orgânicos voláteis dos hidrocarbonetos liberados na superfície do mar (IBP, 2012). Entretanto, segundo equipes do Greenpeace que fizeram coletas na região, verificaram que existia toxicidade tanto de petróleo quanto do dispersante nos microcorais, que servem de alimentos para os peixes menores (FARIELLO e TAVARES, 2012).

Além disso, Rico-Martínez, Snell e Shearer (2013) mostraram que a mistura do dispersante, utilizado no acidente do Golfo do México, Corexit 9500A, com o óleo derramado resultou em um componente de 52 vezes mais tóxico que apenas o óleo.

O primeiro uso de detergente em escala maciça foi no acidente do *Torrey Canyon*, 1967. Estudos subsequentes mostraram que o detergente utilizado no incidente tinha um efeito muito mais prejudicial do que o próprio óleo, pois o detergente usado possuía alto nível de toxicidade. Os moluscos que foram atingidos pelo detergente morreram, sendo que os que foram atingidos somente pelo óleo se recuperaram (LEWIS).

Os dispersantes químicos vêm sendo empregados em várias áreas atingidas por derrames de óleo e em diversas situações experimentais e reais. Entretanto, na maioria das vezes, têm causado danos adicionais quando comparado aos do próprio óleo, como por exemplo, pode causar um aumento na penetração do óleo no sedimento na zona entremarés (CETESB, 2007).

Novas técnicas e produtos estão em constante desenvolvimento para usos futuros. Evidências recentes sugerem que os dispersantes de nova geração, quando aplicados em concentrações adequadas, causam poucos efeitos biológicos adicionais se comparados aos do óleo isoladamente (CETESB, 2007).



Figura 5 – Aplicação da técnica de dispersão por meio de avião. **Fonte:** Cetesb International Workshop. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/emergencias-quimicas/workshop-mar-2012/dispersantes-queima-in-situ/petrobras-dispersantes-queima-insitu.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2013

- Remoção manual e mecânica

Remoção manual é uma metodologia indicada para áreas mais sensíveis, que não suportam o impacto de procedimentos mais agressivos de limpeza. Essa técnica foi usada no acidente com o navio *Vicuña*, em Paranaguá, 2004, no acidente em São Sebastião, 2003, entre outros.

Deve realizar-se com cautela, para evitar danos ao substrato e acidentes de trabalho. Deve ser planejado o modo de acondicionamento dos resíduos líquidos gerados, além da destinação final. Além disso, a utilização da técnica é um processo trabalhoso e lento. E 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 são de grande importância para resguardar a integridade do ambiente evitando impactos secundários das atividades de limpeza (CETESB, 2007).

Remoção mecânica pode gerar graves danos à comunidade biológica do local, pois as máquinas removem a comunidade junto com a areia e compactam o substrato. Essa técnica remove um elevado volume de areia, e grande parte de sedimentos limpos é retirada desnecessariamente do ambiente. Além disso, produz-se uma quantidade inútil de resíduos que, frequentemente, 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 (CETESB, 2007).

As duas técnicas foram usadas no acidente do vazamento Hamilton Lopes, São Sebastião, em abril de 1986, onde foram derramado aproximadamente 220m³ de óleo cru. Os trabalhos de limpeza de praia resultaram na remoção de cerca de 360m³ de areia impregnada (CETESB, 1986). As Figuras 6 e 7 mostram a aplicação feita na costa atingida.



Figura 6 e 7 – Aplicação das técnicas de remoção manual e remoção mecânica, respectivamente.
Fonte: CETESB (1986).

- Absorventes

Os absorventes devem ser utilizados depois que foi recolhido o máximo de óleo derramado, seja por meio de bombas e de recolhedores. 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. Porém alguns absorventes não precisam ser recolhidos, pois degradam naturalmente.

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. Sua aplicação não deve ser direta na população contaminada, pois pode formar uma camada densa de óleo-absorvente, causando o efeito de recobrimento e asfixia (MILANELLI, 1994).

Para a escolha do absorvente devem-se conhecer todas as limitações do emprego do material. No acidente do *Tarik* na Baía de Guanabara, em 1975, escolheu o uso de palha de pinho, por ter baixo custo, facilidade no transporte e aplicação do mesmo. Porém esse material não pode permanecer dentro da água por mais de duas horas, pois depois desse tempo é lavado pelas ondas e solta parte do óleo aderido (COELHO, 2007).

A técnica também foi utilizada no Terminal Marítimo Almirante Barroso da TRANSPETRO, 2003, em São Sebastião, no *Exxon Valdez*, 1989, entre outros. A Figura 8 ilustra a aplicação de turfas sobre a areia contaminada.



Figura 8 – Aplicação de absorventes orgânicos em São Sebastião. **Fonte:** CETESB (2007).

- Enterramento/revolvimento do sedimento

A utilização destas técnicas pode expor os organismos que vivem abaixo da camada original de óleo, devido à mistura de óleo com os sedimentos. E sua repetida utilização no local pode retardar o restabelecimento de organismos. Além disso, a aplicação dessas técnicas é feita através de máquinas pesadas, causando compactação do substrato.

O acidente de *Tampa Bay*, na Flórida, 1993, e do *Sea Empress* operação em País de Gales, 1996, utilizaram a técnica de revolvimento de substratos e deslocamento, levando-os mais para perto do litoral, a fim que as ondas lavassem a areia contaminada (Figura 9). E segundo Owens (1999), a utilização dessa técnica nos acidentes teve um resultado positivo em relação à limpeza do local, devido ao aumento da degradabilidade do óleo pela interação da mistura do óleo com partículas finas.

No acidente com o navio *Vicuña*, na Baía do Paranaguá, 2004, utilizou a técnica para o revolvimento de seixos menores e na areia, para otimizar a remoção do óleo que estava

contido entre eles e para expor o óleo de maneira que pudesse ocorrer a lavagem pelas águas, sendo que depois o óleo foi recolhido com a utilização de absorventes (BERALDIN et al., 2005).



Figura 9 – Fotografia da relocação dos substratos para mais perto das ondas em 21 ago. 1993, Flórida.
Fonte: Owens (1999).

- Jateamento e lavagem com água corrente

O emprego da metodologia de jateamento a baixa pressão causa danos severos à comunidade presente, causando elevadas taxas de mortalidade, devido ao impacto do jato d'água. Já o jateamento a alta pressão pode causar a total eliminação da comunidade, provocando um lento processo de recuperação da mesma, podendo durar vários anos. E o jateamento com areia tem os mesmos danos que o jateamento a alta pressão, seu emprego ainda causa total abrasão da rocha e eliminação da comunidade. Além do possível acúmulo de areia na base das rochas, consequentemente, soterrando os organismos presentes nas zonas mais inferiores. Essas duas últimas técnicas são utilizadas mais para fins estéticos (MILANELLI, 1994).

Dentre as técnicas de jateamento, o jateamento a alta pressão e com água quente causa maior impacto no ambiente. O efeito causado pelo calor junto com a ação mecânica remove todos os organismos presentes, além de sua recuperação ser bem mais lenta comparada com as outras técnicas. Essa técnica foi utilizada no acidente do *Exxon Valdez*, 1989, causando a morte de um grande número de organismos presentes nos ambientes de estuários, que não teriam necessariamente morrido devido à exposição ao óleo (Figura 10). E posteriormente foi

visto que nas áreas onde foram aplicadas essa técnica não se recuperaram tão bem quanto as áreas oleadas que não foram lavadas (KARPOFF e TALIAFERRO, 2005).



Figura 10 – Aplicação da técnica de jateamento a alta pressão com água quente no acidente do *Exxon Valdez*, 1989. **Fonte:** NOAA. Disponível em: < <http://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/significant-incidents/exxon-valdez-oil-spill/high-pressure-hot-water-washing.html>>. Acesso em: 12 nov. 2013

Quando usado incorretamente, os cursos d'água formados pela ação do jateamento podem conduzir o óleo para áreas limpas e contaminá-las. Além disso, o óleo desprendido de costões rochosos pode escorrer e recobrir organismos que se encontram na base, causando sufocamento dos mesmos. E se o óleo desprendido não for coletado devidamente, pode contaminar áreas adjacentes.

A lavagem com água corrente é uma técnica menos agressiva que o jateamento, pois não causa o efeito mecânico da pressão. É uma técnica que minimiza os possíveis efeitos tóxicos e de recobrimento físico causado pelo óleo. Entretanto, essa técnica mostrar-se ineficiente para retirar o óleo intemperizado e já aderido ao substrato. Assim deve ser aplicado logo após do contato do óleo com a superfície e repetidamente enquanto o óleo estiver chegando ao ambiente.

Do mesmo modo, como para o jateamento a baixa pressão, deve-se atentar para o fato de que o óleo retirado na lavagem deve ser recolhido, para não recobrir os organismos presentes na base e não contaminar áreas adjacentes.

- Corte da vegetação

O corte da vegetação se não bem administrado pode causar graves danos ao ambiente, como a poda excessiva de uma área e os danos causados pelo pisoteio do grande número de trabalhadores, seja nas plantas ou nos substratos. Essa técnica geralmente é realizada quando o óleo contamina áreas de marismas e manguezais. Como estes ambientes são de difícil acesso, o tráfego de pessoas no seu interior pode causar um efeito danoso ainda maior, espalhando o óleo e aumentando a área de contaminação. Ademais, o interior da planta fica mais exposto à substâncias tóxicas do óleo. Este método é recomendado apenas em caso onde a limpeza não implicará em maiores prejuízos para os ambientes (CASEIRO, 2011).

A remoção da vegetação de marismas já foi empregada em eventos como o acidente em *Northampton County*, Virgínia, onde as folhas das gramíneas contaminadas com óleo foram cortadas mantendo-se o sistema de raízes intacto. No Brasil, este procedimento foi utilizado nos derrames de óleo provenientes dos navios *Maruim* (São Sebastião, São Paulo, 1998) e *Vicuña* (Paranaguá, Paraná, 2004) (CETESB, 2007). A Figura 11 mostra a aplicação da técnica em Ilhabela, São Paulo.



Figura 11 - Corte de marisma contaminada, mostrando o ensacamento dos talos e aplicação de barreiras absorventes adjacente aos locais sob tratamento, Ilhabela (SP). **Fonte:** Cetesb (2007).

Em um estudo experimental realizado por Wolinski (2009) na Baía do Paranaguá, foi verificado que mesmo em ambientes abrigados a degradação natural do óleo e a recuperação das marismas são relativamente rápidas. Independente da adoção ou não do corte, as marismas se recuperaram no prazo de seis meses, tanto em áreas de baixa como de alta energia. E a remoção da vegetação contaminada com óleo não se mostrou eficaz para

promover ou acelerar a recuperação desses ambientes. Além disso, os impactos do pisoteio tornam essa técnica inviável em substratos lodosos e apenas aceitável em substratos mais arenosos e firmes.

- Biorremediação

Houve vários incidentes de derramamento de óleo no qual os produtos de biorremediação foram utilizados numa tentativa de aumentar a biodegradação de óleo. Porém, muitos dos resultados são relatados com pouca informação quantitativa confiável.

Swannell, Lee e McDonagh (1996) discutiram sobre os testes realizados com a utilização de técnica de biorremediação. Os testes foram feitos no acidente do petroleiro *Amoco Cadiz*, 1978, *Apex Barge*, 1990, *Mega Bong* 1990, *Prall's Island*, 1990, *Seal Beach*, 1990. Todos os testes mostraram resultados não confiáveis, pois houve dificuldades com a aplicação do produto uniformemente, uma amostragem pouco representativa, e/ou necessidade de um período mais longo de monitoramento. As amostragens não indicaram diferenças na biodegradação dos hidrocarbonetos entre a amostra com o produto de biorremediação e amostra de controle, porém visivelmente era possível se notar uma melhora da área contaminada, parecendo mais limpa. Contudo, essas melhoras podiam estar acontecendo por causa das misturas das amostragens com as áreas não biorremediadas pela ação das ondas, ou até mesmo pelo fato do óleo ter sido levado para outra área.

3.9. Impactos causados pela implantação das técnicas fluviais – exemplos de acidentes

O derrame de óleo em ambientes fluviais produz diferentes efeitos com relação a acidentes similares em ambientes marinhos, assim, requer diferentes considerações para a proteção e limpeza do local. Além disso, em ambientes fluviais, o derrame pode afetar basicamente duas bases, as margens ou o centro do rio, assim o tempo de retenção do óleo nesse ambiente pode ser dois extremos, ou muito longo ou muito curto (BACA, GETTER e LINDSTEDT-SIVA, 1985).

Nesse contexto, serão elencadas as técnicas utilizadas e as suas consequências, levando em consideração alguns importantes acidentes no ambiente fluvial.

- Barreiras, bombas e recolhedores

Além dos impactos dos ditos anteriormente nos ambientes costeiros, como a necessidade de uma fonte de alimento de energia para as bombas portáteis, compactação causada pelas máquinas pesadas, pisoteio dos trabalhadores e os recolhedores serem poucos seletivos, o que aumenta desnecessariamente a quantidade de resíduos. Podem ainda acontecer um aumento do nível da água fluvial, pela aplicação de barreiras sólidas (barragens), podendo perturbar ou contaminar sedimentos ao longo das margens ou no canal. E, além disso, causar a desidratação ou má qualidade da água a jusante, podendo afetar organismos aquáticos.

Embora a limpeza nos rios seja relativamente simples por causa da acessibilidade, os métodos de proteção são muitas vezes ineficazes. Barreiras de contenção e recolhedores muitas vezes não funcionam bem em rios, pois a alta corrente do fluxo dos rios gera problemas na contenção. Em locais de fortes correntes é melhor direcionar o fluxo para ambientes mais lânticos ou para praias, que são ambientes mais fáceis de recuperação (BACA, GETTER e LINDSTEDT-SIVA, 1985).

No acidente do rio Guaecá, 2004, foram instaladas as barreiras de contenção e barragens (Figura 12), também foram utilizados o bombeamento a vácuo e os recolhedores (CETESB, 2005). Técnicas de barreira, bombas e recolhedores foram utilizadas no acidente no rio *Kalamazoo*, em Michigan, 2010. No acidente de *Ashland Oil Company, Floreffe*, Pensilvânia, 1988, as bombas utilizadas para o recolhimento do óleo foram colocados estrategicamente, pois o rio *Monongahela* estava coberto de gelo, conseqüentemente, possuía um alto risco de acidentes dos trabalhadores envolvidos (MIKLAUCIC e SASEEN, 1989).



Figura 12 - Barreiras de contenção e barragens no rio Guaecá, respectivamente.
Fonte: CETESB (2005)

- Queima *in situ*

Efeitos da temperatura e da qualidade do ar tendem a ser localizados e de curta duração. Existem poucos estudos sobre os efeitos relativos da queima de zonas úmidas lubrificadas, em comparação com outras técnicas ou de recuperação natural, mas os dados limitados indicam pouco impacto da queima em relação à recuperação natural, quando os solos estão saturados (NOAA, 1994a).

Para a aplicação da técnica em ambientes fluviais devem-se tomar todas as medidas de precauções, como o isolamento do óleo no local, pois a queima descontrolada pode atingir a vegetação próxima, causando um incêndio.

O primeiro registro da aplicação da técnica em corpos fluviais foi no acidente do rio *Mackenzie*, Canadá, 1958, foram queimados cerca de 120 toneladas de óleo (ARPEL, 2006).

- Dispersantes

A Resolução CONAMA nº 269, de 14 de setembro de 2000 (BRASIL, 2001) regulamenta a aplicação de dispersantes apenas para ambientes costeiros. Atualmente, não há uma resolução para o emprego de dispersantes nos ambientes fluviais. Poucos são os relatos da aplicação de dispersantes em rios. No acidente do Igarapé do Cururu, 1999, foi aplicado um produto dispersante, a aplicação desse produto naquele local contrariou o próprio Plano de Contingência da PETROBRAS, que só permitia o uso em profundidades superiores a 10 metros ou quando se verifica possibilidade de incêndio.

A aplicação de dispersantes em rios não é aconselhada, pois corpos fluviais são muito mais rasos que ambientes marinhos, assim as gotículas de óleo dispersadas na coluna d'água pode afundar e se instalar nos sedimentos do fundo do rio, conseqüentemente, pode persistir por muito mais tempo do que se ocorresse apenas a limpeza natural do local (BLEICHER, 2011).

- Remoção manual e remoção mecânica

A remoção manual é umas das técnicas que causam poucos impactos, como danos nos substratos pelo movimento de trabalhadores e acidentes de trabalhos, por isso a necessidade da utilização de equipamentos de proteção individuais. No acidente do rio Guaecá, 2004, essa técnica foi utilizada na remoção da areia contaminada, com rodos de madeira, além da retirada dos materiais absorventes contaminados (Figura 13).

A remoção mecânica, por utilizar equipamentos pesados, causa danos mais sérios nos substratos e todos os organismos nos sedimentos são afetados. Ainda pode causar sérios danos no ambiente caso os sedimentos removidos não forem substituídos. Além disso, os sedimentos oleosos refinados podem afetar áreas adjacentes (NOAA, 1994a).



Figura 13 – Aplicação e remoção manual das turfas em Guaecá, 2004. **Fonte:** Cetesb (2005).

- Absorventes

A aplicação de absorventes pode causar perturbações físicas do ambiente pelo movimento de trabalhadores no local, tanto na implantação como na retirada do material. Seu impacto mais grave é decorrente a não retirada do material do local aplicado, especialmente, se o absorvente for sintético, pois possui menor grau de biodegradabilidade.

No acidente de Guaecá, 2004, foram utilizados absorventes naturais, como turfas vegetais (Figura 14). Os trabalhadores deste acidente foram orientados a retirar o máximo possível dos absorventes, no entanto, caso não fosse recolhido o material não geraria impactos adicionais ao ambiente devido à suas características de elevada adsorção e biodegradabilidade (CETESB, 2005).



Figura 14 – Aplicação de turfa no rio Guaecá, 2004. **Fonte:** Cetesb (2005).

- Enterramento/revolvimento do sedimento

Os impactos gerados pelo revolvimento do sedimento são os mesmos dos ambientes costeiros, como a contaminação de organismos que vivem na camada abaixo onde o óleo se encontra, além de retardar o crescimento dos mesmos, e a utilização de maquinário pesados para a aplicação da técnica. Essa técnica deve ser evitada em áreas próximas aos locais de desova de peixes e áreas de nidificação, por causa de seu potencial na liberação de óleo e sedimentos oleados em áreas adjacentes.

- Jateamento e lavagem com água corrente

Uma vez que muitas margens dos rios e de alguns lagos têm vegetação nas bordas e dentro da água, essa vegetação pode ter que ser limpa ou removida, caso houver contato com óleo. Dependendo do tipo de óleo, a lavagem irá normalmente remover a maioria do óleo da vegetação (EPA, 1999).

Os fluxos de água da técnica de jateamento a alta pressão pode acelerar a erosão das margens e a desalojar organismos, como algas e mexilhões, das rochas e sedimentos em que

vivem, ou pode forçar o óleo a entrar mais ainda nos sedimentos, tornando a limpeza mais difícil (EPA, 1999).

- Corte da vegetação

A supressão de vegetação destrói o habitat de muitos animais. Áreas onde foram aplicadas a técnica de corte terão o crescimento das plantas reduzido. E as áreas pisoteadas vão se recuperar muito mais lentamente. Além de deixar o interior da planta mais exposta a toxicidade do óleo.

No derrame de Guaecá, 2004, a técnica de corte de vegetação foi aplicada (Figura 15). Apesar de toda a orientação e acompanhamento realizados pelo Instituto Florestal, DEPRN e CETESB, ocorreu uma perturbação na vegetação marginal (mata ciliar) pelo pisoteio dos trabalhadores. Além disso, a falta de critério na poda resultou em um desmatamento excessivo, causando erosão localizada das margens (CETESB, 2005).



Figura 15 – Poda da vegetação marginal contaminada do rio Guaecá, 2004. **Fonte:** Cetesb (2005).

Baca, Getter e Lindstedt-Siva (1985) monitoraram os efeitos deletérios do corte das gramíneas do pântano no derrame de óleo do rio *Cape Fear*, norte da Carolina, 1982. Depois de um a dois anos do corte da vegetação praticamente nenhuma das plantas podadas cresceram novamente, e suas raízes e seus sistemas meristemas basais estavam mortos e o local sofreu erosão. Os impactos foram mínimos para a mesma área onde as gramíneas não

foram cortadas, e as plantas que não foram cortadas e estavam fortemente oleadas, reproduziram-se, aumentando a área de vegetação, com total recuperação do local em um pouco mais de um ano.

- Biorremediação

Os fatores para a aplicação da técnica de biorremediação em corpos fluviais são diferentes dos ambientes costeiros, assim as condições relevadas nestas podem não ser necessariamente as mais apropriadas para a água doce.

No estudo realizado por Venosa et al. (2002) foi testada a aplicação de nutrientes enriquecidos e fitorremediação nas margens de zonas úmidas contaminadas com óleo cru do rio *St. Lawrence*, Quebec, Canadá. Foi constatado que a bioestimulação não é apropriada para degradar o óleo mais rapidamente em zonas úmidas se a penetração do óleo foi significativa, a causa mais provável é a falta de oxigênio onde o óleo penetrou.

4. DISCUSSÃO

A aplicação de técnicas de remediação causa impactos negativos, tanto em ambiente costeiro como em ambiente fluvial. Entretanto, o emprego de alguns métodos gera impactos mais sérios em ambientes fluviais do que os ambientes costeiros, e vice e versa.

De forma geral, as técnicas de contenção e remoção do óleo em ambientes costeiros tendem a apresentar impactos menos danosos do que os gerados nos ambientes fluviais. Pois geralmente a aplicação de barreiras, bombas e recolhedores em ambientes costeiros ocorrem em alto mar. Já em rios, para aplicá-los, as margens sofrem o pisoteio dos trabalhadores e as construções de barragens para a contenção do óleo podem gerar a contaminação das comunidades bentônicas que se localizam nas margens, conseqüentemente, gerando mais substratos contaminados. Além disso, a aplicação dessas técnicas em corpos fluviais é menos eficiente, por causa das correntezas.

A aplicação da técnica de queima *in situ* em rios é difícil, pois as técnicas de contenção, para que forme uma espessura mínima, são ineficazes dependendo do fluxo do rio. Seu emprego causa os mesmos danos para ambos os ambientes, se forem tomadas todas as precauções em ambientes fluviais para que não ocorra um incêndio generalizado. Entretanto, em ambientes fluviais, caso seja feita a queima *in situ* em rios lânticos fica mais fácil a remoção dos resíduos resultantes que afundam, pois a profundidade do rio é menor do que em alto mar. Segundo a NOAA (1994a), na maioria dos ambientes fluviais a utilização de queima *in situ* resulta em poucos impactos adicionais, com exceção dos ambientes lamosos.

O emprego de dispersantes em caso de derrame de óleo é um assunto que ainda necessita de mais estudos. Apesar de ter vários estudos em derrames reais e experimentais, parte dos resultados mostrou que a aplicação de certos dispersantes pode causar mais danos que o óleo em si. Como o registrado no acidente do *Deepwater Horizon*, Golfo do México, 2010, onde a aplicação resultou em uma mistura de óleo e dispersante 52 vezes mais tóxica que o próprio óleo. Para ambientes fluviais a aplicação de dispersantes não é indicada, pois por serem ambientes rasos, o óleo pode penetrar mais ainda nos sedimentos do fundo.

A remoção manual é umas das técnicas mais utilizadas em caso de derrame, seja em ambientes fluviais ou costeiros, pois os impactos gerados são mínimos comparados a outras técnicas. Os danos resultantes ao emprego da técnica são os mesmos para ambos os ambientes. Se for aplicada em áreas vegetadas deve-se se atentar ao pisoteio de plantas, pois causa o retardo de sua recuperação. A remoção mecânica é utilizada em grandes áreas

contaminadas, pois sua aplicação resulta em uma limpeza mais rápida. A utilização dessa técnica é difícil em ambientes fluviais, pois tanto o acesso quanto a largura da margem são fatores limitantes para máquinas de grande porte. Além disso, geralmente as margens fluviais possuem grande variedade de organismos e plantas, sendo mais indicadas outras técnicas de limpeza. Seu principal impacto é quando há uma grande retirada de substrato e não são recolocados outros substratos no local, causando a modificação do relevo, e em casos mais graves, alterando a hidrodinâmica da área.

A utilização de absorventes também é uma das técnicas mais empregadas na limpeza da área afetada, pois sua aplicação é fácil, causa poucos impactos e é, relativamente, de baixo custo. Os impactos causados são o pisoteio da equipe de limpeza, tanto na aplicação quanto na retirada dos absorventes do local, e quando são deixados nos ambientes, principalmente quando são sintéticos. Para ambos os ambientes são indicados os absorventes orgânicos, como turfas e palhas, pois caso sejam deixados no ambiente serão degradados mais facilmente. Há vários tipos de absorventes, para a melhor escolha deve-se analisar o ambiente, absorção do óleo, e menor impacto na área.

Ambos os ambientes sofrem os mesmos impactos nas técnicas de enterramento/revolvimento de substratos. Essas técnicas podem causar como dito antes a contaminação dos substratos localizados mais abaixo da superfície contaminada. O desprendimento de óleo contido entre os substratos ou seixos também é feito através desses métodos. Para ambientes fluviais, o revolvimento de substratos é geralmente feito manualmente pelos trabalhadores, pois o acesso de máquinas pesadas é limitado.

O jateamento e a lavagem em ambientes costeiros são mais recomendados para os costões rochosos e substratos artificiais. Os impactos causados pela força da pressão, resultam em uma alta taxa de mortalidade dos organismos presentes nesses ambientes. A técnica de jateamento a alta pressão e com água quente, que é a junção da força mecânica e o calor produzido pela água, pode matar todos os organismos presentes. Assim, mesmos para esses ambientes, que contêm baixo índice de organismos presentes, são mais recomendadas as técnicas de lavagem com água corrente e jateamento a baixa pressão e com água fria.

Para ambientes fluviais, essas duas técnicas são indicadas para todos os ambientes localizados nas margens, de taludes a zonas úmidas. Sendo que a lavagem, quando indicada para o ambiente, é mais eficaz quando o óleo é um fluido e não se adere fortemente nos sedimentos do local. Caso seja aplicado em óleos mais pesados é possível que deixe grandes quantidades de óleo no ambiente. Em ambientes mais sensíveis, como áreas de margens

vegetadas, ambientes lamosos e zonas úmidas, essa técnica é limitada pela topografia, sendo mais efetiva em relevos suaves, onde o óleo persistente está agrupado e pode-se direcionar o fluxo da água e óleo liberado. Para aplicação do jateamento a baixa pressão deve-se atentar a pressão exercida nos substratos e nas plantas, pois pode causar erosão do local e danos nas plantas. A aplicação nos ambientes mais sensíveis, como ambientes com margens vegetadas e zonas úmidas, é eficaz apenas na remoção de óleos pesados agrupados, a aplicação em outras áreas pode acarretar sérios danos ao ambiente. E a técnica de jateamento a alta pressão é somente indicado para substratos artificiais, pois sua aplicação é feita mais para fator estético, uma vez que esses ambientes localizam-se mais perto de áreas urbanizadas.

A metodologia de corte e supressão da vegetação afetada é tão impactante nos dois ambientes. A aplicação dessa técnica é feita em ambientes de baixo hidrodinamismo, onde o óleo contaminante é persistente e a limpeza natural causa muito mais impactos. Nessa técnica o impacto de menor grau é causado pelo intenso pisoteio, pois envolve um grande número de trabalhadores. Os impactos mais graves são a exposição do interior da planta a contaminação e a poda excessiva e desnecessária das plantas. Para a aplicação dessa técnica teve analisar cuidadosamente o cenário do acidente, pois às vezes, a atuação da limpeza natural é muito mais eficiente e menos impactante, mesmo em ambientes com baixa hidrodinâmica.

Assim com os dispersantes, a biorremediação é uma técnica que ainda precisa ser melhor estudada. Pois o emprego da técnica em casos reais ou experimentais não demonstrou diferenças significativas entre as amostras com e sem biorremediadores. Em estudos feitos em ambientes fluviais, o biorremediador não atingiram os sedimentos contaminados mais profundos no fundo do rio, que em geral, são aqueles que possuem menor degradabilidade. Assim o emprego de biorremediadores apenas afeta a superfície do rio.

Ainda se deve atentar à disposição final dos resíduos gerados pela aplicação das técnicas de respostas, como os gerados pela remoção manual e mecânica, os absorventes contaminados, as plantas podadas, entre outros. Esses resíduos são classificados de acordo com a ABNT 10 004 (2004) como Classe I, que são resíduos perigosos nos quais foram verificadas propriedades de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e/ou patogenicidade, e Classe II, que são resíduos não perigosos, como as barreiras de contenção descontaminadas, entre outros.

5. CONCLUSÕES

Tanto em ambiente costeiro como o ambiente fluvial, a aplicação das técnicas de remediação aos derrames de óleo causam algum tipo de impacto, algumas causam maiores impactos em ambientes costeiros, outras mais em ambientes fluviais. Entretanto, é possível notar, que de maneira geral, os ambientes fluviais são mais sensíveis à aplicação de técnicas de remediação que os ambientes costeiros, isso ocorre devido ao acesso aos ambientes para o emprego de técnicas, pois muitos deles são vegetados e com organismos presentes. Além disso, corpos d'água são mais utilizados pela população, seja para o abastecimento, o uso de recreação, atividades pesqueiras, ou captação para as indústrias. Assim, quando ocorre um acidente em rios, afeta mais diretamente o uso humano do que em ambientes costeiros, dessa maneira, se espera que a limpeza do local afetado seja a mais rápida possível.

Se não bem administrada a aplicação das técnicas de remediação, tanto em ambientes costeiros como fluviais, pode-se gerar impactos tão graves quanto os danos causados pelo óleo em si. Desta maneira, deve-se efetuar uma avaliação pelo NEBA, que resultará em uma análise das vantagens e desvantagens das técnicas para a aplicação no ambiente contaminado.

Um ponto importante que se deve levar em conta, é a vazão dos corpos d'água contaminados, pois em rios lóticos, a limpeza natural é maior quando comparada a rios lênticos, que possuem baixa taxa de degradabilidade. Corpos d'água lênticos são melhores para a aplicação de técnicas de contenção e remoção. Assim, pode-se desviar o fluxo de óleo para os rios lóticos, dependendo do óleo e sua quantidade.

É fato que existem mais estudos voltados para os ambientes costeiros, isso acontece devido a sua magnitude e ao número de ocorrências de acidente. Assim são poucos os trabalhos relacionados aos corpos fluviais. Para os ambientes fluviais de clima tropical não há uma classificação padrão. Tanto que nos estudos realizados nos corpos fluviais do Brasil, a classificação mais utilizada é a feita pela NOAA (1994b), entretanto são para ambientes de clima temperado. Araujo et al. (2006) elaboraram apenas uma classificação para a região Amazônica, ou seja, nem sempre pode ser aplicado em todos estudos.

Estudos feitos em ambientes fluviais mostram que a má administração na aplicação das técnicas de remediação pode gerar danos severos no ambiente, como uma contaminação mais séria do local ou transferir a contaminação para outros ambientes antes não afetados. Para melhor eficiência na aplicação das técnicas de limpeza no Brasil, é necessário formular uma classificação para os ambientes tropicais. Pois para alguns ambientes tropicais pode ser

necessária uma adaptação dos índices de sensibilidade fluvial aos habitats e feições fluviais brasileiras, como ocorreu na classificação dos ambientes costeiros.

Em suma, o presente trabalho apresentou uma visão geral das várias técnicas de remediação e das consequências de sua aplicação, para os ambientes tanto costeiros quanto fluviais, conforme o objetivo proposto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-KADERT, A.F.; NASR, S.M.; EL-GAMILY, H.I.; EL-RAEY, M. Environmental sensitivity analysis of potential oil spill for Ras-Mohammed coastal zone, Egypt. **Journal of Coastal Research**. v.14, n. 2, p. 502-501, 1998.

AMBIENTE BRASIL. Informações sobre acidentes com petróleo e derivados no Brasil. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>> Acesso em: 20 nov. 2013, 13:00:00.

ABNT. NBR 10.004: classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

ARAUJO, S. I.; SILVA, G. H.; MUEHE, D. C. E. H. **Manual básico para elaboração de mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo no sistema Petrobras: ambientes costeiros e estuarinos**. Rio de Janeiro. 2002. 134p.

ARAUJO, S. I.; SILVA, G. H.; MUEHE, D. CARVALHO, M. T. M.; MENEZES, P. M. L.; ALCÂNTARA, A. V.; VARGAS, M. A. M.; TAKAHASHI, L. T. **Mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo: ambientes costeiros, estuarinos e fluviais**. Rio de Janeiro. Petrobras: Jauá, 2006. 168p.

ARPEL – Emergency Response Planning Working Group. **A guide to in situ burning of oil spills on water, shore, and land**. ARPEL Environmental Guideline, n. 40, 2006. 46p.

AWAZU, L. A.; POFFO, I. R. F. **Mapeamento de áreas a serem protegidas quando da ocorrência de derrames de petróleo e derivados no Litoral Norte de São Paulo**. CETESB: São Paulo, 1986. 40p.

BACA, J. B.; GETTER, C. D.; LINDSTEDT-SIVA, J. Freshwater oil spill considerations: protection and cleanup. 1985 **Oil Spill Conference**. American Petroleum Institute, Washington DC, p. 385-390. 1985.

BERALDIN, N.; ARAUJO, A.; STICA, N.; JUNIOR, A.; LEITE, W. **Relatório final de acompanhamento acidente ambiental com navio Vicuña baía de Paranaguá**. Assembléia Legislativa do Estado do Paraná – Centro Legislativo Presidente Aníbal Khury. 2005. 157p.

BLEICHER, A. Why cleaning up the Yellowstone River is not like cleaning up the Gulf. *Popular Mechanics*. 19 jul. 2011. Disponível em: <<http://www.popularmechanics.com/science/environment/water/why-cleaning-up-the-yellowstone-river-is-not-like-cleaning-up-the-gulf>>. Acesso em: 12 nov. 2013, 13:00:00.

BRASIL. CONAMA. Resolução nº 269, de 14 de setembro de 2000. Regulamenta o uso de dispersantes químicos em derrames de óleo no mar. Diário Oficial da União, nº 9, de 12 de janeiro de 2001, Seção 1, p. 58-61.

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 União, nº 081, de 29 de abril de 2002, p. 170-174.

BRASIL. CONAMA. Resolução nº 398, de 11 de junho de 2008. Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, originados em portos organizados, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares, e orienta a sua elaboração. Diário Oficial da União, nº 111, de 12 de junho de 2008, Seção 1, p. 101-104.

BRASIL. MMA. Ministério do Meio Ambiente. Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo. Brasília: MMA, 2004, 107p.

CASEIRO, A. M. **Simulação de um eventual vazamento de óleo no oleoduto da Baía da Babitonga – SC.** 2011. 74p. Monografia (Graduação em Oceanografia) – Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2011.

CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). Governo do Estado de São Paulo. Operação Hamilton Lopes IV. 1986. 11p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/emergencias-quimicas/panorama-geral/HAMILTON_LOPES.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2013, 12:20:00.

CETESB. (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). Governo do Estado de São Paulo. Relatório técnico acidente com o oleoduto OSBAT: PETROBRÁS/TRANSPETRO Guaecá: São Sebastião. 2005. 100p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia../acidentes/vazamento/acidentes/guaeca.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2013, 16:00:00.

CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). Governo do Estado de São Paulo. **Ambientes costeiros contaminados por óleo: Procedimentos de Limpeza - Manual de Orientação**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. São Paulo, 2007. 120p.

COELHO, V. **Baía de Guanabara: uma história de agressão ambiental**. Casa da Palavra. Rio de Janeiro. 2007. 278p.

COSTA, D. M. **Cartografia temática do atlas de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo do litoral paulista**. 2010. 99p. Monografia (Graduação em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2010.

DICKS, B.; PARKER, H., PURNELL, K.; SANTNER, R. Termination of shoreline cleanup – a technical perspective. **Proc. of the Technical Lessons Learnt from the Erika Incident and Other Oil Spills**, CEDRE, Brest, 2002. 12p.

EPA. Environmental Protection Agency. **Understanding Oil Spills and Oil Spill Response**. United States. 1999.

ETKIN, D. S. Estimating cleanup costs for oil spills. International Oil Spill Conference. Massachusetts, U.S. 1999. Disponível em: <http://www.environmental-research.com/erc_papers/ERC_paper_1.pdf>. Acesso em: 26 out. 2013, 16:45:00.

FARIELLO, D.; TAVARES, M. Uso de dispersante químico em vazamentos é polêmico. O GLOBO. 24 mar. 2012. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/economia/uso-de-dispersante-quimico-em-vazamentos-polemico-4405244#ixzz2kRPKxHHS>>. Acesso em: 12 nov. 2013, 12:20:00.

FERREIRA, M.F.; BEAUMORD, A.C. Mapeamento da Sensibilidade Ambiental à Derrames de Óleo nos Cursos de Água da Bacia do Rio Canhanduba, Itajaí, SC. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia Aquática**. v. 12, n. 2, p. 61-72, 2008.

GHERARDI, D.F.M. ; CABRAL, A.P. ; KLEIN, A.H.F. ; MUEHE, D. ; NOERNBERG, M.A. ; TESSLER, M. G. ; SARTOR, S. M. . Mapeamento de sensibilidade ambiental ao óleo da Bacia Marítima de Santos. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia Aquática**. v. 12, p. 11-31, 2008.

GUNDLACH, E. R.; HAYES, M. O. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. **Marine Technology Society Journal**. v. 12, p. 18-27. 1978.

HAYES, M. O.; MICHEL, J.; MONTELLO, T. M. The reach sensitivity index (RSI) for mapping river and streams. **International Oil Spill Conference**, p. 343-350. 1997.

IBP (Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis). **Propostas de análise de riscos e de resposta a emergências por vazamento de óleo no mar devido às atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural**. Rio de Janeiro/ RJ, 2012. 14p.

IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). **Choosing spill response options to minimize damage: net environmental benefit analysis**. London, 2000. 22 p. (IPIECA REPORT SERIES, 10).

IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). **Dispersants and their role in oil spill response**. 2ª Edição. London, 2001. 36p. (IPIECA REPORT SERIES, 5).

ITOPF (*The International Tanker Owners Pollution Federation*). ITOPF handbook 2012/2013. London, UK, 2005. 54p.

JENSEN, J. R.; HALLS, N. J.; MICHEL, J. A system approach to environmental sensitivity index (ESI) mapping for oil spill contingency planning and response. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 64, n.10, p. 1003-1014. 1998.

KARPOFF J. M.; TALIAFERRO L. **The Exxon Valdez**. The Encyclopedia of the Arctic. Routledge, London. p. 601-603, 2005.

LACERDA, C. S. **Cartas de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo – cartas SAO – para a costa oeste da Lagoa dos Patos, RS, Brasil**. 2006. 56p. Monografia (Graduação) – Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2006.

LEWIS, A. **Oil spill dispersants**. Oil Spill Consultant. SINTEF. 27p. Disponível em: <<http://documents.plant.wur.nl/imares/dispersants/08sintef.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2013, 12:00:00

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.

MALDONADO, S. R. C.; ISHIHATA, L.; POLETTE, M. **Vulnerabilidade dos ambientes costeiros do município de Ubatuba ao impacto de derramamentos de óleo (Litoral Norte do Estado de São Paulo)**. São Paulo: CETESB. 1987. 57p.

MARTINS, P. T. A. **Carta de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo em rodovias: proposta aplicada a Estrada dos Tamoios (SP-099)**. 2012. 171p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012.

McKENZIE, B.; LUKIN, J. Preparedness for in situ burning operations: na Alaskan perspective. In situ burning of oil spills Workshop, In situ burning of oil spills. **NIST Special Publication**, SP, 935; p. 47-54.

MICHEL, J.; HAYES, M. O.; BROWN, P. J. Application of an oil spill vulnerability index to the shoreline of lower Cook Inlet, Alaska. **Environment Geology**, v. 2, p. 107-117, 1978.

MIKLAUCIC, E.A.; SASEEN, J. The Ashland oil spill, Floreffe, PA – Case history and response evaluation. **International Oil Spill Conference Proceedings**, v. 1989, n. 1, p. 45-51, 1989.

MILANELLI, J.C.C. **Efeitos do petróleo e da limpeza por jateamento em um costão rochoso da praia de Barequeçaba, São Sebastião, SP**. 1994. 99p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MULER, M. **Implementação de um sistema de informação voltado à sensibilidade ambiental ao óleo do litoral sul paulista e avaliação das ações de resposta a derramamentos de óleo**. 2008. 68p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). **Options for minimizing environmental impacts of freshwater spill response**. Hazardous Materials Response and Assessment Division, American Petroleum Institute. 1994a. 135p.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). **Sensitivity mapping of inland areas: Technical support to the Inland Area Planning Committee Working Group USEPA Region 5**. HAZMAT Report 95-4. Seattle: Hazardous Materials Response and Assessment Division, National Oceanic and Atmospheric Administration. 1994b. 54p.

OWENS, E.H. The interaction of fine particles with stranded oil. **Pure Appl. Chem.**, v. 71, n. 1, p. 83-93, 1999.

PETERSEN, J.; MICHEL, J.; ZENGEL, S.; WHITE, M.; LORD, C.; PLANK, C. **Environmental sensitivity index guidelines**. National Oceanic and Atmospheric Administration. v. 3.0. 2002. 89p.

PINCINATO, F.L. **Mapeamento da sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo para a região costeira de São Sebastião e Caraguatatuba, Litoral Norte de São Paulo (SP), com uso de modelagem em SIG de sistema especialista baseado em conhecimento e árvore de decisão**. 2007. 62p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

RICO-MARTÍNEZ, R.; SNELL, T.W.; SHEARER, T.L. Synergistic toxicity of Macondo crude oil and dispersant Corexit 9500A to the *Brachionus plicatilis* species complex (Rotifera). **Journal of Environmental Management** 173 (2013). p. 5-10, 2013.

SKINNER, S.K.; REILLY, W.K. **The Exxon Valdez oil spill - A report to the President**. The National Response Team. 1989. 37p.

SOUZA, A. M. F. **Planos nacionais de contingência para atendimento a derramamento de óleo: análise da experiência de países representativos das Américas para implantação no caso do Brasil**. 2006. 217p. Dissertação (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2006.

SWANNELL, R.P.J; LEE, K; McDONAGH, M. Field evaluations of marine oil spill bioremediation. **Microbiological Reviews**, US, v. 60, n. 2, p. 342-365, 1996.

U.S. COAST GUARD. Final Action Memorandum – Incident Specific Preparedness Review (ISPR) Deepwater Horizon oil spill. 2011. 158p.

VENOSA, A. D.; LEE, K.; SUIDAN, M. T.; GARCIA-BLANCO, S.; COBANLI, S.; MOTELEB, M.; HAINES, J.R.; TREMBLAY, G.; HAZELWOOD, M. **Bioremediation and biorecovery of a crude oil-contaminated freshwater wetland on the St. Lawrence River**. Submitted to *Bioremediation Journal*. v. 6, n. 3, p. 261-281, 2002.

WEATHERS, D. H.; HAYES, M. O.; MICHEL, J. Reach Sensitivity Index Mapping of the Amite River Watershed in the Lake Pontchartrain Basin: A Tool for Watershed Restoration. **Journal of Coastal Research**, p. 141-151, 2009. Edição especial.

WIECZOREK, A. **Mapeamento de sensibilidade a derramamentos de petróleo do parque estadual da Ilha do Cardoso (PEIC) e áreas adjacentes**. 2006. 143p. Dissertação

(Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2006.

WOLINSKI, A. L. T. O. **Efeitos do derrame experimental de óleo Bunker MF-180 em marismas da Baía de Paranaguá (Paraná, Brasil)**. 2009. 73p. Dissertação (Pós-graduação) – Sistemas Costeiros e Oceânicos, Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2009.

YOSHIOKA, G.; CARPENTER, M. Characteristics of reported inland and coastal oil spills. Fairfax, Virginia: ICF Consulting, 2002. Disponível em: <<http://www.epa.gov/oem/docs/oil/fss/fss02/carpenterpaper.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2013, 12:00:00.

ZENGEL, S.; HAYES, M.O.; MICHEL, J.; WHITE, M. Integrated planning from the mountains to the sea: environmental sensitivity mapping in the Caribbean. **International Oil Spill Conference**. American Petroleum Institute, Washington, D.C. p. 1113-1117, 2001.

ANEXOS

ANEXO A – Tipos de absorventes baseados na CETESB (2007)

Tipo	Produtos	Descrição	Vantagens	Desvantagens
Absorventes sintéticos	Polímeros, espuma de poliuretano, fibras de polietileno e polipropileno, copolímeros especiais e fibra de nylon, entre outros	São desenvolvidos industrialmente através de processos químicos e físicos (isomerização, polimerização, oxidação, entre outros)	Possuem a capacidade de absorção de até setenta vezes o seu peso em óleo, enquanto que os absorventes naturais orgânicos ou absorventes naturais industrializados absorvem apenas quinze vezes seu peso	Não devem ser lançados a granel no ambiente, sem ser recolhido depois, pois tem baixo potencial de biodegradação
Absorventes naturais	Sílica, terra diatomácea, argila, perlita, vermiculita, entre outros	São produtos de origem inorgânica extraídos diretamente da natureza ou após tratamento químico ou físico a fim de aumentar a sua capacidade de absorção/adsorção	Absorventes minerais podem ser utilizados em contaminação superficial do solo em áreas restritas e específicas como praias, mangues, planícies de maré, etc. e posteriormente	Não são as melhores opções para uso a granel nas águas costeiras, devido à dificuldade no seu recolhimento dos agregados óleo-mineral formados
Absorventes naturais orgânicos	Cortiça, palha, feno, bagaço de cana-de-açúcar, casca de coco, entre outros	São matérias orgânicas extraídas e aplicadas diretamente sobre os produtos a serem absorvidos sem que tenham sofrido qualquer tipo de tratamento químico ou físico	Com esse material é possível improvisar barreiras absorventes e malhas de filtragem para absorver pequenas quantidades de óleo	Sob determinadas condições absorverem água, o mesmo não ocorrendo com os absorventes sintéticos
Absorventes orgânicos industrializados	Turfa, celulose, semente de algodão, entre outros	São produtos orgânicos que sofreram tratamento a fim de otimizar a forma da aplicação, do transporte e do armazenamento, além de potencializar sua capacidade de absorção/adsorção	Causam mínimos prejuízos ambientais, se aplicado corretamente e possui alta eficiência para pequenas quantidades de óleo	O uso é indicado apenas em etapas posteriores ao recolhimento mecânico ou eventualmente integrados a elas