

LEONARDO KIM

**MÉTODOS DE CONTENÇÃO DE DERRAMAMENTO DE PETRÓLEO
NO MAR**

São Paulo
2010

LEONARDO KIM

MÉTODOS DE CONTENÇÃO DE DERRAMAMENTO DE PETRÓLEO NO MAR

Trabalho de Formatura em Engenharia de
Petróleo do curso de graduação do
Departamento de Engenharia de Minas e
de Petróleo da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Eduardo César Sansone

São Paulo
2010

RESUMO

Diversos episódios envolvendo derramamentos de petróleo têm sido noticiados desde a década de 70, e de lá para cá os avanços tecnológicos na prevenção e contenção destes acidentes diminuíram, de forma expressiva, a sua ocorrência. No entanto, ainda não estamos totalmente livres do perigo dos vazamentos de petróleo. O mais recente acidente ocorrido no Golfo do México é uma prova concreta da catástrofe que esse tipo de acidente pode trazer ao meio ambiente e uma motivação para um estudo aprofundado sobre as medidas de contenção e de contingência que são tomadas após os vazamentos. O presente trabalho tem a finalidade de apresentar os principais e mais usuais métodos envolvidos no combate de um derramamento de petróleo, os quais englobam as técnicas de detecção, contenção, recuperação e limpeza dos ambientes afetados pelo derramamento, focando-se principalmente nos vazamentos ocorridos no mar.

Palavras-chave: derramamento de petróleo; contenção; recuperação; limpeza.

ABSTRACT

Several episodes involving oil spills have been reported since the 70's, and since then technological advances in prevention and containment of these accidents have decreased significantly, their occurrence. However, we are not yet free from the danger of oil spills. The most recent accident in the Gulf of Mexico is an evidence of the catastrophe that this type of accident can bring to the environment and a motivation for a detailed study of the containment measures and contingency plans that are taken after the leaks. This paper aims to present the main and most common methods involved in combating an oil spill, which include detection, containment, recovery and cleanup techniques, focusing primarily on the leaks occurred in seas.

Key-words: oil spill; containment; recovery; cleanup technique.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cromatograma	10
Figura 2 – Bóias de rastreamento	11
Figura 3 – Sistema de monitoramento de bóias	11
Figura 4 – Exemplo de mapa de cobertura IR/UV.....	13
Figura 5 – Praia contaminada varrida por luz UV.....	13
Figura 6 – Barreira	15
Figura 7 – Diversos tipos de barreira	17
Figura 8 – Ancoragem.....	18
Figura 9 – Configuração de barreiras	19
Figura 10 – Diversos tipos de falha	21
Figuras 11 e 12 – Barreiras Absorvedoras.....	21
Figura 13 – Barreira de gelo	22
Figura 14 – Barreira de bolha	22
Figura 15- Diversos tipos de Skimmers.....	23
Figuras 16 e 17 – Skimmers de barragem	24
Figuras 18 e 19 – Skimmers de succão	25
Figura 20 – Skimmers de Elevação	25
Figura 21 – Skimmer Submerso.....	26
Figura 22 – Navios Especializados para recuperação de óleo.....	26
Figura 23 – Absorventes: pompons, serragem, almofadas.....	28
Figura 24 – Modos de aplicação dos dispersantes.....	29
Figura 25 – Pulverização aérea de dispersantes.....	30
Figura 26 – Óleo tratado com dispersante	30
Figura 27 – Agentes limpantes de superfície.....	31
Figura 28 – Helitorch.....	34
Figuras 29 e 30 – Queima in-situ.....	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	09
2. DETECÇÃO, ANÁLISE E SENSORIAMENTO REMOTO	10
2.1 Amostragem e Análise Laboratorial	10
2.2 Análise de Campo	11
2.3 Detecção e Vigilância	11
2.3.1 Detecção e Sistemas de Acompanhamento	11
2.4 Sensoriamento Remoto	12
2.4.1 Detecção Visual	12
2.4.2 Sensores Infravermelhos	13
2.4.3 Sensores Ultravioletas	13
2.4.4 Radar	13
2.4.5 Microondas.....	14
2.4.6 Lasers Fluorescentes	14
2.4.7 Ultra-Sônico.....	14
2.4.8 Satélites.....	14
3. OPERAÇÕES DE CONTENÇÃO.....	15
3.1 Tipos de barreiras e sua composição.....	15
3.1.1 Ancoragem.....	17
3.1.2 Sistema de Barreiras.....	18
3.1.3 Falha das Barreiras.....	19
3.2 Equipamentos Auxiliares.....	21
3.2.1 Barreiras Absorvedoras.....	21
3.2.2 Barreiras Especiais.....	21
4. RECUPERAÇÃO DE ÓLEO NO MAR	22
4.1 Skimmers.....	22
4.1.1 Skimmers de Superfícies Oleofílicas.....	23
4.1.2 Skimmers de Barragem.....	24
4.1.3 Skimmers de sucção ou a vácuo.....	25
4.1.4 Skimmers de Elevação.....	25
4.1.5 Skimmer Submersos.....	26
4.2 Eficiência dos Skimmers.....	26
4.3 Outros Dispositivos.....	27

4.3.1 Navios Especializados.....	27
4.4 Absorventes.....	27
4.4.1 Classificação dos Absorventes	28
5. AGENTES QUÍMICOS PARA TRATAMENTO DE VAZAMENTO DE PETRÓLEO. .	29
5.1 Dispersantes.....	29
5.1.1 Aplicação dos dispersantes	29
5.1.2 Toxicidade dos dispersantes	29
5.2 Agentes Limpantes de Superfície.	30
5.3 Inibidores e Desmarchadores de Emulsão.	31
5.4 Agentes Visco-Elásticos ou Melhoradores de Recuperação	31
5.5 Solidificadores.....	32
5.6 Biodegradantes.	32
6. QUEIMA IN-SITU.....	32
6.1 Noções Básicas para queima in-situ	32
6.2 Vantagens da queima in-situ	33
6.3 Desvantagens da queima in-situ.	33
6.4 Ignição.....	33
6.5 Contenção do óleo.	34
6.6 Emissões da queima do óleo.	35
6.6.1 Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA).	35
6.6.2 Fuligem	35
6.6.3 Metais	35
6.6.4 Outros	35
6.7 Recuperação de Resíduos da queima.	35
7. CONCLUSÕES	37
REFERÊNCIAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

Na atual sociedade, em que a economia e o sistema social estão fundamentalmente baseados no petróleo, a necessidade de se assegurar a crescente demanda pelo combustível tem impulsionado produções cada vez maiores de petróleo. Devido à sua escassez, e sendo a principal matéria-prima energética e industrial do planeta, o petróleo tornou-se, a partir do século XX, a substância mais cobiçada pelos governos e corporações, causando reflexos na geopolítica mundial.

A grande procura pelo petróleo atraiu, cada vez mais, maiores investimentos na área de exploração e produção de petróleo, garantindo o seu avanço tecnológico e levando as empresas petrolíferas lançarem-se também aos mares, onde encontrariam novas oportunidades de descobertas de campos ricos em petróleo. O Brasil que também se insere neste caso vem evoluindo e se especializando na exploração de petróleo em águas profundas, batendo recordes de produções anuais e também ganhando espaço no cenário mundial devido à sua competência tecnológica.

No entanto, como acontece em qualquer outra atividade industrial, a exploração de petróleo está sujeita a acidentes. E no caso específico de exploração e produção no mar, os acidentes, quando ocorrem, causam um impacto maior ao meio ambiente devido à sua dificuldade de controle e de recuperação, pela sua localidade e condições adversas do mar.

Como consequência, aliados à poluição produzida pela indústria, os acidentes e vazamentos devidos à exploração e produção de petróleo nos mares têm sido motivos de discussões e debates por órgãos internacionais a fim de estabelecer regras e limites com o intuito de proteger o meio ambiente de danos mais graves. Como resultado foram exigidas manutenções e inspeções mais rigorosas das embarcações e plataformas, e também foram requeridas melhorias nas condições de segurança dos que trabalham no mar.

Enquanto a sociedade continuar a depender do petróleo, derramamentos irão ocorrer devido às potenciais falhas humanas e dos equipamentos inerentes à produção, transporte e armazenamento de petróleo. Apesar de, logicamente, a importância de se focar nos métodos de prevenção de vazamentos seja maior e mais urgente, não se pode deixar de desenvolver e aprimorar, paralelamente, os métodos de controle e de limpeza do óleo após o derramamento.

Portanto, é neste cenário que o presente trabalho pretende-se basear, estudando os métodos que integram os planos de contingência e as opções de resposta que podem acelerar e melhorar a contenção de um derramamento de petróleo no mar, fazendo uma revisão bibliográfica do assunto e buscando-se integrar os principais métodos mais utilizados pelas empresas do ramo e pelos governos.

2. DETECCÃO, ANÁLISE E SENSORIAMENTO REMOTO DE DERRAMAMENTO DE PETRÓLEO

A importância do estudo sobre os métodos de monitoramento se deve ao fato de que, muitas vezes, o agravamento dos acidentes de derramamento de petróleo podem ser evitados na sua fase inicial de vazamento, evitando que o óleo se espalhe e cause maiores danos ao meio ambiente. A PETROBRAS que, por exemplo, possui um sistema de monitoramento costeiro e oceânico nas Bacias de Campos, Santos e Espírito Santo, com o apoio técnico e científico do Centro de Pesquisas da PETROBRAS (CENPES), utiliza-se, de maneira integrada, alguns dos métodos de detecção de vazamentos que veremos a seguir.

2.1 Amostragem e Análise Laboratorial

A prática de coleta de amostras de petróleo, e sua posterior transferência para os laboratórios a fim terem as suas propriedades analisadas, é um procedimento muito comum em vazamentos de petróleo. Existem diversos procedimentos de coleta de amostras, mas em todos casos é sempre necessário garantir que a amostra não seja contaminada pelo contato com impurezas e que os recipientes da amostra sejam pré-limpadas com solventes, como o hexano, que são compatíveis com o óleo.

A forma mais simples e comum de análise é feita medindo-se o quanto de óleo está impregnado na amostra de água, solo, ou sedimento. Tais quantidades resultantes da análise são conhecidas como *Total Petroleum Hydrocarbons* (TPH) – Total de Hidrocarbonetos de Petróleo. Existem diversas maneiras de se medir o TPH. Para uma amostra de água por exemplo, o óleo pode ser extraído da água utilizando-se um produto óleo-absorvente e um outro sólido água-repelente. Este óleo é analisado a partir do seu substrato através de uma variedade de procedimentos que incluem a medição da quantidade de luz absorvida numa certa banda estreita selecionada, ou a medição através da utilização de enzimas que são afetadas seletivamente por alguns componentes do óleo. A partir desses dados então é possível caracterizar a amostra de óleo.

Para uma análise mais sofisticada pode-se utilizar o cromatógrafo a gás (GC). Neste método de análise, uma pequena quantidade da amostra do óleo, e um gás carregador, geralmente o hélio, atravessam um tubo capilar de vidro revestido internamente por um material “absorvente”. Como os componentes do petróleo têm diferentes taxas de adesão, o óleo é separado, sem ser decomposto, ao longo da parede da coluna. Os gases, que saem do tubo em intervalos de tempo diferentes, passam por um detector sensível o qual registra a quantidade de vários componentes individuais do petróleo.

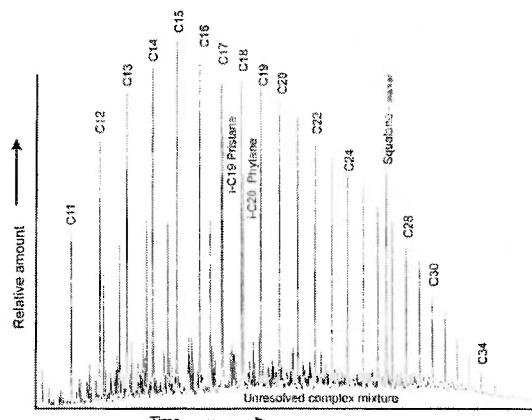


Figura 1 – Cromatograma (Fingas, 2000)

Um outro tipo de detector utilizado em um cromatograma é o espectrômetro de massa (MS). O método é geralmente chamado de GC-MS e pode ser utilizado para quantificar e identificar vários tipos de componentes do óleo. O MS fornece informações que podem ser utilizadas para prever o grau de intemperismo do óleo, ou seja, há quanto tempo o óleo esteve exposto no meio ambiente e qual a porcentagem que já foi evaporada ou biodegradada. Isso é possível porque alguns dos componentes do óleo, particularmente o óleo cru, são muito resistentes à biodegradação, enquanto outros são resistentes a evaporação. Essa diferença na distribuição dos componentes permite medir o grau de intemperismo que o óleo sofreu ao ser exposto ao meio ambiente. A mesma técnica pode ser utilizada também para identificar a sua fonte. (Wang, 1995; Fingas, 2000)

A figura acima representa um exemplo de um cromatograma, GC-MS, típico de um petróleo leve com alguns dos componentes mais comuns identificados.

2.2 Análise de Campo

A análise realizada em campo tem a vantagem de ser mais rápida e econômica do que a análise feita em laboratório. Como as técnicas de análise são constantemente aperfeiçoadas e equipamentos mais leves e portáteis estão sendo desenvolvidos, os trabalhos em campo ganham cada vez mais espaço e reconhecimento. Como por exemplo, métodos de teste para medição de propriedades físicas do óleo, como a viscosidade, densidade e até mesmo o ponto de inflamação do óleo no campo, já são disponíveis. Kits de medição de TPH também já foram desenvolvidos para serem utilizados em campo. Apesar de essas ferramentas serem menos precisas do que as ferramentas de laboratório, elas são uma rápida ferramenta de triagem que minimizam análises laboratoriais e podem fornecer dados adequados para tomadas de decisões diretamente em campo.

2.3 Detecção e Vigilância

2.3.1 Detecção e Sistemas de Acompanhamento

Como o vazamento de petróleo também ocorre com frequência em cais ou portos, sistemas de bóias e pontos-fixos de monitoramento foram desenvolvidos para garantir uma resposta rápida nessas áreas. Esse tipo de sistema detecta o óleo na água e transmite um sinal de rádio para a agência responsável pelo monitoramento de acidentes de vazamento.



Figuras 2 e 3 – Bóias de rastreamento (Fingas, 2000);
Sistema de monitoramento de bóias (Offshore Support Journal, 2010)

A fluorescência é um método de detecção utilizado nesses sistemas. A luz ultravioleta é focada na superfície da água e qualquer óleo presente nela emite fluorescência ou absorve a luz ultravioleta e reemite-a como uma luz visível. Este fenômeno de fluorescência é

relativamente único em óleos e, portanto, oferece um mecanismo de detecção viável e favorável.

Em um outro método de detecção, utiliza-se um material absorvente de óleo que muda a sua propriedade física ao absorver o óleo. Essa mudança aciona um dispositivo de detecção. Um exemplo desse mecanismo seria um adsorvente que perde a força quando o óleo é absorvido. O adsorvente é colocado em contato com uma mola e um interruptor, que é ativado quando o óleo entra no adsorvente.

Como estes sistemas monitoram uma área específica do mar, eles devem ser posicionados em locais onde o vazamento tem mais chances de acontecer. No entanto, na maioria das vezes fica difícil de se prever quais são esses locais. Além disso, as tecnologias disponíveis hoje não são sensíveis à quantidade de óleo liberada e podem ser acionadas mesmo por uma quantidade muito pequena de óleo. Por essas razões, estes sistemas não são utilizados extensivamente.

Como o óleo pode se mover e se espalhar em manchas pela ação do vento e das correntes de água na superfície, os responsáveis pelo monitoramento podem ter dificuldades em acompanhar essas posições, especialmente no escuro ou quando há neblinas.

Para solucionar este tipo de problema, bóias têm sido desenvolvidas para poderem acompanhar esse fluxo do óleo pelo movimento da água. Essas bóias transmitem sinais de sua posição diretamente para receptores localizados em aviões, navios ou satélites que acompanharão a posição do óleo. A posição do vazamento pode então ser determinada através de um receptor remoto. Para que este tipo de dispositivo seja efetivo, a bóia deverá se locomover e responder às ambas correntes de vento e de água, do mesmo modo como o óleo responderia. Embora essa precisão na resposta da bóia seja difícil de ser conseguida, já existem dispositivos capazes de rastrear uma série de óleos brutos e óleos combustíveis de navios (Bunker C). (Fingas, 2000)

2.4 Sensoriamento Remoto

O óleo, muitas vezes, pode ser difícil de ser detectado em determinadas condições. O sensoriamento remoto fornece um meio para mapear os locais e concentrações aproximadas de vazamentos que ocupam uma área muito extensa, em diversas condições. Ele é realizado normalmente com instrumentos a bordo de aeronaves ou por satélite. Enquanto muitos sensores foram desenvolvidos para uma variedade de aplicações ambientais, somente alguns poucos são próprios para o trabalho de detecção e acompanhamento de vazamentos. O sensoriamento remoto em terra é particularmente limitado e apenas um ou dois sensores hoje são utilizados.

2.4.1 Detecção Visual

Os Sensores Visuais (sensores passivos que operam na região da luz visível) ainda são largamente utilizados em vazamentos de petróleo devido ao seu baixo custo, à simplicidade dos equipamentos e à facilidade em ser acoplados em aeronaves, como as câmeras de vídeo e as câmeras fotográficas, apesar de suas desvantagens. Seu princípio de funcionamento se deve à refletância do óleo que é maior que a refletância da água, e os dois absorvem radiação na região da luz visível.

Uma de suas desvantagens é que o óleo muitas vezes fica difícil de ser distinguido da água do mar e também pode ser confundido por algas marinhas ou regiões mais escuras do fundo do mar. Além disso, esses sensores não conseguem operar normalmente à noite, ou no escuro, pois se baseiam na refletância da luz solar para funcionarem.

Portanto, levando-se em consideração os fatores já citados, os sensores visuais são mais adequados para se criar uma base de dados dos vazamentos.

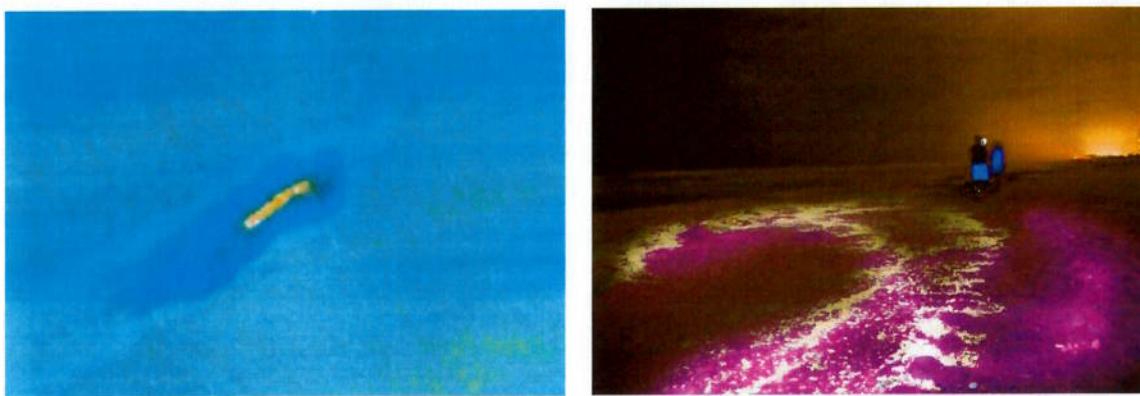
2.4.2 Sensores Infravermelhos

O petróleo pode ser detectado por sensores infravermelhos devido à sua característica em absorver as radiações do sol e emitir parte dela na forma de calor principalmente na região infravermelha ($8\text{-}14\mu\text{m}$). Essa emissão também está presente na água, no entanto, os espectros, quando comparados, diferem um do outro. Infelizmente esse método é prejudicado por muitos outros alvos falsos, como algas, óleos biogênicos, partículas e frentes oceânicas e fluviais que podem ser confundidos na detecção do petróleo. A vantagem dos sensores infravermelhos é que eles são relativamente baratos e fornecem informações sobre a espessura relativa de vazamentos mais espessos e podem ser utilizados mesmo na falta de luz. (Fingas, 2000)

2.4.3 Sensores Ultravioletas

Como o óleo apresenta uma maior refletividade do que a água na região ultravioleta (UV), os sensores ultravioletas utilizam a luz refletida do sol na região ultravioleta (250-350nm) para detectar o óleo do mar. A vantagem delas é que mesmo uma camada muito fina de óleo consegue ser detectada pelos sensores devido à forte emissão de luz na região UV. Por outro lado, eles têm a desvantagem de não conseguirem detectar camadas de óleo com espessura maior do que $10\mu\text{m}$ e, portanto, o imageamento UV só fornece informações da espessura relativa do óleo. (Goodman, 1994; Fingas, 2000)

Os sensores UV também sofrem interferências mas diferem daquelas sofridas pelos sensores infravermelhos. Por esses motivos, as imagens infravermelhas são muitas vezes combinadas com as imagens ultravioletas produzindo um mapa da espessura relativa de uma mancha de petróleo. Isto é referido como mapa de cobertura IR/UV.



Figuras 4 e 5 – Exemplo de mapa de cobertura IR/UV (Environment Canada)
Praia contaminada varrida por luz UV (National Geographic, 2010)

2.4.4 Radar

Como o óleo derramado no mar “acalma” as ondas menores (da ordem de alguns centímetros de comprimento), a presença do óleo pode ser detectada como uma área calma (escura, 1-30cm) em oposição à água do mar agitada (clara). O radar é bastante útil no monitoramento de grandes áreas do mar e pode ser utilizado como uma das primeiras ferramentas a detectar a possível localização de um vazamento de petróleo.(Goodman, 1994)

A técnica é altamente propensa a alvos falsos e é limitada a uma estreita faixa de velocidade de vento (aproximadamente 2 a 6 m/s). Em ventos inferiores aos citados, não

existem ondas pequenas suficientes para produzirem uma diferença entre uma área com derramamento e uma área sem derramamento. Em ventos superiores, as ondas podem se propagar através do petróleo e o radar não será capaz de distinguir a diferença entre as regiões. Além disso, os radares não são utilizados perto do litoral ou regiões costeiras porque a “sombra” do vento pode ser vista como uma mancha de óleo pelo radar. Há também regiões, do mar, naturalmente calmas que podem assemelhar-se à presença de petróleo. (Fingas, 2000)

2.4.5 Microondas

O sensor de microondas é utilizado para detectar o vazamento de petróleo e sua espessura. O óleo emite uma radiação de microondas mais forte (claro) do que a água (escuro), podendo deste modo ser distinguido do mar. Manchas de óleo na água absorvem alguns desses sinais na proporção de sua espessura. Enquanto esse mecanismo não pode medir a espessura absoluta, ele pode gerar uma medida de espessura relativa. A vantagem deste sensor é que ele pode detectar o óleo mesmo através de neblina ou escuridão e a desvantagem se deve à baixa resolução espacial e um custo relativamente elevado e difícil manuseio, o qual necessita de informações específicas do local e do óleo para uma medição apurada.

2.4.6 Lasers Fluorescentes

Os lasers fluorescentes utilizam a propriedade de fluorescência característica do petróleo para detectar o seu vazamento. Óleos que contêm compostos aromáticos na sua estrutura absorvem a luz UV e emitem uma luz visível como resposta, que posteriormente são gravadas por um sistema de recepção multi-canal de detecção sensível à luz. Diferentes óleos emitem diferentes faixas de fluorescência por meio do qual é possível classificar o óleo vazado. Há também algumas informações no retorno da luz visível que podem ser utilizadas para determinar se o óleo é do tipo pesado, leve ou óleo lubrificante.

O Laser fluorescente é uma das ferramentas de detecção de petróleo mais confiável podendo atuar em diversos ambientes e sujeito a poucos tipos de interferências. Eles funcionam relativamente bem tanto na detecção de óleo em água quanto em terra e são muitas vezes o único meio confiável de detecção de petróleo no gelo e na neve. As desvantagens se devem ao alto custo dos sensores e seu grande tamanho e peso.

2.4.7 Ultra-Sônico

Este tipo de sensor detecta o vazamento baseando-se nas propriedades acústica ou mecânica do óleo e mede a espessura absoluta do óleo. O tempo que as ondas ultrassônicas levam para atravessar o óleo, medidos por três lasers, muda com o tipo do óleo. Através da medição total do tempo de viagem da onda é possível gerar uma forma confiável de medição da espessura do óleo. A desvantagem destes sensores é que eles são grandes e pesados, e não funcionam em neblinas. (PETROBRAS, 2000; Fingas, 2000)

2.4.8 Satélites

Enquanto muitos satélites fornecem imagens no espectro visível, o petróleo não pode ser visto nestas imagens a menos que o derramamento ocupe uma área muito grande ou quando algumas situações raras de condições do mar permitam um contraste com o petróleo. O petróleo não apresenta características espectrais que possibilitem que a sua detecção seja reforçada pela imagem de fundo.

Hoje estão disponíveis vários satélites de radar que operam da mesma maneira que

operam os radares em aeronaves e compartilham das mesmas limitações. No entanto, apesar dessas limitações, o imageamento de radar por satélite é particularmente útil para o mapeamento de grandes derramamentos de petróleo, pois os dados podem ser obtidos dentro de poucas horas, tornando essa uma opção vantajosa.

3. OPERAÇÕES DE CONTENÇÃO

A operação de contenção de vazamento de petróleo se refere ao processo de confinamento do óleo para evitar a sua propagação para uma área em particular, evitando maiores impactos ao meio ambiente. O óleo pode ser desviado ou concentrado onde será acompanhado dos processos de recuperação, tratamento ou queima in-situ.

3.1 Tipos de barreiras e sua composição

Barreiras de contenção (*Containment Booms*) são os equipamentos mais conhecidos e básicos utilizados em planos de contingência na água. Elas são geralmente os primeiros equipamentos mobilizados num derramamento de óleo e costumam permanecer até o final da operação.

A barreira (*boom*) é um obstáculo mecânico flutuante projetado para interromper ou desviar o movimento do óleo na água. Ela se parece com uma cortina vertical com partes que se estendem acima e abaixo da linha d'água. A maioria das barreiras comerciais é constituída de quatro componentes básicos: um meio de flutuação, um membro (ou seção) de borda livre (*freeboard member*), para prevenir que o óleo flua ao longo do topo da barreira, uma saia (*skirt*) na base da barreira, para prevenir que o óleo escape por baixo da barreira, e uma ou mais de uma estrutura de sustentação (*tension member*), para sustentar a barreira. As barreiras são construídas em seções, que medem geralmente de 15 a 30 metros, com conectores instalados em suas extremidades para que cada seção da barreira consiga ser conectada a outra, rebocada ou ancorada. (Fingas, 2000)

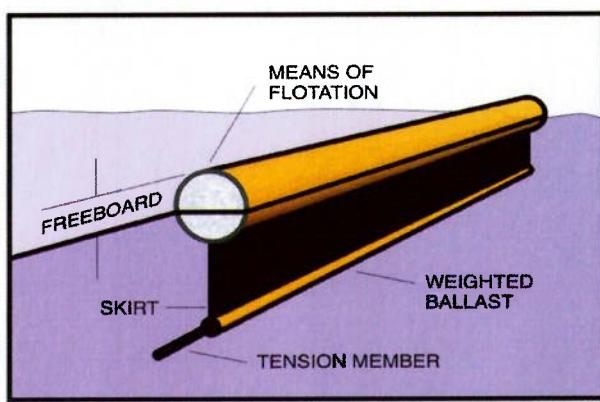


Figura 6 – Barreira (Fingas, 2000)

Os membros de flutuação, ou flutuadores, determinam o dinamismo da barreira e mantêm-na flutuando na superfície da água. Eles se localizam ao longo da linha central, externamente, em um lado, ou na base. As barreiras podem ser acopladas com flutuadores sólidos ou a barreira por si mesma pode ser inflável. Os flutuadores sólidos são geralmente feitos de espuma plástica como o poliuretano expandido ou de polietileno, e são segmentados ou flexíveis para que a barreira possa acompanhar a superfície das ondas. Barreiras infláveis podem ser do tipo auto-infláveis ou infladas pela utilização de uma fonte de ar. Apesar de requererem um espaço de armazenamento menor, geralmente são menos resistentes do que as barreiras com flutuadores fixos.

O membro de borda livre (*freeboard member*) é a parte da barreira que está acima da superfície da água. O termo *freeboard* também é utilizado para se referir à altura que vai desde a linha da água até o topo da barreira.

A saia (*skirt*) é normalmente feita com o mesmo tipo de tecido do *freeboard member* e do tecido que cobre os flutuadores. Materiais típicos nesse caso são o cloreto de polivinila (PVC), poliéster, náilon, ou aramida.

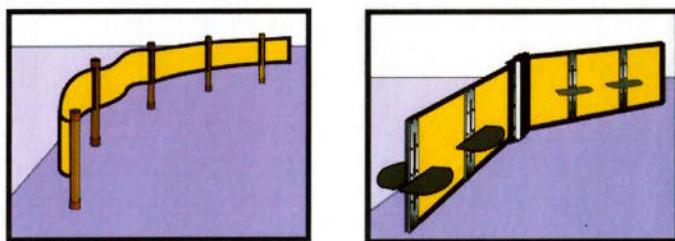
A maioria das barreiras é equipada com uma ou mais de uma estrutura de sustentação que percorrem o fundo da barreira, reforçando-a contra as cargas no plano horizontal impostas pelas ondas e correntes do mar. As estruturas de sustentação normalmente são feitas de cabos de aço ou de correntes, mas também são utilizados cabos de náilon ou poliéster. A tela da barreira não é forte o suficiente para resistir às cargas as quais a barreira é imposta, exceto em águas protegidas. Em outras palavras, na prática, a resistência das barreiras depende muito da condição do mar no qual a barreira está alocada.

As barreiras, por vezes, são construídas com lastro ou pesos projetados para manterem a barreira na sua posição vertical. Pesos de chumbo e câmaras enchidas com água têm sido utilizados para este fim, mas estruturas de sustentação como correntes de aço muitas vezes podem exercer o papel do lastro, ou do membro de sustentação, ao mesmo tempo. As barreiras que são construídas sem o lastro, mantêm a sua posição através do equilíbrio entre as forças do topo e da base da barreira.

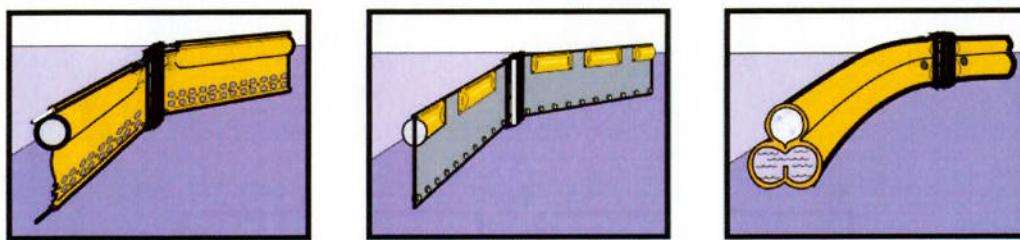
Uma outra característica muito comum em barreiras é a adição de “reforços” ou tiras rígidas, consistindo de barras de plástico ou aço, os quais são projetados para sustentar a barreira e mantê-la na posição vertical.

Os três tipos básicos de barreira são as cercas e cortinas, que são as mais comuns, e as barreiras com membros externos de tensão, que são relativamente mais raras. As barreiras são também classificadas de acordo com o ambiente em que são utilizadas, ou seja, barreiras para ambiente offshore, inshore, portos e rios, baseando-se no tamanho e rigidez na fabricação.

As cercas são construídas com o *freeboard member* acima dos flutuadores. Apesar de ser relativamente barato, esse tipo de barreira não é recomendado para ser utilizado em condições de vento ou correntes de águas fortes.



As cortinas são construídas com o *skirt* em baixo dos flutuadores e sem *freeboard member* acima dos flutuadores. Essas barreiras são mais adequadas quando as condições do mar são severas.



As barreiras com membros externos de tensão, que são construídos com os membros

de tensão fora da estrutura principal, são utilizadas nos mares com fortes correntes ou quando há presença de gelo e detritos.

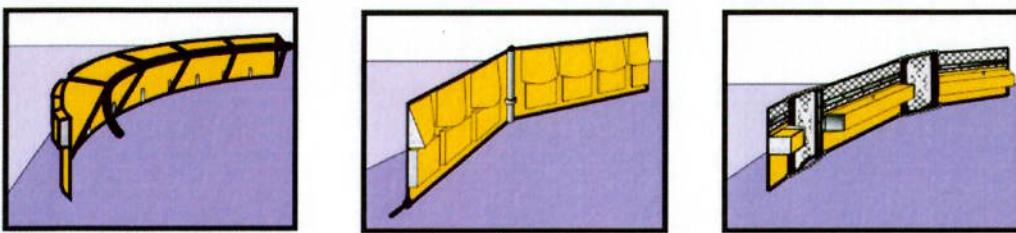


Figura 7 – Diversos tipos de barreira (Fingas, 2010)

As características que são importantes para determinação da capacidade de operação da barreira são a relação empuxo-peso ou flutuabilidade reserva, a resposta de elevação, e a resposta ao tombamento.

A relação empuxo-peso ou flutuabilidade reserva é determinada pelo valor do empuxo e o peso aplicado na barreira. O flutuador deve fornecer flutuabilidade suficiente à barreira para equilibrar o peso e a força exercida pelas correntes e ondas do mar, mantendo assim a estabilidade da barreira. Quanto maior a flutuabilidade reserva da barreira, maior será a sua capacidade de subir e descer pela movimentação das ondas, permanecendo equilibrada com mais facilidade na superfície da água.

A resposta de elevação é a capacidade da barreira em adaptar-se aos efeitos de ondas afiadas. Ela é caracterizada pela flutuabilidade reserva e flexibilidade da barreira. Uma barreira com uma boa resposta de elevação irá acompanhar o movimento das ondas na superfície da água e não será submersa e empurrada desordenadamente para fora d'água pela ação das ondas.

A resposta ao tombamento refere-se à capacidade da barreira em se manter na posição vertical na água e não se tomar ou se enrolar.

As barreiras podem ser classificadas também de acordo com o ambiente em que serão implantadas. Elas podem ser barreiras do tipo mar aberto, águas protegidas, águas calmas e altas correntes.

As barreiras do tipo mar aberto podem ser difícil de serem implantadas e mantidas na água devido à alta probabilidade de falha e à dificuldade de ancorá-las neste ambiente. O sistema de barreiras ancorado pode suportar mares com altura de 2 metros e sujeitos a ventos de 15,5 m/s. Caso exceda esses limites, as barreiras não são ancoradas, e neste caso navios são utilizados para implantar e manobrar as barreiras. Em águas protegidas, barreiras ancoradas suportam mares com até 1 metro de altura e ventos a 13 m/s, e em águas calmas, 30 cm e 7,7 m/s. (STAR, 2006)

Sistemas de barreiras ancoradas também não são recomendados em ambiente de correntes de águas rápidas, onde as correntes excedem os 0,8 knots (0,41 m/s). Neste caso, a melhor estratégia de implantação das barreiras é a de desvio de óleo, fazendo com que o vazamento seja transferido para um local mais seguro para recuperação. (STAR, 2006)

3.1.1 Ancoragem

O sistema de ancoragem, quando utilizado, costuma ser implantado primeiro e a partir deste ponto a barreira é ligada até a ancoragem adjacente. A primeira figura abaixo indica os principais componentes desse sistema. A segunda figura demonstra um exemplo de como as barreiras podem ser implantadas ancoradas à costa delimitando um navio ou um vazamento que esteja fluindo da terra para o mar.

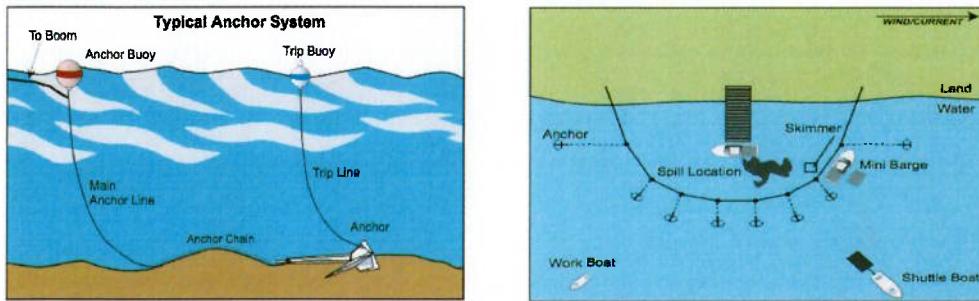


Figura 8 – Ancoragem (Spill Tactics for Alaska Responders (STAR), 2006)

3.1.2 Sistema de Barreiras

As barreiras são utilizadas para cercar o petróleo derramado ou preveni-lo de se espalhar, para proteger regiões portuárias, baías e áreas biologicamente sensíveis, para desviar o óleo para locais onde possa ser recuperado ou tratado, para concentrar o vazamento e manter uma espessura razoável do óleo para que posteriormente skimmers e outros tipos de técnicas de limpeza possam ser utilizados.

A estratégia mais comum é implementada da seguinte maneira:

1. Seleção da configuração que se enquadra melhor nas condições de operação e dos recursos disponíveis.
2. Mobilização das equipes de implementação das barreiras para a parte jusante e contra o vento do mar.
3. Ir de encontro ao óleo e concentrá-lo dentro dos limites da barreira.
4. Recuperar o óleo com o skimmer.
5. Armazenar o fluido recuperado até que possa ser transferido.

Quando utilizadas para contenção, as barreiras são posicionadas em formas de U, V ou J. A formação em U é a mais comum e é rebocada por dois barcos, ou ancorada nessa formação, ou pela combinação das duas técnicas. A forma em U é criada pela corrente que empurra o centro da barreira. O requisito fundamental para essa formação é que a corrente no ápice do U não exceda 0,5m/s ou 1knot, que é referida como a velocidade crítica da formação. (Fingas, 2000; STAR, 2006)

Se utilizadas em áreas onde a corrente excede a velocidade crítica, como em rios ou estuários, as barreiras são utilizadas em modo de deflexão. Nessa formação a barreira é posicionada em vários ângulos diferentes em relação à direção da corrente fazendo com que deste modo, a velocidade crítica não seja atingida. O óleo pode ser então desviado para áreas onde poderá ser coletado ou para áreas estratégicas que facilite a sua contenção.

Se as fortes correntes impedem um melhor posicionamento da barreira em relação à corrente, várias barreiras podem ser utilizadas numa formação em cascata para mover progressivamente o óleo para um lado do curso d'água. Essa técnica é eficiente em rios largos ou onde a forte corrente pode causar a falha da barreira. Quando as barreiras são utilizadas para o desvio, a força da corrente costuma ser tão forte que barreiras mais resistentes são necessárias e elas devem ser ancoradas ao longo de toda sua extensão.

A configuração em J é uma variação da configuração em U e é normalmente utilizada para conter o óleo como também para desviá-lo para a área de contenção. As configurações em U e em J são facilmente substituídas uma pela outra. A configuração em V consiste de duas barreiras, com um skimmer no vértice delas.

O cercamento é um outro modo de se conter o óleo utilizando-se as barreiras. Navios

atracados em águas rasas são muitas vezes cercados ou envolvidos por barreiras para evitar qualquer vazamento do óleo para fora do entorno do navio. Ele é frequentemente utilizado como uma medida preventiva ao carregar e/ou descarregar os tanques de instalações no mar.

Uma outra utilização das barreiras é chamada de configuração em “varredura” que tanto serve para desviar o óleo, como também para contê-lo para que skimmers possam recuperá-lo. Essa configuração é formada por um braço fixo num navio de modo que a barreira estará conectada a esse braço e ao navio e formará a estrutura em J. O skimmer normalmente é colocado dentro da formação em J ou fixado nos navios e o óleo é desviado para este ponto. Navios especiais são necessários para que possam manobrar enquanto se movem lentamente para que a barreira não apresente falhas.

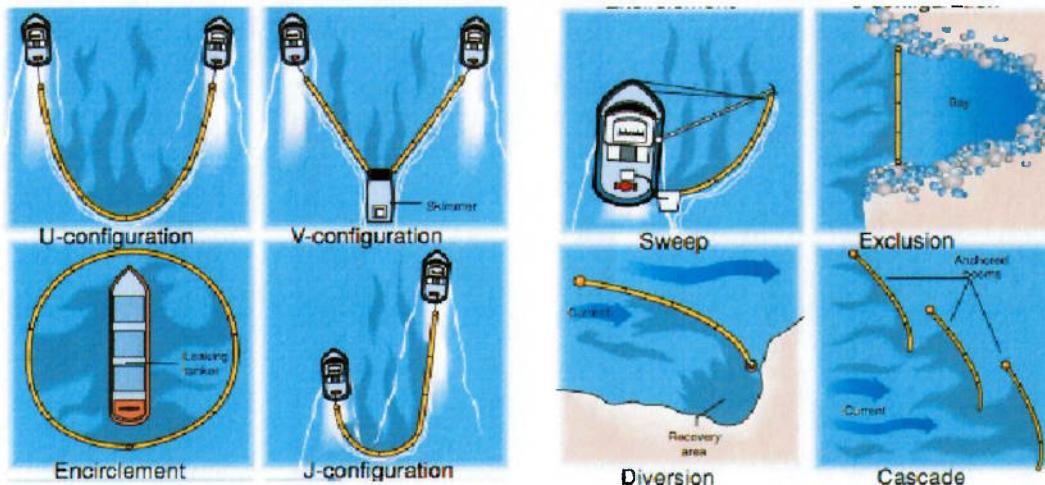


Figura 9 Configuração de barreiras (Fingas, 2000)

3.1.3 Falha das Barreiras

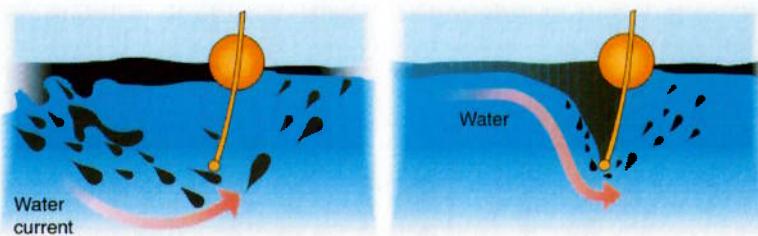
O desempenho de uma barreira e a sua capacidade em conter o óleo são afetados pela corrente da água, ondas, e ventos. Podendo agir isoladamente ou em combinação, essas forças muitas vezes levam à falha da barreira e à perda de óleo.

Falha devido ao arrastamento – Esse tipo de falha é causado pela velocidade da corrente de água e é mais provável que aconteça com óleos mais leves. Quando o óleo está sendo contido pela barreira com a água em movimento, se a corrente for suficientemente rápida, a barreira agirá como uma barragem e a superfície da água contida será desviada para baixo e acelerada na tentativa de igualar com a velocidade diretamente abaixo da barreira. A turbulência resultante induz gotículas a se desprenderem do óleo acumulado em frente à barreira (também chamado de *oil headwave*), e passarem por baixo da mesma ressurgindo do outro lado da barreira.

À velocidade da água com que o *oil headwave* se torna instável e as gotículas começam a se desprenderem, chamamos de velocidade crítica. Ela é a velocidade da corrente que flui perpendicularmente à barreira, acima da qual haverá perda de óleo. Para a maioria das barreiras essa velocidade é de aproximadamente 0,5m/s. Esse tipo de falha pode ser contornado colocando a barreira em ângulos diferentes em relação à corrente da água ou posicionando no modo de desvio. Como a maioria das correntes de rios e estuários excede essa velocidade crítica, estas são uma das poucas maneiras de se contornar o problema.

Falha devido à drenagem – similar ao arrastamento, esse tipo de falha está relacionado à velocidade da corrente de água, exceto pelo fato de que ela afeta o óleo diretamente em contato na barreira. Após a velocidade crítica ser atingida, uma grande quantidade de óleo

contido próximo à barreira pode ser varrido por de baixo da barreira pela corrente. Ambas, falhas de arrastamento e drenagem, são mais suscetíveis de acontecerem com óleos leves. Dependendo da corrente e o design da barreira as duas falhas podem ocorrer em conjunto.



Splashover – Este tipo de falha ocorre em alto mar ou em condições de mares agitados quando a altura das ondas é maior do que a altura da parte *freeboard* da barreira, e o óleo respinga sobre os flutuadores ou o membro *freeboard* da barreira. Isto também pode ocorrer como resultado da acumulação extensiva de óleo na barreira comparada à altura do *freeboard*.

Acumulação Crítica – Esse tipo de falha normalmente ocorre quando óleos mais pesados, os quais são mais difíceis de serem arrastados pela água, são contidos. Óleos mais pesados tendem a se acumular perto das extremidades da barreira e escapam por baixo dela quando um certo ponto de acumulação crítica é atingido. Essa acumulação é muitas vezes alcançada em velocidades de correntes que se aproximam às velocidades críticas já citadas anteriormente, mas pode também ser alcançada em velocidades menores.



Falha devido à submersão – Esse tipo de falha ocorre quando a água passa por cima da barreira. Na maioria das vezes a barreira não tem dinamismo suficiente para acompanhar a movimentação das ondas e pode acontecer de algumas barreiras afundarem abaixo da superfície da água e o óleo pode passar sobre ela. Falhas devido à submersão são normalmente resultados da má resposta de elevação da barreira e elas não são muito comuns, comparada às outras falhas, como as de arrastamento.

Planing – O Planing ocorre quando a barreira é deslocada da sua posição vertical para uma posição praticamente horizontal. O óleo neste caso passa por cima ou por baixo da barreira tombada. Esse tipo de falha ocorre quando a estrutura de sustentação é mal projetada e não consegue segurar a barreira na posição vertical, ou quando a barreira é empurrada por correntes que excedem excessivamente a velocidade crítica.

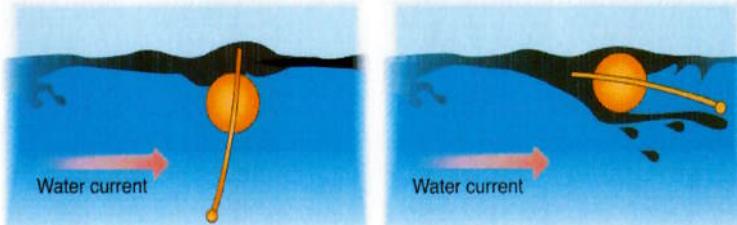


Figura 10 – Diversos tipos de falha: Arrastamento; Drenagem; Splashover; Acumulação Crítica; Submersão; Planing (Fingas, 2000)

Falha estrutural – Ela ocorre quando qualquer um dos componentes das barreiras falha e a barreira deixa o óleo escapar. Às vezes a falha estrutural é tão séria que a barreira é carregada pela corrente. Isto geralmente não ocorre em correntes nas condições normais. Detritos, como troncos e gelo, podem contribuir para esse tipo de falha.

Bloqueio em águas rasas – Esse tipo de falha ocorre quando uma corrente rápida é formada embaixo da barreira nos casos em que elas são posicionadas em águas rasas. Com a barreira agindo como uma barragem, o fluxo de água embaixo dela cresce e o óleo escapa pelos vários tipos de falha já descritos anteriormente. Águas rasas são provavelmente as únicas situações em que barreiras menores devem funcionar melhor do que as maiores.

3.2 Equipamentos Auxiliares

3.2.1 Barreiras Absorvedoras

Barreiras absorvedoras são equipamentos especiais de contenção e recuperação feitas de materiais porosos absorventes tais como tecidos ou polipropilenos, os quais absorvem o óleo enquanto este está contido. Este tipo de barreira é utilizado quando a mancha de óleo é relativamente fina, ou seja, para limpeza final de um vazamento de petróleo, para remoção de pequenos vestígios de óleo ou como apoio para outras barreiras. Elas são muitas vezes colocadas contornando a linha da costa que não sofreu a invasão de óleo ou que foi limpa recentemente, para remover traços de óleo que poderiam recontaminar a costa. O material pelo qual é constituída a barreira não absorve óleo suficiente para que esse tipo de barreira seja utilizado como uma medida inicial ou principal de uma operação de contenção de óleo.



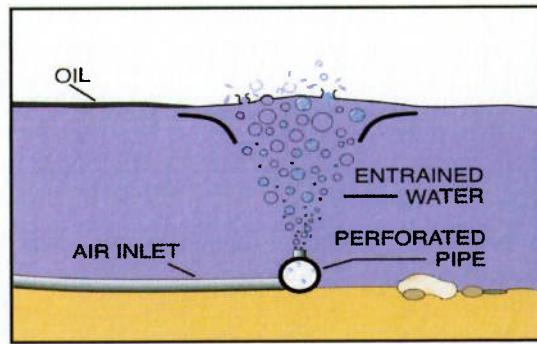
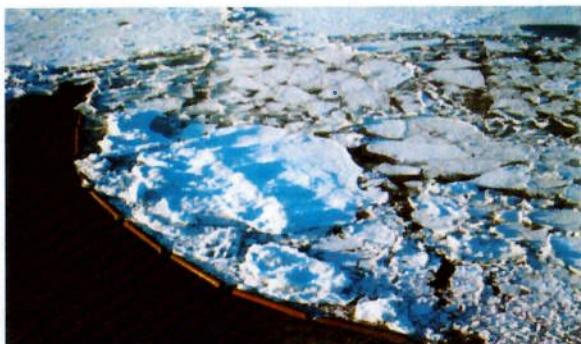
Figuras 11 e 12 – Barreiras Absorvedoras (TEDxOilSpill, 2010)

As barreiras absorvedoras precisam de suportes adicionais consideráveis para evitar a sua ruptura por forças devidas às correntes de água. Elas também necessitam de flutuadores para que não afundem quando forem carregadas de óleo e água. Um cuidado a mais deve ser tomado quando essas barreiras são retiradas da água para garantir que o óleo absorvido não seja liberado e contamine outras áreas.

3.2.2 Barreiras Especiais

Barreira de gelo – Utilizada para conter ou desviar o óleo em águas que contêm gelo. Essas barreiras costumam ter fendas que permitem a passagem do óleo e da água mas retém o gelo.

Barreira de bolha – Consistem em um sistema subaquático que transporta o ar e que cria uma cortina de bolhas para desviar o óleo. Essas barreiras são utilizadas em locais onde se encontram instalações fixas como os portos e plataformas de cargas onde geralmente a água é calma.



Figuras 13 e 14 – Barreira de gelo (Bureau of Ocean Energy Management Regulation and Enforcement, 2001) ; Barreira de bolha (Fingas, 2000)

Barreira química – Utilizam produtos químicos que solidificam o óleo e previne a sua propagação. Costuma-se utilizar grandes quantidades de produtos químicos e o potencial de contenção é baixo.

Barreira de redes – Feitas de finas redes, são utilizadas para se coletar óleos viscosos e detritos oleosos, e que não necessitam de grandes forças hidrodinâmicas como as barreiras sólidas.

Barreiras resistentes ao fogo – Utilizadas quando o óleo é queimado no local. Essas barreiras são constituídas de materiais especializados que suportam às altas temperaturas do fogo.

4. RECUPERAÇÃO DE ÓLEO NO MAR

A recuperação é a próxima etapa a ser seguida após a contenção de vazamento de óleo numa operação de limpeza de derramamento de petróleo. Ela é muitas vezes a etapa mais importante na remoção de óleo do meio ambiente.

Neste capítulo serão apresentados dois principais mecanismos de recuperação física do óleo, que são os skimmers e os absorventes. Cada método tem suas limitações, que dependem da quantidade de óleo derramado, das condições do mar e do tempo, e a localização geográfica do vazamento.

4.1 Skimmers

Skimmers são dispositivos mecânicos projetados para remover o óleo da superfície da água. Eles variam em tamanho, aplicação, e capacidade, como também na eficiência de recuperação. São classificados de acordo com a área onde serão aplicadas, como por exemplo, em águas rasas, no mar, em rios ou regiões costeiras, e também pela viscosidade do óleo, que pode ser leve ou pesado.

A eficácia do skimmer é avaliada de acordo com a quantidade de óleo recuperada como também pela quantidade de água coletada junto ao óleo. A maioria dos skimmers funciona melhor quando a mancha de óleo é relativamente grossa. Portanto, a contenção do óleo pelas barreiras é um passo importante para que os skimmers funcionem de uma maneira mais efetiva, e ele deverá ser posicionado em frente à barreira ou no local onde a concentração do óleo seja maior.

A condição do tempo é um outro fator que influencia na eficiência. Todos os tipos de skimmer funcionam melhor em águas calmas. Há skimmers que não funcionam com eficiência em ondas maiores que 1m ou em correntes com velocidade maior que 1knot (0,51

m/s). A maioria dos skimmers também não funciona com eficiência em águas contendo gelo ou detritos, para tanto existem skimmers projetados com telas envoltas para evitar a entrada desses detritos ou, projetados com dispositivos para removê-los ou desviá-los, ou projetados com cortadores para lidar com as algas. (EPA, 1999)

4.1.1 Skimmers de Superfícies Oleofílicas

Os skimmers de superfícies oleofílicas, às vezes chamados de skimmer com superfície absorvedora, utilizam ferramentas cujas superfícies aderem o óleo para que possam ser removidos da água. Essas ferramentas podem ter a forma de um disco, tambor, correia, escova ou corda. O rolo de pressão ou os limpadores removem o óleo e depositam-no dentro de um recipiente a bordo do navio ou é diretamente bombeado para instalações de armazenamento de um barco ou em terra. As ferramentas oleofílicas em si são feitas de aço, alumínio, tecido ou plásticos como polipropileno e cloreto de polivinila.

Esses skimmers coletam muito pouca água comparada à quantidade de óleo recuperada, logo, eles funcionam melhor em manchas de óleo relativamente finas. São disponíveis em uma variedade de tamanhos e trabalham melhor com óleos mais leves, embora o modelo próprio para cada tipo de óleo dependa do design do skimmer e do tipo de superfície utilizada.

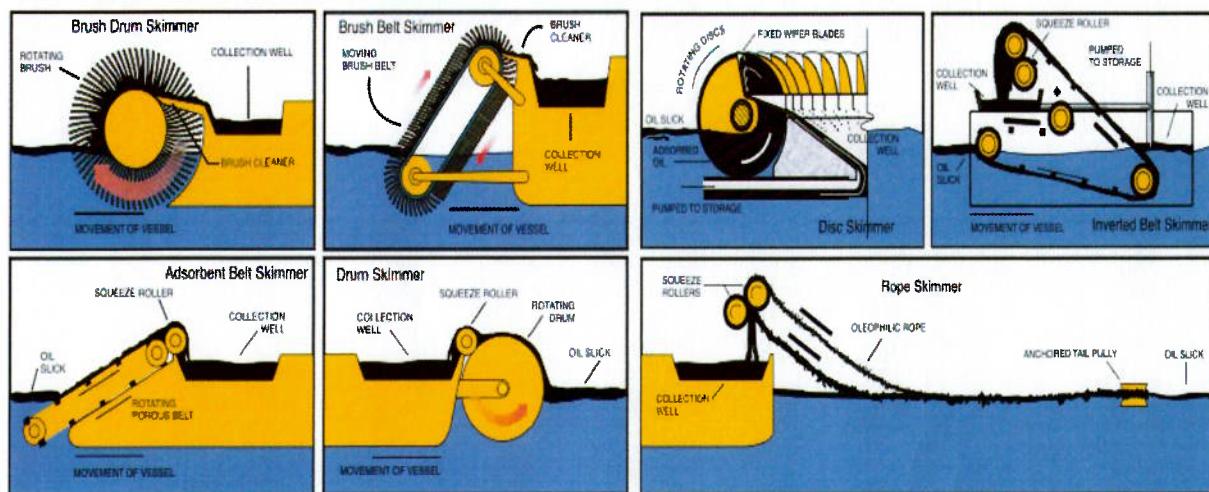


Figura 15- Skimmers de: tambor e correia escovados; disco; correia invertida; correia absorvedora; tambor; corda (Fingas, 2000)

Skimmer de disco – O disco é um tipo comum de superfície oleofílica. Eles são geralmente feitos de cloreto de polivinila ou aço. Os skimmers de disco trabalham melhor com óleos leves e são mais adequados para funcionarem nos mares com ondas ou detritos. Costumam ser de pequeno porte. Recuperação demorada e a baixa eficiência com óleos pesados são suas desvantagens.

Skimmer de tambor – Este tipo de skimmer utiliza tambores cilíndricos como superfície oleofílica. Os tambores são feitos de polímeros ou aço. Trabalham relativamente bem com óleos leves e óleos combustíveis, mas são pouco eficientes com óleos pesados. Tem tamanho relativamente pequeno como os skimmers de disco.

Skimmer de correia – Neste tipo de skimmer o óleo é elevado da superfície da água para ser depositado em reservatórios de recuperação. Como o movimento da correia na água repele o óleo do skimmer, o óleo deve ser empurrado para a correia manualmente ou com um spray de água. Hoje, têm sido desenvolvidos skimmers de correia para superarem este problema, que bombeiam a água contaminada através de uma correia porosa. O óleo é

posteriormente removido da correia por raspadores e rolos. Este tipo de skimmer funciona melhor com óleos pesados e alguns são especialmente construídos para recuperar óleos muito pesados ou detritos de petróleo. Os skimmers de correia são relativamente grandes e geralmente construídos em navios especializados para limpeza.

Skimmer de escova – Utilizam escovas de plástico fixados em tambores ou em correias para recuperar o óleo da água. O óleo é removido das escovas por raspadores em forma de cunha. Esses skimmers são particularmente úteis para recuperação de óleos mais pesados, mas são pouco eficientes para óleos leves e óleos combustíveis. Alguns skimmers incluem um tambor para poderem recuperar óleos combustíveis. Os skimmers de escova podem ser utilizados também na presença de gelo ou detritos. Eles são disponíveis em uma variedade de tamanhos, desde pequenas unidades portáteis a grandes unidades instaladas em barcos ou navios especializados.

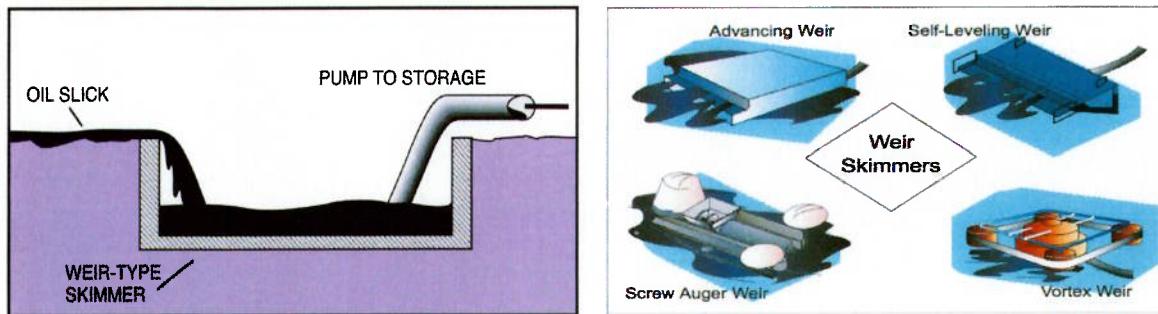
Skimmer de corda – Removem o óleo utilizando-se cordas oleofílicas feitas de polímeros, normalmente o polipropileno. Costumam ter uma ou duas longas cordas que são mantidas flutuando na mancha de óleo, ancoradas em uma roldana. Há também skimmers que utilizam uma série de curtas cordas que são penduradas na superfície da água. Esses skimmers funcionam melhor com óleos de média viscosidade e são particularmente úteis para recuperação de óleo em águas contendo gelo ou detritos. Os skimmers de corda também apresentam uma variedade de tamanhos desde pequenas unidades a grandes unidades.

4.1.2 Skimmers de Barragem

Skimmer de Barragem é o principal grupo de skimmer que utiliza a gravidade para drenar o óleo da superfície da água para um tanque submerso. Na sua forma mais simples, esses dispositivos consistem em uma barragem, um tanque de contenção, e uma conexão com uma bomba externa ou interna para remover o óleo. Existem muitos modelos e tamanhos diferentes deste tipo de skimmer.

O maior problema do skimmer de barragem é a sua tendência em balançar-se em águas agitadas, sugando alternadamente o ar acima da mancha de óleo e a água abaixo da mancha. Esta instabilidade aumenta a quantidade de água e reduz a quantidade de óleo recuperada. Alguns modelos incluem ferramentas de auto-nívelamento e ajuste de profundidade fazendo com que o topo da barragem esteja precisamente na interface óleo-água, minimizando a quantidade de água coletada.

Os skimmers de barragem não funcionam bem em águas contendo gelo ou detritos, ou em águas agitadas, e são ineficientes para óleos muito pesados. Eles são econômicos e podem ter grandes capacidades. Alguns skimmers têm sido produzidos incorporados às barreiras, e seu resultado provou-se serem moderadamente sucedidos em fornecer alta taxa de recuperação de óleos leves.



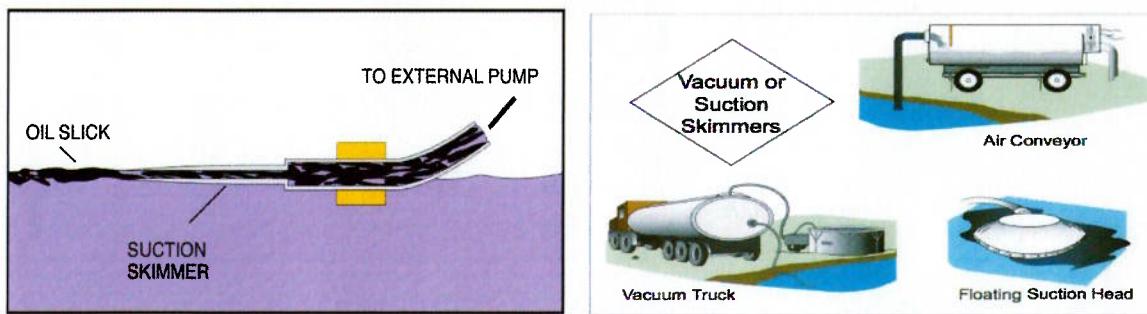
Figuras 16 e 17 – Skimmers de barragem (Fingas, 2000; STAR, 2006)

4.1.3 Skimmers de sucção ou a vácuo

Os skimmers de sucção ou a vácuo utilizam o vácuo ou a diferença de pressão para remover o óleo da água. Muitas vezes este tipo de skimmer é apenas uma pequena unidade (“cabeça”) flutuante conectada a uma fonte externa de vácuo, como um caminhão. A cabeça do skimmer é simplesmente uma ampliação da mangueira de sucção ligada a uma bóia.

Eles são similares aos skimmers de barragem por serem assentados na superfície da água, e são ajustados para flutuarem no nível da interface óleo-água. Também apresentam os mesmos tipos de problemas em águas agitadas e são propensos ao entupimento por detritos que podem parar o fluxo do óleo e danificar a bomba. A sua utilização é restrita aos óleos leves e médios.

Apesar de suas desvantagens, os skimmers de sucção são os mais econômicos. Seu tamanho compacto e raso faz com que eles sejam particularmente úteis em águas rasas e em locais confinados. Operam melhor em águas calmas com manchas grossas e sem detritos. Bombas de vácuo muito grandes, chamadas de transportadores de ar, e dragas de sucção têm sido utilizadas para recuperarem o óleo sem a parte da cabeça.



Figuras 18 e 19 – Skimmers de sucção (Fingas, 2000; STAR, 2006)

4.1.4 Skimmers de Elevação

Skimmers ou dispositivos de elevação utilizam esteiras para levantar o óleo da superfície da água para uma área de recuperação. Uma correia ou roda com pás, ou uma esteira rolante com cristas é ajustada no topo da camada de água e o óleo é deslocado para cima do dispositivo de recuperação para uma placa ou uma outra correia. A operação é similar à remoção de um líquido por um rodo. O óleo é removido da esteira por gravidade.

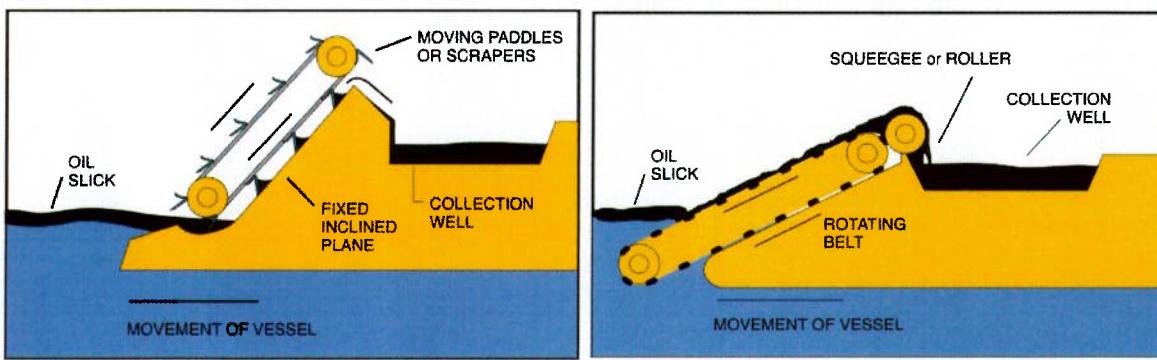


Figura 20 – Skimmers de Elevação (Fingas, 2000)

A desvantagem desses skimmers consiste na dificuldade em manter a esteira na linha da água. Por esse motivo eles são pouco eficientes em águas agitadas ou em águas contendo grandes pedaços de detritos, e não conseguem lidar com óleos leves ou muito pesados. Os skimmers de elevação podem funcionar melhor entre os médios e pesados óleos em águas

calmas. Costumam ser grande e podem ser construídos acoplados em navios especializados.

4.1.5 Skimmer Submersos

Os skimmers submersos utilizam correias ou superfícies planas inclinadas para forçar o óleo para baixo da superfície. O óleo é empurrado para uma fonte coletora onde será removido da correia por raspadores ou pela gravidade. O óleo então flui para dentro da fonte coletora, e é removido por uma bomba. Skimmers submersos se movimentam mais rápido do que outros skimmers, e podem portanto, cobrir uma área maior, sendo assim, utilizados em vazamentos maiores. Eles são mais eficientes com óleo leve e de baixa viscosidade e quando a mancha de óleo é relativamente fina.

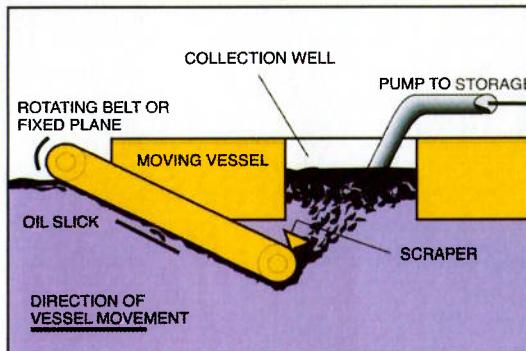


Figura 21 – Skimmer Submerso (Fingas, 2000)

Desvantagens incluem a ineficiência frente a detritos e a impossibilidade de utilização em águas rasas. Costumam ser maiores do que outros skimmers e são montados em navios em movimento.

4.2 Eficiência dos Skimmers

Tabela 1 – Eficiência dos diferentes tipos de Skimmers (Fingas, 2000)

Skimmer Type	Recovery Rate (m³/hr) for given oil type*				Percent Oil**
	Diesel	Light Crude	Heavy Crude	Bunker C	
Oleophilic Skimmers					
small disc	0.4 to 1	0.2 to 2			80 to 95
large disc		10 to 20	10 to 50		80 to 95
brush	0.2 to 0.8	0.5 to 20	0.5 to 2	0.5 to 2	80 to 95
large drum		10 to 30			80 to 95
small drum	0.5 to 5	0.5 to 5			80 to 95
large belt	1 to 5	1 to 20	3 to 20	3 to 10	75 to 95
inverted belt		10 to 30			85 to 95
rope	2 to 20		2 to 10		
Weir Skimmers					
small weir	0.2 to 10	0.5 to 5	2 to 20		20 to 80
large weir		30 to 100	5 to 10	3 to 5	50 to 90
advancing weir	1 to 10	5 to 30	5 to 25		30 to 70
Elevating Skimmers					
paddle conveyor		1 to 10	1 to 20	1 to 5	10 to 40
Submersion Skimmers					
large	0.5 to 1	1 to 80	1 to 20		70 to 95
Suction Skimmers					
small	0.3 to 1	0.3 to 2			3 to 10
large trawl unit		2 to 40			20 to 90
large vacuum unit		3 to 20	3 to 10		10 to 80
Vortex/Centrifugal Skimmers					
centrifugal unit	0.2 to 0.8	0.2 to 10			2 to 20

* Recovery rate depends very much on the thickness of the oil, type of oil, sea state, and many other factors.

**This is the percentage of oil in the recovered product. The higher the value, the less the amount of water and thus the better the skimmers' performance.

4.3 Outros Dispositivos

4.3.1 Navios Especializados

Navios Especializados têm sido construídos para lidarem especificamente com vazamentos de petróleo. Apesar de serem projetos caros, esses navios compensam pela sua rapidez e mobilidade.

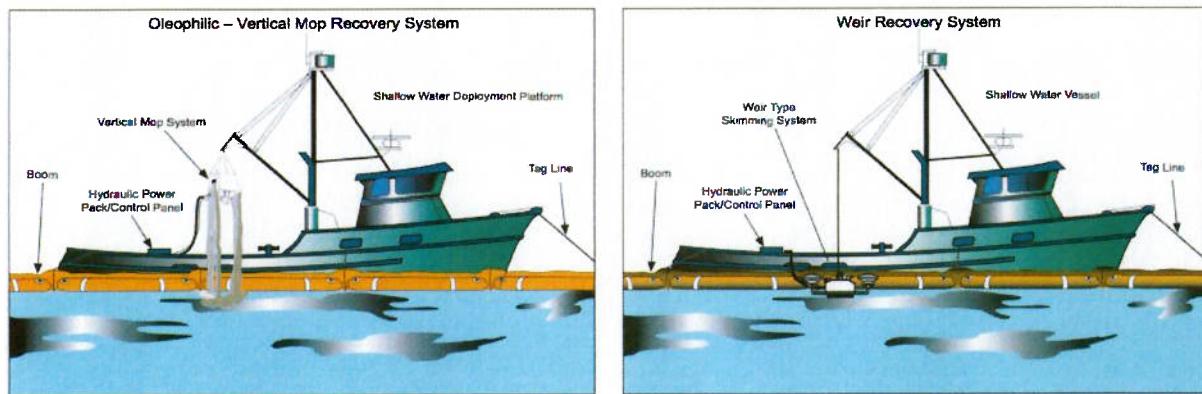


Figura 22 – Navios Especializados de recuperação de óleo (STAR, 2006)

Além da preocupação de contenção e recuperação do óleo, esses navios são projetados levando-se em conta a sua resistência às severas condições do mar e do tempo. Costumam ser equipados por barreiras de contenção, skimmers e tanques de armazenamento.

4.4 Absorventes

Os absorventes são utilizados para limpeza final de um derramamento ou vazamentos pequenos de petróleo. Podem ser fabricados de materiais sintéticos, como os plásticos, materiais orgânicos, como as turfeiras, ou materiais inorgânicos, como a argila. Eles podem ter vários formatos diferentes, como materiais soltos, em pó, em blocos e cubos, contidos em sacos, redes ou meias, e também há absorventes com formato de almofadas, rolos e cobertores ou barreiras. Existem absorventes plásticos formados por tiras ou pompons que são particularmente úteis na recuperação de óleos pesados.

Os absorventes recuperam o óleo através da absorção ou adsorção. Eles desempenham um papel importante na limpeza de vazamentos de óleo e são utilizados principalmente para limpeza de traços finais de óleo em água ou em terra. Também servem como reforços para outros tipos de materiais de contenção como as barreiras, ou como principal meio de recuperação de pequenos vazamentos e como meios passivos de limpeza.

A capacidade dos absorventes depende do tamanho da sua área em que o óleo pode ser absorvido e também do tipo de superfície. Os absorventes porosos com pequenos capilares têm uma grande capacidade de absorção e é o melhor tipo de absorvente para recuperar óleos leves ou óleos combustíveis. Absorventes com a superfície áspera são utilizados para limpeza de óleos pesados ou do tipo Bunker. Pompons são destinados a recuperar óleos pesados do tipo Bunker ou óleo residual. Absorventes para uso geral, cujas estruturas contêm partes finas e grossas, também são utilizados, mas esse tipo de absorvente não é tão eficiente quanto aqueles projetados para específicos óleos.

Alguns absorventes são tratados com agentes oleofílicos e hidrofóbicos para melhorar o desempenho do material em absorver preferencialmente o óleo. Este tipo de tratamento também aumenta a capacidade dos absorventes em se manterem por mais tempo flutuando.

O desempenho dos absorventes são medidos em termos do total de óleo recuperado mais a água coletada, semelhante à medição do desempenho dos skimmers. O total de óleo recuperado é o peso de um óleo específico recuperado quando comparado ao peso original e final do absorvente.

Tabela 2 – Desempenho de Absorventes (Fingas, 2000)

Sorbent Type	Typical Oil Recovery with Oil Type (weight:weight)*				
	Diesel	Light Crude	Heavy Crude	Bunker C	Percent Oil**
Synthetic Sorbents					
polyester pads	7	9	12	20	90+
polyethylene pads	25	30	35	40	90+
polyolefin pom-poms	2	2	3	8	90+
polypropylene pads	6	8	10	13	90+
polypropylene pom-poms	3	6	6	15	90+
polyurethane pads	20	30	40	45	90+
Natural Organic Sorbents					
bark or wood fibre	1	3	3	5	70
bird feathers	1	3	3	2	80+
collagen sponge	30	40	30	10	90+
peat moss	2	3	4	5	80+
treated peat moss	5	6	8	10	80+
straw	2	2	3	4	70
vegetable fibre	9	4	4	10	80+
Natural Inorganic Sorbents					
clay (kitty litter)	3	3	3	2	70
treated perlite	8	8	8	9	70
treated vermiculite	3	3	4	8	70
vermiculite	2	2	3	5	70

* Recovery depends very much on the thickness of the oil, type of oil, surface type, and many other factors.

**This is the percentage of oil in the recovered product. The higher the value, the lower the amount of water and thus the better the sorbent's performance.

Há uma série de precauções que devem ser consideradas quando se utiliza o absorvente. Em primeiro lugar, o uso excessivo de absorventes numa área com derramamento, especialmente em formas granulares ou em partículas, podem formar detritos que impossibilitam a utilização de skimmers mecânicos, bombas ou linhas de descarga. Em segundo lugar, absorventes que se afundam não devem ser utilizados, pois podem prejudicar o meio ambiente. Muitos países proíbem a utilização de absorventes que afundam na água, como as turfeiras e todos os tipos de absorvente inorgânico, limitando o seu uso somente em terra. E finalmente, na recuperação e eliminação de absorventes, deve-se tomar o cuidado de não deixar vazar óleo dos absorventes.



Figura 23 – Absorventes: pompons, serragem, almofadas (CNBC.COM, 2010)

4.4.1 Classificação dos Absorventes

Absorventes Orgânicos Naturais – incluem turfa, palha, feno, serragem, penas e outros produtos que tem o carbono como base. São relativamente baratos e facilmente encontrados. Podem absorver o óleo de 3 a 15 vezes o seu peso, mas tem a desvantagem de afundar-se pela

absorção de água junto ao óleo. Normalmente se encontram na forma de partículas soltas e são difíceis de serem recolhidos após a sua aplicação na água. Para se contornar tais problemas, podem-se envolver as partículas soltas em malhas e anexá-las a alguns dispositivos flutuadores, como tambores vazios, evitando que se afundem. (EPA, 1999)

Absorventes Inorgânicos Naturais – incluem argilas, perlitas, vermiculitas, vidros, areias e cinzas vulcânicas. Podem absorver o óleo de 4 a 20 vezes o seu peso, são baratas e fáceis de se encontrar em grandes quantidades.

Absorventes Sintéticos – incluem materiais similares aos plásticos, como o poliuretano, o polietileno e fibras de náilon. Podem absorver o óleo até 70 vezes o seu peso, e alguns dos absorventes podem ser reutilizados diversas vezes após serem lavados. Os que não podem ser lavados devem ser temporariamente armazenados antes de serem eliminados. (EPA, 1999)

5. AGENTES QUÍMICOS PARA TRATAMENTO DE VAZAMENTO DE PETRÓLEO

Tratar o óleo com produtos químicos é uma outra opção para lidar com o vazamento de petróleo. Existe uma variedade de produtos químicos disponíveis para auxiliar na limpeza ou remoção do óleo que devem ser previamente aprovados por autoridades competentes antes de serem aplicados na natureza.

5.1 Dispersantes

Dispersante é um termo comum utilizado para referir-se aos agentes químicos para tratamento de vazamento de óleo que promovem a formação de pequenas partículas de óleo que “dispersam” pela superfície da água. Os dispersantes contêm surfactantes que apresentam moléculas com componentes tanto hidrofílicos como oleofílicos. Dependendo da natureza desses componentes, os surfactantes provocam diferentes comportamentos do óleo na água. Os surfactantes, ou a mistura destes, utilizados em dispersantes, possuem aproximadamente a mesma solubilidade em óleo ou em água, o que estabiliza as partículas de óleo na água para que o óleo se disperse na superfície da água. O dispersante não remove o óleo, mas serve para quebrá-lo em pequenas gotas que se misturam na superfície da água promovendo uma degradação mais rápida.

5.1.1 Aplicação dos dispersantes

A dispersante pode ser aplicada na sua forma pura ou diluída. A pulverização aérea, que é feita por pequenos e grandes aviões ou helicópteros, é o método mais utilizado. Sistemas de pulverização em pequenos aviões utilizados para pulverizarem pesticidas podem ser modificados para pulverizar os dispersantes.

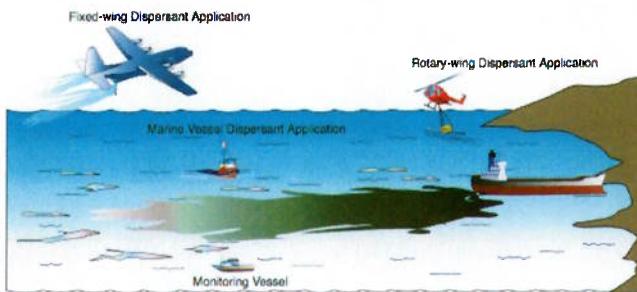


Figura 24 – Modos de aplicação dos dispersantes (STAR, 2006)

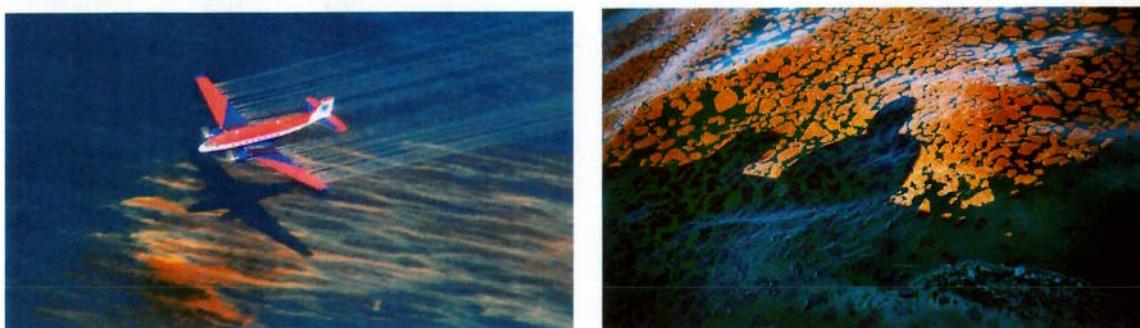
5.1.2 Toxicidade dos dispersantes

A toxicidade dos dispersantes tornou-se uma questão importante no final da década de 1960 e início dos anos 1970 quando produtos tóxicos aplicados no mar, em diversos acidentes, resultaram numa perda significativa de vidas marinhas. Como consequência, os dispersantes disponíveis hoje são muito menos tóxicos do que os dispersantes utilizados antigamente (na maioria das vezes são centesimamente menos tóxicos).

A medição da toxicidade de um dispersante é feita medindo-se o pico de toxicidade quando aplicada numa espécie comum de peixe do mar. Nesta medição é obtida a concentração letal de um produto para 50% da população de ensaio (LC_{50}), em mg/L. A especificação é apresentada junto a um período de tempo, que é geralmente de 96 horas. Quanto menor o valor de LC_{50} , maior é a toxicidade de um produto. (Fingas, 2000)

Os dispersantes disponíveis hoje apresentam toxicidades que variam de 200 a 500 mg/L e contêm um mistura de surfactantes e solventes menos tóxicos. Para se ter uma ideia, o óleo é mais tóxico do que os dispersantes. O LC_{50} do óleo diesel e do óleo leve variam entre 20 a 50 mg/L. Foi observado que os óleos dispersados não têm a sua toxicidade aumentada pelo resultado da adição dos dispersantes. No entanto, a dispersão natural ou química de óleo em águas rasas pode resultar em maiores concentrações de óleo, podendo ser tóxicas para a vida marinha. (Fingas, 2000)

O uso de dispersantes é uma questão controversa e permissões especiais são necessárias na maioria das jurisdições. No Brasil, a Resolução CONAMA nº 269, de 14 de setembro de 2000, estabelece as diretrizes para o emprego de dispersantes químicos em caso de derramamento de óleo. Os dispersantes passíveis de utilização devem ser homologados pelo órgão ambiental competente, no caso o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), segundo procedimentos definidos em suas Instruções Normativas nº 01/2000 e nº 07/2001.



Figuras 25 e 26 – Pulverização aérea de dispersantes (Reuters, 2010); óleo tratado com dispersante (CNBC.COM, 2010)

5.2 Agentes Limpantes de Superfície

Agentes superfície-limpantes ou limpadores de praia são diferentes dos dispersantes, embora ambos os produtos são referidos como dispersantes. Enquanto a toxicidade tem sido um problema dos dispersantes, testes demonstram que os melhores agentes limpantes de superfície têm a toxicidade muito baixa e a utilização desses poderia prevenir danos às espécies marinhas ou costeiras.

Os agentes limpantes, da mesma forma como os dispersantes, contêm surfactantes. No entanto, os surfactantes desses agentes são mais solúveis em água do que no óleo e o seu mecanismo de funcionamento é diferente do dispersante. Esse mecanismo é conhecido como detergência e é semelhante aos mecanismos dos detergentes para lavar roupas.

Os dispersantes e os agentes limpantes de superfície são utilizados para fins bastante

diferentes. Ao invés de causar a dispersão do óleo, os agentes limpantes são aplicados em linhas costeiras ou em estruturas para desprender o óleo de suas superfícies. Durante a maré baixa, o óleo é pulverizado com o agente limpante, que é deixado para molhar a superfície pelo maior período de tempo possível. Ele é então lavado por um jato de água numa área previamente isolada por barreiras e skimmers. Testes de laboratório e de campo demonstram que esses agentes reduzem substancialmente a adesão do óleo fazendo com que 90 a 95% do óleo seja desprendido de rochas ou outras superfícies.



Figura 27 – Agentes limpantes de superfície (USAID, 2001; Alaska DEC, 1989)

Embora esteja sendo proposto que os agentes limpantes de superfície sejam também utilizados em derramamentos em terra, hoje muitos países proíbem o seu uso pois o efeito desses agentes poderia causar a infiltração do óleo em águas subterrâneas.

5.3 Inibidores e Desmanchadores de Emulsão

Esses agentes são utilizados para prevenir a formação de emulsões de água em óleo ou para reverter essas emulsões a óleo e água. As emulsões podem complicar seriamente uma operação de limpeza pelo aumento da quantidade de material a ser recuperado, eliminado, e armazenado, que podem chegar a representar até três vezes a mais do que o normal. A emulsão água em óleo é tão viscosa que os skimmers e as bombas muitas vezes não conseguem lidá-los.

Existem diferentes tipos de inibidores e desmanchadores de emulsão. Alguns são utilizados quando há pouca presença de água, que é referido como de sistemas fechados. E há outros que são mais utilizados em mar aberto, referidos como de sistemas abertos. Por exemplo, alguns contêm surfactantes que são bastante solúveis em água e são, por tanto, melhor aproveitados em sistemas fechados, pois esses agentes não serão facilmente perdidos quando liberados na água.

A efetividade dos inibidores e desmanchadores de emulsão é medida como a dose mínima requerida para quebrar uma emulsão estável ou para preveni-la de se formar. Esses agentes ainda não são muito utilizados em mar aberto ou em operações de limpeza pois eles foram desenvolvidos recentemente e a formação de emulsões estáveis não são muito comuns.

5.4 Agentes Visco-Elásticos ou Melhoradores de Recuperação

Os agentes visco-elásticos são compostos (polímeros) não tóxicos na forma de uma micro-mola, ou de uma molécula enrolada, que aumentam a adesão de uma porção do óleo ao outro, destinados a melhorarem a eficiência de recuperação de skimmers ou aparelhos sugadores pelo aumento da aderência do óleo. Esses agentes podem aumentar a taxa de recuperação de skimmers de superfície oleofílicas para produtos como o diesel em até 10 vezes. No entanto, eles são pouco eficientes contra produtos naturalmente pegajosos como o óleo pesado e o combustível Bunker C.

5.5 Solidificadores

Os solidificadores são utilizados para transformar o óleo líquido em um composto sólido que poderão ser coletados da água por redes ou instrumentos mecânicos. Também podem ser referidos como agentes gelificadores. Esses agentes consistem em produtos químicos que combinam duas ou mais de duas moléculas, ou catalisadores de polimerização fazendo com que as moléculas se unam. Os solidificadores costumam apresentar-se na forma de pó que rapidamente reagem e se fundem ao óleo. Dependendo do agente, cerca de 10 a 40%, em peso, é requerido para solidificar o óleo, sob condições ideais de mistura.

Os solidificadores não são muito utilizados por uma série de razões. A mais importante delas se deve ao fato de que quando o óleo é solidificado no mar, isso torna a recuperação mais difícil, pois os skimmers, as bombas, os tanques e separadores são construídos para lidar com líquidos ou no máximo líquidos viscosos. Uma outra razão é que, a quantidade necessária de solidificadores seria tão grande que seria impossível tratar até mesmo um vazamento moderado.

5.6 Biodegradantes

O agente biodegradante é utilizado principalmente para acelerar a biodegradação do óleo no meio ambiente. Costuma-se utilizar estes agentes em regiões costeiras ou terrestres. Eles não são eficazes quando utilizados em água devido ao seu alto grau de dissolução, e por causa da rápida movimentação do óleo.

Centenas de espécies naturais de bactérias e fungos que degradam certos componentes do óleo já foram descobertas, particularmente os componentes saturados, que contém moléculas com 12 a 20 carbonos. É comum a presença de organismos degradantes de hidrocarbonetos em áreas onde há petróleo, como nas infiltrações em terra ou em água. Estudos demonstram que muitos dos microorganismos nativos desses locais, que já estão adaptados às condições climáticas do local e do solo, são melhores degradadores do que as espécies introduzidas pelo homem.

Diferentes tipos de óleo têm diferentes potenciais de biodegradação, baseados principalmente em seu componente saturado, que corresponde ao componente mais degradável.

Os biodegradantes podem ser de três tipos. O primeiro são aqueles que contêm fertilizantes ou outros materiais que melhoram a atividade dos organismos biodegradantes. O segundo é aquele que contém microorganismos para degradar o óleo. E o terceiro é a combinação dos dois tipos de biodegradantes citados.

Estudos demonstram que o primeiro tipo de biodegradante citado, quando aplicado no solo, pode aumentar a taxa de remoção de componentes saturados e algumas frações de aromáticos do óleo em até 40%, em um período de um mês a um ano.

6. QUEIMA IN-SITU

A queima in-situ é uma técnica de limpeza que envolve a queima controlada do óleo. A vantagem desta técnica se deve ao grande volume de óleo que é removido em um intervalo de tempo reduzido quando comparado às outras técnicas.

6.1 Noções Básicas para queima in-situ

-Para que o óleo queime na água, a camada de óleo deve ter no mínimo de 2 a 3mm de espessura (Fingas, M). Portanto, na maioria das vezes o óleo é contido antes de ser queimado

para manter essa espessura.

- A ignição do petróleo é relativamente fácil.
- Considera-se completada a ignição se 1m² de óleo entrar em combustão.
- Quanto maior o peso do óleo mais demorado é a ignição.
- A maioria dos tipos de óleo queimam, no entanto, partículas emulsificadas podem requerer um tratamento antes de serem queimados.
- O óleo queima a uma taxa de 3 a 4 mm por minuto ou 5000 L/m² por dia.
- Estudos demonstram que as emissões decorrentes da queima controlada de petróleo resultam em concentrações de contaminantes abaixo dos níveis de risco à saúde humana quando medidos a 500 m do fogo. (STAR, 2006)

6.2 Vantagens da queima in-situ

Como já mencionado, a maior vantagem da queima in-situ se deve à sua capacidade de remover grandes quantidades de óleo e pela sua alta eficiência de remoção. Quando utilizadas no momento certo, isto é, no início do vazamento, a técnica pode prevenir que grandes volumes de óleo se espalhem e cheguem a contaminar as regiões costeiras.

A queima in-situ necessita de poucos equipamentos, equipes e tempo para ser implantada, além de gerar pouco resíduo que pode ser recuperado ou novamente queimado. Ela pode ser aplicada em locais onde outras técnicas não poderiam ser aplicadas devido à distância ou à falta de infraestrutura, como por exemplo, nas regiões com gelos no mar.

6.3 Desvantagens da queima in-situ

A primeira desvantagem da queima in-situ é a preocupação com as emissões tóxicas advindas da fumaça negra que é produzida na queima. Uma outra desvantagem é a condição inicial de espessura mínima que o óleo necessita para pegar fogo. No mar, a camada de óleo se espalha rapidamente tornando-se ineficiente para dar ignição ao fogo, nesses casos são utilizados barreiras resistentes ao fogo para concentrar o óleo. Um outro fator que pode desestimular a utilização da queima in-situ se deve ao fato de não poder recuperar o óleo para ser reutilizado.

6.4 Ignição

Os primeiros estudos sobre a queima in-situ costumavam focar-se na ignição do fogo, acreditando que este fosse a chave para uma queima bem sucedida. No entanto, nos estudos recentes, a espessura da camada de óleo é que tem sido considerado o fator essencial na queima controlada.

Hoje, a regra principal para a ignição é que o óleo tenha no mínimo de 2 a 3 mm de espessura, continuando a queimar até que o óleo tenha de 1 a 2 mm de espessura. A espessura mínima de ignição é necessária para separar o óleo da água. Deve haver uma liberação de calor suficiente para que o composto vaporize e continue a pegar fogo. Em vazamentos muito finos, a maior parte do calor é perdida para água, e a vaporização/combustão não consegue dar continuidade e sustentar a queima. (Fingas, 2000)

Para óleos frescos (menos de 2 a 3 dias em exposição) pode-se utilizar as seguintes espessuras mínimas para cada tipo de óleo (STAR, 2006):

- Óleo cru volátil: 1mm
- Óleo cru não-emulsificado e óleo diesel: 2 a 5mm
- Emulsões e óleos combustíveis intermediários: 5 a 10 mm

Geralmente os óleos pesados e os intemperizados levam um tempo maior para

acenderem, e requerem uma chama mais quente do que a chama requerida pelos óleos leves. Isto também vale para os óleos contendo água. Apesar de ainda não ter sido bem compreendido pelos pesquisadores, parece que quanto maior a parcela de água, mais difícil se torna a ignição, como é o caso do óleo completamente emulsificado com a água que não pega fogo.

No entanto, há também registros de queima de petróleo, com uma parcela significativa de água ou de emulsão em que a inflamabilidade ou a eficiência da queima não foi afetada pela água. Nestes casos, os dispersantes podem ser utilizados para aumentar a eficiência da ignição, e como se desconfia que o fogo quebre a emulsão de óleo-água, uma vez que o óleo entre em combustão, a presença de água pode não ser mais um problema.

Para uma eficiente operação de queima in-situ recomenda-se que o óleo esteja menos de 25% emulsificado ou menos de 30% evaporado. A velocidade do vento deve ser inferior a 20 knots (10,3m/s) e a altura das ondas, em mares agitados, inferiores a 3ft (0,9m). (STAR, 2006)

A queima in-situ de petróleo nas regiões costeiras costumam não ser empregadas devido à possível proximidade com as comunidades das regiões da costa e também pelo fato de que a queima pode originar resíduos de óleo que penetrem nos sedimentos.

Já foram testados e criados vários dispositivos de ignição de óleo. Que vão desde latinhas contendo explosivos até sofisticados dispositivos transportados por helicópteros. Estes últimos utilizam pacotes de combustíveis gelificados que produzem uma chama a 800°C, queimando durante até 6 minutos. Nos acidentes reais costuma-se utilizar os dispositivos mais simples. (STAR, 2006)



Figuras 28, 29 e 30 – Helitorch e Queima in-situ (Oil Spill Solution, 2010; Greenpeace, 2010)

6.5 Contenção do óleo

Como já mencionado, a espessura mínima de ignição do petróleo no mar é de 2 a 3 mm, e neste caso o óleo não precisará ser contido para ser queimado. Para a maioria dos óleos brutos, no entanto, esta espessura só é mantida durante poucas horas após a ocorrência do vazamento. O óleo em mar aberto se espalha rapidamente e mantém uma espessura de equilíbrio que é de 0,01 a 0,1mm para os óleos leves, e de 0,05 a 0,5mm para os óleos pesados e óleos residuais. Estes níveis de espessura são insuficientes para a ignição do óleo e consequentemente devem ser contidos para poderem ser queimados in-situ.

Quando se utiliza a técnica de queima in-situ, barreiras especiais resistentes ao fogo são colocadas para conter o óleo. Como elas devem resistir ao calor durante um longo período de tempo, a sua resistência ao fogo e sua capacidade de contenção devem ser periodicamente testadas. Estas barreiras requerem um tratamento especial, principalmente aquelas de aço inoxidável, devido ao seu tamanho e peso.

Uma barreira de fogo com extensão de aproximadamente 200m consegue conter cerca

de 50mil L de óleo, o qual leva 45 minutos para ser queimado. No total, seriam necessários 3 horas para coletar essa quantidade de óleo, transportá-lo para longe do derramamento, e queimá-lo.

Uma equipe de queima in-situ, composta por dois navios e uma barreira de fogo, poderia queimar cerca três lotes de óleo por turno.

6.6 Emissões da queima do óleo

A possibilidade da liberação de emissões tóxicas para a atmosfera ou para a água tem criado desconfiança na aceitação da queima do óleo como um método de limpeza. Essas emissões podem ser as partículas originadas da precipitação da fumaça, os gases de combustão, os hidrocarbonetos não queimados, e os restos da queima. Enquanto a maior parte do resíduo da fuligem são partículas de carbono, eles podem conter também produtos químicos absorvidos ou adsorvidos.

Os estudos sobre as emissões têm se focado principalmente nas emissões do ar, ao nível do solo, que preocupam por estarem diretamente ligados à saúde humana.

6.6.1 Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)

Liberados tanto na fumaça do fogo como também na forma de gás, os hidrocarbonetos poliaromáticos, que são considerados poluentes tóxicos e prejudiciais à saúde humana, segundo a ATSDR, estão presentes em todos os tipos de petróleo. Apesar disso, a liberação de HPA pela queima não é um fato que desestimule a técnica de queima in-situ, pois a quantidade deste produto liberado na fumaça é muito inferior comparado àquele presente no óleo original. Ou seja, a queima não gera quantidades adicionais de HPA.

6.6.2 Fuligem

As análises de fuligem revelam que a maior parte da fuligem é composta por carbono, e os outros componentes detectados estão presentes na matriz dos carbonos em quantidades de partes por milhão ou inferiores a isto. Os compostos mais comumente identificados são os aldeídos, cetonas, ésteres, acetatos e os ácidos. Também já foram feitas análises específicas para detecção de compostos altamente tóxicos como as dioxinas e os dibenzofuranos, revelando, no entanto, que esses produtos estão presentes em níveis desprezíveis.

6.6.3 Metais

Há uma preocupação quanto aos metais que se acredita serem liberados junto à fumaça. Resultados de pesquisas demonstram que os metais se concentram nas emissões próximas ao fogo, mas desprezíveis a uma distância de 50m, mesmo quando o fogo for de grandes proporções.

6.6.4 Outros

A temperatura da água ao redor e abaixo do fogo é uma outra preocupação a ser estudada ao se utilizar a queima in-situ. Felizmente os estudos demonstram que a temperatura da água não é afetada, ou seja elevada, em valores significativos, mesmo quando o teste é realizado com águas rasas em tanques fechados. A transferência de calor do fogo para a água é limitada pela camada de óleo, que funciona como um isolante, e é justamente por esse mecanismo que a combustão de finas camadas de óleo são extintos.

6.7 Recuperação de Resíduos da queima

A quantidade e o tipo de resíduo que permanece após a queima do óleo pode variar dependendo de uma série de fatores. Na maioria das vezes a queima resulta em camadas viscosas de um material marrom flutuante. Parte desse resíduo perde rapidamente a flutuabilidade após a combustão e/ou absorção de sedimentos. Se o resíduo permanecer boiando pode-se contê-lo utilizando as barreiras de contenção. Através da combinação desses resíduos e de óleos ainda em vazamento, consegue-se eliminar uma boa parte desta sobra nas queimas posteriores.

Também é possível recuperá-lo, em vez de queimá-lo novamente, se for mais prático. Neste caso o resíduo é liberado da barreira principal e acumulado na contenção secundária de barreiras ou de redes. Na recuperação, pode-se utilizar grandes filtros ou ferramentas manuais, como absorventes ou skimmers do tipo óleo viscoso.

Quando o resíduo não é recuperado, ele costuma se quebrar em pequenas partículas e acaba afundando ou se dispersando no mar.

7. CONCLUSÃO

Devido à sua importância na atual sociedade industrial, a exploração e produção de petróleo no mar têm crescido a cada ano. Com isto, os acidentes envolvidos na sua exploração também se tornaram mais frequentes, fazendo com que governos impussem leis mais rígidas visando a proteção do meio ambiente, e as empresas, preocupassem com os prejuízos financeiros consequentes. Como não podemos deixar de utilizar o petróleo, hoje, o estudo da prevenção dos acidentes e de seu combate são preocupações obrigatórias na indústria petrolífera.

No presente trabalho foram apresentados os principais métodos que englobam os planos de contingência e de resposta a um derramamento de petróleo no mar. A literatura costuma dividi-los em três tópicos diferentes que são a detecção dos vazamentos (análise de campo, vigilância e sensoriamento remoto), os métodos mecânicos (barreiras, skimmers e absorventes) e, os métodos não-mecânicos (dispersantes e queima in-situ) de contenção e recuperação. Cada método é igualmente importante no combate ao derramamento, e as equipes de emergência devem estar preparadas para cada tipo de acidente que possa ocorrer, de acordo com a geografia da região e do material em vazamento.

As barreiras de contenção são os equipamentos mais comuns utilizados nas operações de contenção e recuperação, permanecendo até o final dela, e quase sempre atuando em conjunto com outros equipamentos, como os skimmers e absorventes. Os dispersantes devem ser utilizados para aumentar a eficiência de recuperação dos skimmers, e para limpeza das regiões costeiras. Quando não há a preocupação em armazenar, ou mesmo quando não há disponibilidade em armazenar o óleo, recomenda-se a utilização dos absorventes.

Apesar da preocupação que se tem com relação aos resíduos oriundos da queima, vimos que a queima in-situ não é prejudicial à saúde humana quando mantida a distância mínima necessária. A queima in-situ é um dos métodos de limpeza mais eficientes e quando utilizados no momento certo, principalmente no início do vazamento, pode impedir que maiores acidentes ambientais ocorram no mar.

O ideal seria que a prevenção fosse sempre efetiva e que não necessitássemos recorrer aos métodos aqui estudados. No entanto, como a exploração, produção, transporte e o armazenamento de petróleo estão sempre sujeitos a altos riscos de acidentes, mesmo quando de pequenas proporções, deve-se constantemente buscar melhorar as tecnologias e os métodos já existentes e aplicá-las de modo a coibir maiores danos e perdas tanto para a comunidade quanto ao meio ambiente.

Quanto aos objetivos pretendidos pelo trabalho, a revisão bibliográfica foi bem sucedida, abordando os principais métodos aplicados nos acidentes ocorridos no mar.

BIBLIOGRAFIA

ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Atlanta, Estados Unidos. 2009. **Toxic Substances Portal.** Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/TP.asp?id=122&tid=25>>. Acesso em: ago. 2010.

BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 269, 14 de setembro de 2000. **Anexo:** Regulamento para uso de Dispersantes químicos em derrames de óleo no mar, 18 p., 12 de janeiro de 2001. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res26900.html>>. Acesso em: out. 2010.

BUIST, I. et al. In situ burning. **IUPAC:** Pure and Applied Chemistry, v. 71, n. 1, p. 43-65, 1999. Disponível em: <<http://www.iupac.org/publications/pac/special/0199/pdfs/buist.pdf>>. Acesso em: out. 2010.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. São Paulo. **Gerenciamento de Riscos:** Vazamentos de óleo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/vazamento.asp>>. Acesso em set. 2010.

DIVISION OF SPILL PREVENTION AND RESPONSE, SPILL TACTICS FOR ALASKA RESPONDERS. Estados Unidos, 2006. **STAR Tactics Manual.** Disponível em: <<http://www.dec.state.ak.us/spar/perp/star/docs.htm>>. Acesso em: out. 2010.

EPA-ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Understanding Oil Spills And Oil Spill Response,** Estados Unidos, cap. 2-4, dezembro de 1999. Disponível em: <<http://www.epa.gov/emergencies/content/learning/pdfbook.htm>>. Acesso em: set. 2010.

FABIAN, V. et. al. **Perspectiva Operacional de Monitoramento em Linha de Óleo em Água.** Rio de Janeiro: PETROBRAS, 2000. (Boletim Técnico, 43, p 120-128). Disponível em: <http://www2.petrobras.com.br/tecnologia2/ing/boletim_tecnico/v43_n2_abr-jun-2000/pdf/Perspectiva6.pdf>. Acesso em: set. 2010

FERRÃO, C. M. **Derramamentos de óleo no mar por navios petroleiros.** 2005. 33p. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós Graduação) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/emergencias/wp-content/files/Derramamentos%20oleo%20mar%20por%20petroleiros.pdf>>. Acesso em ago. 2010.

FINGAS, M.; CHARLES, J. (Ed.). **The Basics of Oil Spill Cleanup,** 2nded. Canada: Lewis Publishers, 2000.

GOODMAN, R. **Overview and Future Trends in Oil Spill Remote Sensing,** Spill Science & Technology Bulletin, 1.1, p.11-21, 1994.

INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED. London, UK. **Spill Response.** Disponível em: <<http://www.itopf.com/spill%2Dresponse/>>. Acesso em:

set. 2010.

JHA, M. N. **Development of Laser Fluorosensor Data Processing System and GIS Tools for Oil Spill Response.** 2009.103p. Dissertação (Mestrado) - Department of Geomatics Engineering, UNIVERSITY OF CALGARY, Canada, 2009. Disponível em: <http://www.ucalgary.ca/engo_webdocs/YG/09.20294_MayanNandJha.pdf>. Acesso em: set. 2010.

SANTESTEVAN, V. A. **Caracterização de frações de petróleo brasileiro por cromatografia gasosa.** 2008. 33p. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto de Química, UFRGS, Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17388/000673542.pdf?sequence=1>>. Acesso em ago. 2010.

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., Natal, 2009. **Detecção e Monitoramento de Óleo através da Utilização Integrada de Imagens de Satélite, Verificações de Campo e Modelagem de Deriva de Óleo: Uma Abordagem Operacional.** Rio de Janeiro: PETROBRAS, 2009.

SOUZA FILHO, A. M. **Planos Nacionais de Contingência para Atendimento a Derramamento de Óleo:** Análise de Países Representativos das Américas para Implantação no Caso do Brasil. 2006. 217p. Dissertação (Mestrado) - COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/amfilho.pdf>>. Acesso em: ago. 2010.

SZEWCZYK, S. B. O. **Processos envolvidos em um derramamento de óleo no mar.** 2006. Resumo (Doutorado) - Oceanografia Física, FURG, Rio Grande. Disponível em: <<http://www.semengo.furg.br/2006/36.pdf>>. Acesso em set. 2010.

U.S. NATIONAL RESPONSE TEAM. **Oil Spill Response Strategies for Coastal Marshes during the Deepwater Horizon MC252 Spill.** Washington: Environmental Protection Agency, 15 jan. 2010. (Plano de Contingência). Disponível em: <[http://www.nrt.org/Production/NRT/NRTWeb.nsf/AllAttachmentsByTitle/SA-1061NRT_Marsh_Cleanup_Options_DWH.06032010.pdf/\\$File/NRT_marshall_cleanup_overview_6-15.pdf?OpenElement](http://www.nrt.org/Production/NRT/NRTWeb.nsf/AllAttachmentsByTitle/SA-1061NRT_Marsh_Cleanup_Options_DWH.06032010.pdf/$File/NRT_marshall_cleanup_overview_6-15.pdf?OpenElement)>. Acesso em: ago. 2010.