

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

JOSÉ PAULO FERREIRA

**ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS DE RESPOSTA A
DERRAMAMENTO DE ÓLEO PESADO NO
LITORAL DO ESPÍRITO SANTO UTILIZANDO
MODELAGEM COMPUTACIONAL**

VITÓRIA

2006

JOSÉ PAULO FERREIRA

**ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS DE RESPOSTA A
DERRAMAMENTO DE ÓLEO PESADO NO
LITORAL DO ESPÍRITO SANTO UTILIZANDO
MODELAGEM COMPUTACIONAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de concentração de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof Daniel Rigo, D.Sc.

Co-Orientador: Renato Parkinson Martins, D.Sc.

VITÓRIA

2006

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

F383a Ferreira, José Paulo, 1967-
 Análise de estratégias de resposta a derramamento de óleo pesado no
 litoral do Espírito Santo utilizando modelagem computacional / José Paulo
 Ferreira. – 2006.
 199 f. : il.

 Orientador: Daniel Rigo.
 Co-Orientador: Renato Parkinson Martins.
 Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo,
 Centro Tecnológico.

 1. Derramamento de óleo – Espírito Santo (Estado). 2. Modelagem de
 dados. I. Rigo, Daniel. II. Martins, Renato Parkinson. III. Universidade
 Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 628

JOSÉ PAULO FERREIRA

**ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS DE RESPOSTA A DERRAMAMENTO DE
ÓLEO PESADO NO LITORAL DO ESPÍRITO SANTO UTILIZANDO
MODELAGEM COMPUTACIONAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de concentração de Recursos Hídricos.

Aprovada em 31 de outubro de 2006.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Daniel Rigo, D.Sc.
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Renato Parkinson Martins, D.Sc.
Centro de Pesquisas Tecnológicas da Petrobras – CENPES
Co-Orientador

Prof. Júlio Tomás Aquije Chacaltana, D.Sc.
Universidade Federal do Espírito Santo

José Antônio Moreira Lima, Ph.D.
Centro de Pesquisas Tecnológicas da Petrobras – CENPES

Este trabalho é dedicado a todo aquele que de alguma forma cuida, protege e se empenha na preservação da Natureza.

Agradecimentos,

A Deus, por me fazer parte da Natureza,

Aos meus Pais, pela formação que possuo, que me preparou para a vida,

À minha Família, que acreditou que o trabalho era necessário, que eu seria capaz de realizá-lo, e que compreendeu que os momentos de ausência eram parte da busca,

À Coordenação do PPGEA - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da UFES, ao Corpo Docente e mais especificamente ao GEARH - Grupo de Estudos e Ações em Recursos Hídricos, pela oportunidade de poder participar efetivamente do Programa,

Aos meus Orientadores, formais e informais, pela ajuda incondicional, pelas sugestões por vezes ousadas e por saberem mais do que eu, e me fazerem acreditar, que este trabalho seria concluído,

Aos Colegas de Curso, pelo companheirismo, pelo exemplo na realização de seus trabalhos e pelo estímulo passado a todo instante,

Aos Colegas de Serviço, pelo indispensável apoio moral, material e profissional, e

À Petrobras, pela disponibilização de uma licença do modelo computacional de transporte, intemperismo e de estratégias de resposta a derramamento de óleo, e pelas informações necessárias sobre a região de interesse.

“No entanto, sou um especialista; portanto, minha visão, como minha experiência, é limitada. Outros podem ter contribuições legítimas que se tornam favoráveis ou antagônicas. ... O trato das questões ambientais exige mudanças nas crenças e aspirações pessoais.”

Bruce Wallace

RESUMO

A resposta a derramamentos de óleo pesado no Brasil necessita de uma discussão mais aprofundada, de modo a considerar certas particularidades que a legislação não contempla. O dimensionamento da estrutura a ser utilizada não leva em conta as características do óleo, se mais ou menos denso, se mais ou menos viscoso, bem como, trata de forma única qualquer volume de descarga superior a 200m^3 , considerado simplesmente como uma 'descarga grande'. Discutir a utilização da contenção e recolhimento e da dispersão artificial, enquanto estratégias de resposta a derramamento de óleo pesado em mar aberto, além da contribuição esperada de cada cenário de resposta em função do esforço de mobilização necessário, constituem o objeto central deste estudo. Com a utilização da modelagem computacional (*OILMAP*), reproduz-se um cenário acidental crítico de derramamento de óleo pesado no litoral sul do Espírito Santo, o cenário de não-resposta, que sob condições ambientais severas e numa situação de mancha livre resulta em grande volume de óleo atingindo a costa. Em seguida, experimenta-se a estrutura e os tempos de resposta previstos na legislação para a contenção e recolhimento do óleo, compondo-se assim o cenário de referência. Além do conjunto de dez cenários alternativos de resposta, baseados primeiramente na alteração dos tempos de resposta, depois num aumento mediano e outro mais expressivo da estrutura utilizada, são também simulados uma série de combinações das estratégias de contenção e recolhimento com a dispersão combinada (mecânica e química) e um cenário de resposta composto exclusivamente pela dispersão combinada do óleo hipoteticamente derramado. Os resultados obtidos sinalizam para uma limitação das estratégias de resposta, no caso de grandes derramamentos em condições ambientais críticas, uma vez que este trabalho revela que no melhor dos cenários de resposta, uma parcela ainda significativa ($\sim 25\%$) do volume inicialmente derramado (15.000m^3) continua alcançando uma extensão relativamente grande ($\sim 50\text{km}$) da linha de costa, num prazo relativamente curto ($\sim 05\text{dias}$).

Palavras-chave: Derramamento de Óleo Pesado. Modelagem Computacional. Análise de Estratégias de Resposta.

ABSTRACT

The response to heavy oil spill in Brazil needs to be deeply discussed; in order to consider certain particularities not considered by the legislation. The sizing of the structure to be used does not take into account the oil characteristics, like density or viscosity, as well as, it treats the same way any volume of discharge bigger than 200m³, considering it simply as 'great discharge'. The main objective of this study is to discuss the use of containment recovery and artificial dispersion, as response strategies to offshore heavy oil spills, besides the expected contribution of each response scenario as a function of the required mobilization effort. An oil spill computational model (OILMAP) is used to simulate a critical accidental heavy oil spill scenario in the south coast of *Espirito Santo*, the no-response scenario, which results in a big volume of oil reaching the, under a severe environmental conditions and in the case of a free slick. After that, the structure and the response times foreseen in the legislation for the containment and recovery of oil are tested, as the reference scenario. Besides a set of ten alternative response scenarios, with different response times and response structure, a series of containment and recovery strategies together with combined dispersion (mechanical and chemical) and also a response scenario exclusively composed by combined dispersion of the oil hypothetically spilled are simulated. The results obtained point toward a limitation of the response strategies in the case of a large spill under critical environmental conditions, once this work reveals that in optimum response scenario, a significant amount (~25%) of the volume initially spilled (15.000m³) continues reaching a large shoreline extent (~50km), in a relatively short period of time (~05days).

Keywords: Heavy Oil Spill. Computational Modeling. Response Strategies Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processos Atuantes sobre o Óleo Derramado	31
Figura 2 – Trajetória de Sobrevôo para Monitoramento Aéreo Visual	33
Figura 3 – Padrões de Observação Aérea de Manchas de Óleo no Mar	34
Figura 4 – Monitoramento Aéreo por Sensores Portáteis	36
Figura 5 – Monitoramento Orbital de Manchas de Óleo no Mar	36
Figura 6 – Operação de Contenção de Óleo no Mar, com Formação em “U”	39
Figura 7 – Equipamento de Recolhimento de Óleo (<i>Skimmer</i>)	39
Figura 8 – Instalação de Barreiras de Contenção	40
Figura 9 (A) – Recolhedor Mecânico de Óleo - Tipo Vertedouro	41
Figura 9 (B) – Recolhedor Oleofílico - Tipo Cilindro Aderente	42
Figura 10 – Operação de Agitação Mecânica com Embarcações	45
Figura 11 – Mecanismo Detalhado de Dispersão Química	47
Figura 12 – Diferentes Composições Dispersantes num Óleo Cru	48
Figura 13 (A) – Operação de Dispersão Química utilizando Embarcações	50
Figura 13 (B) – Dispositivo para Agitação da Mancha na Dispersão Química.....	50
Figura 14 (A) – Operação de Dispersão Química utilizando Helicóptero	51
Figura 14 (B) – Operação de Recarga de Helicóptero com Dispersante	51
Figura 15 – Aplicação de Dispersante por Aeronave de Grande Porte	52
Figura 16 (A) – Aeronave Aplicando Dispersante na Direção do Vento	53
Figura 16 (B) – Aeronave Aplicando Dispersante Cruzando o Vento	53
Figura 17 – Operação de Queima do Óleo no Local	55
Figura 18 – Utilização de Barreiras Absorventes em Série	56
Figura 19 – Operação de Recolhimento de Óleo ainda Fluido	57
Figura 20 – Operações de Limpeza de Linha de Praia	57
Figura 21 – Exemplos de Áreas Passíveis de Tratamento por Biorremediação	59
Figura 22 – Relatório Simplificado Emitido pelo <i>GNOME</i>	79
Figura 23 – Visualização da Pluma no Modelo <i>OILMAP</i>	81
Figura 24 – Visualização de Resultados no Modelo <i>SIMAP</i>	83
Figura 25 – Visualização de Pluma no Sistema <i>OSCAR</i>	84

Figura 26 (A) – Exemplo de Campo de Velocidades Obtido para Verão	92
Figura 26 (B) – Exemplo de Campo de Velocidades Obtido para Inverno	92
Figura 27 – Formação em “U” para Contenção e Recolhimento de Óleo	111
Figura 28 (A) – Frente com 02 Formações para Contenção e Recolhimento	112
Figura 28 (B) – Frente com 04 Formações para Contenção e Recolhimento	113
Figura 28 (C) – Frente com 07 Formações para Contenção e Recolhimento	113
Figura 29 – Formação para Agitação Mecânica na Dispersão Combinada	121
Figura 30 – Movimentação Proposta para as Formações no Polígono de Dispersão	121
Figura 31 – Dispersão Combinada com Polígonos Escalonados - 04 Formações	122
Figura 32 – Dispersão Combinada com Polígonos Alinhados - 04 Formações	122
Figura 33 (A) – Posicionamento Progressivo – 02 Formações	123
Figura 33 (B) – Posicionamento Progressivo – 04 Formações	123
Figura 33 (C) – Posicionamento Progressivo – 07 Formações em Série	124
Figura 33 (D) – Posicionamento Progressivo – 07 Formações em Paralelo	124
Figura 34 – Localização do Campo de Jubarte	128
Figura 35 (A) – Cenário Ambiental Base - Instante Inicial da Simulação	131
Figura 35 (B) – Cenário Ambiental Base - Instante 12h ($\frac{1}{2}$ dia)	131
Figura 35 (C) – Cenário Ambiental Base - Instante 36h ($1\frac{1}{2}$ dias)	132
Figura 35 (D) – Cenário Ambiental Base - Instante 60h ($2\frac{1}{2}$ dias)	132
Figura 35 (E) – Cenário Ambiental Base - Instante 84h ($3\frac{1}{2}$ dias)	133
Figura 35 (F) – Cenário Ambiental Base - Instante 108h ($4\frac{1}{2}$ dias)	133
Figura 36 – Cenário de Não-Resposta (Cen NR)	135
Figura 37 – Cenário de Referência (Cen Ref)	137
Figura 38 – Cenário de Referência, Antecipado em 06h (Cen Ref - 06h)	138
Figura 39 – Cenário de Referência, Postergado em 06h (Cen Ref + 06h)	139
Figura 40 – Cenário de Referência, Aumentado em 30% (Cen Ref + 30%)	140
Figura 41 – Cenário de Referência, Aumentado em 150% (Cen Ref + 150%)	141
Figura 42 – Cenário de Referência + Dispersão Combinada a partir de 108h	145
Figura 43 – Cenário de Referência + Dispersão Combinada a partir de 84h	147
Figura 44 – Cenário de ‘Referência’ + Dispersão Combinada a partir de 60h	148
Figura 45 – Cenário de ‘Referência’ + Dispersão Combinada a partir de 36h	150

Figura 46 – Cenário de Exclusiva Dispersão Combinada a partir de 12h	151
Figura 47 – Padrão de Visualização Aérea e Escala de Cores no Modelo	153
Figura 48 (A) – Cenário de Não-Resposta, tempo de simulação ½ dia	155
Figura 48 (B) – Cenário de Não-Resposta, tempo de simulação 1½ dias	155
Figura 48 (C) – Cenário de Não-Resposta, tempo de simulação 2½ dias	156
Figura 48 (D) – Cenário de Não-Resposta, tempo de simulação 3½ dias	156
Figura 49 – Cenário de Não-Resposta, tempo de simulação 4½ dias	157
Figura 50 – Cenário de Não-Resposta, Completado o Toque na Costa	158
Figura 51 – Cenário de Não-Resposta, Gráfico de Balanço de Massa	159
Figura 52 – Cenário de Referência (Cen Ref), tempo de simulação 4½ dias	160
Figura 53 – Cenário de Referência Antecipado em 06h, tempo de simulação 4½ dias	163
Figura 54 – Cenário de Referência Postergado em 06h, tempo de simulação 4 ½ dias	165
Figura 55 – Cenário de Referência Aumentado em 30%, tempo de simulação 4 ½ dias	167
Figura 56 – Cenário de Referência Aumentado em 150%, tempo de simulação 4 ½ dias	169
Figura 57 – Cenário de Referência + Dispersão Combinada a partir de 108h, tempo de simulação 4 ½ dias	171
Figura 58 – Cenário de Referência + Dispersão Combinada a partir de 84h, tempo de simulação 4 ½ dias	173
Figura 59 – Cenário de 'Referência' + Dispersão Combinada a partir de 60h, tempo de simulação 4 ½ dias	175
Figura 60 – Cenário de 'Referência' + Dispersão Combinada a partir de 36h, tempo de simulação 4 ½ dias	177
Figura 61 – Cenário de Exclusiva Dispersão Combinada a partir de 12h, tempo de simulação 4 ½ dias	179

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação Empírica dos Óleos quanto ao Tipo	25
Tabela 2 – Classificação Empírica dos Óleos quanto ao Grupo	26
Tabela 3 – Padrão de Visualização Aérea para Quantificação de Óleo no Mar	35
Tabela 4 – Capacidades Legais de Recolhimento de Óleo - Descargas Grandes	63
Tabela 5 – Propriedades e Processos Modelados ou Rastreados no <i>ADIOS</i>	76
Tabela 6 – Parâmetros Ambientais e de Liberação do Derramamento no <i>ADIOS</i>	76
Tabela 7 – Cálculo das Capacidades Efetivas Diárias de Recolhimento de Óleo	112
Tabela 8 – Estimativa Diária para Operação de CONTENÇÃO e Recolhimento	114
Tabela 9 – Parâmetros de Aplicação de Dispersante na Costa da Namíbia	116
Tabela 10 – Estimativa para Aplicação Diária de Dispersante Químico em Jubarte .	118
Tabela 11 – Parâmetros Utilizados para Dispersão Química do Óleo de Jubarte	120
Tabela 12 – Parâmetros Utilizados para Dispersão Combinada do Óleo de Jubarte.	127
Tabela 13 – Coordenadas Utilizadas para Simulação do Potencial Acidente	129
Tabela 14 – Principais Parâmetros Utilizados na Modelagem de Óleo	130
Tabela 15 – Cenários Implementados, Estrutura Utilizada e Tempos de Resposta ..	136
Tabela 16 – Parâmetros de Simulação do Cenário de Não-Resposta	154
Tabela 17 – Destinação Esperada para o Óleo no Cenário de Não-Resposta	158
Tabela 18 – Destinação Esperada para o Óleo no Cenário de Referência	161
Tabela 19 – Quadro Comparativo: (Cen NR) x (Cen Ref)	162
Tabela 20 – Quadro Comparativo: (Cen Ref) x (Cen Ref – 06h)	164
Tabela 21 – Quadro Comparativo: (Cen Ref) x (Cen Ref + 06h)	166
Tabela 22 – Quadro Comparativo: (Cen Ref) x (Cen Ref + 30%)	168
Tabela 23 – Quadro Comparativo: (Cen Ref) x (Cen Ref + 150%)	170
Tabela 24 – Quadro Comparativo: (Cen Ref) x (Cen Ref + DC108h)	172
Tabela 25 – Quadro Comparativo: (Cen Ref) x (Cen Ref + DC84h)	174
Tabela 26 – Quadro Comparativo: (Cen Ref) x (Cen 'Ref' + DC60h)	176
Tabela 27 – Quadro Comparativo: (Cen Ref) x (Cen 'Ref' + DC36h)	178
Tabela 28 – Quadro Comparativo: (Cen Ref) x (Cen Excl DC12h)	180
Tabela 29 – Quadro Resumo das Estratégias para CONTENÇÃO e Recolhimento	181

Tabela 30 – Quadro Resumo Contenção e Recolhimento + Dispersão Combinada .	184
Tabela 31 – Evolução da Eficiência do Recolhimento para Diferentes ETAs	188
Tabela 32 – Evolução da Eficiência da Dispersão Combinada para Diferentes ETAs	189

LISTA DE SIGLAS

°API – Grau API

CEDRO – Capacidade Efetiva Diária de Recolhimento de Óleo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DC – Dispersão Combinada (mecânica e química)

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

ETA – Tempo Estimado de Chegada

PEI – Plano de Emergência Individual

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
2 OBJETIVOS	22
2.1 OBJETIVO GERAL	22
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	23
3.1 CARACTERIZAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E TESTES COM ÓLEOS	23
3.1.1 Características dos Óleos	23
3.1.2 Classificação dos Óleos	25
3.1.3 Testes e Experimentos Práticos com Óleos	27
3.2 PRINCIPAIS PROCESSOS ATUANTES SOBRE O ÓLEO	28
3.3 ESTRATÉGIAS USUAIS DE RESPOSTA	31
3.3.1 Não Resposta / Monitoramento da Mancha	32
3.3.2 Contenção e Recolhimento	37
3.3.3 Dispersão Mecânica	44
3.3.4 Dispersão Química	46
3.3.5 Respostas Químicas Não-Dispersantes	54
3.3.6 Queima no Local	55
3.3.7 Proteção e Limpeza de Linhas de Costa	56
3.3.8 Biorremediação	58
3.4 PARÂMETROS RELACIONADOS À EFICIÊNCIA DE RESPOSTA	60
3.4.1 Tempo de Chegada e Início das Operações (ETA)	60
3.4.2 Janelas de Oportunidade	61

3.4.3 Benefício Ambiental Líquido	64
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	66
4.1 PANORAMAS MUNDIAL E NACIONAL	66
4.2 REQUISITOS LEGAIS	69
4.3 MODELAGEM COMPUTACIONAL	72
4.3.1 Modelos Computacionais Relacionados	73
4.3.2 Alguns Modelos e suas Características Básicas	74
4.3.2.1 ADIOS	75
4.3.2.2 GNOME	77
4.3.2.3 OILMAP	80
4.3.2.4 SIMAP	82
4.3.2.5 OSCAR	84
5 METODOLOGIA	86
5.1 MATERIAIS - O MODELO COMPUTACIONAL UTILIZADO	90
5.1.1 A Base Hidrodinâmica Utilizada	90
5.1.2 O Modelo de Transporte de Óleo	93
5.1.3 A Formulação do Modelo de Transporte de Óleo	94
5.1.3.1 Advecção	94
5.1.3.2 Difusão	96
5.1.3.3 Espalhamento	97
5.1.3.4 Evaporação	98
5.1.3.5 Entranhamento	101
5.1.3.6 Interação com a Linha de Costa	105
5.1.3.7 Emulsificação	107

5.1.4 O Modelo de Ações de Resposta	109
5.2 MÉTODOS - IMPLEMENTAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE	
 RESPOSTA	111
5.2.1 Contenção e Recolhimento	111
5.2.2 Dispersão Artificial	115
5.2.2.1 Dispersão Química	116
5.2.2.2 Dispersão Combinada (Mecânica e Química)	120
5.2.3 Capacidade de Dispersão Combinada	125
6 APLICAÇÃO DO MODELO À REGIÃO DE JUBARTE	128
6.1 O LOCAL	128
6.2 O DOMÍNIO DE INTERESSE	128
6.3 A DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS	129
6.4 PARÂMETROS UTILIZADOS NA MODELAGEM DE ÓLEO	129
6.5 O CENÁRIO AMBIENTAL BASE	130
6.6 CENÁRIOS IMPLEMENTADOS	134
6.6.1 Cenário de Não Resposta	134
6.6.1.1 Cen NR (Cenário de Não Resposta ou Pluma Livre)	135
6.6.2 Cenários de Contenção e Recolhimento	136
6.6.2.1 Cen Ref (Cenário de Referência ou Cenário Mínimo de Resposta)	137
6.6.2.2 Cen Ref – 06h	138
6.6.2.3 Cen Ref + 06h	139
6.6.2.4 Cen Ref + 30%	140
6.6.2.5 Cen Ref + 150%	141
6.6.3 Contenção e Recolhimento + Dispersão Combinada	144
6.6.3.1 Cen Ref + DC108h	144
6.6.3.2 Cen Ref + DC84h	146

6.6.3.3 Cen 'Ref' + DC60h	148
6.6.3.4 Cen 'Ref' + DC36h	150
6.6.3.5 Cen Excl DC12h	151
6.7 OBSERVAÇÕES DA UTILIZAÇÃO DO OILMAP	152
7 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	153
7.1 CENÁRIO DE NÃO RESPOSTA	154
7.2 CENÁRIOS DE CONTENÇÃO E RECOLHIMENTO	160
7.2.1 Cen Ref	160
7.2.2 Cen Ref – 06h	163
7.2.3 Cen Ref + 06h	165
7.2.4 Cen Ref + 30%	167
7.2.5 Cen Ref + 150%	169
7.3 CONTENÇÃO E RECOLHIMENTO + DISPERSÃO COMBINADA	170
7.3.1 Cen Ref + DC108h	171
7.3.2 Cen Ref + DC84h	173
7.3.3 Cen 'Ref' + DC60h	175
7.3.4 Cen 'Ref' + DC36h	177
7.3.5 Cen Excl DC12h	179
8 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	181
8.1 ANÁLISE COMPARATIVA DAS ESTRATÉGIAS DE RESPOSTA	181
8.1.1 Análise Comparativa da Contenção e Recolhimento	181
8.1.2 Análise Comparativa das Estratégias Associadas	183
8.2 EVOLUÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS FRENTES DE FORMAÇÃO ...	188
8.2.1 Evolução da Eficiência do Recolhimento de Óleo	188

8.2.2 Evolução da Eficiência da Dispersão Combinada	189
9 CONCLUSÃO	191
9.1 RECOMENDAÇÕES	192
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	194
GLOSSÁRIO	198

1 INTRODUÇÃO

Uma adequada resposta a derramamentos de óleo no mar depende de uma série de fatores. Identificado o perigo de derramamento numa região, torna-se necessário conhecer o comportamento esperado de manchas de diferentes proporções, sob diferentes condições ambientais, principalmente aquelas que podem resultar num menor tempo para alcançar a costa, ou num maior volume de óleo atingindo a costa, ou ainda, numa maior extensão de costa afetada (*Reed et al.*, 1999). Desta forma, é possível uma preparação com antecedência para situações de emergência (Daling & Strom, 1999).

Ao lado da preocupação ambiental, coexiste hoje no Brasil uma legislação ainda recente, aplicável a situações de emergência com derramamento de óleo (CONAMA, 2000; 2001), que chega a tratar do dimensionamento da estrutura de resposta a ser utilizada em diferentes situações. Porém, um estudo técnico-científico acerca da utilização de determinadas estruturas de resposta em dados cenários acidentais faz-se ainda necessário, uma vez que informações provenientes do monitoramento de derrames experimentais normalmente de menores proporções, ou até de operações reais de resposta, onde sejam efetivamente utilizados os equipamentos previstos, por certo são úteis na investigação de um ou outro ponto, mas são específicas a cada caso.

Através de uma simulação da realidade é possível combinar diferentes variáveis e estimar, com certo grau de precisão, os resultados da utilização de uma ou outra estratégia de resposta, identificando assim a mais indicada em cada caso. A forma mais prática de se simular diferentes cenários acidentais e, para cada um deles experimentar diferentes cenários de resposta, é a modelagem computacional. Conduzida com critério, uma simulação pode apresentar resultados bastante próximos daqueles de um caso real. Contudo, para a finalidade deste estudo, de permitir uma análise comparativa dos resultados, eventuais incertezas ou imprecisões remanescentes estarão presentes da mesma forma nos diferentes cenários, sem comprometer a natureza das conclusões.

A partir da caracterização de um cenário acidental (tipo e volume de óleo derramado, local do derramamento e condições ambientais) é possível prever, primeiramente, o comportamento de uma mancha (trajetória e intemperização do óleo). Quanto melhor a base de dados (ventos e correntes marinhas, batimetria regional, linha de costa, composição química e propriedades físicas do óleo) e mais adequado o modelo utilizado para simulação, melhor a estimativa em termos de destinação do óleo derramado. Estimada a trajetória da mancha, é possível então avaliar a contribuição esperada de diferentes estratégias de resposta passíveis de utilização.

A elaboração deste trabalho parte de dois resultados pré-existentes, uma representação da hidrodinâmica local e uma modelagem de óleo na condição de pluma livre aplicada à região de interesse (CEPEMAR, 2004). Assim, desenvolver e aplicar uma metodologia que permita avaliar comparativamente os resultados da utilização de diferentes estratégias de resposta é a que se propõe este estudo. Esta abordagem contempla, de início, a reunião de fundamentos teóricos e uma conceituação básica sobre o assunto. A seguir, procede-se a uma revisão da bibliografia relacionada e propõe-se uma metodologia para concepção e simulação de diferentes cenários de resposta.

Na aplicação desta metodologia, num cenário acidental crítico de derramamento de óleo pesado, no litoral sul do Espírito Santo é simulada uma estratégia de contenção e recolhimento, dimensionada conforme o que preconiza a legislação (CONAMA, 2001), compondo-se desta maneira, um cenário de referência. Além deste, são experimentadas variações no tempo de resposta e no tamanho da estrutura utilizada, como tentativas de interceptação da mancha antes que atingisse a linha de costa. Numa perspectiva de se poder minimizar o impacto do cenário acidental considerado, busca-se uma estratégia de resposta alternativa, que seja também factível. Assim, simula-se uma combinação de dispersão mecânica e química, em princípio associada ao cenário de referência para a contenção e recolhimento, evoluindo gradativamente para um cenário de exclusiva dispersão combinada. Os resultados destes cenários de resposta são comparados individualmente ao cenário de referência e entre si.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Simular a utilização de diferentes estratégias de resposta a derramamento de óleo pesado em mar aberto e avaliar quantitativamente a contribuição esperada de cada cenário de resposta em função do esforço de mobilização necessário.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estimar a destinação de uma 'descarga grande' de óleo pesado, considerando a evolução da pluma livre (cenário de não-resposta), sob condições ambientais que favoreçam o toque na costa;

Avaliar o resultado esperado da implementação do cenário de referência, definido com base na capacidade efetiva diária de recolhimento de óleo - CEDRO, prevista na legislação (CONAMA, 2001);

Analisar cenários alternativos de resposta, baseados na contenção e recolhimento do óleo derramado, e comparar os resultados obtidos com os do cenário de referência;

Avaliar a eficiência esperada da utilização conjunta das estratégias de contenção e recolhimento e dispersão combinada (mecânica e química) do óleo derramado, e comparar os resultados obtidos com os do cenário de referência;

Estimar o resultado esperado da estratégia de somente dispersão combinada do óleo derramado, e comparar os resultados obtidos com os do cenário de referência; e,

Analisar comparativamente as estratégias de resposta simuladas (contribuição da estratégia x esforço de mobilização) e a evolução da eficiência das estratégias utilizadas em função do tempo de resposta.

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Este capítulo reúne um conjunto de fundamentos teóricos e conceitos básicos em torno de estratégias de resposta a derramamentos de óleo no mar, de modo a embasar a discussão sobre o assunto. Primeiro, trata-se da caracterização dos óleos (densidade, viscosidade e ponto de fluidez), apresentam-se critérios de classificação (paraafínicos e naftênicos, leves e pesados e os grupos I, II, III e IV), e os testes e ensaios disponíveis (análises laboratoriais, ensaios de intemperização e derramamentos experimentais).

Descrevem-se ainda os principais processos (físicos e químicos) atuantes sobre o óleo eventualmente derramado e apresentam-se conceitos relacionados às práticas de monitoramento da mancha, contenção e recolhimento do óleo ou à dispersão artificial (mecânica e química) da mancha, e outras estratégias usuais. Além de citar alguns parâmetros relacionados à eficiência de resposta que serão utilizados mais à frente.

3.1 CARACTERIZAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E TESTES COM ÓLEOS

3.1.1 Características dos Óleos

Todos os tipos de petróleo são compostos de hidrocarbonetos, alguns também podem conter compostos de enxofre e oxigênio. O conteúdo de enxofre varia entre 0,1 e 5%. O petróleo contém elementos gasosos, líquidos e sólidos. A consistência do petróleo varia desde um líquido pouco viscoso, como o condensado de gás natural, até um líquido muito espesso, que flui com dificuldade. Em geral, há pequenas quantidades de compostos gasosos dissolvidos no líquido. Quando as quantidades destes compostos são maiores, o jazimento de petróleo está associado a um depósito de gás natural.

Densidade / Grau API

Grau API do *American Petroleum Institute* (°API) - Forma de expressar a densidade relativa de um óleo, ou derivado.

A escala API, medida em graus, varia inversamente com a densidade relativa, isto é, quanto maior a densidade relativa, menor o grau API. O grau API é maior quando o petróleo é mais leve.

$$^{\circ}\text{API} = (141,5/g) - 131,5 \quad , \text{ onde "g" é a densidade relativa do petróleo a } 15^{\circ}\text{C}.$$

Viscosidade

Conforme descrito em *IPIECA* (2001), viscosidade é a resistência de um fluido ao escoamento quando submetido a tensões de cisalhamento. A viscosidade de um óleo é uma indicação de quão facilmente ele escoar ou se move com a aplicação de uma força, tal como a das ondas quebrando. Alguns líquidos, como a água, por exemplo, têm baixa viscosidade, enquanto outros, como o *bunker*, têm uma alta viscosidade. A viscosidade de um óleo aumenta à medida que a temperatura diminui. Contudo, a taxa de variação da viscosidade em função da temperatura, varia com o tipo de óleo. O valor da viscosidade de um óleo pode ser medido e expresso de diferentes modos:

Viscosidade Dinâmica (ou absoluta) – medida por algumas técnicas analíticas, tais como viscosímetros de eixo giratório. As unidades de viscosidade dinâmica são ‘Newtons.segundos por metro quadrado’ ou ‘Pascal.segundos’ (Pa.s) no Sistema Internacional de unidades. Valores em ‘miliPascal.segundos’ (mPa.s) têm o mesmo valor numérico que ‘centiPoise’ (cP) no sistema métrico antecedente.

Viscosidade Cinemática – medida por outros métodos, tais como viscosímetros de tubo capilar. As unidades de viscosidade dinâmica são ‘Stokes’ (St) ou, mais comumente, ‘centiStokes’ (cSt). Um ‘cSt’ é igual a um ‘milímetro quadrado por segundo’ ($1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$). Viscosidade cinemática é a viscosidade dinâmica dividida pela densidade do líquido (à temperatura em que é medida a viscosidade).

$$\text{Viscosidade Cinemática (cSt)} = \frac{\text{Viscosidade Dinâmica (mPa.s)}}{\text{Densidade (g/ml)}}$$

Ponto de Fluidez

Expressa a menor temperatura na qual a amostra ainda flui. Uma quantidade de óleo é colocada em um tubo de vidro, que é colocado em um banho de refrigeração. O tubo é retirado do banho e reclinado a cada redução de temperatura de 3° C e, quando não houver mais movimento da amostra, dá-se por encerrado o teste. O Ponto de fluidez é reportado 3° C acima desta temperatura.

3.1.2 Classificação dos Óleos

Parafínicos e Naftênicos

Existem três grandes categorias de petróleo cru: tipo parafínico, tipo asfáltico e de base mista: (A) Parafínicos - o petróleo parafínico é composto por moléculas nas quais o número de átomos de hidrogênio é sempre superior em duas unidades ao número de átomos de carbono; (B) Naftênicos - as moléculas características do petróleo asfáltico são os naftenos, que contém exatamente o dobro de átomos de hidrogênio em relação aos de carbono; (C) de Base Mista - o petróleo de base mista contém hidrocarbonetos de ambos os tipos.

Leves e Pesados

Tabela 1
Classificação Empírica dos Óleos quanto ao Tipo

Grau API (° API)	Tipo do Óleo
> 30	Leve
22 – 30	Médio
10 – 22	Pesado
< 10	Extrapesado

Como mostra a Tabela 1, petróleos com grau API maior que 30° são considerados leves; entre 22° e 30° API, são médios; abaixo de 22° API, são pesados; com grau API igual ou inferior a 10°, são petróleos extrapesados.

Grupos I, II, III e IV

Segundo o *ITOPF Handbook – 2004/2005* (ITOPF, 2005), quando se consideram as destinações do óleo derramado no mar, freqüentemente se faz distinção entre ‘óleos não-persistentes’, que tendem a desaparecer rapidamente da superfície, e ‘óleos persistentes’, que ao contrário, se dissipam mais lentamente, e em geral requerem operação de limpeza.

Uma vez que as interações entre os vários processos de intemperização do óleo não foram ainda completamente estudadas, têm lugar modelos empíricos baseados nas propriedades de diferentes tipos de óleo. Com este propósito, classificam-se os óleos mais comumente transportados em quatro grupos, grosseiramente falando, em função de sua densidade (°API). Para uma melhor visualização, ver Tabela 2.

Tabela 2
Classificação Empírica dos Óleos quanto ao Grupo

Grupo	Densidade	° API
I	< 0,8	> 45
II	0,8 – 0,85	35 - 45
III	0,85 – 0,95	17,5 - 35
IV	> 0,95	< 17,5

Fonte: www.itopf.com

Classificados os óleos, podem-se estimar suas taxas de dissipação esperadas. Os óleos do Grupo I (não-persistentes) tendem a se dissipar completamente por evaporação em poucas horas e normalmente não formam emulsões.

Os óleos dos Grupos II e III podem perder até 40% em volume por evaporação, mas devido a sua tendência de formar emulsões viscosas, existe um crescimento inicial de volume, bem como uma diminuição da dispersão natural, particularmente no caso dos óleos do Grupo III. Os óleos do Grupo IV são muito persistentes, devido a sua limitação de constituintes voláteis e sua alta viscosidade, o que inibe a evaporação e a dispersão.

3.1.3 Testes e Experimentos Práticos com Óleos

Aliadas às simulações que utilizam modelos computacionais, têm lugar diferentes experimentos práticos com óleo realizados em diferentes partes do mundo. Está-se falando aqui desde análises laboratoriais para caracterização física e química dos óleos crus ou intemperizados, passando por laboratórios de testes em bancadas e em escala mediana para avaliação do potencial de intemperização dos óleos, até a realização de derramamentos experimentais no mar de pequenos volumes de óleo.

Análises Físico-Químicas

Atualmente, no Brasil, além do Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES), na cidade do Rio de Janeiro – RJ, e de cerca de dez laboratórios de instituições parceiras localizadas nos estados do RJ e SP, um outro laboratório está sendo implantado junto ao Departamento de Química da UFES, na cidade de Vitória - ES, com a finalidade de integrar uma Rede de Análises, permitindo assim uma mais ágil caracterização dos óleos, tanto durante a descoberta de novos campos produtores e acompanhamento de sua vida produtiva, quanto no apoio a eventuais situações de emergência.

Testes de Bancada e de Média Escala

Para avaliação do potencial de intemperização de um óleo, ou de como se espera que ele se comporte quando exposto a diferentes processos sob ação de intempéries, têm-se atualmente laboratórios especializados somente no exterior.

Segundo *Daling & Strom* (1999), o laboratório do Sintef, na Noruega, utiliza um aparato projetado para simular processos de intemperização (perda por evaporação, foto-oxidação, dispersão natural, emulsificação, dissolução, etc), um canal circular com cerca de nove metros de circunferência e meio metro de profundidade, com dispositivos ajustáveis gerador de ondas, de ventos, de corrente e da incidência de luz solar. E o Laboratório do *Emergencies Science and Technology Division (ETC, 2005)*, no Canadá, que procede dentre os testes de intemperização, a um ensaio específico para descrever o comportamento do óleo frente ao processo de evaporação.

Derramamentos Experimentais

Uma outra forma, mais próxima da realidade, de se avaliar o comportamento de óleos em situações de derramamento no mar, é a realização de derramamentos experimentais controlados, previamente planejados e com limitados volumes de óleo cru. São experimentos que contam com a participação de empresas, centros de pesquisa e de agências reguladoras, num esforço conjunto para melhor entender e se preparar para eventuais situações de emergência. Três grandes exercícios desta natureza foram realizados no mar do norte nos anos de 1994, 1995 e 1996, com a utilização de equipamentos, embarcações e aeronaves especializadas (*Daling et al., 2002*).

3.2 PRINCIPAIS PROCESSOS ATUANTES SOBRE O ÓLEO

Dentre os processos atuantes sobre o óleo derramado destacam-se a advecção e difusão, o espalhamento, a evaporação, o entranhamento, a interação com a linha de costa e a emulsificação. Apresenta-se a seguir uma breve descrição destes processos.

Advecção – Advecção é um processo físico associado ao transporte do óleo de uma locação para outra devido à ação combinada do vento, ondas, marés e fluxos induzidos por gradiente de densidade (ASA, 2000b). A velocidade resultante das diferentes forças determina a direção, o sentido e a intensidade do movimento da mancha.

Difusão - O termo difusão é aqui utilizado como representação de um processo físico de transporte do óleo devido à energia turbulenta (ondas, marés, correntes e ventos) presente no corpo d'água, a partir da determinação empírica de coeficientes de difusão horizontal e vertical (ASA, 2000b). Apesar de originalmente definir um processo químico associado ao gradiente de concentração e a dissolução dos compostos hidrossolúveis, que corresponde na prática a pequena parcela do movimento resultante da mancha.

Espalhamento – Tão logo o óleo é liberado no ambiente (superfície do mar) ele começa a se espalhar, mas não uniformemente. Mudanças na corrente de superfície provocam o estiramento da mancha e mesmo uma brisa leve provoca a diminuição da espessura da mancha na direção do vento. A maioria das manchas toma a forma de um cometa, onde a maior parte do óleo proveniente de um derramamento está concentrada numa região mais espessa (parte escura), com uma pequena percentagem do volume derramado se deslocando numa região muito maior e de pequena espessura (brilhante) (*Lehr et al.*, 2002). O espalhamento determina a extensão em área da superfície da mancha e é resultado da difusão turbulenta e do balanço entre as forças de gravidade, inércia, viscosidade e tensão superficial (ASA, 2000b).

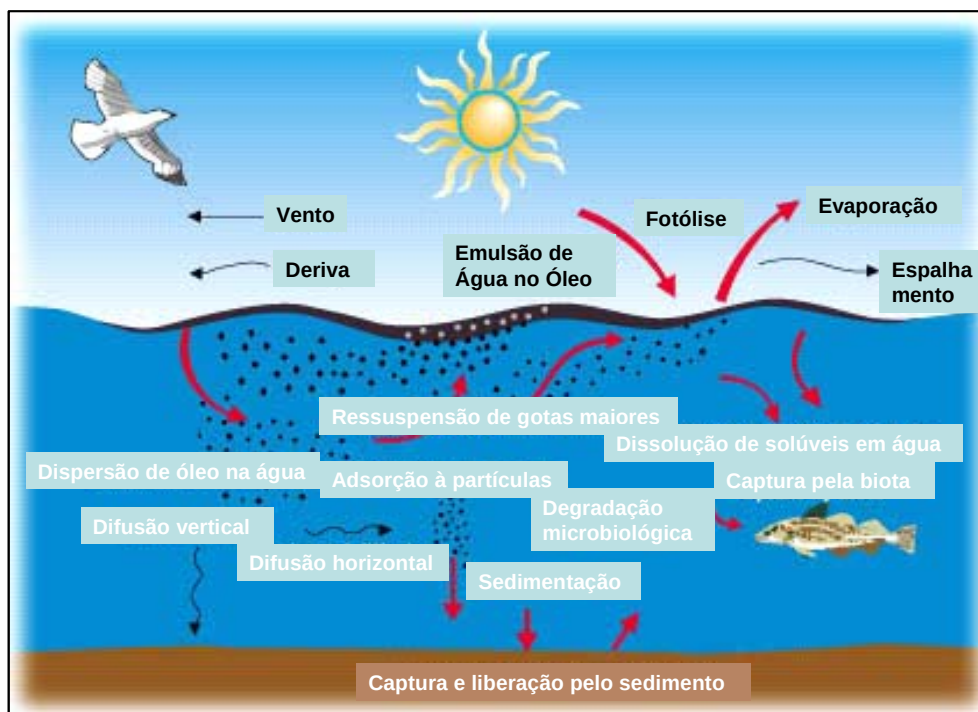
Evaporação – A evaporação reduz o volume de uma mancha na superfície do mar. Porém, em função do óleo ser uma mistura de uma infinidade de componentes, a taxa de evaporação decresce com o envelhecimento da mancha. Os componentes mais leves e mais voláteis se desprendem para a atmosfera, fazendo com que a mancha se torne rica em compostos de maior peso molecular (*Lehr et al.*, 2002). A taxa de evaporação depende da área da superfície e da espessura da mancha, da pressão de vapor e do coeficiente de transporte de massa, os quais variam em função da composição do óleo, da velocidade do vento, e da temperatura. À medida que o óleo evapora a sua composição se altera, afetando a sua densidade e sua viscosidade. E por outro lado, enquanto o óleo se emulsiona a sua evaporação decresce significativamente (ASA, 2000b).

Entranhamento – O entranhamento do óleo na coluna d'água, fortemente dependente da turbulência, é maior em áreas de alta energia de ondas presentes na superfície oceânica. A quebra de ondas criada pela ação do vento constitui a fonte primária de energia para o entranhamento (ASA, 2000b). Se as gotas de óleo carregadas para a coluna d'água são pequenas o bastante, a turbulência natural da água do mar evita que o óleo retorne à superfície, assim como a turbulência do ar mantém as pequenas partículas isoladas submersas (*Lehr et al.*, 2002). A distribuição vertical na coluna d'água, na forma de *droplets*, produto do incremento local de forças de cisalhamento numa mistura tri-componente ar / água / óleo (*Taylor*, 1934 *apud Oebius*, 1999), é o efeito resultante da dispersão natural, mecânica ou química do óleo derramado no mar.

Interação com a Linha de Costa – A parcela de óleo derramado que não evapora, não se dispersa e não é recolhida pode ser depositada nas linhas de costa mais próximas. A destinação do óleo derramado que atinge a linha de costa depende das características do óleo, do tipo de linha de costa (praia de areia fina, de areia grossa ou de cascalho, áreas alagadas, costão rochoso, etc), da largura e inclinação da linha de costa e da energia do ambiente (ondas, marés, correntes e ventos). A deposição na superfície da linha de costa cessa quando a sua capacidade de retenção é alcançada, e após a saturação o excedente é devolvido para o corpo d'água (ASA, 2000b).

Emulsificação – O processo de emulsificação aumenta o volume de uma mancha de óleo na superfície do mar. A turbulência na água ao redor de uma mancha pode fazer com que pequenas gotas de água se misturem ao óleo, formando uma emulsão de água-no-óleo. A quantidade de água e a distribuição do tamanho de gotas afetam a viscosidade e a estabilidade da emulsão em função do tempo. Uma emulsão completa estável pode conter de 80 a 90% de água (*Lehr et al.*, 2002). Nesta proporção, o volume da emulsão pode ser de até 10 vezes o volume de óleo inicialmente derramado. Sendo esperado, segundo o *ITOPF Handbook 2004 / 2005* (ITOPF, 2005), para óleos médios, do grupo 2 (35 – 45° API) ou do grupo 3 (17,5 – 35° API), pela sua tendência a formação de emulsões viscosas, aumentos da ordem de até 3 ou 4 vezes o volume inicial quando derramados no mar.

A Figura 1 apresenta uma ilustração dos diferentes processos atuantes sobre o óleo quando derramado no mar.



Fonte: Adaptado de <http://www.sintef.no>

Figura 1 – Processos Atuantes sobre o Óleo Derramado

3.3 ESTRATÉGIAS USUAIS DE RESPOSTA

Ainda que numa região exista uma única rota de navios-tanque para transporte de óleo bruto para as refinarias ou de seus produtos derivados para os centros consumidores, faz-se necessário um planejamento de ações e recursos a serem mobilizados em caso de derramamento desses produtos no mar, que são as medidas de controle (Oebius, 1999) que compõem os planos de contingência. Ou seja, é preciso avaliar previamente os riscos e planejar antecipadamente o que fazer em diferentes situações, ainda que para estabelecer a proteção de áreas sensíveis e realizar operações de limpeza de

costa, se as técnicas tradicionais de limpeza (*ITOPF*, 2006) não se mostrarem eficientes ou não puderem ser utilizadas.

A seguir, apresentam-se as principais estratégias de resposta a derramamento de óleo no mar, aprofundando-se o detalhamento daquelas que constituem o objeto deste estudo, a contenção e recolhimento e a dispersão química do óleo, esta última como fundamento para a dispersão combinada (mecânica e química), além de descrever técnicas de proteção e limpeza de linhas de costa.

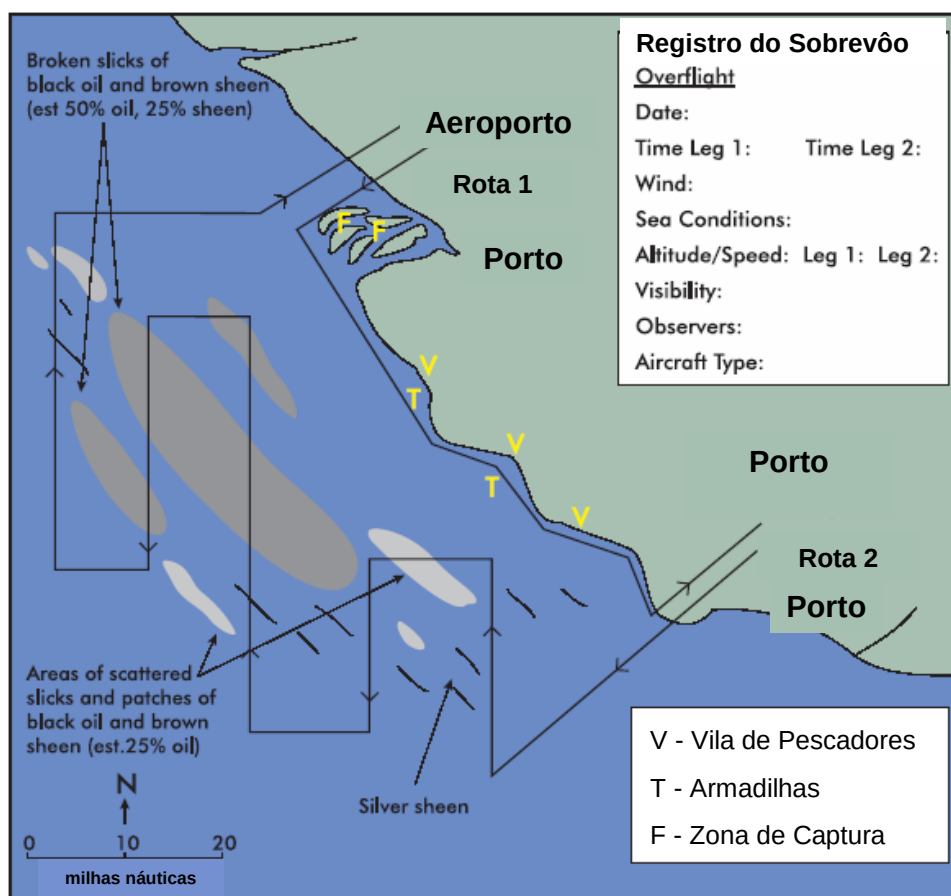
3.3.1 Não Resposta / Monitoramento da Mancha

A não-resposta é uma das opções que a equipe responsável tem em relação a possibilidades de atuação no caso de acidentes com derramamento de óleo no mar. Ao contrário do que possa parecer, não-resposta se difere de 'nada-se-fazer'. Não-resposta está relacionada à opção de não utilização de meios artificiais, ou qualquer interferência humana na evolução da pluma. A não-resposta prevê, contudo, o monitoramento do deslocamento e espalhamento da pluma, e da alteração de suas características físicas e químicas.

Este procedimento é adotado a partir da constatação de que a mancha não esteja se dirigindo para áreas ambientalmente sensíveis. O monitoramento da pluma é feito com a utilização de equipamentos orbitais ou aéreos, através de imagens de satélite, de sinais de radar ou da utilização de sensores portáteis embarcados em avião. A coleta diária de amostras do óleo, para análise em laboratório e verificação de seu estado de intemperização e alteração das características, é outra forma de monitorar o comportamento da pluma.

Com a utilização de um helicóptero, que possui uma melhor manobrabilidade que aeronaves de asas fixas, procede-se à medição da mancha, determinando a área afetada. A altitude de sobrevôo é determinada pela visibilidade. Em tempo claro, a 500m (1.500 pés), se comprova ser a altitude ótima para maximização da área em

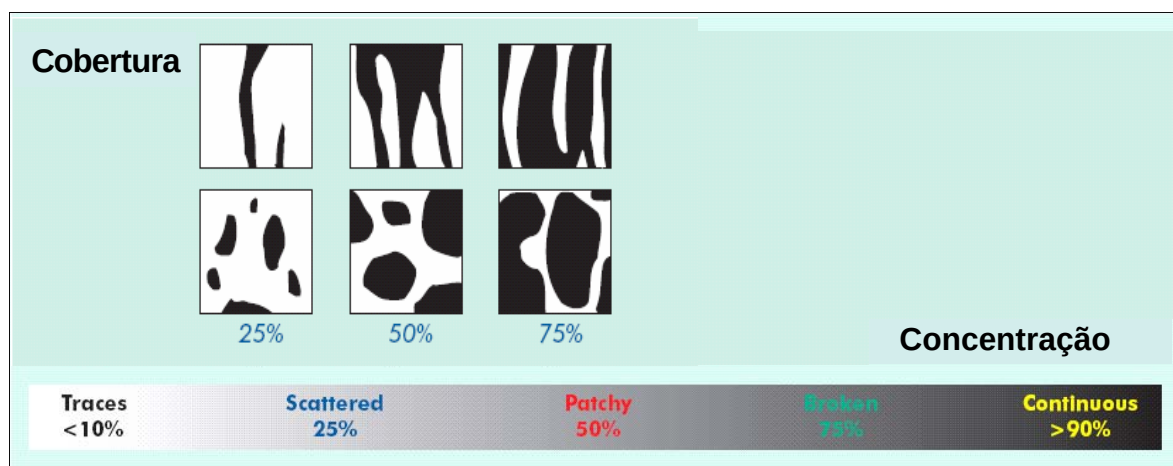
observação sem perder a firmeza visual. Entretanto, é necessário baixar para meia altura, ou menos, a fim de se confirmar qualquer vestígio de óleo ou para analisar a sua aparência (PEI, 2004 *apud* CEPEMAR, 2004a). Na Figura 2 é possível observar um exemplo de trajetória para sobrevôo de monitoramento aéreo visual de mancha de óleo utilizando helicóptero.



Fonte: Adaptado de <http://www.itopf.com>

Figura 2 – Trajetória de Sobrevôo para Monitoramento Aéreo Visual

Na Figura 3 apresentam-se duas referências visuais, uma para a estimativa percentual da cobertura por óleo numa determinada área, e outra, uma escala de referência com uma terminologia associada para descrição da concentração relativa de óleo em cada região (Traços <10%, Reduzida ~25%, Média ~50%, Elevada ~75% e Contínua >90%), de modo a orientar a localização dos recursos de resposta.



Fonte: Adaptado de <http://www.itopf.com>

Figura 3 – Padrões de Observação Aérea de Manchas de Óleo no Mar

Manchas maiores podem ser contornadas por sobrevôo de helicóptero, com o auxílio de um GPS, para uma localização e dimensionamento mais precisos. Definidas as regiões prioritárias, resta a avaliação da espessura da mancha de óleo, para que se possa com uma certa aproximação determinar a quantidade de óleo existente na superfície. A espessura da mancha pode ser avaliada com base na coloração que se apresente em cada região.

Na Tabela 3, tem-se um padrão utilizado internacionalmente para a estimativa da espessura da mancha de óleo e dos correspondentes volumes presentes por unidade de área.

Tabela 3
Padrão de Visualização Aérea para Quantificação de Óleo no Mar

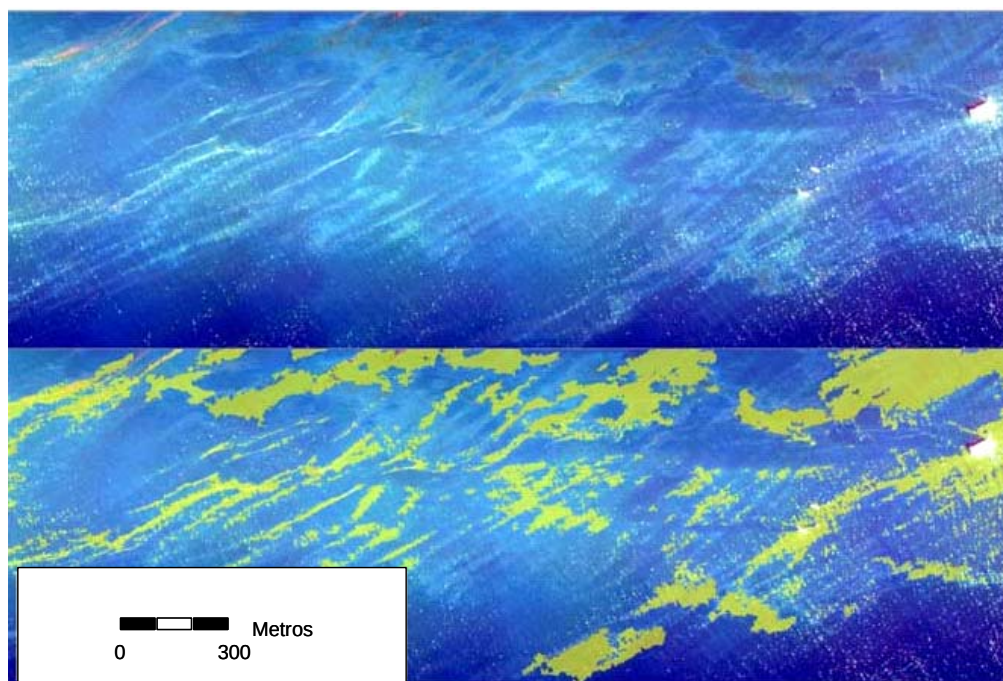
Tipo de Óleo	Aparência	Espessura Aproximada (mm)	Volume Aproximado (m ³ /km ²)
Óleo Brilhante	Prateado	> 0,0001	0,1
Óleo Brilhante	Iridescente / Arco-iris	> 0,0003	0,3
Óleo Cru ou <i>Bunker</i>	Marrom a preto	> 0,1	100
Emulsão Água no Óleo	Marrom / laranja	> 1	1000

Fonte: <http://www.itopf.com>

A atividade de monitoramento pode utilizar ainda imagens aéreas, obtidas a partir de radares e câmeras especializadas com sensores infravermelho ou ultravioleta, embarcados em aviões equipados para este serviço, e imagens orbitais, obtidas a partir de satélites especializados, cujas órbitas cubram a área de interesse na periodicidade necessária e suficiente.

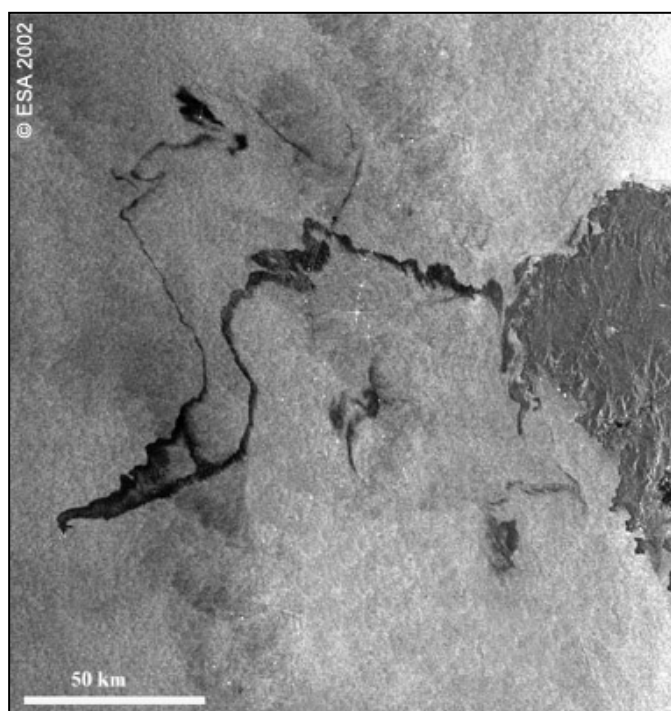
Com recursos do *Minerals Management Service (MMS) of California*, o projeto *Ocean Imaging* está desenvolvendo métodos para detectar e rapidamente mapear manchas de óleo com um sensor aéreo portátil. Na Figura 4 observa-se uma imagem aérea que mostra, em sua parte superior o espalhamento natural de óleo no Canal de Santa Bárbara, na Califórnia, e em sua parte inferior o mapeamento obtido pelo equipamento DMSC (desenvolvido pela *SpecTerra Ltd.*, da Austrália), com comprimento de onda otimizado para discriminação do óleo.

E na Figura 5 tem-se uma imagem de satélite (*Envisat*) da Agência Espacial Européia, revelando a extensão de um derramamento massivo de óleo em novembro de 2002, pelo navio tanqueiro '*Prestige*', com carregamento de 77.000 toneladas de óleo pesado, 04 dias após o início do incidente, a cerca de 100km da costa noroeste da Espanha.



Fonte: <http://www.itopf.com>

Figura 4 – Monitoramento Aéreo com Sensores Portáteis



Fonte: <http://www.esa.int>

Figura 5 – Monitoramento Orbital de Manchas de Óleo no Mar

3.3.2 Contenção e Recolhimento

A princípio, esta seria a estratégia ambientalmente preferencial, a ser adotada sempre que as condições meteo-oceanográficas permitissem, uma vez que procura recuperar e retirar do ambiente marinho a maior parcela possível do produto derramado. Porém, esta solução é afetada por uma série de problemas, não menores do que o fato de estar na direção oposta da tendência natural do óleo em se espalhar, se fragmentar e se dispersar sob influência de ventos, ondas e correntes. Sistemas de recolhimento têm tipicamente uma largura limitada e se movem lentamente durante o recolhimento.

Para utilização da contenção (*booming*) e recolhimento (*skimming*) do óleo eventualmente derramado, deve-se lembrar que a efetividade das operações de limpeza mecânica no mar pode variar muito, a depender: das condições ambientais, do sistema de contingência estabelecido, do tempo de chegada, do tipo de óleo e do nível de organização das operações de resposta (Nordvick, 1995). Na prática, a contenção e o recolhimento no mar raramente resultam na remoção de uma parcela maior do que 10 – 15% de um grande derramamento (ITOPF, 2006).

O controle das embarcações na distribuição de barreiras e recolhedores, e sua orientação para as regiões de maior espessura da mancha, é feito com o apoio de aeronave e equipamentos de comunicação ar-mar. O suporte logístico requerido é expressivo e não pode ser subestimado. Em função das várias restrições impostas aos recolhedores em campo, a capacidade de projeto dos recolhedores raramente se realiza, por isso é importante não criar expectativas não realistas sobre o que pode ser feito. Uma vez que a operação se complete, embarcações, barreiras e recolhedores deverão ser limpos, revisados, reparados, e aprontados para utilização numa nova necessidade (ITOPF, 2006).

Uma análise de benefício ambiental traz para a discussão questões associadas à destinação a ser dada ao produto recolhido, se é possível a sua incorporação a uma linha de refino ou se deve ser armazenado em aterro industrial por tempo

indeterminado. Da mesma forma, a destinação da água separada do óleo recolhido ainda com elevado teor de óleos e graxas, se deve ser conduzida a uma planta de tratamento antes de sua liberação para o ambiente, além da destinação de materiais absorventes e outros apetrechos contaminados com óleo durante a operação.

São diversos os princípios de funcionamento, as aplicações e os modelos, dos equipamentos existentes para a contenção e recolhimento de óleo no mar, cada um com requisitos mínimos e restrições para o uso; parâmetros técnicos e operacionais que assegurem a eficiência do processo devem ser analisados quando da opção pela contenção e recolhimento.

Na Noruega, a atual estratégia nacional declara que o uso de equipamentos mecânicos tão próximo quanto possível das fontes tem primeira prioridade. Equipamentos mecânicos consistem do uso de barreiras e recolhedores para conter e recolher o óleo derramado da superfície do mar.

Quando se opta pela contenção e recolhimento é importante selecionar equipamentos que sejam adequados para o tipo de óleo e para as condições ambientais predominantes. Os esforços devem se dirigir para as maiores concentrações de óleo e para áreas onde a coleta reduza a probabilidade do óleo atingir recursos sensíveis e a linha de costa. À medida que o óleo se intemperiza, e aumenta a sua viscosidade, as técnicas de limpeza e os equipamentos precisam ser reavaliados, e modificados se for o caso. Por exemplo, os tipos de bomba e de *skimmers* podem precisar ser trocados (ITOPF, 2006).

Na Figura 6 observa-se um instantâneo de uma operação de contenção de mancha de óleo, com formação em “U”, e na Figura 7, um tipo de equipamento para recolhimento do óleo.



Fonte: <http://www.itopf.com>

Figura 6 – Operação de Contenção de Óleo no Mar, com Formação em “U”



Fonte: <http://www.itopf.com>



Fonte: <http://wbs.uvigo.es>

Figura 7 – Equipamento de Recolhimento de Óleo (*Skimmer*)

Características dos Equipamentos (Barreiras e Recolhedores)

O projeto das barreiras varia consideravelmente, mas normalmente todas incorporam as seguintes características:

1. Borda-livre para prevenir ou reduzir o *splashover* (passagem do óleo por cima);
2. Saia subsuperficial para prevenir ou reduzir o escape de óleo por baixo;
3. Elemento de flutuação por ar ou algum material flutuante;
4. Membro de tensão longitudinal (corrente ou cabo-de-aço) para prover resistência para suportar os efeitos do vento, ondas e correntes. Ele também é usado para prover lastro para manter a barreira aprumada na água.

Existem muitos modelos de barreiras, variando de pequenos e leves, projetados para distribuição manual em portos, até unidades grandes e robustas, que usualmente precisam de guindastes e embarcações apropriadas para manipulá-las, projetadas para uso em mar aberto (ITOPF, 2006). Na Figura 8 observa-se uma instalação manual de barreira de contenção próximo à costa, e outra em mar aberto, sendo feita por embarcação especializada.



Fonte: <http://www.itopf.com>



Fonte: <http://webs.uvigo.es>

Figura 8 – Instalação de Barreiras de Contenção

Todo *skimmer*, utilizado para recolher óleo da água, incorpora um elemento de recolhimento e alguma forma de flutuação ou suporte. Além desses, uma bomba ou dispositivo de vácuo é necessário para transferir o óleo recolhido e a água para o tanque de armazenamento. Em função de flutuar na superfície da água, os *skimmers* experimentam muitas das dificuldades operacionais que se aplicam às barreiras, particularmente, àquelas postas pelo vento, ondas e correntes. Mesmo a movimentação de ondas moderadas reduz grandemente a efetividade da maioria dos modelos de *skimmers*. Uma performance mais satisfatória por ser alcançada em águas calmas, desde que o recolhedor seja adequado para a viscosidade do óleo em questão.

Os recolhedores mais simples são dispositivos de sucção que removem o óleo diretamente da superfície da água ou via um vertedouro, embora estes tendam a carregar ao mesmo tempo uma grande quantidade de água. Modelos mais complexos se baseiam no princípio de aderência do óleo a discos de metal ou plástico, ou cintas ou cordas oleofílicas. Já outros empregam sistemas de escova ou são projetados para gerar vórtices para concentrar o óleo. Na Figura 9 observam-se dois diferentes modelos de recolhedores de óleo (*skimmers*): em (A) um *Skimmer* tipo *Foilex*, tipo vertedouro e em (B) um *Skimmer* tipo *Transrec*, princípio da aderência.



Fonte: <http://www.itopf.com>



Fonte: <http://www.foilex.com>

Figura 9 (A) – Recolhedor Mecânico de Óleo - Tipo Vertedouro



Fonte: <http://webs.uvigo.es>

Figura 9 (B) – Recolhedor Oleofílico - Tipo Cilindro Aderente

Condições Ambientais e Operacionalidade do Conjunto

Sobre a velocidade relativa ou resultante entre a barreira e o mar, tem-se que: “A velocidade operacional de reboque para barreiras está na faixa de 0,5 – 1,5nós, e preferencialmente, a 0,7nós. Perdas de óleo ocorrem na faixa de 0,8 – 1,2nós dependendo do projeto da barreira e da viscosidade do óleo” (Nordvik, 1995).

Quanto a velocidades de vento e altura de ondas: As condições ambientais durante derramamentos experimentais variaram, mas testes foram conduzidos com sucesso em velocidades de vento de até 20 – 25 nós e alturas de onda significativa de até 2,5 m (Nordvik, 1987 *apud* Nordvik, 1995).

Com relação à eficiência das operações de contenção e recolhimento deve-se destacar que, além de outros fatores como o tipo de óleo, o volume derramado e as condições ambientais, ela resulta também de uma maior ou menor operacionalidade do conjunto equipamentos / embarcações / equipes, sendo várias as combinações possíveis quando da mobilização de uma estrutura de resposta.

Os equipamentos (barreiras e recolhedores), em função de seu princípio de funcionamento, suas características de projeto, sua montagem e do estado de manutenção em que se encontrem, podem apresentar desempenhos diferentes até mesmo para um mesmo tipo de óleo sob as mesmas condições ambientais.

As embarcações utilizadas, da mesma forma que os equipamentos fim, a depender de suas características de projeto, construção, estado de manutenção, além de recursos adicionais que determinam a sua manobrabilidade (posicionamento dinâmico, *ball-trust*, passo variável, etc.), apresentam-se mais adequadas ou não para a operação de contenção e recolhimento de óleo.

A equipe envolvida também pode conferir maior ou menor eficiência às operações de contenção e recolhimento, a depender da experiência de quem coordena as operações no mar, do nível de treinamento e entrosamento entre os membros da equipe e do grau de estresse verificado em função do tempo decorrido de trabalho continuado desde o início das operações.

Relatos provenientes dos últimos derramamentos experimentais identificados na literatura apontam que a efetividade da limpeza mecânica pode ser separada em três categorias principais. A primeira está relacionada à efetividade apenas do *skimmer*. A segunda é a efetividade do sistema que inclui embarcação, recolhedor e barreira, e a terceira é a efetividade mecânico-operacional (*OME*), que inclui a relação entre óleo recolhido e óleo derramado. O uso de sistemas mecânicos de recuperação - ou recolhimento - de óleo durante derramamentos experimentais na Plataforma Continental Norueguesa nos últimos 10 anos provaram que dados de efetividade do sistema estão tipicamente na faixa entre 60 e 95% (embarcação, barreira e recolhedor) e *OME* entre 65 e 95% (*Provant*, 1992 *apud Nordvik*, 1995).

A modelagem de utilização da contenção e recolhimento de óleo no mar como utilizada neste estudo está descrita no item 5.2.1.

3.3.3 Dispersão Mecânica

Quando o óleo está derramado no mar ele tende a formar uma mancha na superfície, uma vez que sua densidade é usualmente menor que a da água do mar. A força química que resiste a mistura óleo-água é conhecida como 'tensão interfacial' e varia de óleo para óleo. A dispersão natural tem lugar quando a quebra de ondas é suficiente para superar a resistência mecânica causada pela viscosidade (consistência) do óleo e pela resistência química causada pela tensão interfacial, usualmente a velocidades de vento maiores que 10 nós. Quando isto acontece, o óleo se quebra em gotas de tamanhos variáveis. Contudo, as gotas maiores são flutuantes e podem ressurgir na superfície. Se isto ocorre antes que o mar tenha diluído as gotas, uma mancha pode se formar de novo (*Karen Purnell, 2003 apud ITOPF, 2006*).

A dispersão do óleo na coluna d'água é um processo natural e desejável para a retirada do óleo da superfície do mar, que pode ser potencializado artificialmente, mas com restrições. A utilização de embarcações de suprimento (*supply-boats*), simplesmente se deslocando sobre a mancha com os propulsores ligados, equipadas ou não com dispositivos de agitação a reboque, ou ainda a utilização de canhões de água (*fire-fight*) direcionados para a mancha bombeando água do mar do próprio local, são formas relativamente simples de se estimular, mecanicamente, a dispersão do óleo derramado.

Na Parte 3 de sua Revisão, *Oebius* (1999) considera as bases da dispersão de óleo e outros líquidos químicos flutuantes. Demonstra em detalhes que a dispersão mecânica tem o mesmo efeito que a sua correspondente química, com base na atuação de agentes superfície-ativos, na descrição da emulsificação por forças cisalhantes e na formação de emulsões pela quebra de ondas. Reconhece ainda a necessidade de aplicação de agitação mecânica para o uso efetivo de dispersante químico e que esta necessidade coloca em questão a eficiência da dispersão química.

Pela relativa simplicidade de realização, a opção de dispersão mecânica pode ser por vezes a preferida pelo 'respondedor', por outro lado, a sua eficácia depende em grande

parte das características do óleo derramado e das condições ambientais do momento, além da relação volume derramado e capacidade de agitação mecânica disponível no local. A dispersão do óleo na coluna d'água é favorecida pela presença de ponto de fluidez menor que a temperatura da água do mar e pela baixa viscosidade do óleo (ITOPF, 2006). O vento, a chuva e as correntes marítimas de superfície favorecem o processo de dispersão.

Porém, a proximidade de áreas ambientalmente sensíveis, ou a preservação da segurança de pessoas ou de instalações, pode colocar em *xequê* o uso isolado da dispersão mecânica, tornando-se necessária a sua combinação com outras formas de controle da mancha ou de proteção de áreas sensíveis. Na Figura 10 observa-se o que poderia ser uma operação de dispersão mecânica, com movimentação desordenada das embarcações, numa provável 'descarga média' de óleo cru (8–200m³).



Fonte: <http://www.amsa.gov.au>

Figura 10 – Operação de Agitação Mecânica com Embarcações

A modelagem de utilização da dispersão combinada – mecânica e química de óleo no mar como utilizada neste estudo está descrita no item 5.2.2.2.

3.3.4 Dispersão Química

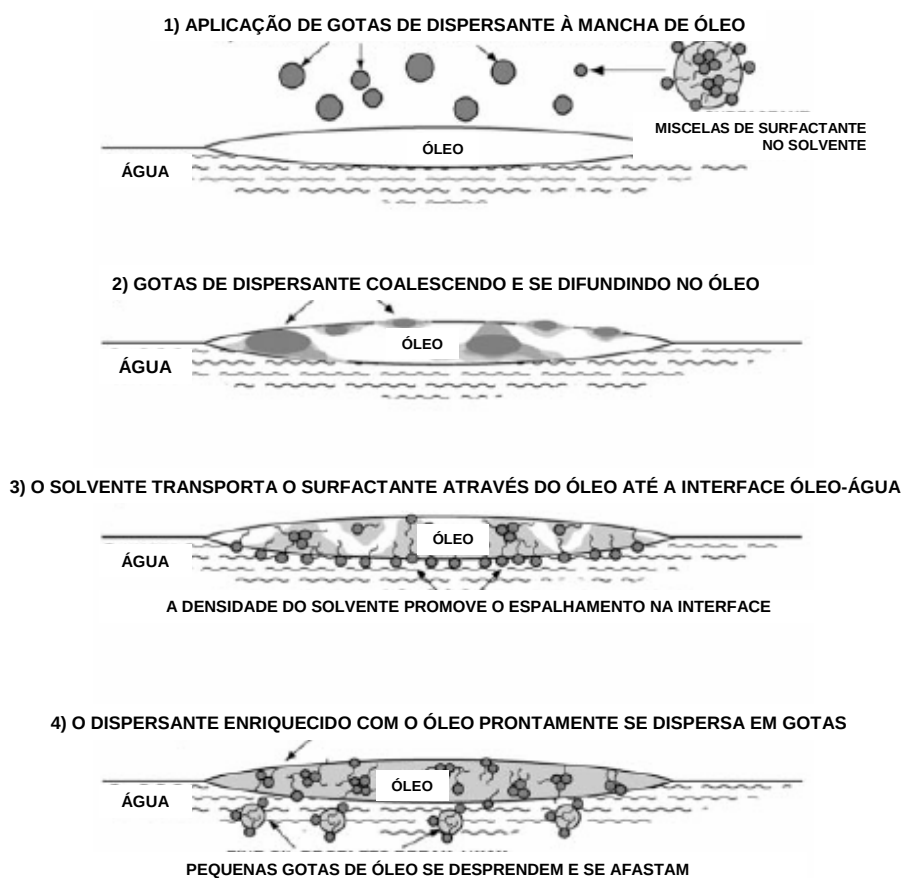
A Resolução Conama 269 (CONAMA, 2000), quando descreve os critérios para aplicação de dispersante químico em derramamentos de óleo no mar, apresenta uma árvore de tomada de decisão que caracteriza bem o processo de definição da estratégia a ser adotada. Onde, a aplicação de dispersante químico é a primeira opção em caso de risco para a vida humana ou perigo de incêndio na instalação e/ou embarcação, só voltando a ser a estratégia preferencial de resposta se as condições ambientais não favorecerem a contenção e o recolhimento e a mancha estiver se deslocando para área ambientalmente sensível.

O uso de dispersantes químicos em derramamento de óleo no mar tem sido uma saída sempre controversa, e tópico de muito debate entre ‘respondedores’, cientistas, o público, a mídia e grupos de interesse ambiental. O dispersante não elimina o problema de um derramamento de óleo, mas é utilizado como forma de reduzir o impacto ambiental global de uma película de óleo no mar (AMSA, 2005). Em geral, dado que o óleo continua relativamente fluido, ele pode ser dispersável (*Dr. Karen Purnell, 2003 apud ITOPF, 2006*).

Dispersantes Químicos

Dispersantes são formulações químicas com um ingrediente ativo chamado surfactante. Surfactantes são produtos químicos, especificamente desenvolvidos, com grupos hidrofílicos e oleofílicos em sua composição, com o objetivo de reduzir a tensão interfacial óleo-água e auxiliar na criação de gotículas de óleo. Essas gotículas, que aumentam a superfície de óleo exposta à água, se entranham na coluna d’água, facilitando a decomposição biológica natural (biodegradação) e a dispersão (AMSA, 2005).

Na Figura 11 é possível visualizar como se processa o mecanismo de dispersão química. Em (1) observam-se as gotas de dispersante sendo aplicadas à mancha de óleo, com mistelas do elemento superfície-ativo (surfactante) aderidas ao composto solvente; em (2) gotas de dispersante coalescendo e se difundindo no óleo; em (3) o solvente distribui o surfactante através do óleo até a interface óleo-água e a densidade do solvente promove o espalhamento do surfactante na interface; e em (4) o dispersante impregnado com óleo rapidamente se distribui em gotas, culminando com o desprendimento de pequenas gotas de óleo.



Fonte: Adaptado de <http://www.iupac.org>

Figura 11 – Mecanismo Detalhado de Dispersão Química

Na Figura 12 observa-se o resultado de um teste simplificado de diferentes composições dispersantes num óleo cru. Da esquerda para a direita: três surfactantes utilizados isoladamente, uma mistura dos três, um produto comercial e uma referência sem adição de surfactante.



Fonte: <http://www.unis.no>

Figura 12 – Diferentes Composições Dispersantes num Óleo Cru

Condições Ambientais e Parâmetros de Aplicação

Em alguns casos, o uso de dispersante pode ser o único método de resposta praticável. Por exemplo, para estado do mar acima de Força 3 na escala *Beaufort* (i.e. ventos acima de 10 nós e altura de ondas acima de 1-2 metros), a contenção e recolhimento mecânicos tornam-se muito difíceis. O limite para tratamento efetivo com dispersante é considerado estado do mar com Força 7 na escala *Beaufort* (i.e. 30-35 nós para velocidade do vento e 6-8 metros para altura de ondas).

A taxa de aplicação se refere à quantidade ou volume de dispersante aplicado por unidade de tempo (litros/min) ou por unidade de área (m^3/ha), enquanto dosagem de aplicação se refere à proporção existente entre a quantidade total de dispersante a ser

utilizada em relação ao volume de óleo derramado, por exemplo: (1:50), (1:20), (1:10). A taxa necessária para atingir uma proporção de tratamento ou dosagem pretendida é função da espessura da mancha de óleo. Uma espessura média da área da mancha de óleo a ser tratada com dispersante assumida tipicamente é 0,1 – 0,2mm (*IUPAC*, 1999).

Para ilustrar a relação da taxa de aplicação, segundo a Resolução Conama 269 (CONAMA, 2000), para uma mancha com uma espessura estimada em 0,2mm, que representa um volume de aproximadamente 2m³/ha, será necessária uma taxa de aplicação de 100litros/ha, se for utilizado um dispersante concentrado numa dosagem de (1:20). Embora esta seja uma dosagem freqüentemente adotada para dispersantes modernos, deve-se destacar que óleos crus de baixa viscosidade recém derramados podem ser efetivamente dispersos com menores dosagens.

Na prática sabe-se que a espessura pode variar amplamente, desde alguns milímetros até alguns centímetros, e que áreas mais espessas, por exemplo, de emulsão, geralmente precisam ser tratadas com múltiplas aplicações para atingir a dosagem apropriada (*IUPAC*, 1999).

Formas de Aplicação de Dispersante Químico

Dispersantes podem ser aplicados em corpos d'água por uma variedade de métodos. Em geral, embarcações de serviço são mais adequadas para tratar pequenos derramamentos em portos ou águas confinadas. Aeronaves pequenas mono-motor e helicópteros são adequados para tratar derramamentos de médio porte e áreas próximas à costa. Aviões grandes de múltiplos motores são mais bem equipados para lidar com grandes derramamentos em mar aberto. Independente do método usado ele tem que permitir a aplicação do dispersante de maneira eficaz. No sentido de minimizar perdas transportadas pelo vento, um modelo uniforme de pulverização de grandes gotas, “chuva-de-gotas”, é preferido em lugar de uma névoa ou neblina (*ITOPF*, 2006).

Aplicação por Embarcações

Os braços do spray da embarcação devem ser tão longos quanto possível, dependendo da resistência do material utilizado na fabricação ou da complexidade da estrutura requerida para sustentação. Embarcações maiores podem ter braços individuais de até 12 metros (produzindo um spray com cobertura total de cerca de 30 metros). Barcos menores têm braços de comprimentos menores, de 5 ou 6 metros (*IUPAC*, 1999). Na Figura 13 (A), à esquerda, um braço móvel para aplicação de dispersante, e à direita, uma aplicação por um grupo de embarcações. Na Figura 13 (B), uma representação de dispositivo auxiliar para agitação do óleo tratado (pranchas de madeira).

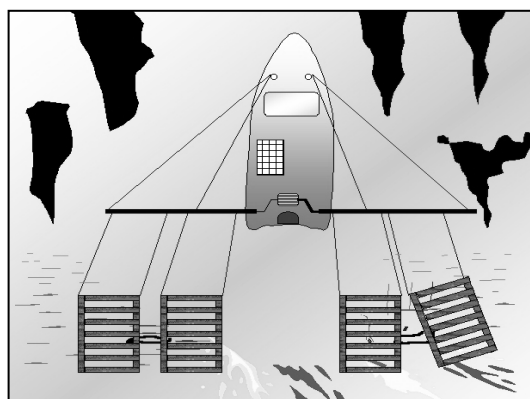


Fonte: <http://www.itopf.com>



Fonte: www.ipieca.org

Figura 13 (A) – Operação de Dispersão Química Utilizando Embarcações



Fonte: CONAMA, (2000)

Figura 13 (B) – Dispositivo para Agitação da Mancha na Dispersão Química

Aplicação por Helicópteros

Helicópteros são unidades de aplicação de dispersantes para derramamentos menores de óleo, são facilmente equipáveis com dispositivos de aplicação de dispersante e dispensam unidades dedicadas exclusivamente a este fim. O tamanho dos reservatórios depende da capacidade de carga do helicóptero disponível. Os tipos menores, MBB-105, podem carregar aproximadamente uma tonelada de dispersante, enquanto helicópteros maiores, *Sikorsky S-61-N* e *AS Puma*, podem carregar quase três toneladas. Na Figura 14 observa-se (A) uma operação de aplicação de dispersante com helicóptero de grande porte, e (B) uma operação de recarga com dispersante.



Fonte: *Daling et al. (2002)*



Fonte: *Daling et al. (2002)*

Figura 14 (A) – Operação de Dispersão Química utilizando Helicóptero (*Sikorsky S-61*)



Fonte: *Daling et al. (2002)*

Figura 14 (B) – Operação de Recarga de Helicóptero com Dispersante

Aplicação por Aviões

A aplicação de dispersante por aeronave de asas fixas requer aviões robustos, relativamente lentos e com boa autonomia. Com essas características, os mais utilizados são o Hercules C-130 e os DC-3, DC-4 e DC-6. Apenas dispersantes concentrados modernos podem ser aplicados por aviões. Durante a aplicação de dispersante o avião deve voar tão baixo e tão devagar quanto possível, respeitando as normas de segurança. Os parâmetros precisos de aplicação diferem com o tipo de avião. Aviões maiores tipo o Hercules voam normalmente a um mínimo de 50-100 pés e a 140 nós. Aviões MPCU's DC-3 voaram a 15-30 pés de altitude e a uma velocidade de 100 nós durante uma operação de dispersão de óleo. A largura do *spray* que é depositado sobre o óleo tem geralmente de 1,2 – 2,0 vezes a largura dos braços no avião. Os braços do spray podem estar nas asas ou na cauda do avião (IUPAC, 1999).

Na Figura 15 podem ser vistas fotografias de aplicação de dispersante químico por aeronaves de grande porte. À esquerda, uma aeronave do tipo Hercules C-130, e à direita, uma aeronave do tipo DC-3.



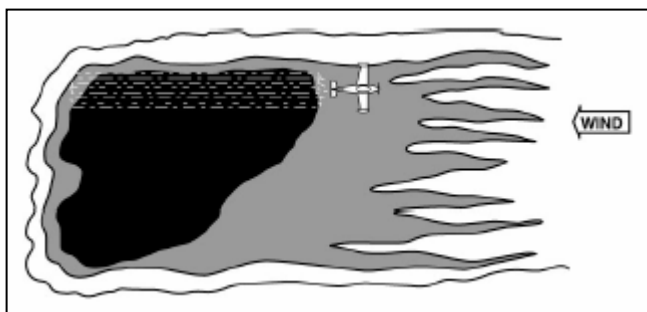
Fonte: www.iupac.org



Fonte: www.iupac.org

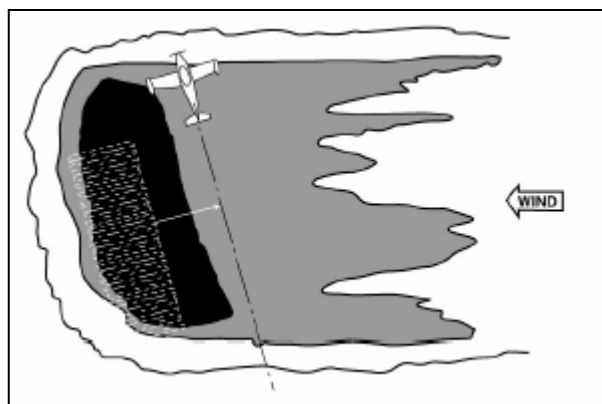
Figura 15 – Aplicação de Dispersante por Aeronaves de Grande Porte

A seguir, na Figura 16 tem-se uma representação esquemática da aplicação de dispersante químico por aeronave na área espessa da mancha, em (A) na direção do vento (em Sentido Oposto), e em (B) cruzando o vento.



Fonte: www.iupac.org

Figura 16 (A) - Aplicação de Dispersante na Área Espessa da Mancha na Direção do Vento



Fonte: www.iupac.org

Figura 16 (B) - Aplicação de Dispersante na Área Espessa da Mancha Cruzando o Vento

A modelagem de utilização da dispersão combinada (mecânica e química) de óleo no mar como utilizada neste estudo está descrita no item 5.2.2.2.

3.3.5 Respostas Químicas Não-Dispersantes

Em (Walkert *et al.*, 1999) têm-se uma descrição da utilização de produtos químicos alternativos ao dispersante, contemplando a definição, o mecanismo de atuação, a efetividade do produto e considerações ambientais, lembrando que medidas de controle químico (ou agentes de tratamento) são substâncias químicas que são adicionadas ao óleo derramado para modificar suas propriedades físicas ou químicas, de tal forma que o óleo seja mais facilmente controlado da maneira desejada. Os tipos apresentados incluem: agentes aglutinantes, desemulsificantes, solidificantes, modificadores de elasticidade, e para limpeza de linha de costa.

Este mesmo estudo resume o potencial de uso dessas substâncias durante a resposta a um derramamento de óleo no mar e ilustra os tipos de óleo que se espera respondam bem ao tratamento pelos diferentes produtos. Os produtos apresentam potencial distinto para uso em certas situações, tratando estrategicamente porções de um grande derramamento, ou derramamentos menores sozinhos, ou em combinação com outras medidas de controle. Por exemplo, agentes inibidores de emulsão estendendo a janela de oportunidade para utilização de dispersantes, queima-no-local ou recolhimento mecânico do óleo derramado.

Na seqüência, será apresentada a queima-no-local, como técnica alternativa no combate a manchas de óleo na superfície do mar, não utilizada no Brasil, salvo melhor entendimento pelos órgãos reguladores a cerca de seus benefícios em determinadas situações, e em seguida, serão apresentadas outras duas técnicas, que apesar de não se tratar de estratégias de combate à mancha de óleo na superfície do mar, são passíveis de utilização na proteção e limpeza de linhas de costa ou de outras áreas ambientalmente sensíveis, em decorrência de um eventual derramamento de óleo no mar, principalmente quando a opção de resposta utilizada, por uma razão ou outra, não se mostrar de todo eficiente para impedir que a mancha, ou parte dela, se aproxime ou venha a atingir áreas sensíveis.

3.3.6 Queima no Local

A queima-no-local, nome dado ao processo de queima da mancha de óleo no mar, no local ou próximo ao local de um derramamento, pode ser vista como um método simples, que tem o potencial de remover grandes quantidades de óleo da superfície do mar, mas na realidade, existe uma série de problemas que limitam a viabilidade desta técnica de resposta, incluindo a ignição do óleo, a manutenção da combustão da mancha, a geração de grande quantidade de fumaça, a geração e a possibilidade de afundamento de resíduo extremamente denso e viscoso, além de questões de segurança (ITOPF, 2006).

Para se queimar óleo na água, são necessárias quatro condições principais: (1) A camada de óleo deve ser espessa o bastante (>1 ou 2mm) para não perder muito calor para a água; (2) O dispositivo de ignição utilizado deve ser quente o bastante e durar o suficiente para provocar a ignição do óleo; (3) A parcela de água emulsionada no óleo não pode ser superior a 30 – 50%; (4) Para usar as barreiras flutuantes normalmente disponíveis (*fire-boom*), a velocidade do vento deve estar abaixo de 20nós ($\sim 10\text{m/s}$) e a altura de ondas deve ser menor que 3pés ($\sim 1\text{m}$). Na Figura 17 observam-se, à esquerda, o processo de ignição aérea, e à direita, uma queima-no-local (*In-situ-burning*), de uma mancha de óleo próximo ao local do incidente.



Fonte: www.itopf.com



Fonte: www.itopf.com

Figura 17 – Operação de Queima do Óleo no Local

3.3.7 Proteção e Limpeza de Linhas de Costa

Para a proteção de linhas de costa se utilizam barreiras flutuantes (*sea fence* ou *shore fence*), além de materiais absorventes em diferentes apresentações (barreiras, mantas, granulados, etc), com o intuito de se evitar o toque da mancha na linha de costa, ou mesmo, de impedir o retorno do óleo para o mar após a saturação da linha de costa ou durante operações de lavagem de costas rochosas. Materiais absorventes também podem ser utilizados na limpeza de manguezais e áreas alagadas onde outras técnicas são impraticáveis ou imprudentes. Na Figura 18, vê-se a utilização de barreiras absorventes em série, durante uma operação de lavagem de costa rochosa.



Fonte: www.itopf.com

Figura 18 – Utilização de Barreiras Absorventes em Série

Dadas as dificuldades de limpeza de óleo do mar, muitos derramamentos resultam em contaminação de linhas de costa. O óleo que atinge a costa geralmente tem o maior impacto ambiental e econômico. Ele também determina, na maioria das vezes, a percepção pública e política da escala do incidente, bem como os custos. É importante que se inicie prontamente a remoção do óleo das linhas de costa contaminadas, porque à medida que o tempo passa e o óleo se intemperiza, ele irá se prender mais e mais firmemente às rochas e costões, e pode se misturar aos sedimentos.

Os primeiros esforços de limpeza são dirigidos para áreas com maior concentração de óleo fluido, uma vez que este pode se mover sob influência de vento, maré e correntes, extendendo a contaminação. Na Figura 19, observa-se uma operação de recolhimento de óleo ainda fluido, acumulado entre as pedras, intensiva em mão-de-obra necessária.



Fonte: www.itopf.com

Figura 19 – Operação de Recolhimento de Óleo ainda Fluido

A maioria do óleo acumulado sobre praias de areia compacta pode ser removida, utilizando uma combinação de equipes organizadas de trabalhadores manuais, assistidos por equipamentos mecânicos para transporte dos resíduos. Deve-se cuidar para não se remover quantidades excessivas de areia ou impregnar de óleo camadas mais profundas do substrato, e para tanto, o recolhimento manual do óleo é preferível em lugar de se tentar a remoção mecânica. Na Figura 20 observam-se duas operações em linha de praia, à esquerda, limpeza manual e, à direita, limpeza mecânica.



Fonte: www.itopf.com



Fonte: www.itopf.com

Figura 20 – Operações de Limpeza de Linha de Praia

3.3.8 Biorremediação

O óleo, como muitas substâncias naturais, se biodegrada após um período de tempo em componentes mais simples: dióxido de carbono, água e biomassa. Biorremediação é o termo utilizado para descrever uma gama de processos que podem ser usados para acelerar a biodegradação natural. Mais especificamente bioestimulação é a aplicação de nutrientes, e bioaugmentação ou semeadura é a adição de micróbios especialmente selecionados para degradar óleo.

Bioestimulação – Biodegradação ocorre como um resultado da oxidação de certos componentes do óleo derramado por micróbios, tais como: bactérias, fungos, algas unicelulares e protozoários. A taxa na qual este processo natural ocorre é limitada por diversos fatores, incluindo a temperatura e o nível de micróbios, nutrientes e oxigênio, presentes no ambiente próximo. Outros fatores, tais como a composição química e o grau de intemperização do óleo derramado também são importantes. Para atuar de forma eficaz, os micróbios precisam de nível suficiente de carbono, nitrogênio e fósforo. A Bioestimulação pela aplicação de fertilizantes pode ser utilizada para ajustar o balanço na proporção C:N:P e acentuar a taxa de degradação pela comunidade microbiológica de ocorrência natural.

Bioaugmentação – Alguns produtos disponíveis comercialmente combinam micróbios degradadores de óleo coletados em diferentes regiões do mundo com suplementos nutrientes. A sua aplicação no local de um derramamento pode resultar na introdução de espécies estranhas despertando interesse sobre o seu potencial de impacto. Contudo, na maioria dos casos é provável que as espécies introduzidas não irão competir efetivamente com as espécies de ocorrência natural.

Limitações da Biorremediação – Embora a idéia da biorremediação seja atraente, o seu uso na prática é restrito. Em particular, biorremediação não pode ser utilizada no óleo na superfície do mar, uma vez que quaisquer materiais adicionados são passíveis de serem rapidamente diluídos e perdidos da mancha. Embora a biorremediação possa

melhorar a taxa de degradação de manchas flutuantes o processo ainda é muito lento para prevenir que a grande maioria do óleo atinja a linha de costa.

Embora a biorremediação seja uma ferramenta útil, certamente ela não é uma solução incondicional. Frequentemente, a concentração de óleo residual remanescente após uma significativa biodegradação, i.e. o 'estágio final', será o mesmo se nutrientes ou micróbios forem adicionados ou não. Com a diferença que o 'estágio final' pode ser atingido mais rapidamente. Ainda que a escala de tempo para biorremediação é da ordem de meses.

Na Figura 21, apresentam-se exemplos de áreas contaminadas com óleo, e potencialmente tratáveis por biorremediação. À esquerda, uma costa rochosa, ao centro, um manguezal e à direita, uma floresta costeira.



Fonte: www.itopf.com



Fonte: www.itopf.com



Fonte: www.itopf.com

Figura 21 – Exemplos de Áreas Passíveis de Tratamento por Biorremediação

3.4 PARÂMETROS RELACIONADOS À EFICIÊNCIA DE RESPOSTA

3.4.1 Tempo de Chegada e Início das Operações (ETA)

Uma vez que nem todas as embarcações de resposta são dedicadas ou exclusivas para resposta a emergência, utiliza-se o parâmetro ETA (*Estimated Time of Arrival*), como uma estimativa de tempo para chegada a um local em situação de emergência, para verificação da real disponibilidade de cada embarcação para atender a uma convocação de emergência. As embarcações, principalmente as de apoio, podem também ser utilizadas para atividades diversas, em tempos de normalidade: viagens de suprimentos para plataformas, de desembarque de resíduos, de auxílio a operações especializadas, etc.

De forma que, para o dimensionamento da estrutura disponível para resposta a um eventual derramamento de óleo no mar, tomam-se os tempos totais previstos para que essas embarcações possam se desvencilhar das atividades em que se encontrem envolvidas ou simplesmente se desloquem até coordenadas determinadas pelo local do incidente. Chegando ao local designado pela coordenação, essas embarcações então, se engajam na estrutura de resposta, dando início a sua participação nas operações.

Esforço de Mobilização

Considera-se neste estudo como esforço de mobilização, o empenho necessário para a disponibilização de uma dada estrutura de resposta de menor ou maior porte, baseado no número de embarcações e na quantidade de equipamentos mobilizados, bem como, no tempo previsto de chegada, que determina o regime de dedicação desta estrutura, semi dedicada ou exclusivamente dedicada à resposta a emergências. Na medida em que aumenta a estrutura a ser utilizada e diminuem os tempos disponíveis para a mobilização, a logística torna-se mais complexa e os custos envolvidos são maiores, aumentando assim o que se chama aqui de esforço de mobilização necessário para a montagem de certo cenário de resposta.

3.4.2 Janelas de Oportunidade

As janelas de oportunidade, ou períodos de tempo hábil e parâmetros limite para eficiência das estratégias de contenção e recolhimento, ou de dispersão artificial do óleo derramado, podem ser analisadas sob dois aspectos: técnico e legal. Do ponto de vista técnico, atenção igual deve ser dada a questões relacionadas à intemperização - ou envelhecimento - do óleo derramado e às condições ambientais do momento do incidente. Do ponto de vista da legislação aplicável, a que trata de forma específica o assunto é a Resolução Conama 293 (CONAMA, 2001), definindo tempos máximos para chegada gradativa da estrutura de resposta.

Janelas Técnicas

A idéia de se estabelecer janelas-de-oportunidade pode ser mais bem expressa por definir a efetividade e limitações para os equipamentos e métodos de resposta existentes. Em geral, estratégias de resposta a derramamento de óleo no mar devem focar caminhos que sejam rápidos, eficientes e econômicos, incluindo nenhuma ação exceto monitoramento se o derramamento é afastado o bastante da costa e considerado ter limitado impacto ambiental. A opção pela resposta de não-atuação pode resultar na perda da janela-de-oportunidade para ações posteriormente necessárias. É provável que as janelas se modifiquem nos anos por vir, à medida que novos conhecimentos, dados de comportamento e intemperização do óleo, técnicas de resposta e produtos sejam desenvolvidos e melhorados (Nordvik, 1995).

A oportunidade para uso ótimo de métodos primários de resposta e equipamentos associados, governada pelas propriedades do óleo intemperizado, varia com as condições ambientais, tipo de óleo e grau e taxa de mudança nas propriedades do óleo. Os dois processos dominantes que causam mudanças na densidade, viscosidade, ponto de fluidez e ponto de ignição do óleo são a evaporação e a emulsificação, as quais irão aumentar significativamente a viscosidade do óleo derramado (Nordvik, 1995).

As janelas-de-oportunidade para resposta a derramamentos de óleo no mar são descritas por (Nordvik, 1995), lembrando que existem dois tipos diferentes de variável para o uso de métodos e tecnologias de resposta por limpeza mecânica. O primeiro estando relacionado às mudanças nas propriedades do óleo (intemperização) e o segundo estando relacionado às condições ambientais/operacionais devido a limitações na manobrabilidade, operacionalidade e capacidade dos recursos, dos técnicos e dos equipamentos. Ambas variáveis dependem de fatores ambientais tais como velocidade do vento, correntes, visibilidade, estado do mar e temperaturas do mar e do ar. Além do que, a limitação de horas de luz do dia também restringe o uso de recursos de limpeza.

O uso de tecnologias de sensoriamento remoto para localizar o óleo e identificar espessuras relativas pelo uso de Radar Aéreo de Visada Lateral (*SLAR – Side Looking Airborne Radar*), detectores infra-vermelho e ultravioleta (IR / UV) e vídeo câmeras irá incrementar as capacidades de recolhimento, reduzir impactos ambientais e maximizar o uso efetivo de uma dada janela-de-oportunidade (Nordvik, 1995).

Janelas Legais

A regulamentação das operações de resposta a derramamentos de óleo no mar na Resolução Conama 269 (CONAMA, 2000), considera a utilização de agentes químicos para promover a dispersão da mancha em situações críticas, e sempre que as características do óleo, o volume derramado e as condições ambientais permitirem, a utilização da alternativa de contenção e recolhimento do óleo derramado. Atualmente, os PEI's elaborados com base na Resolução Conama 293 (CONAMA, 2001), prevêm como resposta à 'descargas pequenas', até 08m³ em mar aberto, a utilização da dispersão mecânica do óleo eventualmente derramado.

Os parâmetros da Resolução Conama 293 (CONAMA, 2001) para resposta de nível (1, 2 e 3) a descargas grandes, correspondem aos tempos de chegada de (12, 36 e 60h), e prevêm uma capacidade efetiva diária de recolhimento de óleo de (1.600, 3.200 e 6.400m³), tendo como base de cálculo da estrutura correspondente, a expressão:

$$\text{CEDRO} = 24\text{h} \times \text{Capacidade Nominal} \times 20\%,$$

onde a capacidade nominal é a especificada pelo fabricante do equipamento e está relacionada a sua capacidade total de bombeio, e 20% é o fator de eficiência adotado considerando tempos de operação e de interrupção da operação dentro das 24h do dia.

Na Tabela 4 tem-se um resumo desses parâmetros, onde a CEDRO está relacionada à capacidade efetiva diária de recolhimento de óleo, e o ETA, de *Estimated Time of Arrival*, corresponde ao tempo estimado de chegada da resposta.

Tabela 4
Capacidades Legais de Recolhimento de Óleo - Descargas Grandes

ETA	Capacidade de Recolhimento por Tempo de Chegada (m ³ /dia)	CEDRO (m ³)	Número de Formações Necessárias c/ <i>skimmers</i> de 200m ³ /h
12h	1.600 (12h)	1.600	02 Formações
36h	1.600 (12h) + 1.600 (36h)	3.200	04 Formações
60h	1.600 (12h) + 1.600 (36h) + 3.200 (60h)	6.400	07 Formações

Fonte: (CONAMA, 2001)

Vale ressaltar que a relação (volume de óleo / volume total de óleo + água bombeados) que deveria considerar fatores do tipo viscosidade do óleo e diferentes condições ambientais, se não estiverem embutidos no coeficiente da expressão de cálculo da CEDRO (20%), como não aparecem explicitamente, não leva em conta essas variáveis.

3.4.3 Benefício Ambiental Líquido

Análise de Benefício Ambiental Líquido (NEBA)

Segundo *Baker & Lunel* (2000), uma vez que óleo foi derramado, decisões urgentes precisam ser tomadas sobre as opções disponíveis para limpeza, tal que os impactos ambientais e socioeconômicos sejam mantidos no mínimo. Conseguir o balanço correto é sempre um processo difícil, e inevitavelmente surgem conflitos, que precisam ser resolvidos da melhor maneira praticável. As vantagens e desvantagens de diferentes respostas precisam ser pesadas e comparadas, umas com as outras, e com as vantagens e desvantagens da limpeza natural, um processo algumas vezes conhecido como *Net Environmental Benefit Analysis* (NEBA).

Ainda do mesmo trabalho (*Baker & Lunel*, 2000), observa-se que este processo requer levar em conta as circunstâncias do derramamento, a praticabilidade da resposta por limpeza, o entendimento científico do impacto relativo do óleo e as opções de limpeza, e algum tipo de análise de valor da importância relativa dos fatores sociais, econômicos e ambientais. O senso comum e a formação de consenso são tão importantes nesta tomada de decisão quanto a informação científica quantificável. As decisões são melhores e mais rapidamente tomadas se o planejamento da contingência incluiu revisões da informação ambiental e socioeconômica, consultas e entendimentos por todas as organizações apropriadas.

Implicações Ambientais de Derramamento de Óleo no Mar

Segundo o *ITOPF Handbook – 2004/2005* (ITOPF, 2005), derramamentos de óleo no mar podem causar sérios danos aos recursos naturais e àqueles cuja sobrevivência dependa destes recursos. Esses efeitos normalmente são temporários e localizados, embora a natureza e a duração de qualquer impacto dependa de uma série de fatores. Estes incluem o tipo e a quantidade de óleo e seu comportamento uma vez derramado, as características físicas da área afetada, as condições do tempo e a estação do ano, o

tipo e a efetividade da resposta para limpeza, além das características econômicas e biológicas da área e sua sensibilidade à poluição.

Expectativas não realistas sobre o que pode ser feito em termos de ações de limpeza no mar ainda predominam entre os não-especialistas. Administradores de governos locais e centrais, políticos que se envolvem com a resposta ao derramamento, a mídia e o público em geral não compartilham das reais possibilidades de uma operação de resposta. No caso de limpeza de linhas de costa contaminadas por óleo pesado, a estratégia adotada deve levar em conta as características do óleo em particular, uma vez que, a baixa taxa de degradação de óleo residual que for deixado para se decompor naturalmente, apesar de ser a escolha ambientalmente preferida, pode dar a impressão de que o problema esteja sendo ignorado (*ITOPF*, 2006).

Na realidade, a complexidade do ambiente marinho implica que existam limites significativos para a extensão na qual danos ecológicos possam ser reparados por meios artificiais. Tentar restabelecer meticulosamente um local danificado, na maioria das vezes é impossível e não razoável, especialmente se a cobertura natural foi danificada. Além disso, deve-se observar que uma excessiva intervenção humana, por exemplo, para tentar remover até a última gota de óleo, ou para tentar reconstruir o ambiente pode muitas vezes por si só ser destrutivo e impedidor da recuperação natural.

Contribuição da Estratégia

Entende-se aqui como contribuição da estratégia de resposta, a capacidade relativa de interceptação da mancha de óleo quando se propaga na direção de uma região ambientalmente sensível. Seja pela contenção e posterior recolhimento, ou pela promoção da dispersão artificial do óleo derramado, quando se avalia o percentual de óleo interceptado em relação ao volume originalmente derramado, tem-se uma quantificação da contribuição daquela estratégia.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A resposta a derramamentos de óleo atingiu a maturidade em diversas partes do mundo, com o desenvolvimento de modelos computacionais sofisticados (*McCay et al.*, 2004 e *Reed et al.*, 2004), a realização de ensaios de intemperização dos óleos (*Daling & Strom*, 1999), a implantação de centros internacionais de resposta à emergência (*IMO*, 2005), a disponibilidade de uma gama de equipamentos e produtos com diferentes características (*ITOPF*, 1999) e a realização de exercícios simulados cada vez mais elaborados (*Daling et al.*, 2002). É claro também, que a pronta utilização de uma estrutura especializada tem o seu custo, assim como a sua não utilização tem as suas conseqüências, e é o equilíbrio entre ambos que determina a resposta a ser dada em cada situação (*Reed et al.*, 1995).

4.1 PANORAMAS MUNDIAL E NACIONAL

Como exemplo de estudos realizados em outros países, *Reed et al.* (1995) fazem uma análise quantitativa de estratégias alternativas de resposta, com a aplicação de um modelo de comportamento físico e químico e destinação do óleo derramado, acoplado a um modelo de ações de resposta. No estudo, são comparados resultados para diferentes cenários: desde a não-resposta até a resposta mecânica (recolhimento) após 01h, 03h e 10h, visando gerar subsídios para uma maior eficiência no gerenciamento de operações de combate a derramamento de óleo no mar da Noruega.

Estudos mais recentes, *McCay et al.* (2004) e *Reed et al.* (2004), descrevem aplicações de modelagem computacional (*San Francisco Bay*, Califórnia e *Matagorda Bay*, Texas), para avaliação de plumas provenientes de derramamento de óleo no mar, considerando um fracionamento do óleo em pseudo-componentes e um comportamento diferenciado associado a cada fração. Nestas aplicações, procede-se também a uma avaliação probabilística dos impactos ambientais decorrentes. Têm-se assim, uma demonstração do atual 'estado-da-arte' na modelagem computacional de derramamentos de óleo.

Em *ITOPF* (1999) observa-se que a resposta efetiva a um derramamento de óleo no mar pode requerer a mobilização até de recursos internacionais, para complementar aqueles disponíveis no local ou no país (agências do governo, companhias de óleo, cooperativas de combate a derramamento de óleo, empresas de limpeza, etc). Reconhecendo esta necessidade, grupos de companhias de óleo têm estabelecido ao longo dos anos um número de Centros de Resposta estrategicamente localizados para uso em certas regiões do mundo, ou mundialmente. De acordo com o conceito de resposta por magnitudes de derrame em potencial (*Tier* 1, 2 e 3, para respostas locais, regionais / nacionais e internacionais), esses centros são geralmente conhecidos por Centros Internacionais *Tier* 3, ou seja, consórcios internacionais, para responder de forma cooperativa ou de prestação de serviços, a eventos que não poderiam ser enfrentados por empresas estruturadas isoladamente para atender até o *Tier* 2.

O estabelecimento dos Centros Internacionais *Tier* 3 está consistente com os princípios da Convenção Internacional sobre Preparo, Resposta e Cooperação em Caso de Poluição por Óleo, assinada em Londres, Reino Unido em 1990 (*OPRC/90 apud IMO*, 2005), que reconhece a importância da cooperação entre entidades públicas e privadas no provimento de experiência e recursos para responder a derramamentos de óleo. Os Centros Internacionais *Tier* 3 atualmente existentes são custeados e operados pela indústria do óleo:

- *Australian Marine Oil Spill Centre* (AMOSC), Geelong, Austrália;
- *Clean Caribbean and America* (CCA, ex-CCC), Ft. Lauderdale, Flórida, EUA;
- *East Asia Response Limited* (EARL), Cingapura, Cingapura;
- *Fast Oil Spill Team* (FOST), Marselha, França;
- *Oil Spill Response Limited* (OSRL), Southampton, Reino Unido;
- *Petroleum Association of Japan* (PAJ), Tokyo, Japão.

Todos esses centros mantêm um conjunto de equipamentos em uma única localização, que os capacita para atuarem no recolhimento *offshore*, na proteção costeira e recolhimento, e na limpeza de praia, além de permitirem um rápido embarque e

transporte aéreo para atendimento em outras regiões. Os Centros provêm programas de treinamento consistentes com o direcionamento da indústria de óleo internacional, para o planejamento de contingência e resposta a derramamentos de óleo.

Por outro lado, é importante também que se conheça de antemão as características do óleo quando exposto às intempéries. Pesquisadores do *Sintef - Applied Chemistry*, na Noruega (*Daling & Strom*, 1999) registram que: “O conhecimento prévio do provável comportamento e intemperização de um óleo cru derramado, e a análise de cenários, pré-derramamento, da factibilidade e efetividade de diferentes estratégias de resposta, para o óleo real sob várias condições ambientais, deveriam, portanto, ser uma parte essencial de qualquer planejamento de contingência a derramamento de óleo para otimizar o ‘Benefício Ambiental Líquido’ global de uma operação de combate”.

No Brasil, caracterizam-se em diferentes regiões todas as fases da indústria do petróleo, desde a exploração e produção (*upstream*) até o transporte, refino e distribuição (*downstream*). Cada fase com os seus riscos associados, com maior ou menor probabilidade de ocorrência, podendo eventualmente resultar num derramamento de óleo cru ou de seus derivados. No país, respostas de nível 1 (*Tier 1*) são dadas por empresas individualmente, utilizando recursos disponíveis no próprio local (Plano de Emergência Individual - PEI), dimensionados em função dos diferentes cenários acidentais identificados nas análises prévias de risco.

Em regiões costeiras brasileiras, registram-se a operacionalização de Planos de Auxílio Mútuo para a resposta a derramamentos de nível 2 (*Tier 2*), tal como o PROAMMAR - Programa de Auxílio Mútuo dos Terminais Marítimos do Estado do Espírito Santo, o PEBG – Plano de Emergência da Baía de Guanabara, o PAM / Porto de São Sebastião, no estado de São Paulo, ou o PLACODEMAR - Plano de Combate ao Derramamento de Óleo no Mar, no estado do Ceará, além dos Planos Regionais de Contingência, envolvendo na resposta cooperada ao derramamento de óleo no mar, diferentes atores locais e partes interessadas. Ainda no Brasil, para os cenários de nível 3 (*Tier 3*), é previsto o Plano Nacional de Contingência / Emergência, envolvendo o acionamento de

recursos de diferentes regiões do país, e em situações ainda mais críticas, o acionamento de apoio internacional especializado previamente contratado.

No estado do Espírito Santo, existe atualmente uma perspectiva de significativo crescimento da produção de petróleo e gás natural, que se estende pelas próximas décadas. Descobertas anunciadas desde o ano de 2003, colocam o estado como detentor da segunda maior reserva brasileira de petróleo (ANP, 2005), tendo assumido recentemente a segunda posição também na produção, participando de forma significativa na garantia da auto-suficiência sustentável da produção de petróleo no Brasil. Seja como rota de navios tanque, seja como área de exploração e produção, em terra e no mar, o Espírito Santo participa hoje do cenário nacional e internacional da indústria do petróleo, atuando na fronteira tecnológica mundial.

4.2 REQUISITOS LEGAIS

A *IMO - International Maritime Organization* (IMO, 2005) é uma agência especializada das Nações Unidas, estabelecida por meio de uma Convenção realizada em Genebra no ano de 1948, é responsável por medidas para a segurança e a proteção da navegação internacional, e pela prevenção da poluição marinha por embarcações. Envolve-se também com questões legais, incluindo regras de responsabilidade e compensação e facilitação do tráfego marítimo internacional.

A Convenção *MARPOL* é a principal convenção internacional cobrindo a prevenção da poluição do ambiente marinho por embarcações por causas operacionais ou acidentais. Ela é uma combinação dos dois tratados adotados em 1973 e 1978 e atualizados e emendados através dos anos. Após diversos entendimentos, a partir do incidente com o tanqueiro *Torrey Canyon*, que expôs questões sobre medidas então em vigor para a prevenção da poluição por óleo de embarcações, uma Conferência Internacional da *IMO* adotou a Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Embarcações, através do Protocolo *MARPOL* de 1973. Em 1978, em resposta a uma série de novos acidentes, a *IMO* promoveu uma outra Conferência para a Segurança de

Tanqueiros e Prevenção da Poluição. Esta conferência adotou novo conjunto de medidas relacionadas ao projeto e a operação de tanqueiros, originando assim o Protocolo *MARPOL* de 1978 (IMO, 2005).

Com relação à convenção *SOLAS* (IMO, 2005), a primeira versão foi adotada em 1914 em resposta ao acidente com o *Titanic*, a segunda em 1929, a terceira em 1948 e a quarta em 1960. Uma versão completamente nova foi adotada em 1974, incluindo uma sistemática de revisões futuras. Como resultado, a Convenção de 1974 tem sido atualizada e emendada em numerosas ocasiões. A convenção hoje em vigor é muitas vezes referenciada como ‘*SOLAS*, 1974, como emendada’.

No Brasil, uma contribuição importante para a ordenação das questões ambientais é a publicação da lei nº 6.938 (BRASIL, 1981) de 31 de agosto de 1981 (revisão de 12 de abril de 1990), que com fundamento nos incisos VI e VII do ART 23 e no ART 235 da Constituição Federal, estabeleceu a Política Nacional do Meio Ambiente, constituiu o Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, criou o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA e instituiu o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental.

A publicação da lei nº 9.605 (BRASIL, 1998) em 12 de fevereiro de 1998, Lei de Crimes Ambientais ou Lei da Natureza, alterou o cenário normativo nacional instituindo o crime ambiental, podendo ser, por ele responsabilizado, “..., qualquer pessoa que concorra para a prática dos crimes previstos, bem como o diretor, o administrador, o membro de conselho e de órgão técnico, o auditor, o gerente, o preposto ou mandatário de pessoa jurídica, que por intenção ou omissão o tenha cometido ou deixado de impedi-lo”.

Através do Decreto Nº 2.870, de 10 de dezembro de 1998, o Brasil promulgou a Convenção Internacional sobre Preparo, Resposta e Cooperação em Caso de Poluição por Óleo, assinada em Londres, Reino Unido em 1990 (OPRC/90 apud IMO, 2005), trazendo ao país a obrigatoriedade de estabelecer um Sistema Nacional para responder aos Incidentes de Poluição por Óleo, no qual está incluído um Plano Nacional de

Contingência que deverá contemplar toda a infra-estrutura necessária para responder adequadamente, a essas ocorrências.

A lei 9.966 (BRASIL, 2000) de 28 de abril de 2000 trata das questões relacionadas à poluição por óleo no Brasil. Ela aborda a prevenção, o controle e a inspeção da poluição causada por derramamento de óleo e também por outras substâncias nocivas ou perigosas nas águas sob jurisdição federal. Esta lei estabelece que portos organizados (portos que estejam sob a jurisdição de uma autoridade portuária), instalações portuárias ou terminais, plataformas e suas instalações de apoio devem possuir Plano de Emergência Individual - PEI.

A Resolução CONAMA nº 269 (CONAMA, 2000), de 14 de setembro de 2000, determina que a produção, importação, comercialização e uso de dispersantes químicos para as ações de combate aos derrames de petróleo e seus derivados no mar somente poderão ser efetivados após a obtenção do registro do produto junto ao IBAMA, que estabelecerá os procedimentos e exigências necessários para a obtenção do registro dos dispersantes químicos. Determina ainda, que a utilização de dispersantes químicos em vazamentos, derrames e descargas de petróleo e seus derivados no mar deverá obedecer aos critérios dispostos no Regulamento para Uso de Dispersantes Químicos em Derrames de Óleo no Mar, anexo a mesma Resolução.

A Resolução CONAMA nº 293 (CONAMA, 2001), de 12 de dezembro de 2001, efetivou o Plano de Emergência Individual – PEI, para incidentes relacionados à poluição por óleo, estabelecendo seu conteúdo mínimo, tornando-se então um requisito relevante para o licenciamento ambiental. O Decreto nº 4871, de 06 de novembro de 2003, colocou em vigor o Plano de Área. O Plano Nacional de Contingência está agora sendo implementado (Costa, 2005).

O atendimento à legislação brasileira consiste basicamente da composição de cenários específicos de resposta para descargas pequena, média e grande. Onde, em mar aberto, uma 'descarga pequena' está associada a volumes de até 08m³, uma 'descarga

média' é associada ao intervalo de 08 a 200m³, e uma 'descarga grande' corresponde a uma ampla faixa de volumes passíveis de descarga, iniciando-se em 200m³ e podendo chegar a 500, 1.000, 5.000, 10.000, 20.000m³, ou volumes ainda maiores. Sem se considerar, para efeito de um possível tratamento diferenciado de resposta, por exemplo, as características do óleo eventualmente derramado: se mais, ou menos pesado, ou se mais, ou menos viscoso, se detentor de uma maior ou menor fração de leves, etc. Esta é sem dúvida uma simplificação passível de correção.

Com relação à sensibilidade ambiental de áreas com probabilidade de toque da mancha de óleo na costa do Brasil, segundo MMA (2005) o Ministério do Meio Ambiente lançou em Brasília (DF), o primeiro *Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo* do País, demonstrando um passo importante na proteção do meio ambiente. O levantamento foi elaborado pela Secretaria de Qualidade Ambiental do Ministério do Meio Ambiente, Ibama, Marinha do Brasil, Agência Nacional do Petróleo (ANP) e Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás (IBP), instituições de ensino e pesquisa, órgãos estaduais de meio ambiente, organizações não-governamentais e indústria do petróleo, demonstrando a importância do trabalho conjunto das diferentes partes interessadas.

O mesmo artigo (MMA, 2005) informa também que a elaboração dos Atlas de Sensibilidade é uma responsabilidade do Ministério do Meio Ambiente definida pela Lei 9966/2000. Que a tramitação da chamada *Lei do Óleo* se acelerou no Congresso Nacional com os acidentes na Baía da Guanabara (RJ), em janeiro de 2000, e em Barcarena (PA), em fevereiro do mesmo ano. E que outros passos para a aprovação da lei foram: a quebra do monopólio do petróleo e do gás natural e a criação da ANP. E ainda que, com isso, a exploração e a produção de petróleo no País cresceram, o que teria elevado o risco de acidentes e derrames.

4.3 MODELAGEM COMPUTACIONAL

A praticidade da abordagem pela modelagem computacional reside no fato de que um sistema de modelos pode ser usado para quantificar destinações físicas e efeitos

biológicos resultantes do lançamento de poluentes em ambientes aquáticos para diferentes propósitos. Um modelo computacional pode ser rodado sob uma variedade de cenários para a análise de riscos e o planejamento de contingências. Os resultados de diferentes estratégias de condução das ações podem ser investigados, e os impactos relativos de vários derramamentos podem ser utilizados para direcionar os esforços de resposta. Um sistema de modelos pode ser utilizado ainda para instruir e informar o público sobre impactos potenciais de possíveis derramamentos, e é idealmente adequado para exercícios simulados (ASA, 2005).

É importante observar as considerações feitas por cada modelo e não depositar confiança excessiva nos resultados obtidos. Contudo, eles servem como uma diretriz bastante útil para o entendimento de como é provável que se comporte um óleo em particular e podem auxiliar na avaliação de escala do problema que um derramamento pode gerar (ITOPF, 2006).

4.3.1 Modelos Computacionais Relacionados

Modelos Hidrodinâmicos – Quando se trata de modelos computacionais com aplicação na simulação de comportamento de plumas de óleo derramado no mar, têm-se os modelos hidrodinâmicos, ou seja, modelos que consideram diferentes forçantes ambientais (ventos, correntes, marés, vórtices, etc) e diferentes características geográficas (batimetria, linha de costa, superfície livre, fronteiras abertas, etc), para determinar um campo resultante de velocidades (horizontais e verticais).

Modelos de Transporte e Destinação de Solute – A atuação do campo hidrodinâmico resultante sobre o óleo derramado, bem como os diferentes processos atuantes sobre as propriedades físico-químicas do óleo (evaporação, dispersão, espalhamento, oxidação, emulsificação, etc), em função de sua constituição e das condições ambientais do momento (vento, luz solar, temperatura, etc), são descritos por esta família de modelos também conhecida como, modelos de deriva e transformação. Esses modelos ajudam a entender como evoluem com o tempo as principais

características do óleo (composição química, densidade, viscosidade, ponto de fluidez, ponto de ignição, etc).

Modelos de Estratégias de Resposta e Modelos Tático-Operacionais – Um outro conjunto de modelos computacionais, os de estratégias de resposta, permitem simular a atuação de diferentes frentes operacionais, utilizando diferentes tipos de equipamentos (retenção, recolhimento, dispersão, etc), em diferentes instantes, e como o volume, inicialmente ou continuamente, derramado responde às diferentes estratégias consideradas. Uma classe complementar de modelos, os tático-operacionais, permite considerar ainda os locais de armazenamento e os tempos necessários para mobilização dos diferentes recursos necessários (aeronaves, embarcações, equipamentos / acessórios, materiais e produtos de apoio).

Modelos para Avaliação de Impacto Ambiental – Uma aplicação mais recente de modelos computacionais para resposta a derramamento de óleo no mar é na avaliação de impacto ambiental. Conhecendo-se a previsão de movimentação tridimensional e as concentrações resultantes em cada região da pluma de contaminante, e considerando a disponibilidade de um banco de dados sobre a biota existente no local, sua sazonalidade e sensibilidade ao óleo, além do mapa geográfico de sensibilidade ao óleo no domínio de interesse, é possível avaliar em base probabilística o impacto ambiental resultante, além do benefício ambiental líquido, considerando as diferentes possibilidades de abordagem na resposta ao derramamento.

4.3.2 Alguns Modelos e suas Características Básicas

A seguir, apresenta-se uma breve descrição de modelos computacionais similares ao utilizado neste estudo, dentre eles, um par de 'deriva e transformação' disponível publicamente (*ADIOS* e *GNOME*), o próprio modelo utilizado neste estudo (*OILMAP*), que inclui a possibilidade de simulação bi-dimensional de diferentes estratégias de resposta. Apresentam-se também a sua versão mais sofisticada (*SIMAP*), além de um outro modelo de ponta correspondente (*OSCAR*).

4.3.2.1 ADIOS

Segundo *Lehr et al.* (2002), há vários anos, a Divisão de Resposta a Materiais Perigosos (HAZMAT) da Administração Nacional Atmosférica e Oceânica (NOAA) dos Estados Unidos utiliza e distribui o pacote computacional de *softwares* chamado *ADIOS* (*Automated Data Inquiry for Oil Spills*) para auxiliar ‘respondedores’ na limpeza de derramamentos de óleo. O *ADIOS* prevê as características e os processos de intemperização das manchas de óleo. Com base nos resultados de novas pesquisas e análises desde a primeira versão, foi lançada a principal revisão de atualização e melhorias nos algoritmos prévios, mais a adição de novos módulos para outros processos de intemperização e para estratégias de limpeza de derramamentos. Os processos de intemperização componentes na nova versão, chamada *ADIOS2*, são: espalhamento, evaporação, dispersão, sedimentação e emulsificação. As opções de limpeza do usuário são: dispersantes, queima-no-local e recolhimento.

A Tabela 5 a seguir, lista os processos e propriedades, modelados ou rastreados por ambas as versões do *ADIOS*. Os números entre parênteses se referem ao número da versão do modelo. Toda a seleção de algoritmos utilizados em *ADIOS1* foi re-examinada como parte do projeto de atualização. Três critérios foram utilizados para selecionar as fórmulas apropriadas para a nova versão. Em ordem de importância decrescente, são os seguintes estes critérios: (1) comparação precisa com dados experimentais e observações de derramamentos reais, (2) adequação teórica, e, (3) aceitação como uma fórmula padrão pela comunidade de derramamento. Com base nestas análises, foram modificados todos os algoritmos do *ADIOS1* e foram utilizados novos algoritmos para as propriedades e processos não modelados na versão anterior.

E a Tabela 6 lista parâmetros ambientais e de entrada utilizados pelo modelo. Alguns parâmetros internos do modelo podem ser modificados por usuários experimentados. Termos seguidos por (opc) são opcionais.

Tabela 5
Propriedades e Processos Modelados ou Rastreados no *ADIOS*

Propriedades	Processos
Densidade (1,2)	Dispersão (1,2)
Viscosidade (1,2)	Evaporação (1,2)
Fração de Água (1,2)	Emulsificação (1,2)
Perigo de Benzeno (2)	Espalhamento (1,2)
	Interação com a Linha de Costa (2)
	Queima-no Local (2)
	Taxa de Escape / Vazamento (2)
	Recolhimento (2)
	Pluma de Fumaça (2)

Tabela 6
Parâmetros Ambientais e de Liberação do Derramamento no *ADIOS*

Ambientais	Liberação do Derramamento
Velocidade(s) do Vento	Tempo(s) de Liberação
Direção(ões) do Vento	Nome do Óleo
Incerteza da Velocidade do Vento (opc)	Taxa / Montante do Derramamento
Pista (opc)	Duração da Liberação
Temperatura do Ar	Incerteza do Montante Liberado (opc)
Temperatura da Água	Parâmetros de Escape do Tanque (opc)
Salinidade da Água	Óleo Contido (opc)
Altura(s) de Ondas	... (opc)
Carga de Sedimentos (opc)	
Velocidade da Corrente (opc)	
Direção da Corrente (opc)	

Disponibilidade do modelo por *download* gratuito no endereço eletrônico:

<http://response.restoration.noaa.gov/software/adios/adios.html> (NOAA, 2002 a)

4.3.2.2 GNOME

O *GNOME* (*The General NOAA Oil Modeling Environment*) é um modelo de trajetória de derramamentos de óleo disponível publicamente que simula os movimentos do óleo devido a ventos, correntes, marés e espalhamento. O *GNOME* foi desenvolvido pela Divisão de Resposta a Materiais Perigosos (*HAZMAT*) do Escritório de Resposta e Restauração da Administração Nacional Atmosférica e Oceânica (*NOAA OR&R*) dos Estados Unidos. *HAZMAT* utiliza este modelo durante a resposta a derramamentos para calcular uma “melhor estimativa” de trajetória de um derramamento e a incerteza associada naquela trajetória.

O *GNOME* é um modelo de trajetória que pode: (1) Estimar a trajetória de derramamentos pelo processamento da informação provida sobre ventos, condições do tempo, modelos de circulação e escoamento de rios, assim como, sobre o(s) derramamento(s) que se queira simular; (2) Predizer as trajetórias que podem resultar das inexatidões (‘incertezas’) nas observações e previsões de ventos e correntes; (3) Utilizar algoritmos de intemperização para fazer previsões simples sobre as mudanças a que o óleo irá se submeter enquanto ele estiver exposto ao ambiente; (4) Ser rapidamente atualizado, re-rodado e salvo com as novas informações; (5) Prover saída de trajetórias (incluindo incertezas estimadas) num formato geo-referenciado que pode ser utilizado como entrada para programas *GIS* (*Geographic Information System*). Em função de o *GNOME* ter sido concebido como ferramenta para diversos tipos de usuários, ele foi criado com três módulos: (a) Modo Padrão, (b) Modo com Saída para o GIS e o (c) Modo Diagnóstico.

No **Modo Padrão**, o mais automatizado do *GNOME*, um Arquivo de Locação carrega dados previamente desenvolvidos, tais como um mapa da área e padrões dominantes de corrente. Um sistema baseado em regras (*wizard*) orienta o usuário quanto a informações necessárias para rodar o modelo. Neste modo o usuário pode salvar um cenário para uso posterior, para imprimir uma imagem ou para criar um ‘filme’ do modelo rodado. O Modo Padrão do *GNOME* não é flexível o bastante para utilização na

resposta a um derramamento real, mas é uma excelente ferramenta para simular derramamentos em treinamentos e exercícios de resposta, e para construir uma intuição sobre trajetória de derramamentos numa localização específica.

No **Modo com Saída para o GIS** também se utiliza um Arquivo de Localização para situar o modelo, contudo, neste modo é possível exportar a saída do modelo em formato compatível com o *GIS*, que pode ser lido por diferentes programas (*ASCII*, *ArcView*). Os dados pontuais podem ser convertidos em formato vetorial, impressos como previsão de trajetória ou serem salvos em formato digital para alimentar programas *GIS* para análises adicionais. Este Modo é usado inicialmente para análises *GIS* ou espaciais para resposta emergencial a derramamentos.

No modo de resposta tática do *GNOME*, **Modo Diagnóstico**, o usuário pode utilizar um Arquivo de Localização para ajudar a situar o modelo, ou pode fazê-lo inteiramente por si só, caso em que serão necessárias informações de hidrodinâmica e linha de costa. Neste Modo tem-se um conjunto de capacidades adicionais: têm-se pleno acesso a todos os parâmetros do modelo e opções de programação; pode-se ajustar o modelo para representar dados em tempo real; com treinamento avançado e experiência na modelagem hidrodinâmica pode-se desenvolver o próprio Arquivo de Localização; e pode-se estabelecer coeficientes que controlam o tamanho e a distribuição das incertezas nas estimativas de '*Minimum Regret*'. Este Modo é destinado a modeladores experientes, tais como planejadores de contingência e aqueles que provêem suporte tático completo para as equipes de resposta a derramamentos.

Na Figura 22 tem-se um exemplo de relatório simplificado que pode ser emitido pelo *GNOME*.

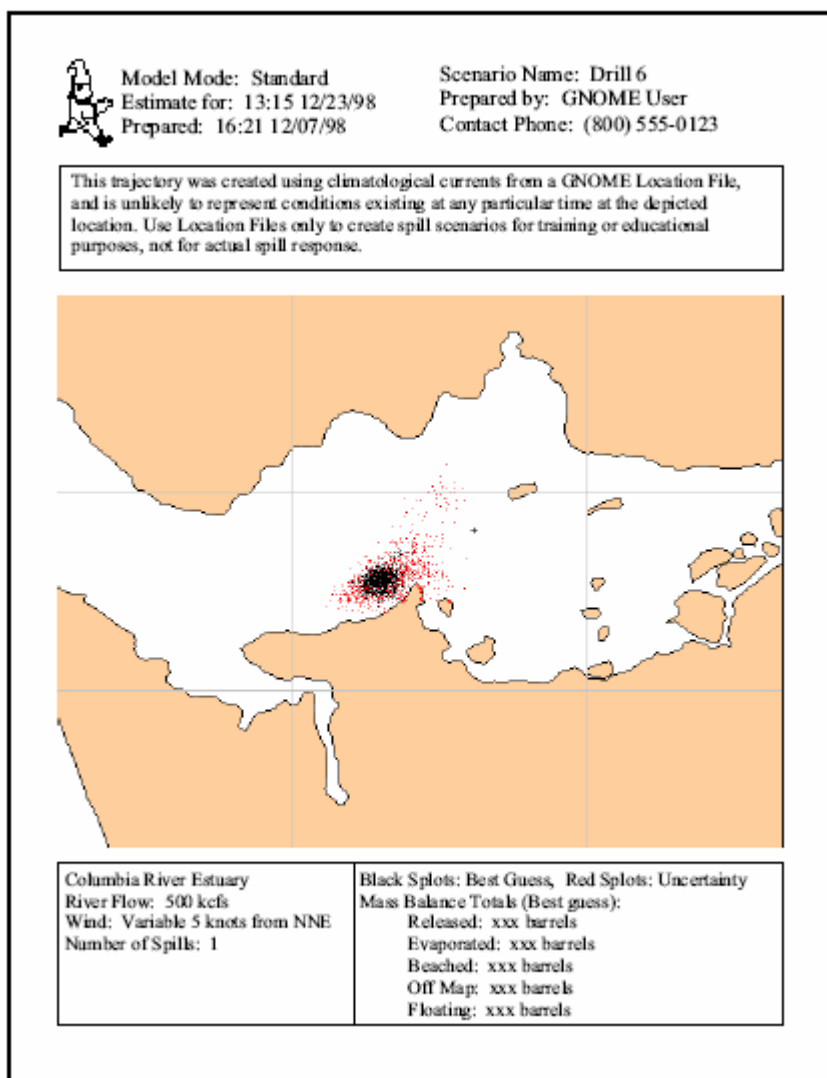


Figura 22 – Relatório Simplificado Emitido pelo GNOME

Disponibilidade do modelo por *download* gratuito no endereço eletrônico:

<http://response.restoration.noaa.gov/software/gnome/tools.html> (NOAA, 2002 b)

4.3.2.3 OILMAP

O modelo *OILMAP* (*Oil Spill Model Assessment Package*), desenvolvido pela *Applied Science Associates, Inc. (ASA)*, representa hoje um estágio intermediário em modelagem computacional para o acompanhamento e previsão do deslocamento e transformações químicas (*trajectory and fates*) de qualquer tipo de petróleo eventualmente derramado.

O *OILMAP* foi projetado em uma configuração modular de tal forma que diferentes tipos de modelos, bem como um conjunto de ferramentas sofisticadas de dados ambientais, possam ser acoplados dependendo do problema e situação em estudo. Como o sistema utiliza uma interface gráfica desenvolvida para ambiente *Windows*, as diferentes configurações são acopladas em menus visuais, que são acionadas a partir de toques do *mouse*.

Em sua configuração básica, o *OILMAP* também inclui uma variedade de ferramentas computacionais gráficas que permitem ao usuário a especificação dos cenários; animação das trajetórias, correntes e vento; importar e exportar dados ambientais; a definição da grade computacional para qualquer área dentro do domínio; gerar correntes médias ou de maré; incluir ou editar as características dos óleos registrados no banco de dados; apresentar dados contidos em objetos georreferenciados (*GIS*). As funções do *GIS* permitem ao usuário a entrada, manipulação e exibição de objetos na tela através de pontos, linhas e polígonos georreferenciados. A cada objeto podem ser atribuídos dados em formato de texto, valores numéricos ou arquivos a partir de *links* externos.

O sistema *OILMAP* inclui os seguintes modelos: um modelo de transporte e intemperização (*trajectory and fates*) para óleo de superfície e de subsuperfície, um modelo de resposta a derramamento de óleo, modelos probabilísticos e um modelo receptor que, através do método inverso localiza a origem do derramamento, a partir de informações da posição da mancha.

O modelo de transporte e intemperização simula a trajetória e a degradação do óleo a partir de derrames instantâneos ou contínuos. O modelo apresenta os resultados das simulações através da localização da mancha, concentração do óleo de superfície e sub-superfície *versus* tempo. O sistema também calcula, e apresenta graficamente, o balanço de massa do óleo derramado, em termos da porcentagem de óleo na superfície, na coluna d'água, evaporado e na linha de costa.

O modelo de estratégias de resposta permite simular a instalação de barreiras de contenção, de recolhedores e de regiões de dispersão artificial. Em cada caso é possível informar parâmetros limites de eficiência, a partir dos quais a resposta deixa de ser eficaz. Na Figura 23 tem-se, à esquerda, a visualização de uma operação de contenção e recolhimento do óleo derramado, e à direita, uma visão de detalhe do mesmo cenário.

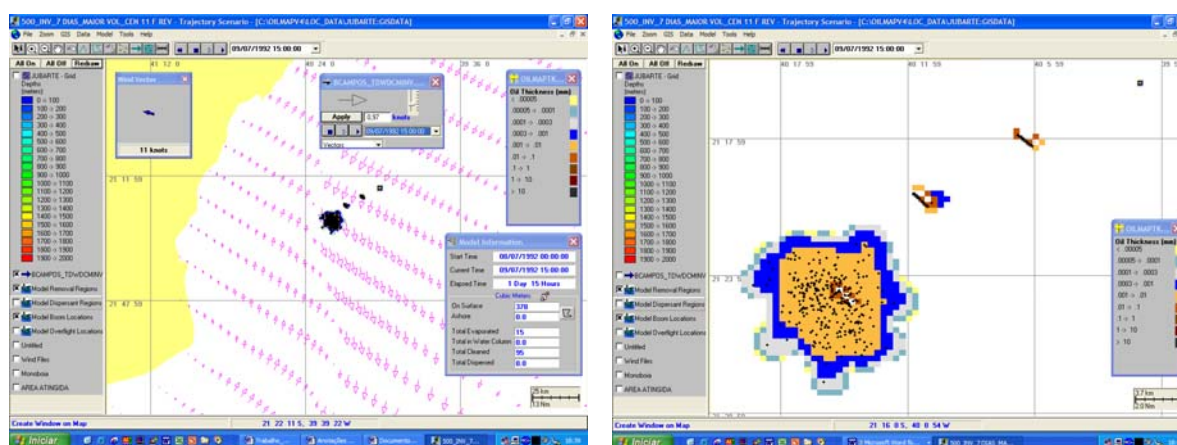


Figura 23 – Visualização da Pluma no Modelo *OILMAP*

Uma descrição detalhada dos processos modelados pelo *OILMAP* é apresentada no item 4.1.2.

Maiores informações sobre o modelo no site da *Applied Science Associates*:

www.appsci.com (ASA, 2004)

4.3.2.4 SIMAP

O *SIMAP* (*Integrated Oil Spill Impact Model System*) é uma aplicação de *software* de modelagem computacional que estima trajetórias e intemperismo do óleo, assim como os efeitos biológicos de um derramamento. No *SIMAP* ambos os modelos, de destinações físicas e de efeitos biológicos, são tridimensionais. Existe também um modelo bi-dimensional de derramamentos de óleo para o rápido estabelecimento de trajetórias e visualização de cenários, e um modelo tri-dimensional estocástico para aplicações de avaliação de riscos e planejamento de contingências.

Os modelos estão acoplados a um sistema de informações geográficas (*GIS*), que contém dados ambientais e biológicos, e também, a base de dados de propriedades físico-químicas e abundância biológica, contendo as entradas necessárias para os modelos. O sistema baseado em PC opera no ambiente *Windows 95(+)* ou *Windows NT*, com entradas gráficas amigáveis ao usuário para rodar os modelos, editar os dados e visualizar as saídas dos modelos. Este modelo tem sido aplicado a uma variedade de ambientes marinhos e de água doce, para uso na resposta e planejamento de contingências, avaliação de riscos e treinamento.

Segundo consta em *McCay et al.* (2004), no modelo de destinações do *SIMAP*, óleos crus e derivados de petróleo são representados por sete componentes, seis dos quais (a exceção do residual) são volatilizáveis: (1) Hidrocarbonetos Monoaromáticos (MAHs), incluindo BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) e Alquilbenzeno-substitutos, (2) Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares de Dois Anéis (PAHs), i.e. naftalenos, (3) PAHs de Três Anéis, (4) Alifáticos Voláteis (ponto de ebulição < 180°C), (5) Alifáticos Semi-Voláteis (ponto de ebulição 180 – 265°C), (6) Alifáticos de Baixa Volatilidade (ponto de ebulição 265 – 380°C) e a (7) Fração Residual (aromáticos e alifáticos com ponto de ebulição > 380°C).

O modelo de trajetórias e intemperismo do *SIMAP* quantifica no espaço e no tempo, para cada rodada individualmente: (a) a Espessura, o Volume e a Massa de óleo na superfície da água; (b) a Espessura, o Volume e a Massa de óleo na linha de costa; (c) a Concentração de Hidrocarbonetos Totais em subsuperfície; (d) a Concentração de Aromáticos dissolvidos; e (e) Aromáticos e Hidrocarbonetos Totais em sedimentos.

Na Figura 24 tem-se uma visualização de resultados obtidos a partir da aplicação do modelo *SIMAP*, para uma pluma de óleo hipoteticamente derramado no mar.

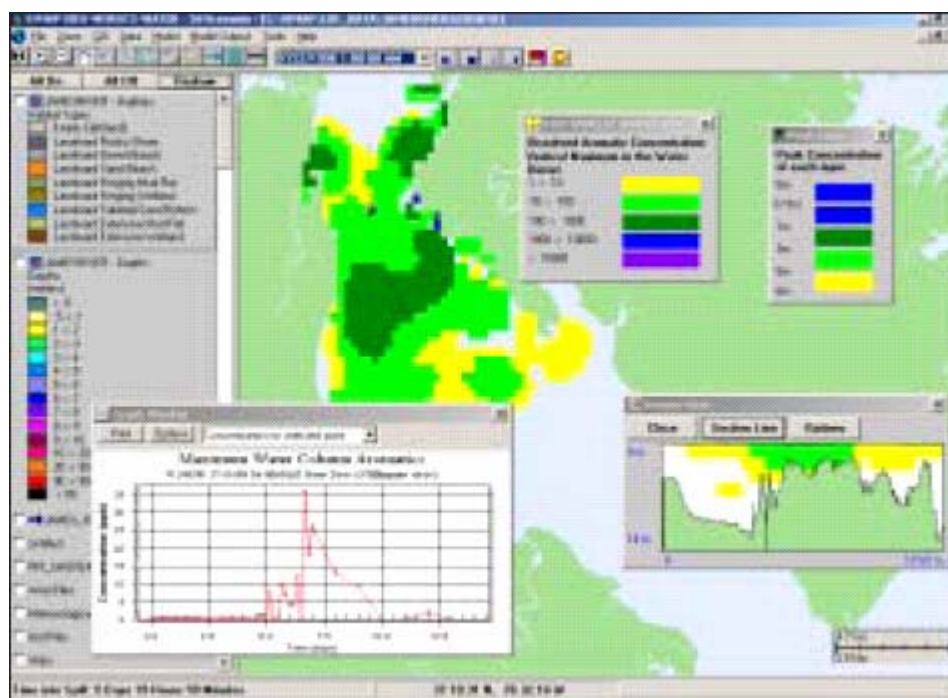


Figura 24 – Visualização de Resultados no Modelo *SIMAP*

Maiores informações sobre o modelo no site da *Applied Science Associates*:

www.appsci.com (ASA, 2005)

4.3.2.5 OSCAR

Os componentes-chave do sistema *OSCAR* (*Oil Spill Contingency And Response*) são: os dados do *SINTEF* baseados no modelo de intemperização de óleo, um modelo tri-dimensional de trajetória do óleo e destinações químicas, um modelo de combate a derramamento de óleo, um modelo de exposição para peixes e ictioplancton, aves e mamíferos marinhos. Na Figura 25 tem-se uma representação pelo *OSCAR* de uma pluma na superfície e seu corte vertical, mostrando diferentes concentrações de óleo.

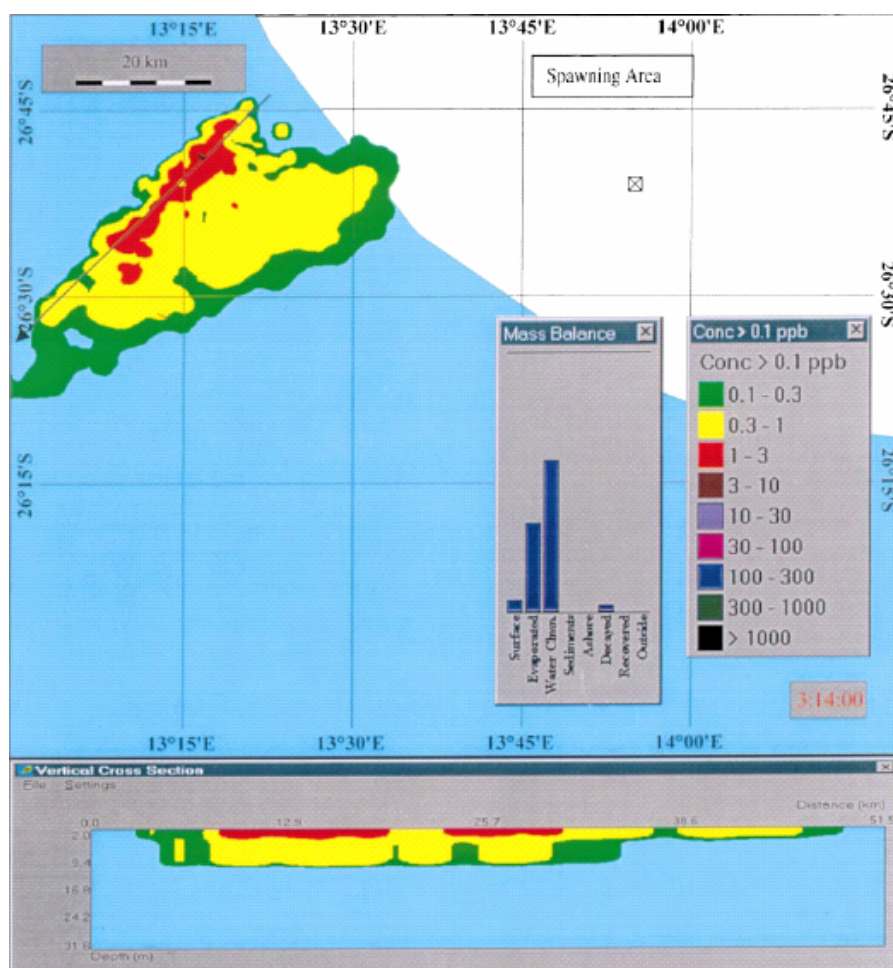


Figura 25 – Visualização de Pluma no Sistema OSCAR

O modelo possui uma interface gráfica para o usuário no ambiente *Windows NT*, que facilita a interligação com uma variedade de bases de dados e ferramentas padrão e customizadas. Estas últimas permitem ao usuário criar ou importar séries temporais de vento, campos de correntes e grades de resolução espacial arbitrária, além de mapear e graficar as saídas do modelo. Bases de dados de produtos químicos e de óleos fornecem parâmetros químicos e toxicológicos requeridos pelo modelo.

O *OSCAR* emprega algoritmos de espalhamento superficial, advecção, entranhamento, emulsificação e volatilização para determinar transporte e destinação na superfície. Na coluna d'água, a advecção horizontal e vertical, e a dispersão de hidrocarbonetos entranhados e dissolvidos, são simuladas por procedimentos de *random walk*. O particionamento entre os estados de 'adsorvido ao' e 'absorvido pelo' particulado é calculado com base na teoria do equilíbrio linear.

O *OSCAR* é aplicado para a análise de alternativas de estratégias de resposta a derramamentos de óleo para plataformas offshore e terminais costeiros. O *OSCAR* provê uma base para uma avaliação abrangente de impacto ambiental quantitativo no ambiente marinho, para estratégias alternativas de resposta a derramamentos. O modelo calcula e registra a distribuição, nas três dimensões físicas mais o tempo, de um contaminante na superfície da água, nas linhas de costa, na coluna d'água e nos sedimentos.

Conforme descrito em *Reed et al.* (2004), o *OSCAR* é um sistema de modelos tridimensionais que representa o óleo como uma mistura complexa de múltiplos ou pseudocomponentes. O *OSCAR 2000* difere de seus predecessores, pois nele o usuário pode especificar um número relativamente grande (30, na presente versão) de componentes individuais, pseudocomponentes ou metabólitos, para representar o óleo e seus produtos de degradação.

Maiores informações sobre o modelo no site do *SINTEF*:

www.sintef.no (*SINTEF*, 2006)

5 METODOLOGIA

Descreve-se primeiramente neste capítulo, os passos dados na concepção da metodologia utilizada neste estudo, na seqüência, apresenta-se a base hidrodinâmica utilizada, os modelos computacionais de transporte e intemperização do óleo e de estratégias de resposta - *OILMAP*, além da descrição detalhada das considerações feitas para a implementação das estratégias de resposta no modelo.

Interpretação da Legislação

Como ponto de partida, tomou-se a legislação específica que trata do dimensionamento da estrutura de resposta a derramamento de óleo em águas brasileiras, a Resolução Conama 293 (CONAMA, 2001), uma vez que se trata de requisito legal a ser atendido dentro do processo de licenciamento ambiental. A expressão de cálculo da Capacidade Efetiva Diária de Recolhimento de Óleo – CEDRO de um equipamento, determina que se considere, num período de 24 horas, 20% de eficiência da capacidade nominal do recolhedor (skimmer). Na prática, espera-se não efetuar o recolhimento no turno da noite e uma eficiência de recolhimento superior aos 20%, além do que, por questões operacionais, o recolhedor pode vir a operar apenas 10 ou até 06 horas por dia, em função da tancagem disponível para armazenamento temporário do resíduo recolhido. Como forma de padronização e na tentativa de simplificação da estrutura necessária, optou-se pela capacidade nominal de 200 m³/h para os recolhedores.

O dimensionamento de barreiras fala apenas em comprimento linear total em função das dimensões aproximadas da mancha, sem descrever ou citar a capacidade do equipamento em termos de volume de óleo contido por um ou outro modelo de barreira. A configuração a ser utilizada, em “U” ou em “J” não é especificada, tendo sido feita a opção pela formação em “U” que apresenta uma maior área útil para contenção do óleo, apesar de praticamente exigir a 3ª embarcação na formação em lugar de 02 na formação em “J”. O comprimento de barreira para cada formação foi definido em 400m,

que resulta numa frente de ataque de aproximadamente 250m, pelo efeito de acomodação da barreira aos esforços da corrente marinha resultante.

Definição do Cenário Acidental

Originalmente, foi escolhido dentre os cenários críticos apontados no processo de licenciamento do campo de Jubarte (CEPEMAR, 2004a), um cenário que resultava no menor tempo para o óleo atingir a linha de costa, que se mostrou pouco eficaz a avaliação da capacidade de interceptação da mancha, uma vez que o volume de óleo que alcançava a costa naquele cenário era muito pequeno. Optou-se então por um outro cenário crítico, aquele que resultava no maior volume de óleo atingindo a linha de costa. Mantidos os parâmetros de tipo de óleo, volume derramado, regime e coordenadas do derramamento, o cenário acidental passa a ser caracterizado pelas condições ambientais, com base no instante inicial do derramamento, que na base de dados utilizada corresponde a 00h do dia 08 de julho de 1992. Para definição do volume a ser simulado, optou-se por um valor intermediário entre a descarga de pior caso do empreendimento ($\sim 66.000\text{m}^3$) e o limite superior das flexibilizações da legislação (11.200 m^3), trabalhando-se assim com a descarga instantânea de 15.000 m^3 de óleo, na condição de pluma livre, para representação do cenário de não resposta (Cen NR).

Construção dos Cenários de Resposta

Na construção dos cenários de resposta, um conjunto de 10 ou 12 experimentos foi realizado até que se definisse a representação no modelo de cada configuração a ser avaliada, conforme planejado. Para os primeiros cenários isto representou variações no posicionamento relativo das barreiras e recolhedores em relação às demais formações e também em relação à trajetória e ao centro de massa da mancha. Além de experimentações quanto diferentes formas de representação das barreiras (em linha, em “v” aberto, em “v” fechado) e das áreas de recolhimento de óleo (transversais, longitudinais, maiores, menores). Escolhida a representação que resultava em maior

eficiência do conjunto para contenção e recolhimento, e com o cuidado de se manter as posições relativas de um cenário para outro, montou-se uma sequência de cenários que chegou a ordem de 23 séries, até que fossem considerados operacionais e representativos para a análise desejada.

Cenários de Contenção e Recolhimento

Na definição dos cenários de resposta baseados na contenção e recolhimento, definiu-se primeiramente o cenário de referência (Cen Ref), montado com base na interpretação da legislação (CONAMA, 2001), consistindo assim o cenário mínimo de resposta a ser dada, em caso de um derramamento de óleo no mar com volume superior a 200m^3 , caracterizando assim uma 'descarga grande'. A estrutura para compor este cenário de resposta está baseada em 07 (sete) conjuntos de contenção e recolhimento, com disponibilização gradual (02 em 12h + 02 em 36h + 03 em 60h). O objetivo neste caso era verificar os resultados esperados com a utilização desta estrutura sob condições ambientais críticas.

Uma variação razoavelmente provável de acontecer em função do horário de ocorrência do incidente com derramamento, se refere a uma antecipação ou postergação dos tempos de resposta da ordem de 06h. Assim, foram selecionados para apresentação de resultados os cenários de referência antecipado em 06h (Cen Ref – 06h) e o cenário de referência postergado em 06h (Cen Ref + 06h). Nestes casos, a diferença de resultados se fez mais perceptível no ganho na antecipação do que na perda na postergação.

Uma vez que uma parcela significativa do óleo ainda atingia a costa, era natural que se avaliassem cenários com estrutura gradativamente aumentada. Neste sentido, foram selecionados para apresentação de resultados os cenários correspondentes a aumentos da ordem de 30% (Cen Ref + 30%) e da ordem de 150% (Cen Ref + 150%) na estrutura utilizada. A estrutura para compor estes cenários de resposta está baseada, no primeiro caso, em 09 (nove) conjuntos de contenção e recolhimento, com

disponibilização gradual (03 em 12h + 03 em 36h + 03 em 60h) e no segundo, em 18 (dezoito) conjuntos de contenção e recolhimento, com disponibilização gradual (06 em 12h + 06 em 36h + 06 em 60h). Com o intuito de verificar os resultados de um aumento na estrutura utilizada, estes cenários foram suficientes, uma vez que aumentos desta ordem já estariam na casa da inviabilidade econômica, e ainda assim uma parcela significativa do volume originalmente derramado continua atingindo a linha de costa.

A esta altura, com a limitação de eficiência da contenção e recolhimento a partir das 60h da ocorrência do incidente com derramamento, tendo se mostrado praticamente nula para a porção norte da mancha, que neste momento já apresentava uma espessura significativamente menor que a porção sul, e considerando insatisfatória a relação obtida para a melhoria de resultados (diminuição do % de óleo junto à costa) em função do aumento na estrutura, nada mais natural do que buscar outras alternativas de resposta, com o intuito de se poder minimizar o volume esperado de óleo junto à costa.

Cenários de Dispersão Artificial

Neste sentido, e mantendo-se a mesma estrutura do cenário de referência (Cen Ref), após a definição de parâmetros para a dispersão combinada (mecânica e química), teve início a associação gradativa desta alternativa à contenção e recolhimento, iniciando-se pela dispersão a partir de 108h associada à operação inicial do cenário de referência (Cen Ref + DC108h), evoluindo para a dispersão a partir de 84h associada à operação inicial do cenário de referência (Cen Ref + DC84h), e para a substituição gradual da contenção e recolhimento no cenário de referência pela operação de dispersão combinada a partir de 60h e 36h nos cenários (Cen Ref + DC60h) e (Cen Ref + DC36h), chegando ao cenário de exclusiva dispersão combinada a partir de 12h da ocorrência do incidente com derramamento de óleo. Nestes casos, é nítida a possibilidade de utilização da dispersão combinada como estratégia alternativa a partir de 60h, destacando-se como mais eficiente na interceptação da mancha (menor volume junto à costa) um dos cenários onde foi simulada a substituição da contenção e recolhimento no cenário de referência (Cen Ref + DC60h).

5.1 MATERIAIS - O MODELO COMPUTACIONAL

Dentre os modelos passíveis de utilização para o desenvolvimento deste trabalho, optou-se pela disponibilidade da licença de um modelo já com alguma sofisticação, considerando a possibilidade de se simular a utilização de diferentes estratégias de resposta, para um dado cenário de derramamento de óleo pesado. O modelo foi previamente aplicado à área de interesse no processo de licenciamento ambiental de campos produtores de petróleo, na avaliação do comportamento da pluma livre na superfície do mar. Na ocasião foi atualizada uma base hidrodinâmica existente para a região, foi criada a grade terra-água, para definição da linha de costa, e a grade batimétrica.

5.1.1 A Base Hidrodinâmica Utilizada

Para estudos de modelagem são necessários: um conhecimento detalhado das características geomorfológicas do local, linha de costa e fundo oceânico, padrões de circulação local e regional de larga escala, e séries temporais de vento de longa duração.

Os principais processos hidrodinâmicos atuantes na região de interesse, considerados na descrição da modelagem realizada no EIA de Jubarte (CEPEMAR, 2004) utilizada como dado de entrada no presente estudo, são: forçantes de maré e ventos, sobre a plataforma continental e Corrente do Brasil, no talude continental.

A grade utilizada para a região da Bacia de Campos consiste de uma malha estruturada, não-regular e não-uniforme, simplesmente adensada (compressão de colunas) nas regiões de maior interesse e nas proximidades da linha de costa, possuindo dimensão horizontal máxima de 70x100 pontos, com resolução média de 3.000m. Esta grade cobre o litoral brasileiro desde as proximidades da Baía de Todos os Santos (BA) até a altura da Lagoa dos Patos (RS), com largura variando de aproximadamente 1/3 a 1/2 de seu comprimento total.

Para caracterização dos padrões de circulação foram utilizados campos de velocidades gerados pelo modelo *POCM - WOCE Parallel Ocean Circulation Model* (Tokmakian & Challenor, 1999 *apud* ASA, 2000b) ajustado para modelar as correntes oceânicas da costa sudeste do Brasil, acoplado a um modelo implementado pela *ASA South America* no mesmo domínio, baseado no *POM - Princeton Ocean Model* (Blumberg & Mellor, 1987 *apud* ASA, 2000b) visando a introdução de respostas da plataforma às forçantes locais. Os campos de velocidade de baixa frequência foram fornecidos pelo Centro de Pesquisas da Petrobras – CENPES, para o ano de 1992, com resultados a cada 03 dias, cobrindo a região oceânica compreendida entre as latitudes 13° e 30°S e as longitudes 30° e 50°W.

O campo hidrodinâmico resultante da combinação destes dois modelos foi utilizado como base para o modelo de óleo, apresentando resultados a cada 3 horas para o ano de 1992. Para comparação com os resultados na calibração do modelo hidrodinâmico, foram selecionados dados de corrente, coletados num ponto conhecido da Bacia de Campos num período de inverno, e para nível do mar, foi utilizada uma série obtida através de reconstituição harmônica para a região do Cabo de São Tomé. CEPENMAR (2004) salienta que esta implementação encontra-se em contínuo desenvolvimento devido à extensão e complexidade da área.

Na Figura 26 são apresentados exemplos ilustrativos de campos de velocidades típicos observados nos resultados do modelo hidrodinâmico para o ano de 1992, em (A) para verão e em (B) para inverno, onde se destaca a definição da Corrente do Brasil.

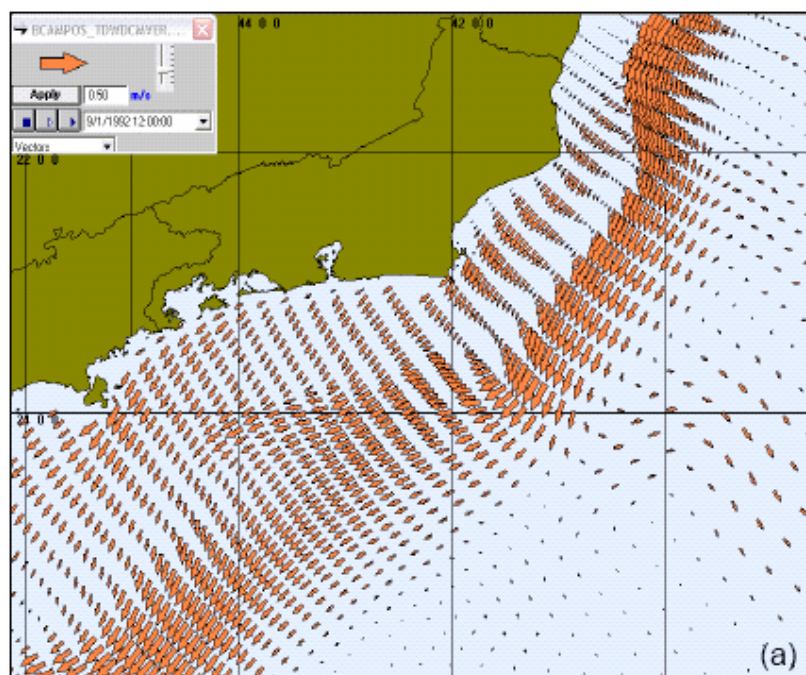


Figura 26 (A) - Exemplo de Campo de Velocidades Obtido para Verão

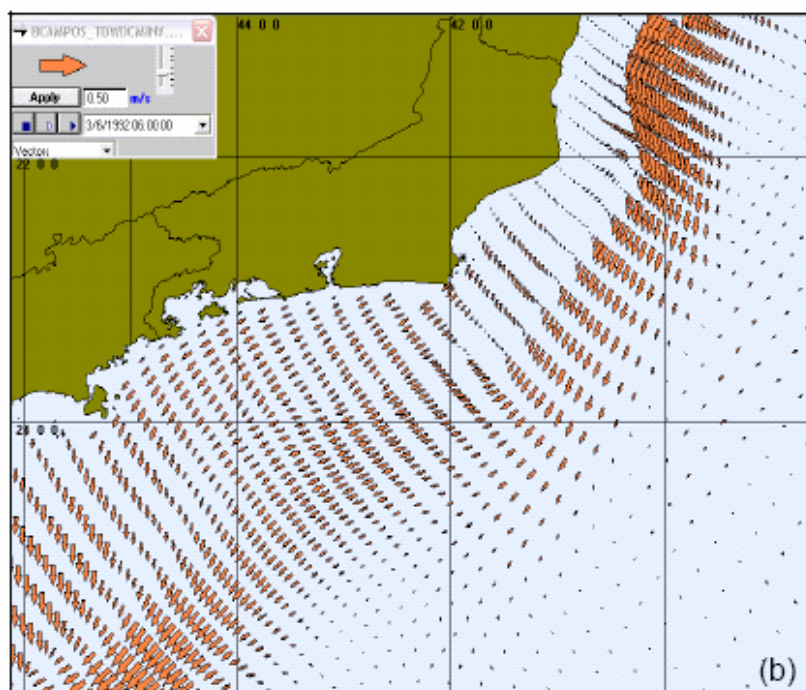


Figura 26 (B) - Exemplo de Campo de Velocidades Obtido para Inverno

5.1.2 O Modelo de Transporte de Óleo

O modelo de deriva e transformações para óleo de superfície prevê o transporte e a degradação do óleo a partir de derramamentos instantâneos e contínuos. As estimativas demonstram a localização e concentração do óleo de superfície versus o tempo. O modelo estima a variação temporal da cobertura de área, espessura da mancha e viscosidade do óleo. O modelo também estima o balanço da massa de óleo ou a quantidade de óleo sobre a superfície do mar, na coluna d'água, evaporado e na costa *versus* o tempo. A simulação é iniciada no momento especificado pelo arquivo de entrada, quando começa a liberação do óleo; o modelo calcula então a trajetória da mancha e as transformações biogeoquímicas para cada ponto da grade.

Estas transformações (evaporação, espalhamento, etc.) que o modelo simula, resultam em uma distribuição de massa referente a quanto deste óleo se move para os pontos de grade circundantes, quanto adentra na coluna d'água e quanto evapora. O modelo calcula a quantidade de óleo em cada célula da grade computacional e quais as propriedades resultantes, após as moléculas mais leves terem evaporado e as mais pesadas terem adentrado na coluna d'água. Esses cálculos se repetem para todas as células da grade, em cada passo de tempo simulado (60 minutos, para descargas grandes). Os processos biogeoquímicos do óleo que eventualmente entra em contato com a linha de costa são calculados em função do quanto se prende à costa e o quanto se ressuspende, caso as condições meteorológicas e oceanográficas se alterem.

Na área de interesse, foi definida uma segunda grade computacional determinando quais células correspondem à área de terra e quais à área de água, com a interface correspondendo à linha de costa (CEPEMAR, 2004). A grade implementada para utilização pelo modelo de transporte de óleo, uma malha estruturada, regular e uniforme, possui dimensões de 250x250 pontos, distribuídos numa área de 1000x1000km sobre o litoral da Região Sudeste, e apresenta um adensamento na proporção de 4x4 novos pontos em cada célula nas regiões próximas à costa.

5.1.3 A Formulação do Modelo de Transporte de Óleo

A seguir são descritas as formulações utilizadas pelo modelo *OILMAP* para representar os processos de transporte (advecção, difusão, espalhamento, evaporação, entranhamento e interação com a linha de costa) e de transformações químicas (emulsificação) atuantes sobre o óleo eventualmente derramado.

5.1.3.1 Advecção

No *OILMAP*, a mancha de óleo é considerada como um conjunto de partículas lagrangeanas contendo, cada uma delas, uma certa massa conhecida. O vetor posição ($\vec{X}_t$) de uma dada partícula, num determinado instante t , é definido como:

$$\vec{X}_t = \vec{X}_{t-\Delta t} + \Delta t \vec{U}_{oil} \quad (5.1)$$

onde:

$$\begin{aligned} \Delta t &= \text{passo de tempo} & (\text{s}); \\ \vec{X}_{t-\Delta t} &= \text{posição em } t - \Delta t & (\text{m}); \\ \vec{U}_{oil} &= \text{velocidade da mancha} & (\text{m/s}). \end{aligned}$$

A velocidade advectiva da partícula, $\vec{U}_{oil}$ (m/s), é definida por:

$$\vec{U}_{oil} = \vec{U}_w + \vec{U}_t + \vec{U}_r + \alpha \vec{U}_e + \beta \vec{U}_p \quad (5.2)$$

onde:

$$\begin{aligned} \vec{U}_w &= \text{componente da velocidade devida ao vento e as ondas (m/s);} \\ \vec{U}_t &= \text{componente da velocidade devida às correntes de maré (m/s);} \end{aligned}$$

- $\vec{U}_r$ = componente da velocidade devida ao fluxo residual (m/s);
 $\vec{U}_e$ = componente da velocidade devida ao fluxo de Ekman (m/s);
 $\vec{U}_p$ = componente da velocidade devida ao *blowout* (m/s);
 α = 0 (zero) para a superfície da mancha, 1 (um) para subsuperfície;
 β = 0 (zero) para *non-blowout release*, 1 (um) para *blowout release*.

As componentes da velocidade advectiva devidas às correntes de maré, $\vec{U}_t$, e ao fluxo residual, $\vec{U}_r$, são provenientes do modelo hidrodinâmico.

As componentes da velocidade de deriva devida ao vento, u_{wc} e v_{wc} (m/s), componentes Leste-Oeste e Norte-Sul, são respectivamente:

$$u_{wc} = C_1 u_w \quad (5.3)$$

$$v_{wc} = C_1 v_w \quad (5.4)$$

onde:

- u_w = componente Leste-Oeste da velocidade do vento (m/s);
 v_w = componente Norte-Sul da velocidade do vento (m/s);
 C_1 = fator de deriva (%).

O fator de deriva, C_1 , é constante (*Lange & Hufnerfuss, 1978 apud ASA, 2000b*), podendo variar entre 1,0 e 4,5%, baseado em observações. Valores de 3,0 a 3,5% são mais freqüentemente utilizados para ventos moderados em áreas de mar aberto. Valores menores são mais utilizados em zonas costeiras protegidas, como estuários e baías. O valor *default* no modelo é 3,5%. Se as correntes de superfície, fornecidas pelo modelo hidrodinâmico (ou dados observacionais), já são forçadas pelo vento, então o fator de deriva deve ser reduzido.

O ângulo de deriva é no sentido anti-horário da direção do vento (hemisfério sul). Assim, as componentes da velocidade de deriva devida ao vento, u_{wd} e v_{wd} (m/s), são respectivamente:

$$u_{wd} = u_{wc} \cos \theta + v_{wc} \sin \theta \quad (5.5)$$

$$v_{wd} = -u_{wc} \sin \theta + v_{wc} \cos \theta \quad (5.6)$$

onde:

u_{wd} = componente Leste-Oeste da velocidade devida à deriva do vento (m/s);

v_{wd} = componente Norte-Sul da velocidade devida à deriva do vento (m/s);

θ = ângulo de deriva (°) constante ($\theta = C_c$). O valor *default* é zero.

5.1.3.2 Difusão

Um processo de difusão do tipo *random walk* produz uma difusão horizontal para simular os processos difusivos que ocorrem numa escala de movimento inferior à escala de resolução do campo de corrente fornecido pelos dados (Okubo, 1971; Okubo & Ozmidov, 1970 *apud* ASA, 2000b). As componentes da velocidade de difusão da mancha, u_{dd} e v_{dd} (m/s) são definidas (Bear & Verruijt, 1987 *apud* ASA, 2000b) por:

$$u_{dd} = \gamma \sqrt{6D_x \Delta t} \quad (5.7)$$

$$v_{dd} = \gamma \sqrt{6D_y \Delta t} \quad (5.8)$$

onde:

D_x = coeficiente de difusão horizontal na direção Leste-Oeste (m²/s);

D_y = coeficiente de difusão horizontal na direção Norte-Sul (m²/s);

- Δt = passo de tempo (s);
 γ = número aleatório entre (-1) e (1).

Os coeficientes de difusão horizontal nas direções X e Y são, geralmente, iguais.

5.1.3.3 Espalhamento

O processo de espalhamento da mancha é representado no modelo pela formulação espesso-fino de *Mackay et al.* (1980a,b, 1982 *apud* ASA, 2000b), utilizando-se a abordagem de mancha espessa dos mesmos autores.

O *OILMAP* modela apenas a mancha espessa que contém mais que 90% da massa associada à mancha. A taxa de mudança da área superficial para o espalhamento da mancha espessa (*Mackay et al.*, 1980a *apud* ASA, 2000b), $\bar{A}_{tk}$ (m/s), é definida por:

$$\bar{A}_{tk} = \frac{d A_{tk}}{dt} = K_1 A_{tk}^{1/3} \left(\frac{V_m}{A_{tk}} \right)^{4/3} \quad (5.9)$$

onde:

- A_{tk} = área superficial de uma partícula (m²)
 K_1 = taxa de espalhamento constante (1/s)
 V_m = volume de óleo de uma partícula (m³)
 t = tempo (s)

A análise de sensibilidade deste algoritmo demonstra que a solução é afetada pelo número de partículas utilizadas. A seguinte formulação foi derivada para normalizar a solução para diferentes números de partículas superficiais (*kolluru*, 1992 *apud* ASA, 2000b).

A taxa de mudança da área superficial de uma única partícula $\vec{A}_{tk}$ (m²/s) é dada por:

$$\vec{A}_{tk} = \frac{d A_{tk}}{dt} = K_1 A_{tk}^{1/3} \left(\frac{V_m}{A_{tk}} \right)^{4/3} \left(\frac{R_s}{R_e} \right)^{4/3} \quad (5.10)$$

onde:

- A_{tk} = área superficial de uma partícula (m²)
- K_1 = taxa de espalhamento constante (1/s)
- V_m = volume de óleo de uma partícula (m³)
- R_s = raio de uma partícula (m)
- R_e = raio efetivo da superfície da mancha (m)

O raio efetivo da superfície da mancha R_e (m), (Kolluru, 1992 *apud* ASA, 2000b) é dado por:

$$R_e = \left[\left(\frac{1}{\pi} \right) \sum_{n=1}^N A_{tk} \right]^{1/2} \quad (5.11)$$

onde:

- A_{tk} = área superficial de uma partícula (m²);
- N = número de partículas usadas para representar a superfície da mancha.

5.1.3.4 Evaporação

O processo de evaporação baseia-se na formulação analítica parametrizada em termos de exposição à evaporação (Mackay *et al.*, 1980b, 1982 *apud* ASA, 2000b). O modelo de Exposição à Evaporação (Stiver & Mackay, 1984 *apud* ASA, 2000b) é uma

aproximação analítica para a predição do volume evaporado. O modelo utiliza informações da curva de destilação do óleo (*distillation data* – curva PEV) para estimar os parâmetros necessários à equação analítica. A fração evaporada, F_v , é definida por:

$$F_v = \ln [1 + B(T_G / T) \theta T \exp(A - BT_0 / T)] [T / (BT_G)] \quad (5.12)$$

onde:

- T_0 = ponto de ebulição inicial (K);
- T_G = gradiente da curva de destilação modificada;
- T = temperatura do ambiente (K);
- A, B = constantes adimensionais (para óleos crus típicos $A=6,3$ e $B=10,3$);
- θ = exposição à evaporação.

A exposição à evaporação, θ , é definida por:

$$\theta = \left(\frac{K_m A t}{V_0} \right) \quad (5.13)$$

onde:

- K_m = coeficiente de transferência de massa (m/s);
- A = área da mancha (m^2);
- t = tempo (s);
- V_0 = volume do derramamento de óleo (m^3).

Dados da curva de destilação (T_0 , T_G , A , B), para óleo cru, podem ser obtidos no *Environment Canada's Oil Catalog* (Whiticar et al., 1992 *apud* ASA, 2000b), ou através dos seguintes procedimentos:

1. T_0 (ponto de ebulição inicial) e T_G (gradiente) são obtidos plotando-se a temperatura de ebulição (T_B) com a fração do volume destilado (F_V) para um determinado tipo de óleo.

$$T_B = T_0 + T_G F_V \quad (5.14)$$

2. A (ponto de interseção com o eixo y) e B (declividade) são obtidos plotando-se o logaritmo natural da constante da Lei de Henry, H , com a temperatura de ebulição (T_B). A constante da Lei de Henry, H , é definida como a razão da concentração do óleo na fase de vapor com a fase líquida. É uma constante adimensional obtida através de experimentos em laboratórios e definida por:

$$H = PV / RT \quad (5.15)$$

onde:

P = pressão de vapor do óleo (atm);

V = volume do óleo (m^3);

R = constante universal dos gases;

T = temperatura ambiente (K).

H é comumente fornecido em unidades de atm – m^3/mol , devendo ser dividido por RT para adimensionalizá-lo. A relação entre H e T_B é:

$$\ln H = A - B \left(\frac{T_B}{T} \right) \quad (5.16)$$

Os valores de A e B são fornecidos no banco de dados do *OILMAP* e variam de 1 a 20 para o A , e de 7 a 18 para o B .

5.1.3.5 Entranhamento

Os processos de entranhamento e arrastamento são modelados utilizando-se a formulação de *Delvigne & Sweeney* (1988 *apud* ASA, 2000b) que, explicitamente, representa índices de injeção de óleo para dentro da coluna d'água por gotículas de óleo. O coeficiente de entranhamento ou arrastamento, como uma função da viscosidade do óleo, baseia-se em *Delvigne & Hulsen* (1994 *apud* ASA, 2000b). *Delvigne & Sweeney* (1988 *apud* ASA, 2000b) desenvolveram uma relação para a taxa de entranhamento do óleo como uma função do tamanho da partícula de óleo, Q_d ($\text{kg/m}^2\text{s}$), expressa como:

$$Q_d = C^* D_d^{0.57} S F d^{0.7} \Delta d \quad (5.17)$$

onde:

- C^* = constante empírica de entranhamento. Depende do tipo de óleo e do estado do tempo;
- D_d = energia dissipada da arrebentação da onda por unidade de área superficial (J/m^2);
- S = fração da superfície do mar coberta pelo óleo;
- F = fração da superfície do mar coberta pelo óleo atingida pela arrebentação das ondas;
- d = diâmetro da partícula de óleo (m);
- Δd = diâmetro do intervalo entre as partículas de óleo (m).

A constante de entranhamento, C^* , foi ajustada aos dados relatados em *Delvigne & Hulsen* (1994 *apud* ASA, 2000b) como:

$$C^* = \exp(a \ln(\mu) + b) \quad (5.18)$$

onde:

$$a = -0,1023, \quad b = 7,572 \quad \text{para} \quad \mu < 132$$

$$a = -1,8927, \quad b = 16,313 \quad \text{para} \quad \mu > 132$$

$$\mu = \text{viscosidade do óleo (cP)}$$

O diâmetro médio da partícula, d_{50} (μm), é definido por:

$$d_{50} = 1818(E)^{-0.5} \left(\frac{\mu}{\rho_o} \right)^{0.34} \quad (5.19)$$

onde:

$$E = \text{taxa de dissipação da energia da onda por unidade de volume (J/m}^3\text{s)}$$

$$= 1.000 \text{ J/m}^3\text{s para } \textit{breaking wave};$$

$$\mu = \text{viscosidade do óleo (cP);}$$

$$\rho_o = \text{densidade do óleo (g/cm}^3\text{)}.$$

O processo de entranhamento é muito sensível é muito sensível aos valores mínimo e máximo do diâmetro da partícula, sendo respectivamente: “ $d_{\min} = 0,1 d_{50}$ (μm)” e “ $d_{\max} = 2,0 d_{50}$ (μm)”.

A energia dissipada da onda, D_d (J/m^2), é:

$$D_d = 3,4 \times 10^{-3} \rho_w g H^2 \quad (5.20)$$

onde:

- ρ_w = densidade da água (kg/m³);
 g = aceleração da gravidade (m/s²);
 H = raiz quadrática média da altura da arrebentação da onda (m).

A fração da superfície marinha impactada pela arrebentação das ondas por unidade de tempo, F , é:

$$F = 0,032(U_w - U_T) / T_w \quad (5.21)$$

onde:

- U_w = velocidade do vento 10m acima da superfície do mar (m/s);
 U_T = valor limite do vento para a quebra da onda (~ 5 m/s);
 T_w = período de onda significativa (s).

O total da massa que sofre entranhamento na coluna d'água, M_e (kg), é:

$$M_e = A dt \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} Q_d \delta d \quad (5.22)$$

onde:

- A = área superficial da mancha (m²);
 dt = passo de tempo (s);
 Q_d = taxa de entranhamento (kg/m²s).

A profundidade de intrusão, z_m (m), é:

$$z_m = 1.5 H_b \quad (5.23)$$

onde:

H_b = altura da quebra da onda (m).

A altura de ascensão para cada tamanho de gotícula, W_i (m/s), é:

$$W_i = d_i^2 g (1 - \rho_o / \rho_w) / 18 \nu_w \quad (5.24)$$

onde:

d_i = diâmetro da gotícula (m);

g = constante gravitacional (m/s^2);

ρ_o = densidade do óleo (kg/m^3);

ρ_w = densidade da água (kg/m^3);

ν_w = viscosidade da água (m^2/s).

Esta relação usa a Lei de Stokes e é válida para baixos valores de Número de Reynolds ($Re < 20$).

A profundidade de mistura para cada tamanho de partícula, Z_i (m), é:

$$Z_i = \max\left(\frac{D_v}{W_i}, Z_m\right) \quad (5.25)$$

onde:

D_v = coeficiente de difusão vertical (m^2/s).

O coeficiente de difusão vertical, D_v (m^2/s), é definido como:

$$D_v = 0,0015 W_{10} \quad (5.26)$$

onde:

W_{10} = velocidade do vento a 10 metros de altura (m/s).

A fração da massa que volta à superfície para cada tamanho de partícula, R_i , é dada por:

$$R_i = \frac{W_i dt}{Z_i} \quad (5.27)$$

onde:

W_i = velocidade de ascensão para cada tamanho de partícula (m/s);

dt = passo de tempo (s);

Z_i = profundidade de mistura para cada tamanho de partícula (m).

5.1.3.6 Interação com a Linha de Costa

A interação do óleo com o litoral e com a linha de costa é modelada com base em uma versão simplificada de *Reed et al.* (1989 *apud* ASA, 2000b), que formula o problema em termos de uma capacidade de retenção dependendo do tipo da costa e de um índice de remoção exponencial. Estes processos foram parametrizados no *OILMAP* da seguinte forma:

A grade que representa a linha de costa do *OILMAP* (grade *land-water*) pode conter diferentes informações sobre as capacidades de retenção de óleo para cada elemento da grade. A deposição ocorre quando uma partícula cruza a linha de costa e termina quando a capacidade de absorção da superfície especificada é atingida. As partículas

de óleo que posteriormente atingem um elemento da grade costeira já saturado não permanecem na superfície da costa.

O óleo depositado na linha de costa é exponencialmente removido com o tempo, retornando à coluna d'água numa maré enchente suficientemente alta para alagar a superfície com o óleo, aliada à ação do vento.

A fração de massa disponível para deposição na linha de costa, F_{sh} , é:

$$F_{sh} = \frac{A_{ig}}{A_s} \quad (5.28)$$

onde:

A_{ig} = área de um elemento de grade;

A_s = área de uma partícula na superfície.

A massa é depositada na grade costeira apenas se o total de massa acumulada é menor do que a capacidade de absorção de determinado elemento de grade. Esta capacidade de absorção para um determinado tipo de costa i , $M_{h,i}$ (kg), é:

$$M_{h,i} = \rho_o t_i W_i L_{gi} \quad (5.29)$$

onde:

i = parâmetro do tipo de costa;

ρ_o = densidade do óleo depositado (kg/m^3);

t_i = espessura máxima de óleo que pode ser depositada na costa (varia com o tipo de costa e viscosidade do óleo);

W_i = largura do elemento de grade atingido pelo óleo;

L_{gi} = comprimento do elemento de grade atingido pelo óleo.

A massa de óleo restante na costa em qualquer instante, M_R (kg), é:

$$M_R = M_o [1 - \exp(t/T)] \quad (5.30)$$

onde :

M_o = massa inicial do óleo depositado na costa (kg);

t = tempo decorrido do toque até o instante desejado (dias);

T = tempo de remoção dependendo do tipo de costa (dias).

5.1.3.7 Emulsificação

O processo de emulsificação do óleo, em função de perdas por evaporação e alterações na porcentagem de água na mistura, baseia-se em *Mackay et al.* (1980a, 1982 *apud* ASA, 2000b) e depende da composição do óleo e do estado do mar. O método de emulsificação de *Mackay et al.* (1982 *apud* ASA, 2000b) é implementado pelo usuário através dos valores dos parâmetros de entrada do coeficiente de viscosidade do *mousse* e uma taxa de emulsificação, que podem ser usados para diminuir a taxa em que a emulsificação está prevista para ocorrer. O aumento exponencial do algoritmo da formação do *mousse* é apresentado em *Mackay et al.* (1980a, 1982 *apud* ASA, 2000b).

A taxa de água que é incorporada ao óleo, $\vec{F}_{wc}$ (s^{-1}), é dada por:

$$\vec{F}_{wc} = \frac{dF_{wc}}{dt} = C_1 U_w^2 \left(1 - \frac{F_{wc}}{C_2} \right) \quad (5.31)$$

onde:

- C_1 = constante empírica: 2×10^{-6} para o óleo emulsificado e 0 (zero) para outros;
 U_w = velocidade do vento (m/s);
 F_{wc} = fração máxima de água no óleo (valor de entrada para caracterização do óleo);
 C_2 = constante que controla a quantidade máxima de água: 0,7 para óleo combustível pesado e óleo cru.

A viscosidade do óleo emulsificado, μ (cP), é dada por:

$$\mu = \mu_o \exp\left(\frac{2.5 F_{wc}}{1 - C_o F_{wc}}\right) \quad (5.32)$$

onde:

- μ_o = viscosidade inicial do óleo (cP);
 F_{wc} = fração máxima de água no óleo;
 C_o = constante de emulsificação ($\sim 0,65$).

O efeito da evaporação na viscosidade, μ (cP), é dado por:

$$\mu = \mu_o \exp(C_4 F_v) \quad (5.33)$$

onde:

- μ_o = viscosidade inicial do óleo (cP);
 C_4 = constante: igual a 1 para óleo leve e 10 para óleo pesado;
 F_v = fração evaporada da superfície da mancha.

Condições de Contorno Adotadas

As condições de contorno naturais do modelo são dadas pela velocidade normal nula nos contornos terrestres. Em áreas com aporte fluvial, os valores de vazão, temperatura e salinidade são diretamente especificados. Na superfície livre e no fundo, além das condições dinâmicas locais, são também consideradas respectivamente a tensão de cisalhamento do vento e a força de arrasto. Nos contornos artificiais são aplicadas condições de contorno para a definição do comportamento das propriedades modeladas nos limites oceânicos do domínio estudado: elevação, velocidades horizontais e vertical, temperatura, salinidade e energia cinética turbulenta.

5.1.4 O Modelo de Ações de Resposta (ASA, 2002a)

O modelo computacional utilizado neste estudo (*OILMAP*), aqui disponível em sua versão bidimensional, além de ser utilizado em mais de 40 países (*AMSA*, 2005) para avaliar a evolução de plumas de óleo em corpos d'água, apresenta também a funcionalidade de simulação da utilização de estratégias de resposta baseadas em contenção e recolhimento ou na dispersão artificial do óleo hipoteticamente derramado.

Três tipos de dados pré-definidos podem ser incluídos na base de dados GIS e usados para alterar os movimentos do óleo preditos pelo modelo de trajetória. Esses tipos de dados são: localização das barreiras, observações do óleo (baseadas em sobrevôos) e áreas de aplicação de dispersante. Quando esses dados são inseridos na base de dados e sua camada GIS é ativada, as simulações do modelo de derramamento respondem de acordo. O óleo é interceptado pelas barreiras. A posição do óleo é ajustada. O óleo disperso é transferido da superfície para a coluna d'água.

Serão descritas a seguir a utilização de barreiras de contenção, *skimmers* e a dispersão artificial, uma vez que não foram consideradas informações de sobrevôo.

Instalando Barreiras – A locação de barreiras é feita com a utilização de poli-linhas na camada GIS do modelo específico, através da opção 'segmento de barreira' no menu. Isto irá criar uma camada Locação de Barreiras no Modelo, se ela não existia, e torná-la a camada ativa. Adicione objetos de poli-linhas a esta camada para representar as

posições de barreiras. À medida que cada barreira for adicionada à camada será necessário especificar as suas características: horários de instalação e recolhimento, a corrente máxima e condições de ondas sob as quais a barreira irá funcionar. Na simulação pelo modelo a barreira falha completamente a partir dos valores indicados. A animação da trajetória do óleo como saída do modelo irá refletir a instalação, o recolhimento e seções de barreira que venham a falhar.

Instalando Recolhedores (*skimmers*) - áreas de utilização de recolhedores de óleo podem ser especificadas como polígonos a partir da seleção da opção 'polígono de remoção' do menu. Isto irá criar uma camada de 'regiões de remoção' no modelo e tornar a camada ativa. Desenha-se um polígono representando a área de recolhimento e então se especifica o tempo de atuação e o montante de óleo a ser removido por hora durante o período de tempo. Quando o modelo roda com a camada 'regiões de remoção' ativa o óleo é removido da superfície à taxa especificada. O montante de óleo recolhido não pode exceder o montante disponível na área e no período de tempo.

Utilizando Dispersão – áreas de utilização de dispersão podem ser especificadas como polígonos a partir da seleção da opção 'polígono dispersante' do menu. Isto irá criar uma camada de 'regiões de dispersantes' no modelo, se ela não existia, e torná-la a camada ativa. Desenha-se um polígono representando a área de dispersão e então se especifica o tempo de atuação e o montante de óleo a ser disperso para a coluna d'água durante o período de tempo. Quando o modelo roda com a camada 'regiões dispersantes' ativa o óleo é removido da superfície e misturado à coluna d'água à taxa especificada. O montante de óleo disperso não pode exceder o montante disponível na área e no período de tempo.

Cabe ressaltar que todas as simulações realizadas no EIA de Jubarte (CEPEMAR, 2004a) não levaram em conta as ações provenientes de planos de contingência e planos de ações emergenciais. A implementação de diferentes cenários de ações de resposta baseadas na contenção e recolhimento ou na dispersão artificial do óleo hipoteticamente derramado constitui objeto do presente trabalho.

5.2 MÉTODOS - IMPLEMENTAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE RESPOSTA

5.2.1 Contenção e Recolhimento

Para implementação da estratégia de resposta baseada na contenção e recolhimento foi considerada a utilização de formações em “U”. A Figura 27 apresenta, de forma esquemática, uma formação de contenção e recolhimento de óleo, composta por 03 embarcações, 01 barreira flutuante e 01 *skimmer* (recolhedor).

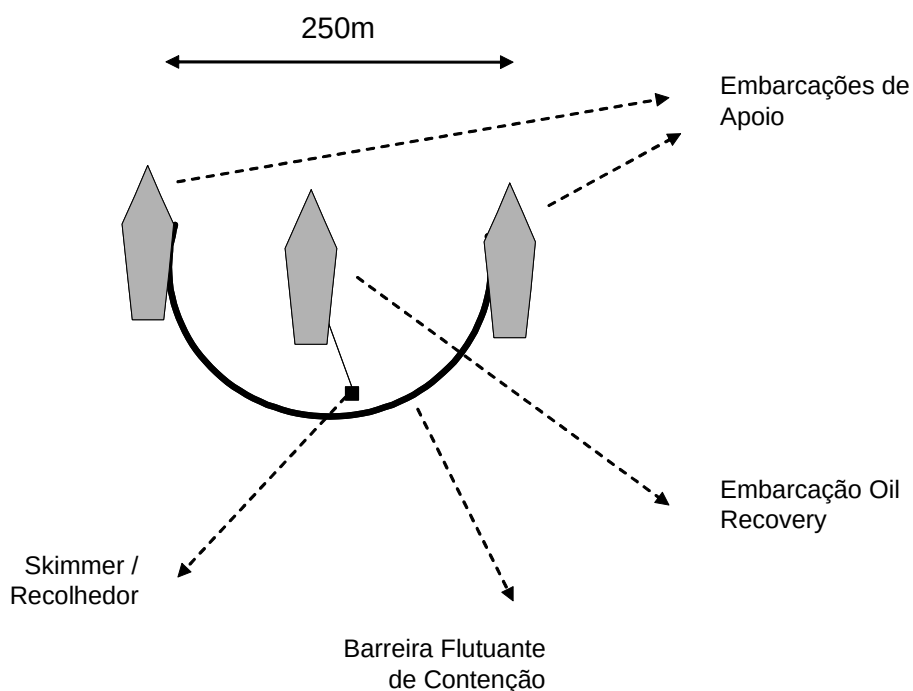


Figura 27 - Formação em “U” para Contenção e Recolhimento de Óleo

Na prática, uma Capacidade Efetiva Diária de Recolhimento de Óleo (CEDRO) de 1.600m^3 , conforme descrita na Resolução Conama 293 (CONAMA, 2001), pode ser obtida a partir da utilização de 02 formações, com frentes de contenção de 250m, ou 400m de comprimento total de barreira em “U”, equipadas com ‘*skimmer*’ de vazão nominal de $200\text{m}^3/\text{h}$, para efeito de padronização de equipamentos e maior intercambiabilidade dos componentes entre as formações. Desta forma, considerando

uma eficiência de 20% do recolhimento e 24h de operação diária, a capacidade efetiva resultante por formação é de $40\text{m}^3/\text{h}$ ou $1.920\text{m}^3/\text{dia}$. De forma equivalente, uma CEDRO de 3.200m^3 pode ser obtida a partir da utilização de 04 formações, e uma CEDRO de 6.400m^3 , com a utilização de 07 formações. O cálculo destas CEDRO é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7
Cálculo das Capacidades Efetivas Diárias de Recolhimento de Óleo

Configuração	Cálculo	Capacidade Resultante
CEDRO 1	2 formações x (24h x $200\text{m}^3/\text{h}$ x 0,2) = 2 x 960	$1.920\text{m}^3/\text{dia} > 1.600\text{m}^3/\text{dia}$
CEDRO 2	4 formações x (24h x $200\text{m}^3/\text{h}$ x 0,2) = 4 x 960	$3.840\text{m}^3/\text{dia} > 3.200\text{m}^3/\text{dia}$
CEDRO 3	7 formações x (24h x $200\text{m}^3/\text{h}$ x 0,2) = 7 x 960	$6.720\text{m}^3/\text{dia} > 6.400\text{m}^3/\text{dia}$

Nos três casos, tem-se uma capacidade instalada maior que a exigida pela legislação. A implementação no modelo, destas frentes de formação para contenção e recolhimento, é apresentada nas Figuras 28 (A), (B) e (C).

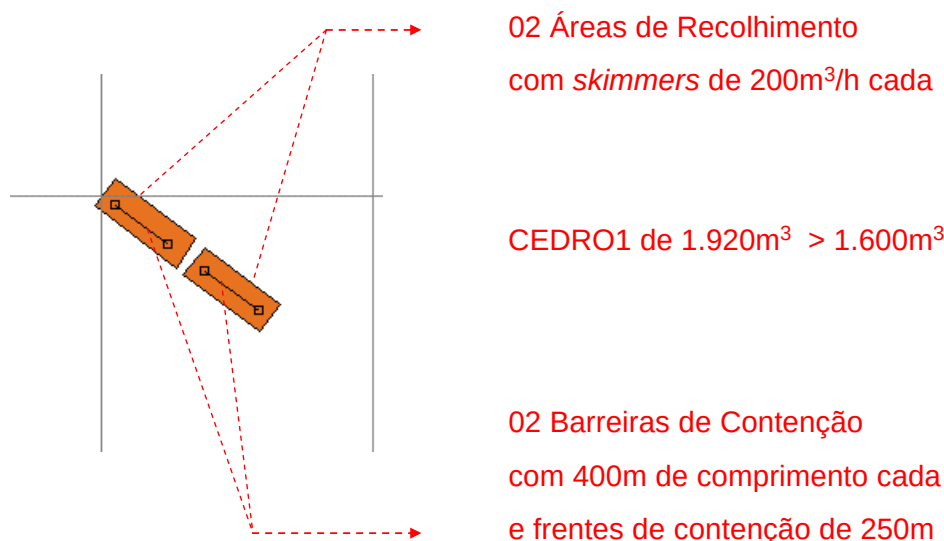
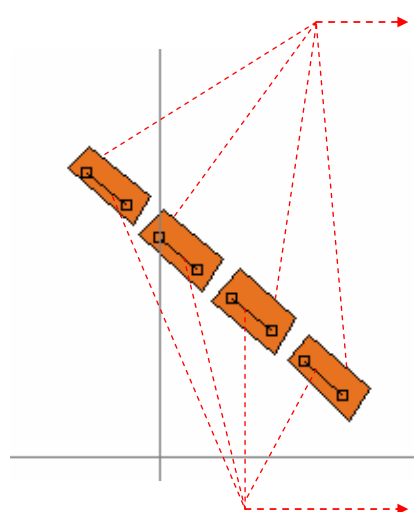


Figura 28 (A) – Frente com 02 Formações para Contenção e Recolhimento

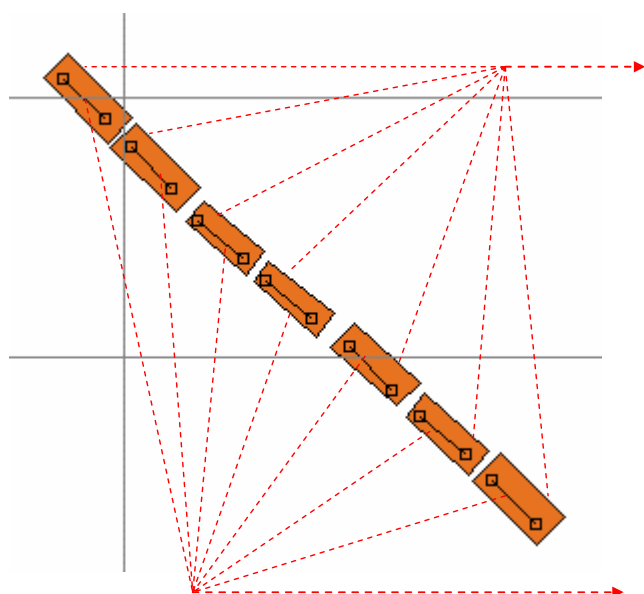


04 Áreas de Recolhimento
com *skimmers* de 200m³/h cada

CEDRO2 de 3.840m³ > 3.200m³

04 Barreiras de Contenção
com 400m de comprimento cada
e frentes de ataque de 250m

Figura 28 (B) – Frente com 04 Formações para Contenção e Recolhimento



07 Áreas de Recolhimento
com *skimmers* de 200m³/h cada

CEDRO3 de 6.720m³ > 6.400m³

07 Barreiras de Contenção
com 400m de comprimento cada
e frentes de ataque de 250m

Figura 28 (C) – Frente com 07 Formações para Contenção e Recolhimento

Considerando os tempos gastos nos deslocamentos para carga do material recolhido (água + óleo) e sua descarga numa embarcação de maior porte, no lançamento ou recolhimento dos equipamentos (barreiras e recolhedores) e na contenção/recolhimento de óleo propriamente dito, com uma velocidade média de deslocamento de 10knots (10 milhas por hora ~ 20 quilômetros por hora), um reposicionamento de até 20km para a nova locação pode ser feito num intervalo de aproximadamente 01hora. Assim, com base nos parâmetros apresentados e como pode ser visto na Tabela 8, num dia de 10h de trabalho é possível programar até 02 operações de contenção e recolhimento em mar aberto, para cada formação de 03 embarcações.

Tabela 8
Estimativa Diária para Operação de Contenção e Recolhimento

Horário Oficial	Atividade
Mobilização Inicial	12h, 36h e 60h
7 – 8 (1h)	Emb 1(*) Deslocamento p/ Nova Locação e (**) Lançamento do Skimmer e Emb 2 e 3 Lançamento de Barreira
8 – 11 (3h)	1ª Contenção e Recolhimento
11 – 12 (1h)	Emb 1 Deslocamento p/ Descarregamento e Emb 2 e 3 Recolhimento de Barreira
12 – 13 (1h)	Emb 1 Descarregamento e Emb 2 e 3 Deslocamento p/ Nova Locação
13 – 14 (1h)	Emb 1 Deslocamento p/ Nova Locação e Lançamento do Skimmer e Emb 2 e 3 Lançamento de Barreira
14 – 17h (3h)	2ª Contenção e Recolhimento
17 – 18 (1h)	Emb 1 Deslocamento p/ Descarregamento e Emb 2 e 3 Recolhimento de Barreira
18 – 19 (1h)	Emb 1 Descarregamento e Emb 2 e 3 Deslocamento p/ Nova Locação

No primeiro dia: * (1, 2 e 3) ** (Emb 1)

Neste trabalho, o limiar de eficiência das barreiras de contenção foi estabelecido em 1nó (~0,5m/s) para a corrente marinha, e 8pés (~2,5m) para a altura de ondas (*Nordvik*, 1995). O posicionamento das formações em relação à mancha priorizou a espessura superior a 0,1 mm. Como se pode deduzir da Resolução Conama 293 (CONAMA, 2001), os horários oficiais não foram considerados nesta análise como limitadores de operação por ausência de iluminação natural, trabalhando-se apenas com os tempos decorridos a partir do horário do incidente, para uma primeira avaliação. As simulações foram todas realizadas com duração de 7 dias.

Em função dos quadrantes horários do dia: 0 às 6h, 6 às 12h, 12 às 18h e 18 às 24h, nos quais podem ser enquadrados de forma geral o horário do incidente para derramamentos instantâneos, para se considerar o horário oficial e a conseqüente disponibilidade da luz do dia para início das operações de resposta, é possível se estimar um tempo real para início de resposta (6h, 12h ou até 18h), e não apenas o tempo decorrido do incidente, que poderia culminar num período noturno. Com este fundamento é que se simulou os Cenários de resposta Antecipado e Postergado em 06h, comparados ao Cenário de Referência.

Um fator limitante para recolhimento mecânico é o espalhamento do óleo na superfície do mar. Dependendo do tipo de óleo, este se espalha relativamente rápido em finas camadas, tornando o recolhimento mecânico difícil e ineficiente, mesmo sob condições ambientais favoráveis.

5.2.2 Dispersão Artificial

Para a implementação da estratégia de dispersão artificial foram necessárias algumas considerações. Parâmetros de aplicação de dispersante químico por aeronave foram obtidos de (*Reed et al.*, 1999), e daí foram estimados os parâmetros para a aplicação na região de interesse neste estudo. A resposta do óleo de Jubarte ao dispersante químico, ou a sua dispersibilidade, foi estimada a partir de ensaio de laboratório reconhecido pelos órgãos ambientais responsáveis pela regulamentação da utilização

de dispersante químico no Brasil. Parâmetros para a dispersão mecânica isoladamente não foram encontrados na bibliografia identificada, tornando-se necessária uma consideração empírica de associação com a dispersão química, para uma estimativa dos resultados esperados, que pudessem servir de base comparativa para os diferentes cenários de resposta experimentados.

5.2.2.1 Dispersão Química

No sentido de se avaliar os parâmetros de aplicação de dispersante químico na região de interesse e os valores esperados de dispersibilidade do óleo de Jubarte, primeiramente, observa-se a Tabela 9 (Reed *et al.*, 1999), que apresenta parâmetros de aplicação de dispersante químico na costa da Namíbia.

Tabela 9
Parâmetros de Aplicação de Dispersante na Costa da Namíbia

Parâmetros	Sistema: aeronave Hercules de asas fixas com conjunto Dispersante
Taxa de Aplicação (m ³ /min)	2,1
Tempo de Mobilização (h)	48
Tancagem de Dispersante (m ³)	21
Limiar Operacional de Vento (<i>knots</i>)	30
Velocidade de Cruzeiro (<i>knots</i>)	280
Velocidade Operacional (<i>knots</i>)	140
Autonomia (h)	8
Largura do <i>Spray</i> (m)	50
Número de Viagens por Dia	2
Total de Dispersante Disponível (m ³)	100
Efetividade (%)	70
Tempo de Retorno no Reabastecimento (h)	2

Com base na Tabela 9, faz-se uma estimativa para o dimensionamento da utilização de dispersão química no campo de Jubarte, avaliando-se a cobertura possível para aplicação de dispersante químico por aeronave na região.

Considerando a largura de 50m do *spray* da aeronave e uma taxa de aplicação de $2,1\text{m}^3/\text{min}$, estima-se que cada vôo rasante dure cerca de 30 segundos e permita a aplicação de aproximadamente 1m^3 de dispersante químico. Uma tancagem de dispersante de 21m^3 permite ainda que sejam feitos 20 rasantes por aplicação, numa largura total de cerca 1000m ($\sim 0,5$ milha). Para uma velocidade operacional de 140knots ($\sim 70\text{m}/\text{seg}$), cada rasante de 30seg percorre um comprimento de cerca de 2100m (~ 1 milha). Assim, cada aplicação corresponde à cobertura de uma área total de aproximadamente $2.100 \times 1000\text{m}$ (~ 1 milha $\times 0,5$ milha).

Considerando a velocidade de cruzeiro de 280knots, o tempo de vôo de ida ou de volta para o ponto de reabastecimento da aeronave em Vitória-ES seria de cerca de 15min, e em Macaé-RJ, de cerca de 25min. Com uma margem de segurança, considera-se 30min de ida, 1h em terra e 30min de volta, totalizando cerca de 2h para cada operação de reabastecimento. Assim, com base nos parâmetros apresentados e como pode ser visto na Tabela 10, num dia de 10h de trabalho é possível programar até 04 aplicações de dispersante químico por aeronave Hercules no campo de Jubarte.

Tabela 10
Estimativa para Aplicação Diária de Dispersante Químico em Jubarte

Horário Oficial	Atividade
Mobilização Inicial	24 - 36h
7 – 7:30	Vôo para o local
7:30 – 8	1ª Aplicação
8 - 10	Deslocamentos e reabastecimento
10 – 10:30	2ª Aplicação
10:30 – 12:30	Deslocamentos e reabastecimento / almoço
12:30 – 13h	3ª Aplicação
13 - 15	Deslocamentos e reabastecimento
15 – 15:30	4ª Aplicação
15:30 - 16	Retorno para a base
16 - 17	Reabastecimento para o dia seguinte

Este ritmo de operação pede uma reposição diária de $21\text{m}^3 \times 4 \text{ aplicações/dia} = 84\text{m}^3$ de dispersante químico, o que equivale a 02 ou 03 caminhões tanque de grande porte: $2 \times 42\text{m}^3 = 84\text{m}^3$ ou $3 \times 30\text{m}^3 = 90\text{m}^3$.

Ou seja, com a utilização de 01 (uma) aeronave do tipo Hercules é possível realizar até 04 aplicações de 20m^3 de dispersante por dia. Utilizando-se uma dosagem de dispersante não diluído de 1:20 (volume de dispersante : volume de óleo) é possível cobrir e tratar a área descrita anteriormente ($2.100 \times 1.000\text{m}$) para uma espessura de mancha de até 0,2mm ($200\text{m}^3/\text{km}^2$, de aspecto provável marrom), contendo cerca de 400m^3 de óleo. Segundo *IPIECA* (1999), considera-se tipicamente entre 0,1 – 0,2mm, a espessura média da área da mancha de óleo a ser tratada com dispersante.

Para este volume de óleo tratado ($\sim 400\text{m}^3$), e considerando uma dispersibilidade ou eficiência de resposta ao dispersante de 50% para o óleo de Jubarte, resultado aproximado de um teste padrão realizado a 10°C (Cenpes, 2003 – informação verbal),

quando utilizado um dispersante apropriado para óleos mais persistentes viscosos e pesados, e também para mousse, é esperado que se disperse na coluna d'água cerca de 200m^3 de óleo por aplicação, o que resulta em aproximadamente 800m^3 de óleo disperso por efeito químico, com 4 aplicações de dispersante em cada área de $(2.100 \times 1.100)\text{m}$, num dia de trabalho.

Com uma capacidade de agitação adicional, comparada àquela necessária e suficiente para estimular a dispersão química do volume de óleo tratado, é de se esperar que possam ser facilmente atingidos, e até superados, os 100% de eficiência de dispersão combinada (mecânica e química) para o volume de óleo efetivamente tratado. Assim, para efeito de dimensionamento da capacidade de dispersão combinada será considerada a totalidade do volume de óleo tratado pelo dispersante em cada área, ou seja, espessuras de mancha de até 0,2mm (*IPIECA*, 1999). Lembrando que na realidade e na modelagem, espessuras menores da mancha de óleo, facilmente encontradas à medida que se distancia o momento do derramamento instantâneo, corresponderão a eficiências menores para uma mesma capacidade de dispersão combinada.

Um resumo dos parâmetros de dispersão química, utilizados neste estudo para a modelagem de dispersão do óleo de Jubarte, é apresentado na Tabela 11.

Tabela 11
Parâmetros Utilizados para Dispersão Química do Óleo de Jubarte

Parâmetros	Sistema: Aeronave Hercules com Conjunto Dispersante
Aeronaves	01
Aplicações de Dispersante por Dia	04 x 21m ³
Dosagem de Dispersante Não Diluído	1:20
Área Coberta	(2.100 x 1.000)m ~ 02 km ²
Espessura de Mancha Tratada (IPIECA, 1999)	Até 0,2 mm (200m ³ /km ²)
Aspecto Provável	Marrom
Volume de Óleo Tratado por Aplicação	400m ³
Dispersibilidade Esperada (Teste a 10°C)	50%
Volume de Óleo Disperso por Aplicação	200m ³
Volume de Óleo Disperso por Dia	800m ³

5.2.2.2 Dispersão Combinada (Mecânica e Química)

A Figura 29 apresenta de forma esquemática, uma formação de embarcações para promover a agitação da mancha na ‘dispersão combinada’ de óleo no mar, composta também por 03 embarcações, equivalentes às utilizadas nas operações de contenção e recolhimento, sendo uma delas equipada com canhões d’água do tipo *fire-fight*, para combate a incêndio. Além das hélices de propulsão das 03 embarcações, os canhões d’água da embarcação central participam ativamente da operação de dispersão. Os canhões funcionam continuamente bombeando água do mar, com os jatos d’água direcionados para a mancha de óleo próximo à embarcação.

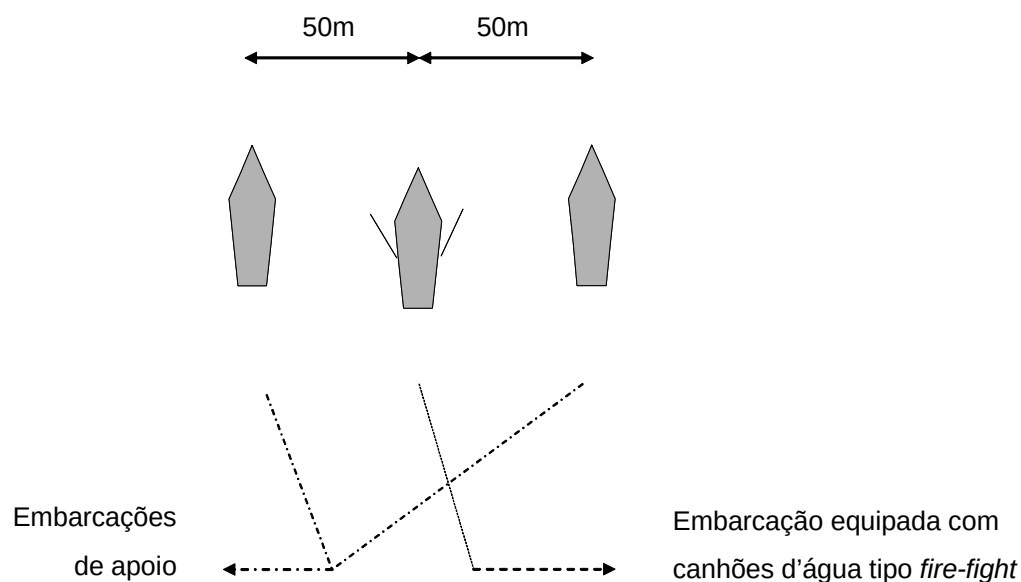


Figura 29 - Formação para Agitação Mecânica na Dispersão Combinada

Como movimentação a ser adotada para cada formação de embarcações no interior do seu polígono de responsabilidade propõe-se a representada no esquema da Figura 30.

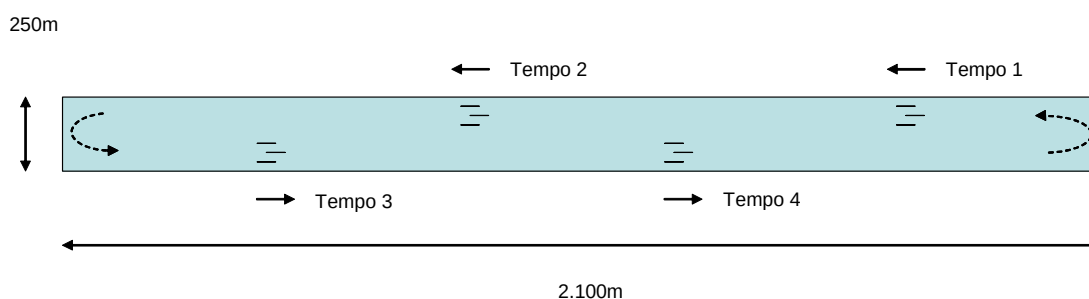


Figura 30 - Movimentação Proposta para as Formações no Polígono de Dispersão

A Figura 31, a seguir, apresenta também de forma esquemática uma área de dispersão combinada, mecânica e química, a ser trabalhada por um conjunto de embarcações, equivalente às de uma frente de formação de contenção e recolhimento com 04 formações (12 embarcações), durante 03 horas.

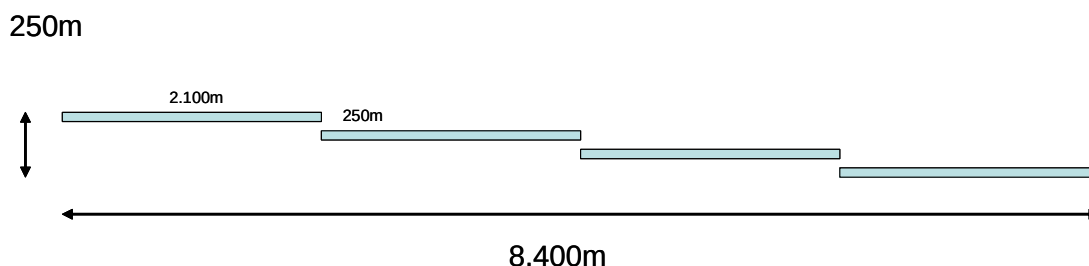


Figura 31 – Dispersão Combinada com Polígonos Escalonados - 04 Formações

Para efeito de simplificação da implementação no modelo computacional, ao invés de escalonadas, estas áreas foram consideradas alinhadas, como podem realmente ser na prática, com dimensão total de 8.400 x 250m, conforme a Figura 44.

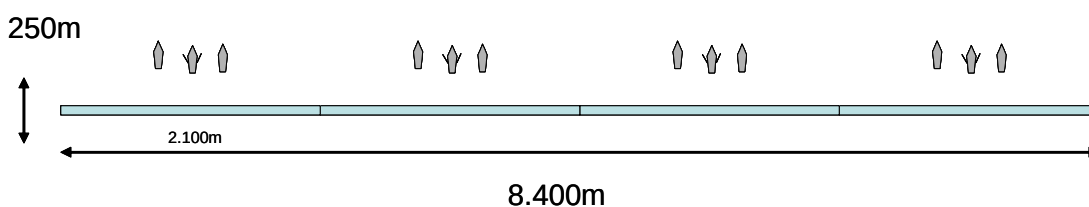


Figura 32 – Dispersão Combinada com Polígonos Alinhados - 04 Formações

Quando necessário representar uma frente com 02 formações, o comprimento total é reduzido para 4.200m. E para a representação de 07 formações, é utilizada uma área complementar para cada ETA (tempo de chegada), com comprimento adicional de 6.300m. O que corresponde a um acréscimo de $\frac{3}{4}$ na área e na capacidade de dispersão originais. Para uma melhor visualização do posicionamento progressivo utilizado para 02 e 04 formações alinhadas, têm-se as Figuras 33 (A) e (B), e para 07 formações alinhadas, em série ou em paralelo, têm-se as Figuras 33 (C) e (D).

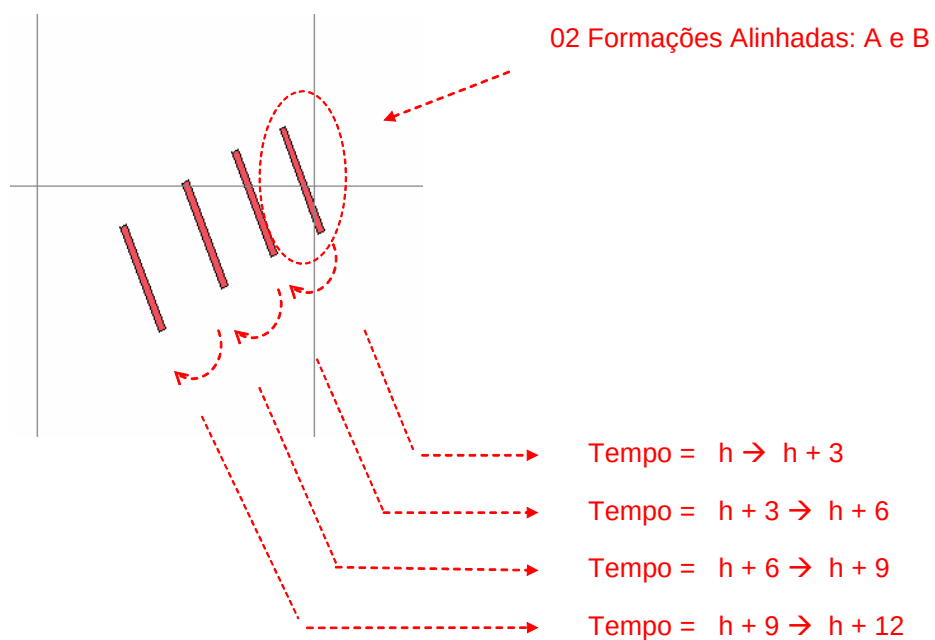


Figura 33 (A) – Posicionamento Progressivo - 02 Formações

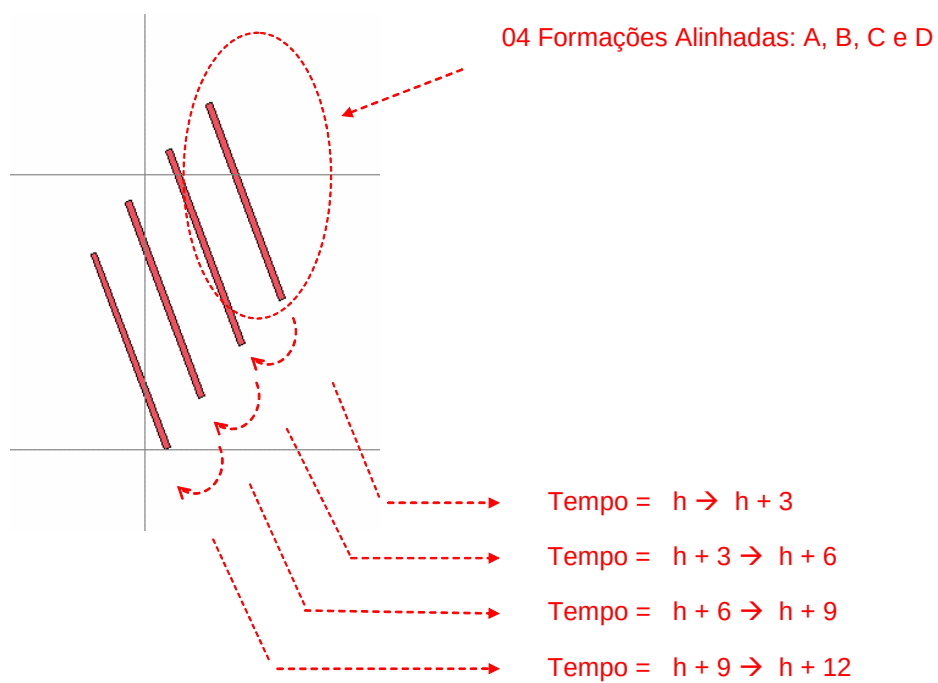


Figura 33 (B) – Posicionamento Progressivo - 04 Formações

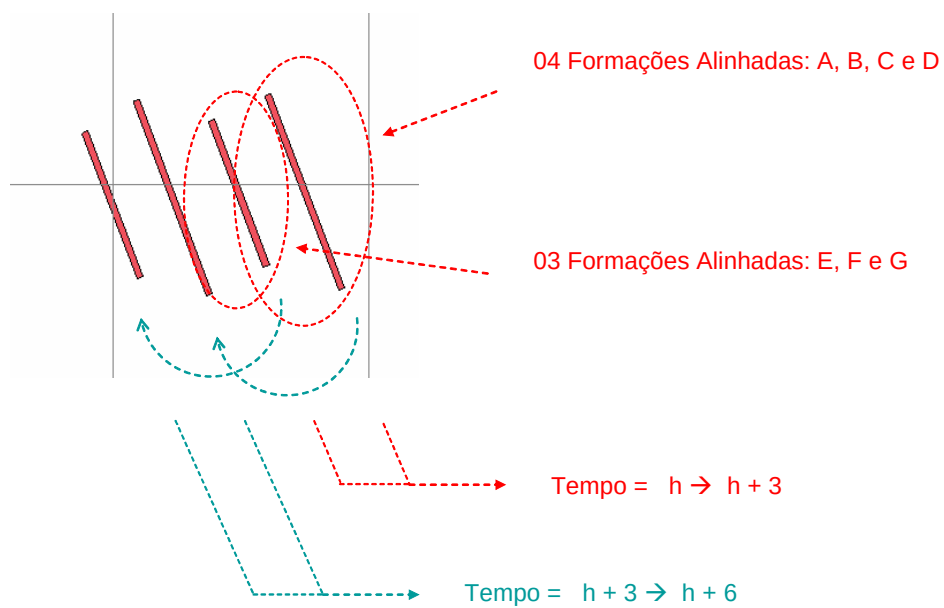


Figura 33 (C) – Posicionamento Progressivo - 07 Formações em Série

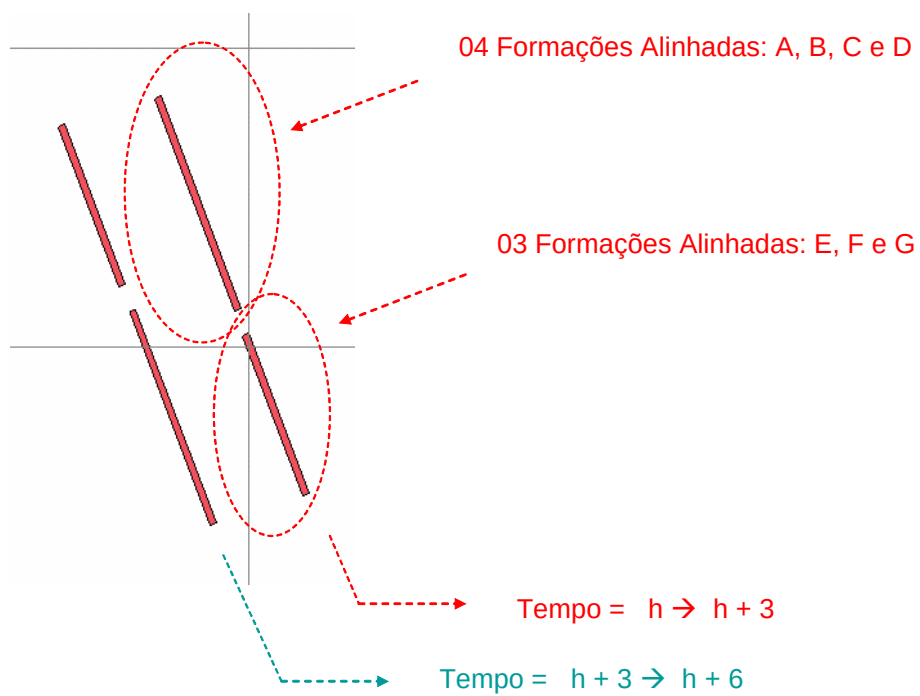


Figura 33 (D) – Posicionamento Progressivo - 07 Formações em Paralelo

5.2.3 Capacidade de Dispersão Combinada

- 1) De um volume de óleo quantificado na superfície do corpo d'água, define-se uma área a ser tratada. Nesta área, uma parcela do óleo poderá ser efetivamente tratada, espessura menor ou igual a 0,2mm (*IPIECA*, 1999);
- 2) A eficiência esperada do dispersante químico para o óleo de Jubarte é da ordem de 40 ou 50% do volume tratado (Cenpes, 2003 – informação verbal), e o que se faz aqui é, com base em *Oebius* (1999), estender esta eficiência para a ordem dos 100% com a utilização de uma agitação mecânica suplementar.
- 3) Para se estimar a capacidade de dispersão combinada, considera-se que o volume efetivamente tratado correspondente à espessura menor ou igual a 0,2mm (*IPIECA*, 1999) possa ser totalmente disperso, com uma agitação mecânica necessária e suficiente para tanto. Considera-se ainda que a agitação promovida pelas três embarcações, uma delas equipada com canhões d'água, na área correspondente a uma aplicação aérea de dispersante, seja suficiente para promover-se a dispersão de todo o volume efetivamente tratado;
- 4) Esta consideração resulta numa 'capacidade de dispersão combinada' da ordem de 35m³/embarcação em 2,5h de operação, bastante razoável se comparada a 'capacidade de recolhimento' considerada na legislação, 40m³/embarcação em 3,0h de operação, para formação em 'U' (03 embarcações e 01 *skimmer* de 200m³/h);
- 5) À medida que aumentam os tempos de resposta (ETAs), e diminuem as espessuras da camada de óleo, têm-se naturalmente reduzida a 'taxa efetiva de dispersão combinada', ainda que se mantenha constante a 'capacidade de dispersão artificial combinada', o que está sendo representado pelo modelo.

Tomando-se por base as áreas representadas na Figura 33, previstas para a aplicação do dispersante químico (04 conjuntos de 02 áreas a partir de 12h do incidente, 04 conjuntos de 04 áreas a partir de 36h do incidente e 04 conjuntos de 07 áreas a partir de 60h do incidente), e o mesmo número de embarcações por formação previsto na estrutura de contenção e recolhimento (03 embarcações, sendo uma delas equipada com canhões d'água do tipo *fire-fight*), chega-se a parâmetros de capacidade de dispersão que atendem a razoabilidade esperada pelo conhecimento empírico. E que poderão ser mais bem avaliados a partir da realização de experimentos práticos, seja com modelos em escala reduzida ou em derramamentos experimentais controlados.

Para o dimensionamento da estrutura necessária de dispersão combinada, considera-se que a capacidade de dispersão das formações disponíveis, as mesmas previstas na estratégia de contenção e recolhimento, seja suficiente para que todo o óleo correspondente ao volume efetivamente tratado quimicamente pela aeronave, espessura de até 0,2mm (IPIECA, 1999), possa ser disperso artificialmente. Para o dimensionamento da estrutura de resposta fala-se em capacidade de dispersão, pois o volume de óleo efetivamente disperso está associado à eficiência de dispersão da frente de operações, para dado ETA (tempo de chegada), como consequência da diminuição gradativa da espessura da mancha a medida que o óleo se espalha naturalmente.

A capacidade de dispersão combinada (mecânica e química), estimada e utilizada neste estudo ($42\text{m}^3/\text{h}$ por formação de 03 embarcações) ou ($35\text{m}^3/\text{embarcação}$ em 2,5h de operação), é bastante conservadora, no sentido de que se espera na prática uma relação superior. Se comparada à capacidade de recolhimento do óleo contido, também considerada neste estudo, com base na Resolução Conama 293 (CONAMA, 2001) ($40\text{m}^3/\text{h}$ por formação de 03 embarcações) ou ($40\text{m}^3/\text{embarcação}$ em 03h de operação), para formação em 'U'. Com um certo grau de razoabilidade, esta capacidade de dispersão poderia ser utilizada mesmo sem se considerar a aplicação de dispersante químico, ou ainda que determinado tipo de óleo não respondesse bem ao dispersante utilizado.

Um quadro resumo dos parâmetros utilizados na modelagem da dispersão combinada (mecânica e química) do óleo de Jubarte é apresentada na Tabela 12, a seguir.

Tabela 12
Parâmetros Utilizados para Dispersão Combinada do Óleo de Jubarte

Parâmetros	Por Polígono	Por Aplicação	Por Dia
Capacidade de Aplicação de Dispersante	5,25 m ³	21 m ³	84 m ³
Área Total Coberta	0,525 km ²	2,1 km ²	8,4 km ²
Número de Áreas (2.100 x 250) m	1	4	16
Dosagem de Dispersante Não-Diluído	1:20		
Espessura de Mancha Tratada / Aspecto Provável	Até 0,2 mm (200 m ³ /km ²) / Marrom		
Volume de Óleo Tratado	105 m ³	420 m ³	1680 m ³
Embarcações de Apoio e c/ Canhão <i>Fire-Fight</i>	02 + 01 = 03	08 + 04 = 12	08 + 04 = 12
Capacidade Estimada de Dispersão Combinada (*)	35 m ³ /embarcação	35 m ³ /embarcação	140 m ³ /embarcação
Tempo de Operação p/ Dispersão Combinada	2,5 h	2,5 h	10 h
Capacidade Individual Estimada de Dispersão Combinada	14,0 m ³ / embarcação / h		

* Valor estimado com base intuitiva, por ausência de referências conhecidas para dispersão mecânica, considerando que todo o óleo efetivamente tratado pelo dispersante químico, até 0,2mm de espessura (IPIECA, 1999), possa ser disperso com o apoio de capacidade de agitação necessária e suficiente.

Assim, cada formação para dispersão combinada é composta por uma embarcação *oil recovery* equipada com canhões d'água tipo *fire-fight*, e duas embarcações de apoio, com capacidade média de dispersão combinada de 14,0m³/h por embarcação, ou 42m³/h por formação de 03 embarcações, ou ainda uma capacidade resultante de 168m³/h por frente de 04 formações. Neste estudo, em todos os cenários de dispersão combinada, as formações são apoiadas por uma aplicação de dispersante químico por aeronave Hercules, a cada 03 horas.

6 APLICAÇÃO DO MODELO À REGIÃO DE JUBARTE

6.1 O LOCAL

O Campo de Jubarte abriga um dos grandes reservatórios brasileiros de petróleo, é constituído por óleo pesado (17º API), localiza-se na porção norte da Bacia Geológica de Campos, em região de águas profundas com cerca de 1.300m de lâmina d'água, no litoral sul do estado do Espírito Santo, distando aproximadamente 80km da costa na altura do Pontal de Ubú no município de Anchieta. Ver Figura 34, a seguir.



Fonte: (CEPEMAR, 2004b)

Figura 34 – Localização do Campo de Jubarte

6.2 O DOMÍNIO DE INTERESSE

Na área de estudo, em torno do ponto de derrame, foi definida uma grade computacional, ou malha, sobreposta ao mapa digital da área de estudo. A grade define quais células ou blocos correspondem à área de terra e quais à área de água, com a interface definindo a linha de costa. A linha de costa é representada por uma série de blocos que limita a extensão na qual a mancha de óleo pode se movimentar. A Tabela 13 a seguir apresenta as coordenadas a partir das quais foram realizadas simulações de resposta a um potencial acidente com o óleo pesado.

Tabela 13
Coordenadas Utilizadas para Simulação do Potencial Acidente

UTM – DATUM ARATU	GEODÉSICA – DATUM SAD69
Norte: 7.648.825	21° 15' 33,2" S
Leste: 394.454	40° 01' 02,2" W

6.3 A DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS

O conjunto de dados de entrada e parâmetros do modelo que define um cenário é composto pelo ponto de derrame, pelo tipo de óleo, pela data, horário e duração do derrame, pelo campo de correntes, pelo arquivo de dados meteorológicos, pelas opções de saída e pelos parâmetros de simulação. Os resultados de cada simulação correspondem então a um único cenário.

6.4 PARÂMETROS UTILIZADOS NA MODELAGEM DE ÓLEO

Para efeito de investigação de resultados das estratégias de resposta, o volume de óleo derramado foi fixado em 15.000m³ e (ver Definição do Cenário Acidental, no Item 5 – Metodologia), após um teste de sensibilidade do modelo, foi definido em 1900 o número

de partículas representativas do óleo derramado. As condições ambientais e demais parâmetros de modelagem foram mantidos os mesmos do cenário de maior volume atingindo a costa no EIA de Jubarte (CEPEMAR, 2004a). Na Tabela 14 têm-se os principais parâmetros utilizados na modelagem de óleo.

Tabela 14
Principais Parâmetros Utilizados na Modelagem de Óleo

Parâmetro	Valor
Nome do Óleo	Jubarte
Conteúdo Máximo de Água	01%
Espessura Mínima (espalhamento)	0,1mm
Temperatura da Água - inverno	22°C
Passo de Tempo	60min
Fator de Vento	03%
Coeficiente de Difusão Turbulenta Horizontal	10m ² /s
Volume Derramado	15.000m ³
Número de Partículas	1.900
Massa Mínima	10%

6.5 O CENÁRIO AMBIENTAL BASE

O Cenário ambiental utilizado como base para este estudo é o que pôde ser identificado como o mais crítico, dentre as simulações realizadas para o licenciamento ambiental do campo de Jubarte (CEPEMAR, 2004), uma vez que corresponde ao maior volume de óleo atingindo a costa. Este cenário ambiental pode ser visualizado na Figura 35, a partir do campo de corrente marinha superficial resultante e do vetor velocidade do vento no instante correspondente.

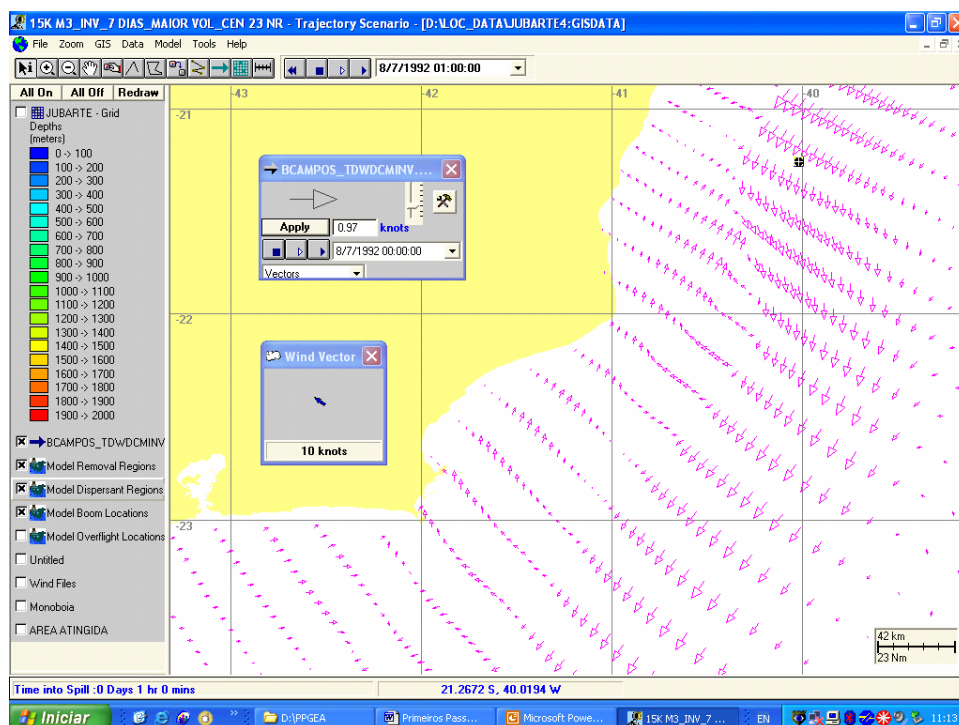


Figura 35 (A) – Cenário Ambiental Base - Instante Inicial da Simulação

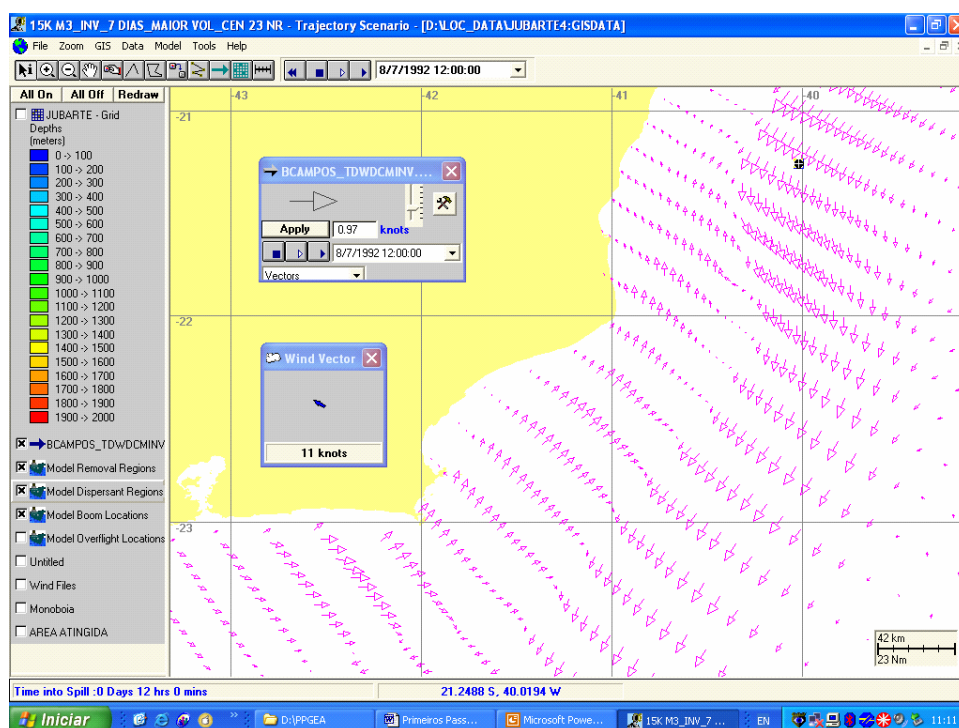


Figura 35 (B) – Cenário Ambiental Base - Instante 12h (½ dia)

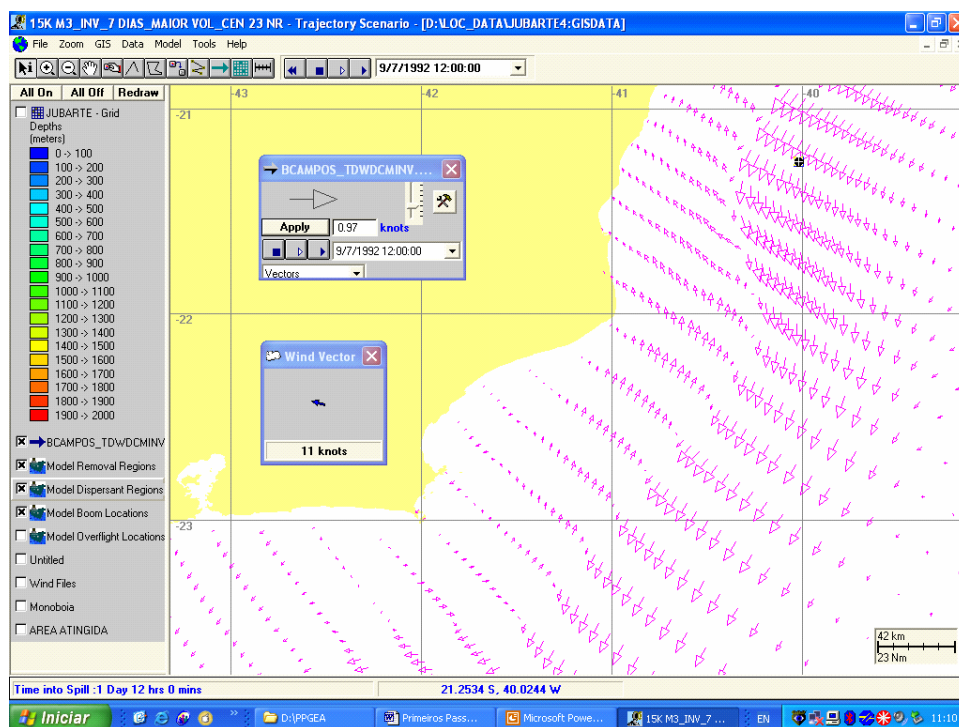


Figura 35 (C) – Cenário Ambiental Base - Instante 36h (1½ dias)

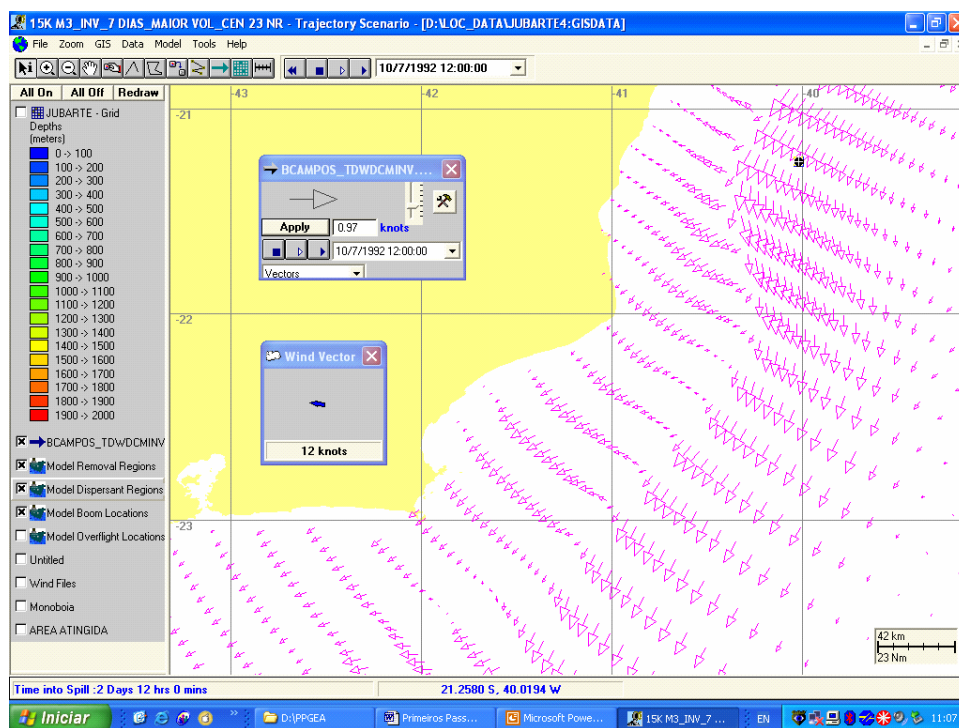


Figura 35 (D) – Cenário Ambiental Base - Instante 60h (2½ dias)

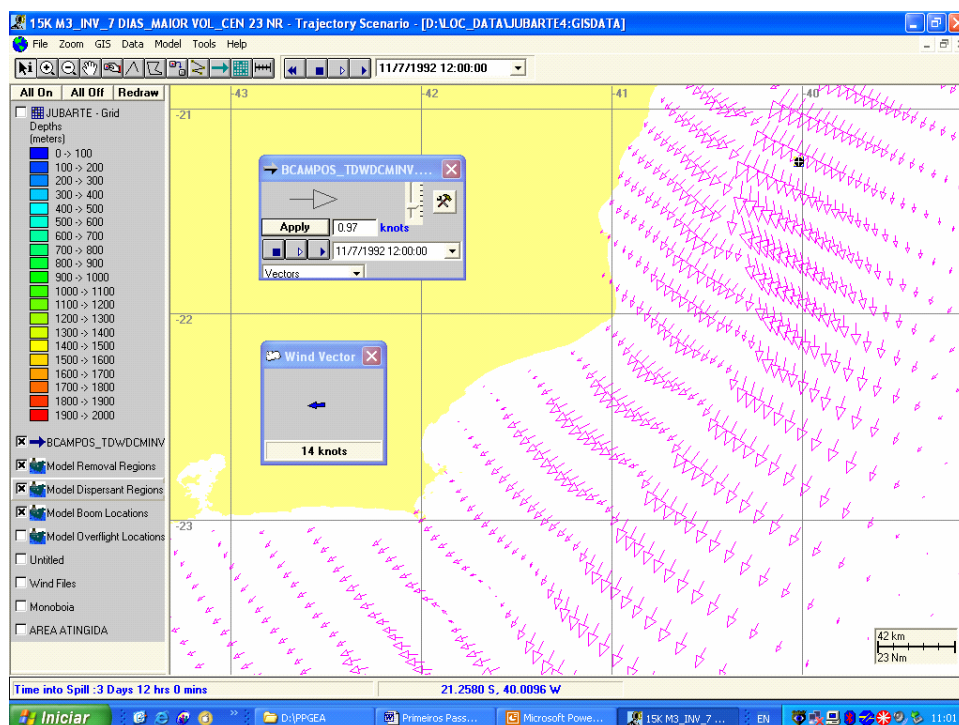


Figura 35 (E) – Cenário Ambiental Base - Instante 84h (3½ dias)

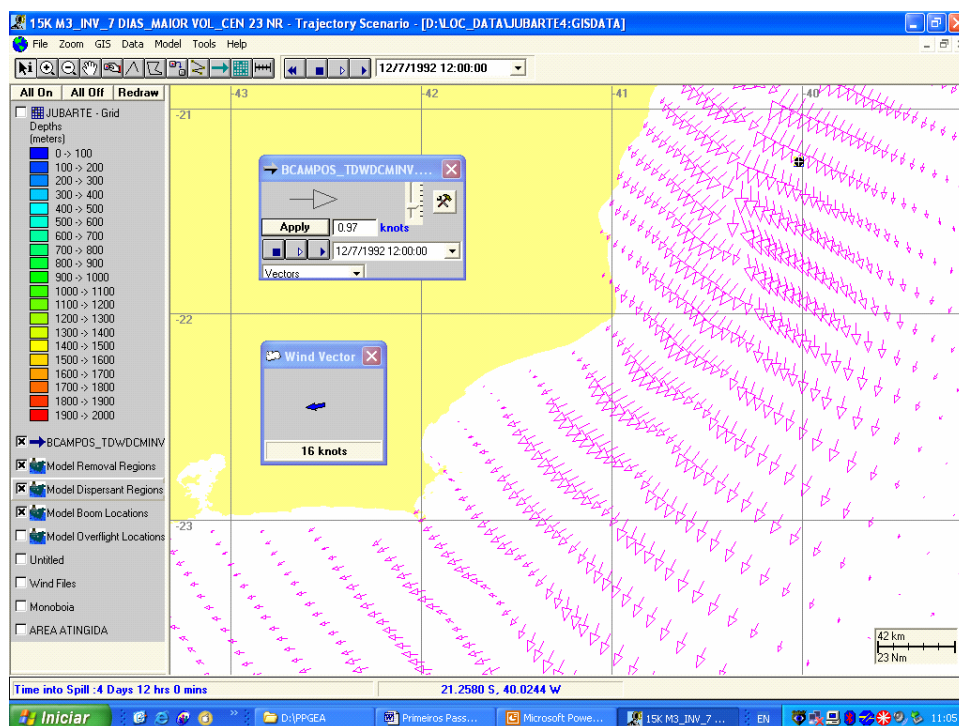


Figura 35 (F) – Cenário Ambiental Base - Instante 108h (4½ dias)

6.6 CENÁRIOS IMPLEMENTADOS

Como base para investigação neste trabalho, foi utilizado um cenário acidental crítico de inverno identificado a partir de um histórico hidrodinâmico e de ventos, descrito no processo de licenciamento ambiental do campo de Jubarte (CEPEMAR, 2004a), como aquele que resulta no maior volume de óleo atingindo a costa.

A partir do cenário ambiental base, foi avaliada a contribuição resultante da estratégia adotada e o esforço de mobilização necessário em cada cenário de resposta. Onde, a contribuição da estratégia é avaliada pelo maior volume de óleo interceptado (óleo recolhido + óleo contido remanescente nas barreiras após o recolhimento + óleo disperso artificialmente), e pelo conseqüente menor volume de óleo junto da costa (óleo na costa + óleo próximo à costa). E o esforço de mobilização é avaliado pelos tempos inicial e final de chegada e início de operação da estrutura de resposta, além do tamanho da estrutura utilizada (número de formações necessárias).

Para aplicação da ferramenta de simulação de resposta a derramamento de óleo, foi considerado o volume de 15.000m^3 (ver Definição do Cenário Acidental, no Item 5 – Metodologia) do óleo cru, enquadrado como ‘descarga grande’ segundo a Resolução CONAMA 293 (CONAMA, 2001), derramado instantaneamente, e combinações de tempos de resposta ou ETA (*Estimated Time of Arrival*) entre 06 e 66 horas.

A partir deste ponto, faz-se uma breve descrição dos cenários modelados neste estudo.

6.6.1 Cenário de Não Resposta

Com o intuito de se conhecer o comportamento da mancha no cenário ambiental escolhido (que resulta no maior volume na costa) na ausência de qualquer ação de resposta, foi simulado o cenário:

6.6.1.1 Cen NR (Cenário de Não Resposta ou Pluma Livre)

A opção de não-resposta (Cen NR), ou seja, nenhuma interferência humana para combate ao derramamento, pode ser visualizada na Figura 36.

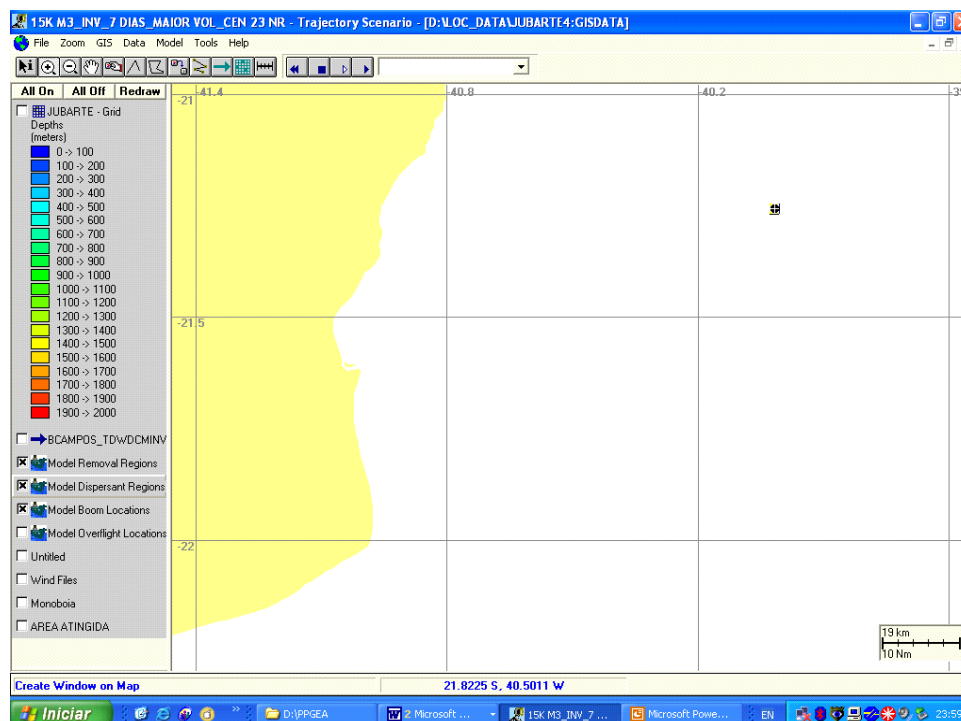


Figura 36 – Cenário de Não-Resposta (Cen NR)

Além da opção de não-resposta (*No Response*), foram modelados 10 diferentes cenários de resposta, considerando *skimmers* de $200\text{m}^3/\text{h}$ e $\text{CEDRO} = 24\text{h} \times 200\text{m}^3/\text{h} \times 20\% = 960\text{m}^3/\text{dia}$ por recolhedor. Desde o cenário de referência (Cen Ref), aquele visando o efetivo atendimento à legislação, com a primeira frente de contenção e recolhimento disponibilizada em até 12 horas, passando por cenários de variação dos tempos de início de resposta (Cen Ref - 06h e Cen Ref + 06h), por cenários de aumento na estrutura utilizada (Cen Ref + 30% e Cen Ref + 150%) e pela operação conjunta contenção/recolhimento e dispersão artificial combinada (Cen Ref + DC108h, Cen Ref +

DC84h, Cen 'Ref' + DC60h e Cen 'Ref' + DC36h), até um cenário de resposta baseado exclusivamente na dispersão combinada mecânica e química (Cen Excl DC12h). Os cenários implementados, a estrutura utilizada e os tempos de resposta encontram-se apresentados na Tabela 15.

Tabela 15

Cenários Implementados, Estrutura Utilizada e Tempos de Resposta

Cenários	Dia 1				Dia 2				Dia 3		
	ETA 06h	ETA 12h	ETA 18h	ETA 24h	ETA 30h	ETA 36h	ETA 42h	ETA 48h	ETA 54h	ETA 60h	ETA 66h
Cen NR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cen Ref - 06h	2	-	-	-	4	-	-	-	7	-	-
Cen Ref	-	2	-	-	-	4	-	-	-	7	-
Cen Ref + 06h	-	-	2	-	-	-	4	-	-	-	7
Cen Ref + 30%	-	3	-	-	-	6	-	-	-	9	-
Cen Ref + 150%	-	6	-	-	-	12	-	-	-	18	-
Cen Ref + DC 108h	-	2	-	-	-	4	-	-	-	7	-
Cen Ref + DC 84h	-	2	-	-	-	4	-	-	-	7	-
Cen'Ref'+ DC 60h	-	2	-	-	-	4	-	-	-	7	-
Cen'Ref'+ DC 36h	-	2	-	-	-	4	-	-	-	7	-
Cen Excl DC 12h	-	2	-	-	-	4	-	-	-	7	-

6.6.2 Cenários de Contenção e Recolhimento

Para avaliação da contribuição esperada com a estratégia de contenção e recolhimento, foram montados 05 cenários.

Como representação do efetivo atendimento à legislação, a Resolução Conama 293, (CONAMA, 2001), tem-se o cenário:

6.6.2.1 Cen Ref (Cenário de Referência ou Cenário Mínimo de Resposta)

Com 02 formações a 12h, 04 formações a 36h e 07 formações a 60h do início do incidente simulado (derramamento instantâneo). O cenário de referência (Cen Ref), pode ser visualizado na Figura 37.

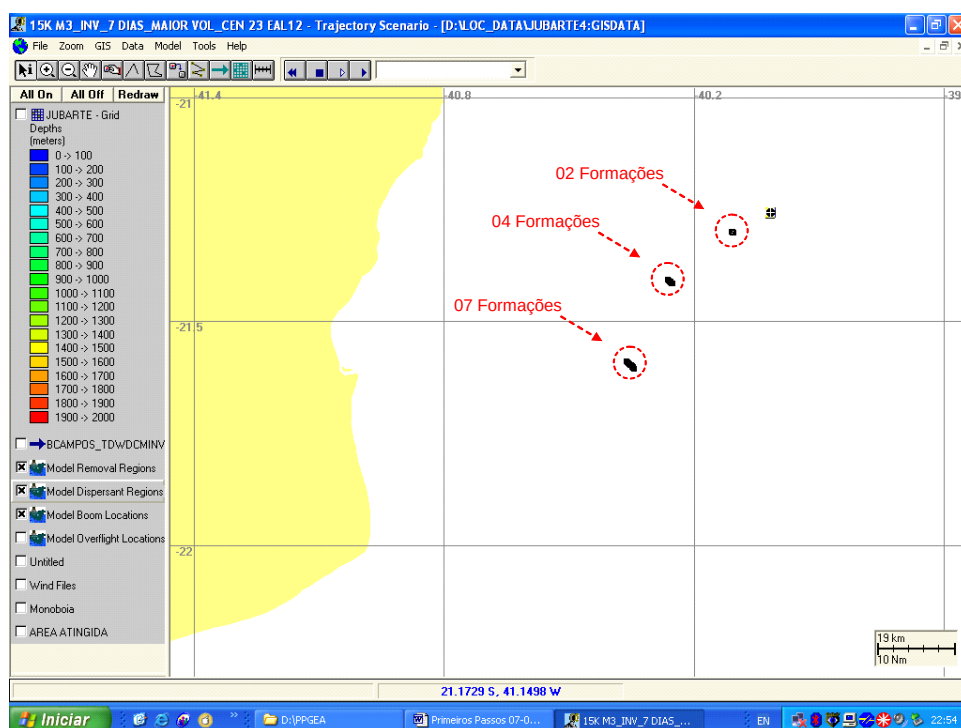


Figura 37 – Cenário de Referência (Cen Ref)

Para a simulação de variantes da contenção e recolhimento, foi implementado um cenário correspondente ao de referência antecipado, com a primeira frente de formação disponibilizada em até 06 horas (Cen Ref - 06h), e um outro cenário, com tempo de início de resposta postergado para 18 horas (Cen Ref + 06h). Além destes, foram implementados cenários representando aumento na estrutura de resposta em 30% (Cen Ref + 30%) e em 150% (Cen Ref + 150%) da estrutura original.

Com o intuito de investigar a contribuição da estratégia com uma antecipação em 06h, se o horário do incidente assim permitir, foi montado o cenário:

6.6.2.2 Cen Ref – 06h (Cenário de Referência, Antecipado em 06h)

Com 02 formações a 06h, 04 formações a 30h e 07 formações a 54h do início do incidente simulado (derramamento instantâneo), um cenário equivalente ao de referência, antecipando-se cada ETA (tempo de chegada) em 06h. O cenário de referência antecipado em 06h (Cen Ref – 06h), pode ser visualizado na Figura 38.

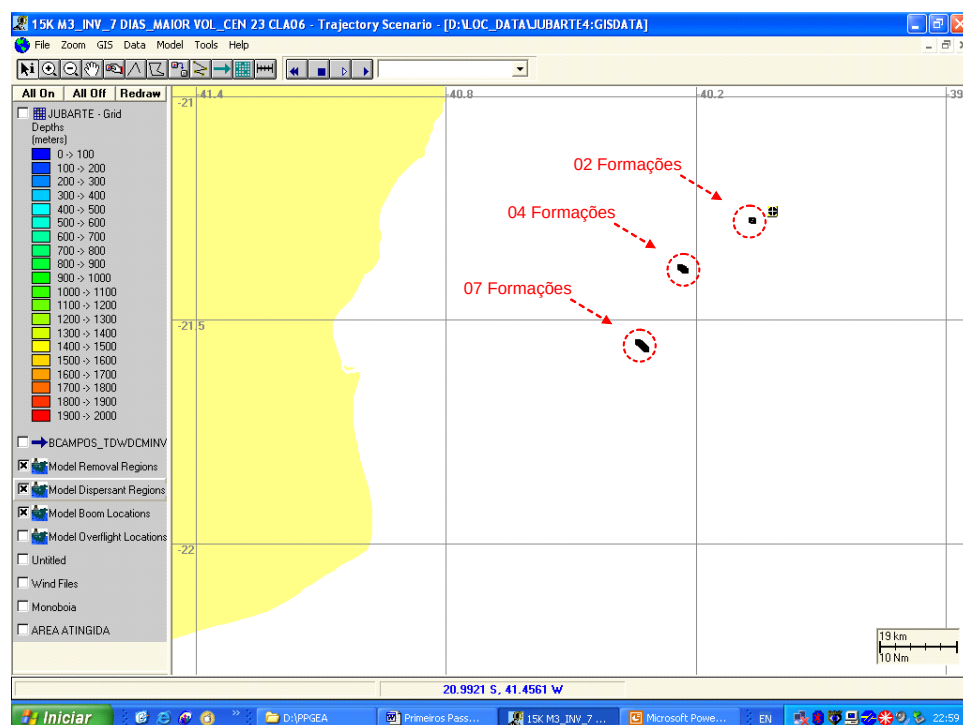


Figura 38 – Cenário de Referência, Antecipado em 06h (Cen Ref - 06h)

E com o intuito de se investigar as perdas esperadas na contribuição da estratégia com uma postergação da resposta em 06h para cada ETA, se o horário do incidente assim condicionar, foi montado o cenário:

6.6.2.3 Cen Ref + 06h (Cenário de Referência, Postergado em 06h)

Com 02 formações a 18h, 04 formações a 42h e 07 formações a 66h do início do incidente simulado (derramamento instantâneo), um cenário equivalente ao de referência, postergando-se cada ETA (tempo de chegada) em 06h. O cenário de referência postergado em 06h (Cen Ref + 06h), pode ser visualizado na Figura 39.

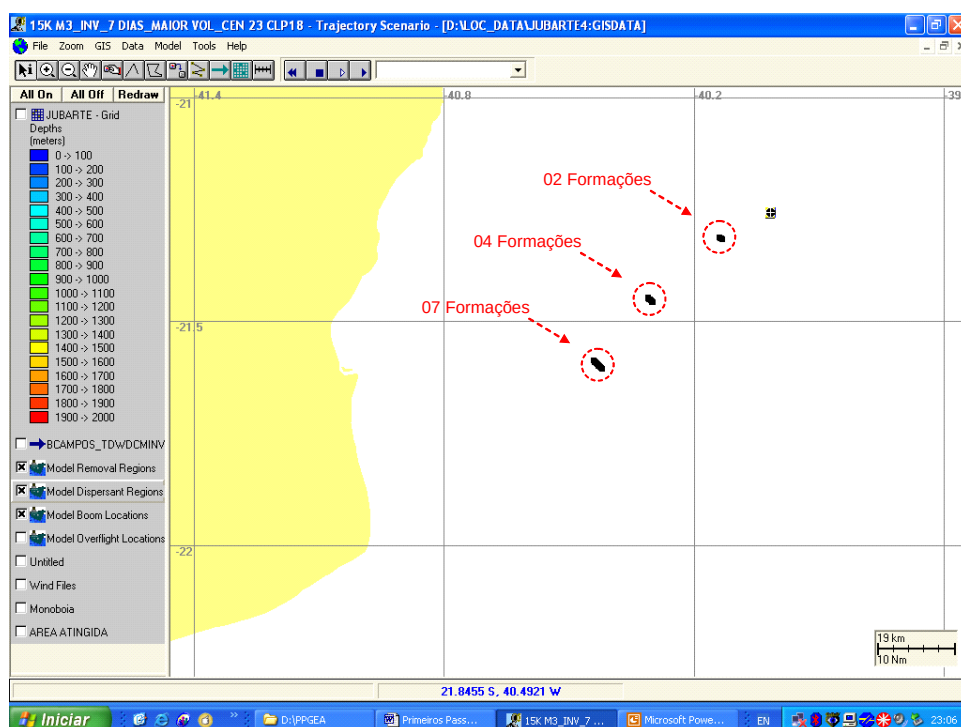


Figura 39 – Cenário de Referência, Postergado em 06h (Cen Ref + 06h)

Na sequência e no sentido de se representar um primeiro aumento na estrutura de contenção e recolhimento, para se tentar evitar o toque na costa, foi montado o cenário:

6.6.2.4 Cen Ref + 30% (Cenário de Referência, Aumentado em 30%)

Com 03 formações a 12h, 06 formações a 36h e 09 formações a 60h do início do incidente simulado (derramamento instantâneo), um cenário com uma estrutura de resposta aumentada em cerca de 30%, comparando-se com o cenário de referência ($3 + 3 + 3 = 9$ formações, em lugar de $2 + 2 + 3 = 7$ originalmente utilizadas). O cenário de referência aumentado em 30% (Cen Ref + 30%), pode ser visualizado na Figura 40.

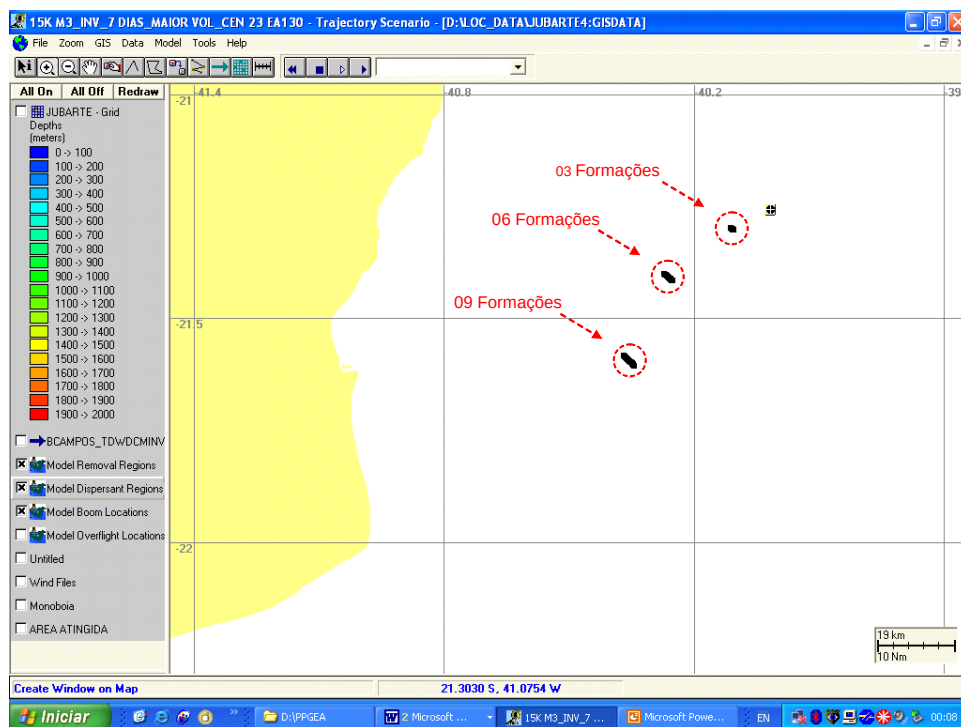


Figura 40 – Cenário de Referência, Aumentado em 30% (Cen Ref + 30%)

E, para representar um aumento ainda mais expressivo, para a ordem duas vezes e meia quando comparada à estrutura prevista no cenário de referência, avalia-se o cenário:

6.6.2.5 Cen Ref + 150% (Cenário de Referência, Aumentado em 150%)

Com 06 formações a 12h, 12 formações a 36h e 18 formações a 60h do início do incidente simulado (derramamento instantâneo), um cenário correspondente a uma estrutura aumentada em cerca de 150%, comparando-se àquela prevista no cenário de referência ($6 + 6 + 6 = 18$ formações, em lugar de $2 + 2 + 3 = 7$ originalmente utilizadas). O cenário de referência aumentado em 150% (Cen Ref + 150%), pode ser visualizado na Figura 41.

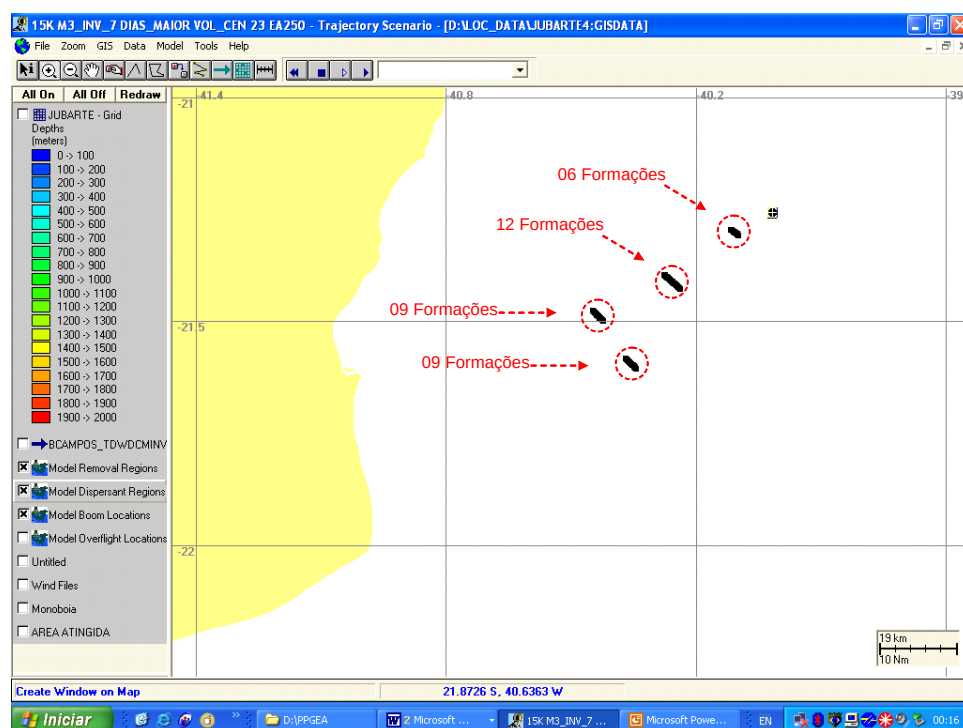


Figura 41 – Cenário de Referência, Aumentado em 150% (Cen Ref + 150%)

A determinação de uma estratégia de resposta mais indicada está vinculada a um cenário accidental, ou seja, para uma dada combinação das diferentes variáveis envolvidas na definição de um cenário accidental, será possível ou não, a identificação de uma estrutura de resposta capaz de reduzir a valores aceitáveis os impactos de um derramamento de óleo.

Para o cenário accidental utilizado como base neste estudo (Cen NR), no qual observa-se um derramamento instantâneo de um volume significativo de óleo pesado, num momento onde as variáveis ambientais favorecem ao maior volume atingindo a costa, diferentes estruturas de resposta experimentadas, baseadas apenas na contenção e recolhimento do óleo derramado, se mostram pouco eficazes no sentido de minimizar o toque na costa. Na utilização de resposta baseada exclusivamente em contenção e recolhimento do óleo, desde a estrutura mínima prevista na legislação (Cen Ref), até a sua multiplicação por duas vezes e meia (Cen Ref + 150%), que se mostra inviável sob o ponto de vista da racionalidade econômica, nenhum dos 10 cenários de resposta avaliados, apresenta resultado melhor (menor) do que 25% do volume originalmente derramado ainda atingindo a costa.

Considerando a significativa perda de eficiência, tanto da contenção quanto do recolhimento de óleo à medida que aumenta o tempo decorrido desde o início do incidente, e a inviabilidade de se disponibilizar na prática uma estrutura colossal de pronta resposta (superior a 51 embarcações), altamente especializada e dedicada exclusivamente a esse objetivo, capaz de atender prontamente a diferentes pontos de risco de derramamento de óleo, fica evidente a necessidade de se buscar alternativas mais viáveis do ponto de vista técnico, ambiental e econômico. Em função do intervalo de tempo para toque na costa ser relativamente curto no cenário accidental utilizado como base neste estudo (Cen NR), cerca de 05 dias do início da simulação, dentre as estratégias de resposta usualmente disponíveis foi considerada também a utilização da dispersão artificial combinada (mecânica e química) do óleo derramado, associada ou não a operações de contenção e recolhimento.

Para representar a estratégia de dispersão artificial combinada (mecânica e química) foram implementados os cenários (Cen Ref + DC108h) e (Cen Ref + DC84h), considerando a dispersão combinada a partir de 108h (4½ dias) ou 84h (3½ dias), respectivamente, do início do incidente simulado (derramamento instantâneo). E os cenários (Cen Ref + DC60h), (Cen Ref + DC36h) e (Cen Excl DC12h), que consideram a dispersão combinada a partir de 60, 36 e 12h do instante do incidente, substituindo gradativamente a contenção e recolhimento em cada um destes tempos de resposta. Na implementação dos cenários de dispersão, por questão de preservação da saúde da equipe de operações no mar, não foi prevista a dispersão combinada mecânica e química junto a frentes de formação de contenção e recolhimento, apesar das condições de *sotavento* (para jusante), do cenário ambiental base deste estudo, assim permitirem.

Daí, para efeito comparativo de estratégias de resposta, partindo-se do cenário de referência (Cen Ref), avaliam-se os resultados obtidos a partir de diferentes tempos decorridos para o início de operação das frentes de dispersão. Essas frentes são montadas considerando-se a capacidade de dispersão combinada de 04 formações (12 embarcações) igual a 140 m³/h por aplicação e 01 aplicação de dispersante químico correspondendo a 04 áreas de aplicação de 2100 x 250m, que na prática podem ou não ser fisicamente escalonadas. Neste estudo, para facilidade de representação no modelo, as áreas de aplicação de dispersante serão contíguas ou alinhadas, ou seja, será utilizada a representação de uma grande área de 8400 x 250m, a ser trabalhada a cada 3 horas de operação, por 12 embarcações. Desta forma, faz-se possível tratar 04 dessas grandes áreas num dia de trabalho, com a mesma frente de formação, neste caso com 12 embarcações.

Para a estratégia considerada neste estudo, a partir do momento que entram em operação simultânea as 07 formações (21 embarcações), decorridas 60h (2 ½ dias) do início do incidente, a dispersão combinada mecânica e química passa a exigir também a operação da 2ª aeronave do tipo Hercules, para assegurar a aplicação do dispersante químico, dando cobertura assim às 07 formações de dispersão combinada, 04 vezes

durante o dia. Ensaios de laboratório e de campo se fazem necessários para melhor definir a resposta esperada do óleo eventualmente derramado ao dispersante químico disponível, em função do tempo decorrido do início do incidente (derramamento instantâneo). Com os resultados dos ensaios, e em função do cenário acidental que se apresente (volume derramado, coordenadas do derramamento, tipo de óleo, condições de vento e corrente marinha do momento), além da previsão meteo-oceanográfica para os dias subseqüentes, a coordenação das operações pode definir pela mobilização ou não da 2ª aeronave.

6.6.3 Contenção e Recolhimento + Dispersão Combinada

São também em número de 05, os cenários modelados considerando a dispersão combinada (mecânica e química), equivalente e associada ao cenário de referência (Cen Ref), ou seja, efetuada pelas mesmas embarcações previstas na estrutura de resposta para o atendimento à legislação aplicável a contenção e recolhimento no cenário de referência.

Com o intuito de se investigar os resultados esperados, em ordem crescente de contribuição da estratégia, a partir da operação de uma primeira frente de formação para dispersão combinada, foi montado o cenário:

6.6.3.1 Cen Ref + DC108h (Cen. de Ref. + Disp. Combinada a partir de 108h)

Considera a dispersão combinada (mecânica e química) a partir de 108h (4 ½ dias) do início do incidente, enquanto se mantém a estrutura de contenção e recolhimento prevista no cenário de referência. O cenário de referência associado à dispersão combinada a partir de 108h (Cen Ref + DC108h), pode ser visualizado na Figura 42.

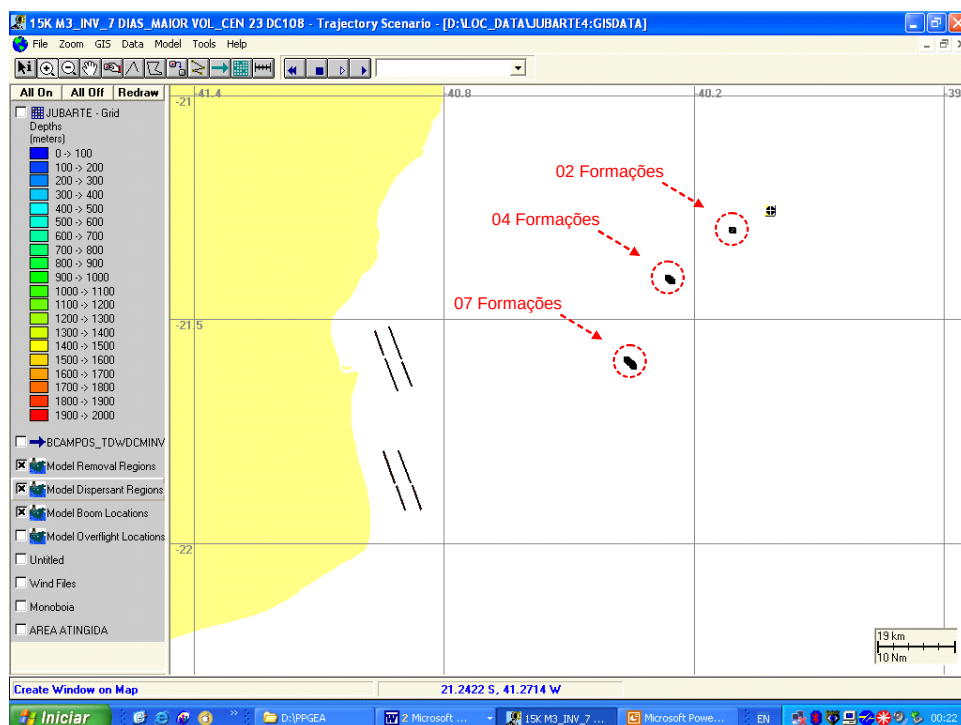


Figura 42 – Cenário de Referência + Dispersão Combinada a partir de 108h

Para se montar este cenário, deve-se lembrar que no instante 108h são 07 as frentes de formação disponíveis, e não 04 para as quais foram feitos os cálculos originais, assim, sem maiores problemas, monta-se uma área de dispersão artificial combinada complementar, considerando-se um acréscimo de $\frac{3}{4}$ no comprimento e $\frac{3}{4}$ na capacidade de dispersão da formação original.

Após a entrada da mancha na região sobre a plataforma continental, onde predomina o efeito do vento e da maré, e para o cenário ambiental considerado neste estudo, onde no instante da transposição batimétrica a corrente resultante segue em sentido oposto à corrente do Brasil, a mancha de óleo se divide em duas, mancha norte e mancha sul.

Considera-se então, para efeito de dimensionamento dos tempos de resposta após a divisão da mancha principal, uma defasagem de 02h para o deslocamento das frentes de formação entre o final da 2ª etapa e o início da 3ª etapa de dispersão no dia, período

no qual é feito o deslocamento das embarcações da ‘mancha norte’ para a ‘mancha sul’. No instante do deslocamento, pontos correspondentes estão separados por cerca de 16 milhas náuticas.

Já o intervalo de tempo de aproximadamente 15 minutos, necessário para os deslocamentos entre o final da 1ª etapa de dispersão e o início da 2ª, ou entre o final da 3ª e o início da 4ª etapas, não foi computado, uma vez que o dividindo ao meio corresponde à cerca de 05% do tempo de operação para dispersão em cada etapa (anterior e subsequente), o que pode ser facilmente absorvido durante as manobras, movimentações e operações no mar.

Devem-se registrar também as restrições feitas pela Resolução Conama 269 (CONAMA, 2000), com o conseqüente impedimento da aplicação de dispersante químico a menos de 12 milhas da costa ou 15 metros de profundidade, o que pode corresponder ao caso a partir deste 4º dia do início do incidente. Porém, a ‘capacidade de dispersão’ das frentes de formação não foi alterada, tendo em vista que a eficiência de dispersão combinada resultante foi tão baixa, que provavelmente poderia ser obtida mesmo sem a aplicação de dispersante químico, apenas com a agitação promovida pelas embarcações.

Na seqüência, para se avaliar os resultados de uma frente de formação para a dispersão combinada entrando em operação no 3º dia depois do início do incidente, foi montado o cenário:

6.6.3.2 Cen Ref + DC84h (Cen. de Ref. + Disp. Combinada a partir de 84h)

Que considera dispersão combinada a partir de 84h (3 ½ dias) do início do incidente, mantendo-se as estruturas de contenção e recolhimento previstas no cenário de referência (12, 36 e 60h). O cenário de referência associado à dispersão combinada a partir de 84h (Cen Ref + DC84h), pode ser visualizado na Figura 43.

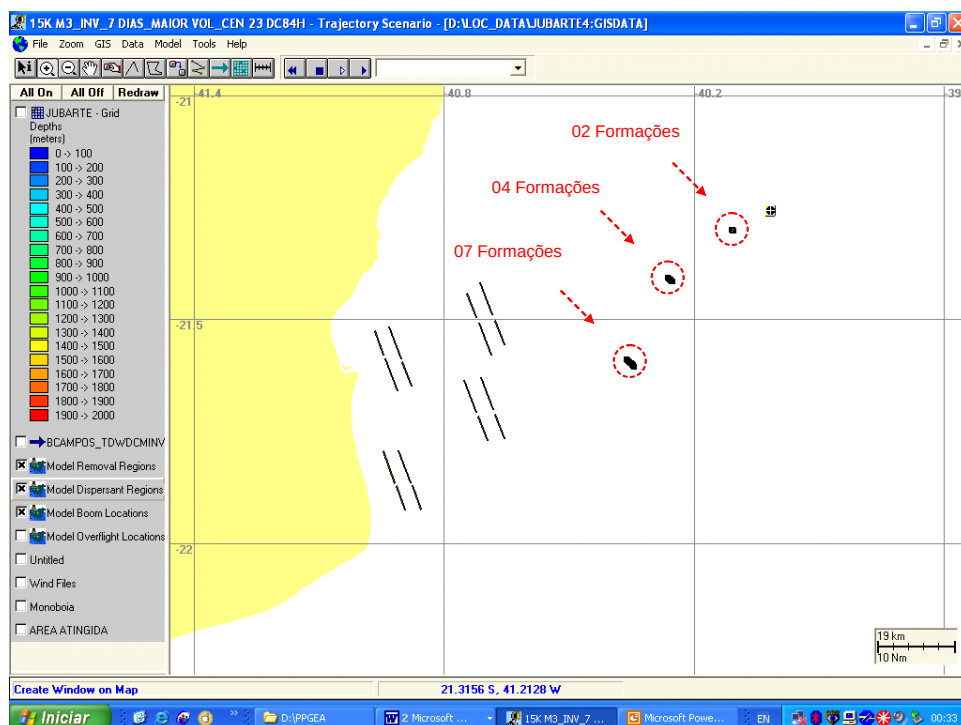


Figura 43 – Cenário de Referência + Dispersão Combinada a partir de 84h

Assim como no cenário anterior, também neste caso foi considerada uma defasagem de 02h para o deslocamento das frentes de formação entre o final da 2ª etapa e o início da 3ª etapa de dispersão no dia, apesar da distância naquele instante ser um pouco menor entre pontos correspondentes da ‘mancha norte’ e da ‘mancha sul’, 12 milhas náuticas. Já o intervalo de aproximadamente 15 minutos, para deslocamentos entre a 1ª e 2ª etapas de dispersão e entre a 3ª e 4ª etapas, também não foi computado.

Para se avaliar os resultados da substituição da 3ª frente de formação, prevista no cenário de referência para a contenção e recolhimento a 60h (2 ½ dias) do início do incidente (derramamento instantâneo), por uma frente de formação para a dispersão combinada, foi montado o cenário:

6.6.3.3 Cen 'Ref' + DC60h (Cen. de 'Ref'. + Disp. Combinada a partir de 60h)

Que substitui a frente de contenção e recolhimento de 60h por uma de dispersão combinada, ou seja, este cenário terá contenção e recolhimento a partir de 12 e 36h e dispersão combinada (mecânica e química) a partir de 60h, 84h e 108h do incidente. O cenário de 'referência' associado à dispersão combinada a partir de 60h (Cen 'Ref' + DC84h), pode ser visualizado na Figura 44.

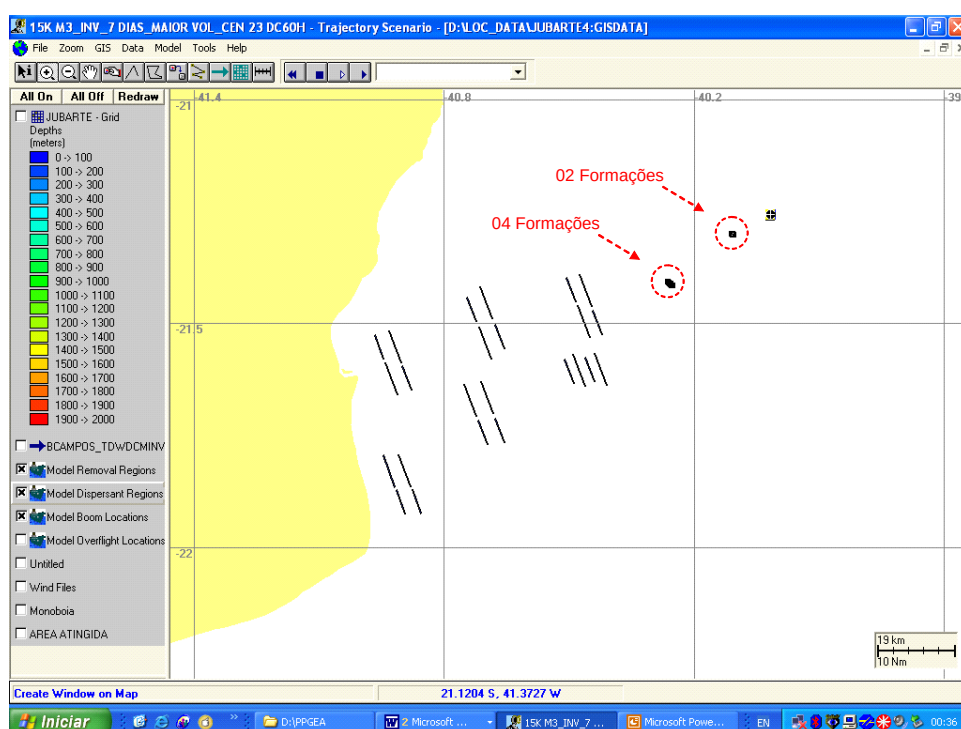


Figura 44 – Cenário de 'Referência' + Dispersão Combinada a partir de 60h

Pelas condições ambientais e de segurança e saúde da equipe de operações no mar, não haveria problema de se combinar as duas estratégias a partir de 60h do início do incidente (derramamento instantâneo), porém dessa forma seriam necessárias mais formações, ou seja, o dobro das embarcações previstas no cenário de referência para a contenção e recolhimento de descargas grandes em mar aberto, fugindo assim ao propósito comparativo deste estudo.

Neste cenário (Cen 'Ref' + DC60h) foi considerada uma defasagem de 01h para o deslocamento das frentes de formação entre o final da 2ª e o início da 3ª etapas de dispersão neste dia, período no qual é feito o deslocamento das embarcações da 'mancha norte' para a 'mancha sul'. Naquele instante, pontos correspondentes da 'mancha norte' e da 'mancha sul' estão separados por cerca de 07 e 10 milhas náuticas, respectivamente.

Dando prosseguimento, para se avaliar os resultados da substituição da 2ª frente de formação prevista no cenário de referência para a contenção e recolhimento, a 36h (1 ½ dias) do início do incidente (derramamento instantâneo), por uma frente de formação para a 'dispersão combinada', foi montado o cenário:

6.6.3.4 Cen 'Ref' + DC36h (Cen. de 'Ref'. + Disp. Combinada a partir de 36h)

Substituindo também a frente de contenção e recolhimento de 36h por uma de dispersão combinada, ou seja, este cenário considera a contenção e recolhimento a partir das 12h do início do incidente e a dispersão combinada (mecânica e química) a partir das 36, 60, 84 e 108h do início do incidente. O cenário de 'referência' associado à dispersão combinada a partir de 36h (Cen 'Ref' + DC36h), pode ser visualizado na Figura 45.

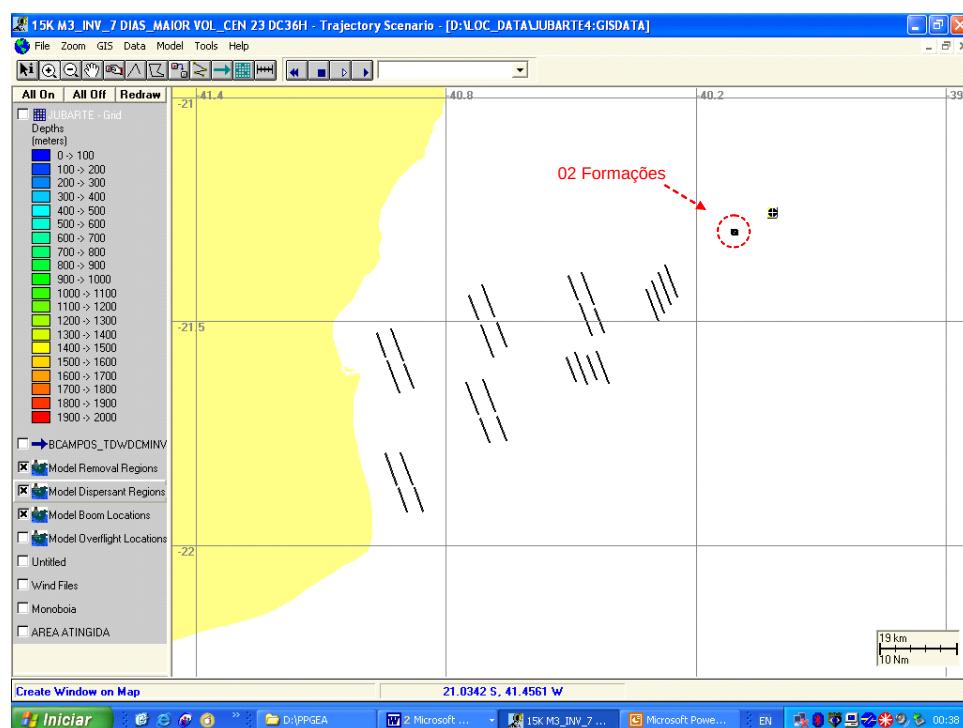


Figura 45 – Cenário de 'Referência' + Dispersão Combinada a partir de 36h

Para se avaliar os resultados da substituição também da 1ª frente de formação prevista no cenário de referência para a contenção e recolhimento, a 12h (½ dia) do início do incidente (derramamento instantâneo), por uma frente de formação para a dispersão combinada, foi montado o cenário:

6.6.3.5 Cen Excl DC12h (Cen. de Exclusiva Disp. Combinada a partir de 12h)

Somente com dispersão combinada, ou seja, este cenário não prevê contenção e recolhimento, mas apenas dispersão combinada (mecânica e química) a partir das 12, 36, 60, 84 e 108h do início do incidente. O cenário de exclusiva dispersão combinada a partir de 12h (Cen Excl DC12h), pode ser visualizado na Figura 46.

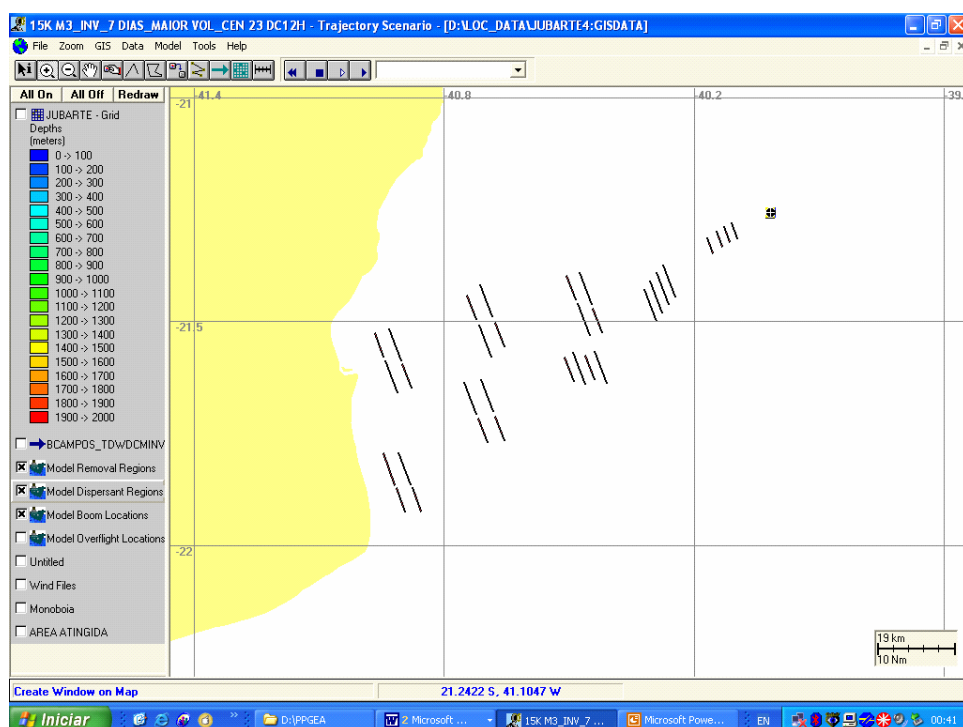


Figura 46 – Cenário de Exclusiva Dispersão Combinada a partir de 12h

6.7 OBSERVAÇÕES DA UTILIZAÇÃO DO OILMAP

A implementação dos *flags* ou sinalizadores do modelo numérico, na representação do recolhimento do óleo derramado, cessa logo após as primeiras horas de operação dos *skimmers* (recolhedores), apesar de um volume expressivo de óleo permanecer contido nas barreiras.

A especificação de diferentes princípios de funcionamento dos equipamentos para a contenção (*seafence*, *shorefence*, *weir-boom*, *ro-boom*, *fire-boom*, etc) ou o recolhimento (adesão, sucção, vertedouro, transporte, etc) de óleo no mar, se faz de forma indireta, através dos limiares de eficiência estimados para cada variável ambiental (velocidade do vento, velocidade de corrente marinha resultante, altura de ondas, etc).

A eficiência dos equipamentos, frente às características de um óleo em particular, são percebidas pelo modelo de forma indireta, através da distribuição de espessuras da mancha em cada momento e da perda de eficiência de resposta a medida que diminuem as espessuras, não considerando a eficiência operacional para cada equipamento quando operando com óleos leves, médios ou pesados.

Quanto à dispersão mecânica ou química do óleo, a representação no modelo não prevê a utilização de diferentes equipamentos ou produtos químicos e seu comportamento frente a óleos leves, médios ou pesados. Informa-se apenas uma taxa esperada de retirada de óleo da superfície do mar.

7 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Inicia-se neste ponto, a apresentação e análise dos resultados de diferentes estratégias de resposta baseadas exclusivamente na contenção e recolhimento do óleo hipoteticamente derramado, para em seguida serem apresentados e analisados os resultados das estratégias que associam a contenção e recolhimento com a dispersão combinada (mecânica e química) do óleo derramado.

Como referência para avaliação visual da mancha nos diferentes cenários, apresenta-se primeiramente, na Figura 47, a escala de cores utilizada no modelo para representação de diferentes espessuras e a correspondência com o padrão de visualização aérea da mancha.

Escala de cores utilizadas no modelo:

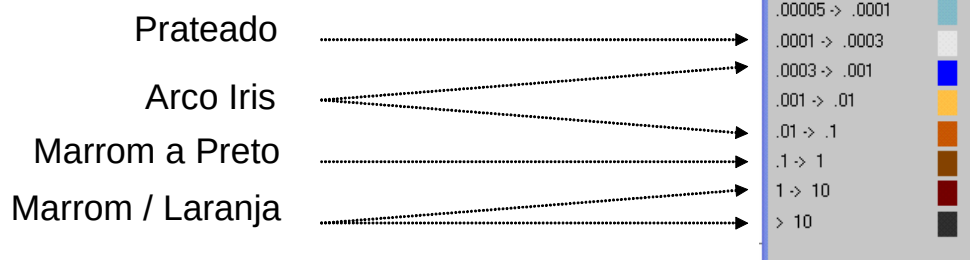


Figura 47 – Padrão de Visualização Aérea e Escala de Cores no Modelo

7.1 CENÁRIO DE NÃO RESPOSTA

Para estimar a destinação de uma ‘descarga grande’ de óleo pesado, conforme descrita na Resolução Conama 293 (CONAMA, 2001), num cenário ambiental que favoreça o toque na costa, considerando a evolução da pluma livre, servindo como base de comparação para os resultados de diferentes cenários de resposta, foi simulado o cenário de não resposta (Cen NR), para derramamento no campo de Jubarte, conforme descrição apresentada na Tabela 16.

Tabela 16

Parâmetros de Simulação do Cenário de Não-Resposta

Parâmetros	Valores Atribuídos para a Simulação
Regime do Derramamento	Instantâneo – hipótese accidental de ruptura de tanques carregados
Volume Derramado	15 mil m ³ , ~ 1/3 da capacidade de carga da plataforma P-34
Tipo de Óleo	Óleo Cru de Jubarte, pesado e viscoso - densidade: 16,8 Graus API ou 0,951 g/cm ³ - viscosidade: 4.369 cP a 25°C ou 1.984 cSt a 22°C
Localização	Coordenadas: 21°15'33,2" S e 40°01'02,2" W
Instante Inicial	00h do dia 08/07 – Correspondente ao cenário ambiental de maior criticidade para volume atingindo a costa, dentre 300 simulações realizadas para o período de inverno, para o licenciamento do campo de Jubarte.
Tempo de Simulação	7 dias, até se completar o toque da mancha na linha de costa.

A visualização da mancha, correspondente à evolução da pluma livre em diferentes instantes neste cenário de não-resposta (Cen NR), pode ser observada na Figura 48.

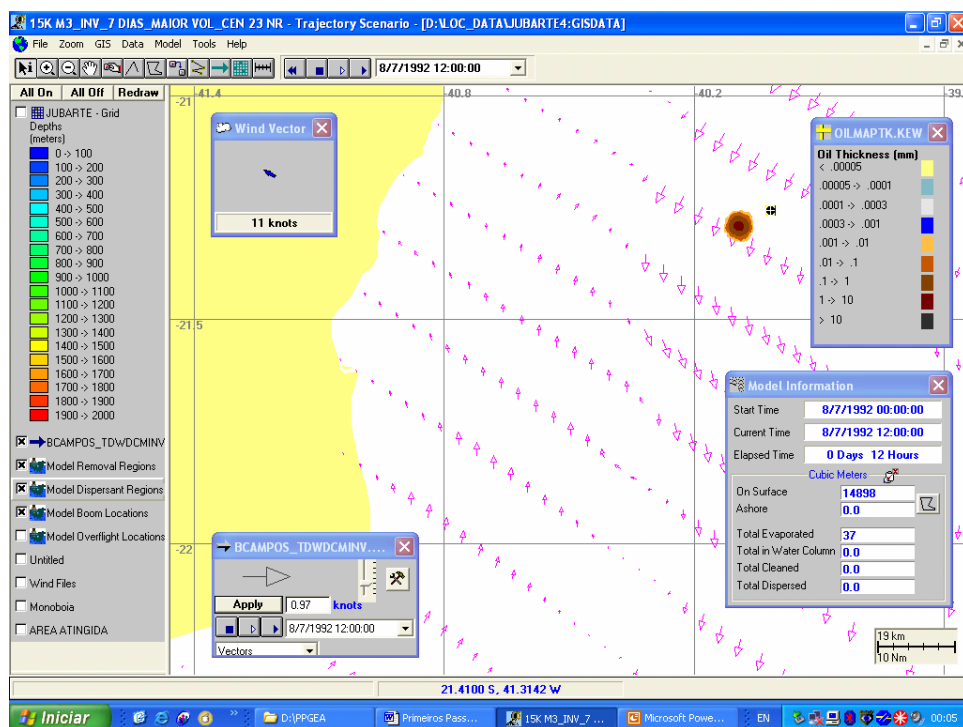


Figura 48 (A) – Cenário de Não-Resposta, tempo de simulação ½ dia.

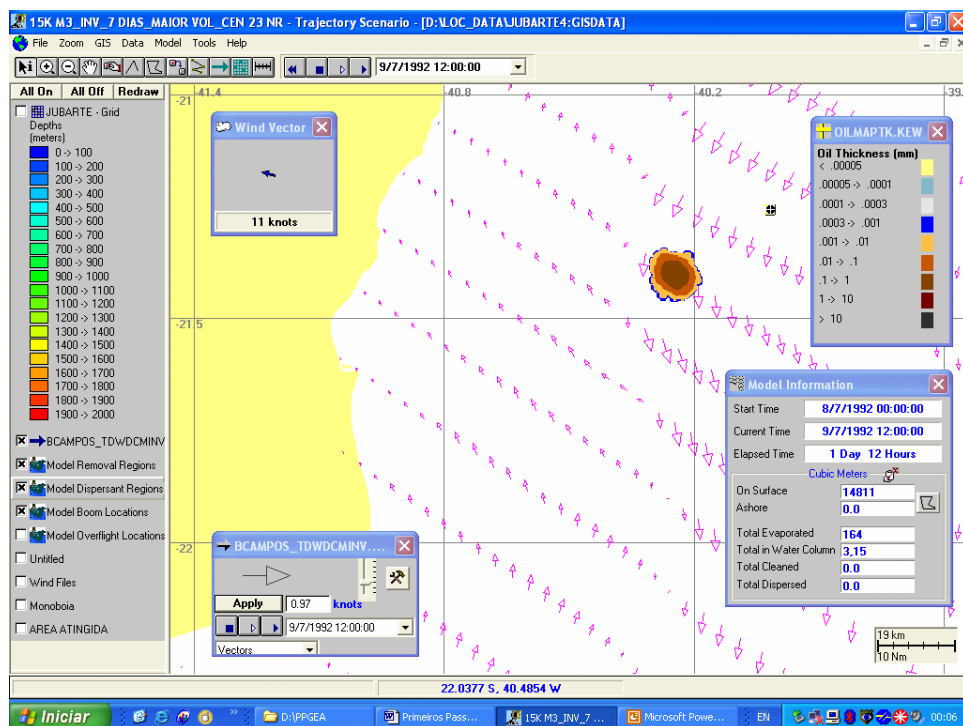


Figura 48 (B) – Cenário de Não-Resposta, tempo de simulação 1 ½ dias.

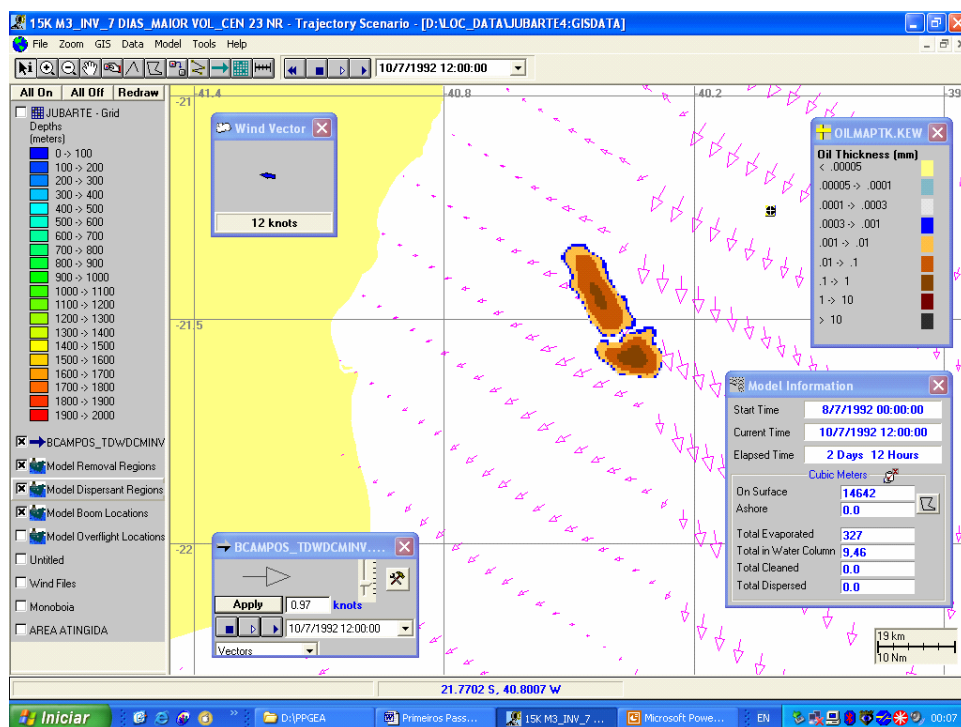


Figura 48 (C) – Cenário de Não-Resposta, tempo de simulação 2 ½ dias.

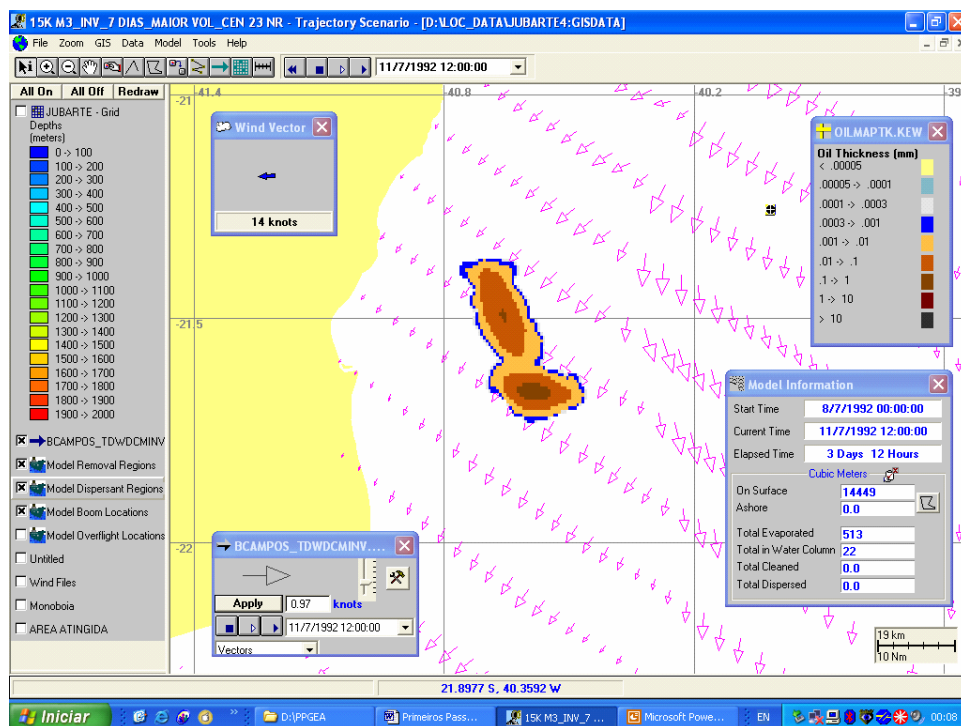


Figura 48 (D) – Cenário de Não-Resposta, tempo de simulação 3 ½ dias.

Para fins de comparação com os demais cenários apresentados mais à frente, seções 6.2 e 6.3, apresenta-se na Figura 49 uma visualização da evolução da mancha no cenário de não-resposta (Cen NR), também no instante 4½ dias do início da simulação do incidente.

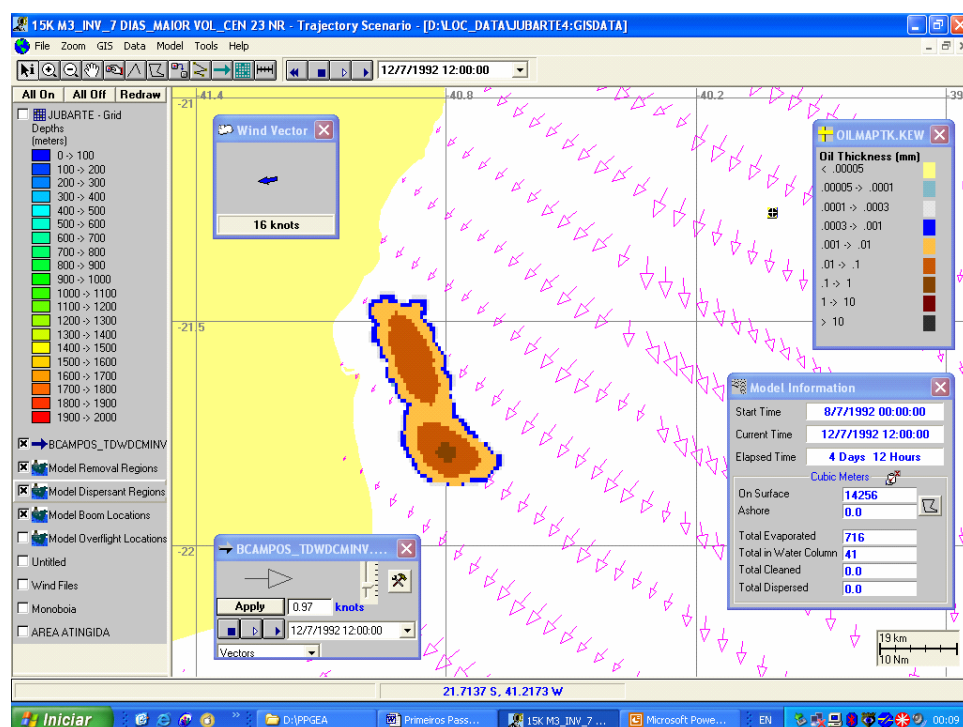


Figura 49 – Cenário de Não-Resposta, tempo de simulação 4 ½ dias

Na Figura 50 pode-se observar que, mesmo depois de completado o toque na costa (em vermelho) neste cenário, para o tempo decorrido de 07 dias do início da simulação, uma parcela do óleo permanece livre na superfície (em tons de marrom), próximo à costa. Provavelmente em decorrência da saturação da área costeira, uma vez que o modelo *OILMAP* considera a interação da mancha com a linha de costa e a capacidade de absorção de cada região.

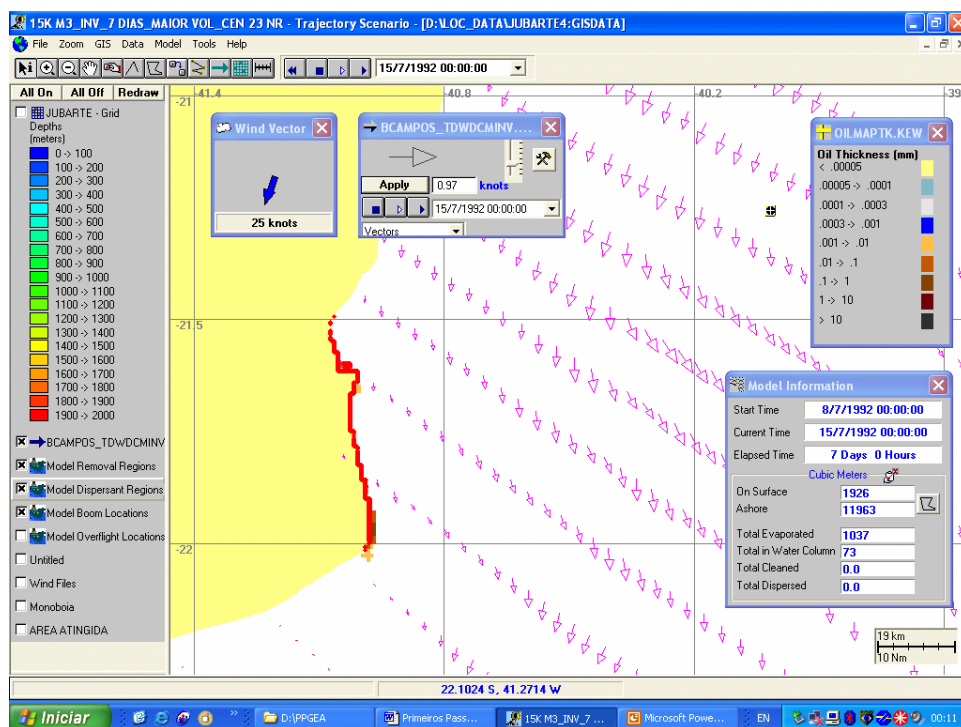


Figura 50 – Cenário de Não-Resposta, Completado o Toque na Costa

Os resultados correspondentes às diferentes destinações modeladas no cenário de não-resposta (Cen NR), após 07 dias de simulação, encontram-se na Tabela 17.

Tabela 17
Destinação Esperada para o Óleo no Cenário de Não-Resposta

DESTINAÇÃO	VOLUME	
	(M ³)	(%)
Na Superfície	1.926	12,8
Na Costa	11.963	79,8
Evaporado	1.037	6,9
Na Coluna D'Água	73	0,5
Recolhido	0	0
Disperso Artificialmente	0	0

Ou podem ser visualizados na Figura 51, a partir de uma saída gráfica do *OILMAP*.

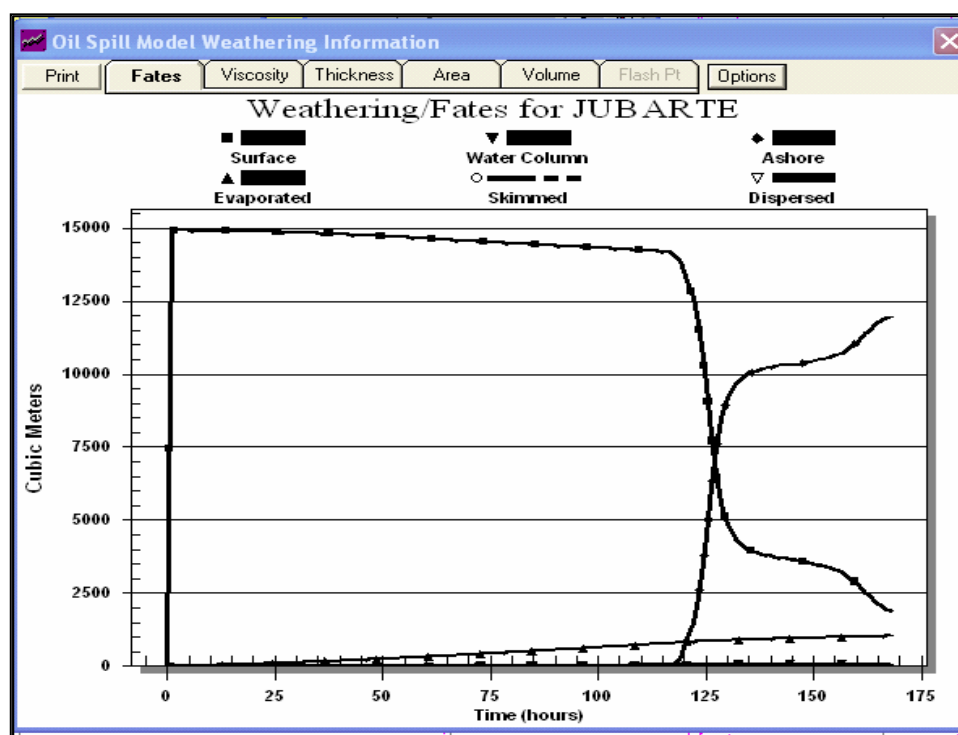


Figura 51 – Cenário de Não-Resposta, Gráfico de Balanço de Massa

Estes resultados demonstram um volume de óleo total junto à costa da ordem de 92,6% do volume derramado, proveniente da soma do óleo efetivamente na costa com o óleo livre na superfície, próximo à costa.

Em função do recolhimento de óleo ter sido registrado apenas durante a passagem da mancha pela frente de formação apesar da presença de óleo contido remanescente nas barreiras após a passagem da mancha, os resultados obtidos para o 'óleo recolhido' (*Total Cleaned*) podem estar aquém daqueles passíveis de obtenção. Daí a sua combinação com o 'óleo contido remanescente' (*On surface, in region*), e mais à frente, com o óleo disperso (*Total Dispersed*, no modelo), para a avaliação do benefício ambiental ou contribuição de cada cenário de resposta.

7.2 CENÁRIOS DE CONTENÇÃO E RECOLHIMENTO

7.2.1 Cen Ref (Cenário de Referência ou Cenário Mínimo de Resposta)

Como ponto de partida na investigação de resultados de diferentes estratégias de resposta a derramamento de óleo pesado no litoral sul do Espírito Santo, apresenta-se aqui o resultado da implementação do Cenário de Referência (Cen Ref). Este cenário tem como base, a capacidade efetiva diária de recolhimento de óleo (CEDRO) prevista na legislação, ou seja, uma capacidade instalada de 1.600m³/dia a partir de 12h do início do incidente, evoluindo para 3.200m³/dia a partir de 36h, e para 6.400m³/dia a partir de 60h. O aspecto da mancha neste cenário (Cen Ref), no instante 4 ½ dias do início da simulação, pode ser visto na Figura 52.

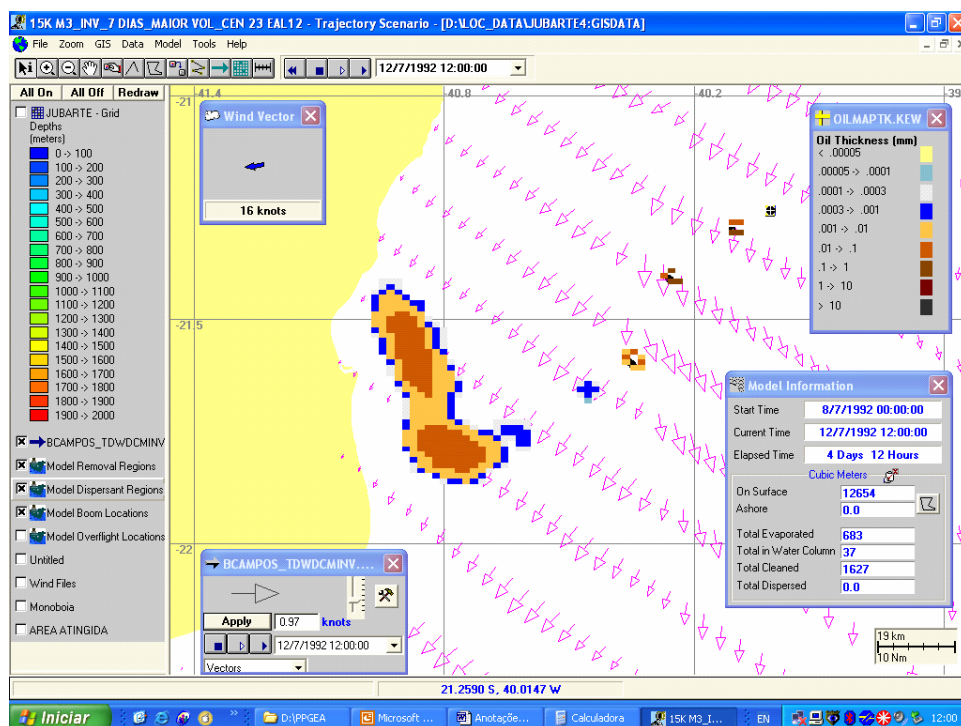


Figura 52 – Cenário de Referência (Cen Ref), tempo de simulação 4 ½ dias

Os resultados correspondentes às diferentes destinações modeladas no cenário de referência, após 07 dias de simulação, encontram-se na Tabela 18.

Tabela 18
Destinação Esperada para o Óleo no Cenário de Referência

DESTINAÇÃO	VOLUME	
	(M ³)	(%)
Na Superfície	3.610	24,1
Contido Remanescente (*)	2.396	16,0
Na Costa	8.624	57,5
Evaporado	1.038	6,9
Na Coluna D'Água	76	0,5
Recolhido	1.627	10,8
Disperso Artificialmente	0	0

(*) o óleo contido remanescente é parte do óleo que se encontra na superfície.

Como contribuição da estratégia deste cenário de referência (Cen Ref), em relação ao cenário de não-resposta (Cen NR), observa-se uma redução no volume de óleo efetivamente na costa, de 79,8% para 57,5% do volume derramado, a partir da interceptação de 26,8% do volume original, proveniente da soma do óleo recolhido com o óleo contido remanescente.

Observa-se ainda que o volume de óleo livre na superfície, junto à costa, foi reduzido de 12,8% para 8,2% do volume derramado. Os resultados demonstram também que o volume de óleo total junto à costa diminuiu (volume de óleo efetivamente na costa + volume de óleo livre na superfície, junto à costa), neste caso, de 92,6% para 65,6% (= 57,5 + 24,1 - 16,0) do volume original.

Para uma melhor comparação entre o cenário de não-resposta (Cen NR) e o cenário de referência (Cen Ref), veja-se a Tabela 19, para o tempo de simulação de 07 dias, depois de completado o toque na costa.

Tabela 19
Quadro Comparativo: (Cen NR) x (Cen Ref)

Cenários	Contribuição da Estratégia				Esforço de Mobilização		
	Óleo junto à Costa		Óleo Recolhido + Óleo Contido Remanescente		Tempo p/ Início de Resposta (h)	Tempo p/ Estrutura Completa (h)	Estrutura Necessária (Número de Formações)
	(m ³)	%	(m ³)	%			
Cen NR	13.889	92,6 %	0	0	0	0	0
Cen Ref	9.838	65,6 %	4.023	26,8 %	12	60	07

7.2.2 Cen Ref – 06h (Cenário de Referência, Antecipado em 06h)

A seguir, tem-se a apresentação do resultado da implementação de um outro cenário, equivalente ao cenário de referência, porém antecipado em 06h (Cen Ref – 06h). Este cenário tem como base a capacidade efetiva diária de recolhimento de óleo (CEDRO) prevista no cenário de referência para (12, 36 e 60h), onde cada etapa da resposta é antecipada em 06 horas (06, 30 e 54h), ou seja, uma capacidade instalada de recolhimento de óleo de 1.600m³/dia a partir de 06h do início do incidente, evoluindo para 3.200m³/dia a partir de 30h, e depois para 6.400m³/dia a partir de 54h. O aspecto da mancha neste cenário (Cen Ref – 06h), no instante 4 ½ dias do início da simulação, pode ser visto na Figura 53.

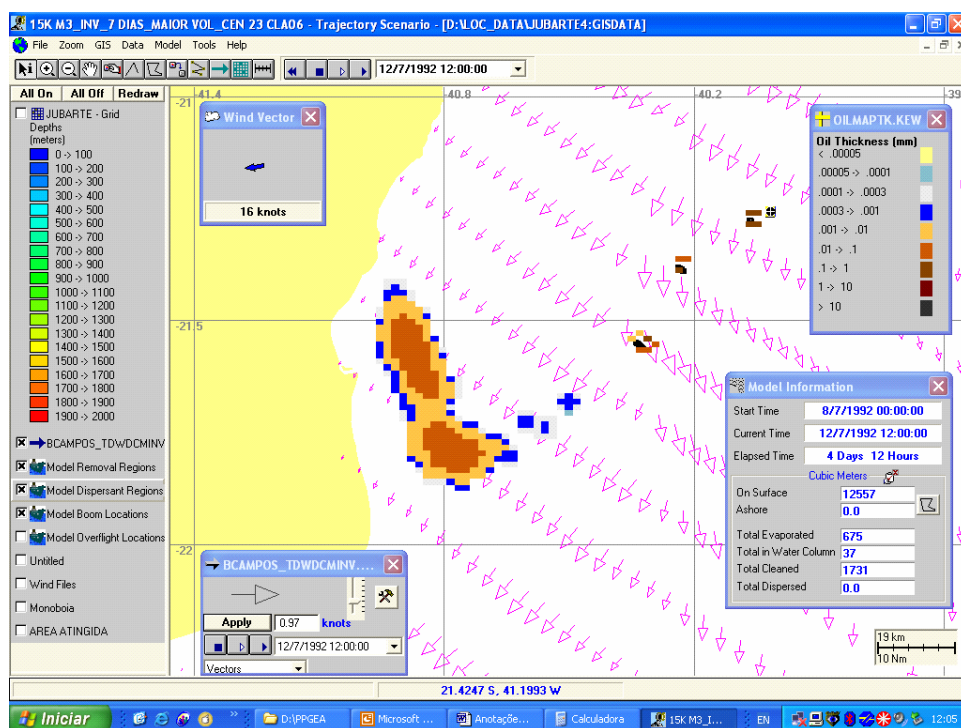


Figura 53 – Cenário de Referência Antecipado em 06h, tempo de simulação 4 ½ dias

Neste cenário (Cen Ref – 06h), característico da resposta a um incidente ocorrido durante a noite, e mais favoravelmente no primeiro quadrante do dia, entre 00 e 06h, permitindo assim a mobilização da estrutura necessária nas primeiras horas do dia e a sua atuação efetiva antes do entardecer, observa-se um ganho de eficiência nas operações de contenção e recolhimento, quando comparada ao cenário de referência (Cen Ref). Uma vez que a mancha de óleo é atacada em cada uma das etapas de resposta sempre 06 horas mais cedo, ainda com um menor espalhamento do volume de óleo derramado, e com isto, podendo responder melhor às operações de resposta.

Para uma melhor comparação entre o cenário de referência (Cen Ref) e o cenário antecipado em 06h (Cen Ref – 06h), veja-se a Tabela 20, para o tempo de simulação de 07 dias, depois de completado o toque na costa.

Tabela 20
Quadro Comparativo: (Cen Ref) x (Cen Ref – 06h)

Cenários	Contribuição da Estratégia				Esforço de Mobilização		
	Óleo junto à Costa		Óleo Recolhido + Óleo Contido Remanescente		Tempo p/ Início de Resposta (h)	Tempo p/ Estrutura Completa (h)	Estrutura Necessária (Número de Formações)
	(m ³)	%	(m ³)	%			
Cen Ref	9.838	65,6	4.023	26,8	12	60	07
Cen Ref – 06h	8.627	57,5	5.223	34,8	06	54	07

A seguir, apresenta-se a visualização dos resultados da implementação de um outro cenário, equivalente ao cenário de referência, porém postergado em 06h (Cen Ref + 06h).

7.2.3 Cen Ref + 06h (Cenário de Referência, Postergado em 06h)

Este cenário tem como base a capacidade efetiva diária de recolhimento de óleo (CEDRO) prevista no cenário de referência para (12, 36 e 60h), onde cada etapa é postergada em 06 horas (18, 42 e 66h), ou seja, uma capacidade instalada de recolhimento de óleo de 1.600m³/dia a partir de 18h do início do incidente, evoluindo para 3.200m³/dia a partir de 42h, e para 6.400m³/dia a partir de 66h. O aspecto da mancha neste cenário (Cen Ref + 06h), no instante 4 ½ dias do início da simulação, pode ser visto na Figura 54.

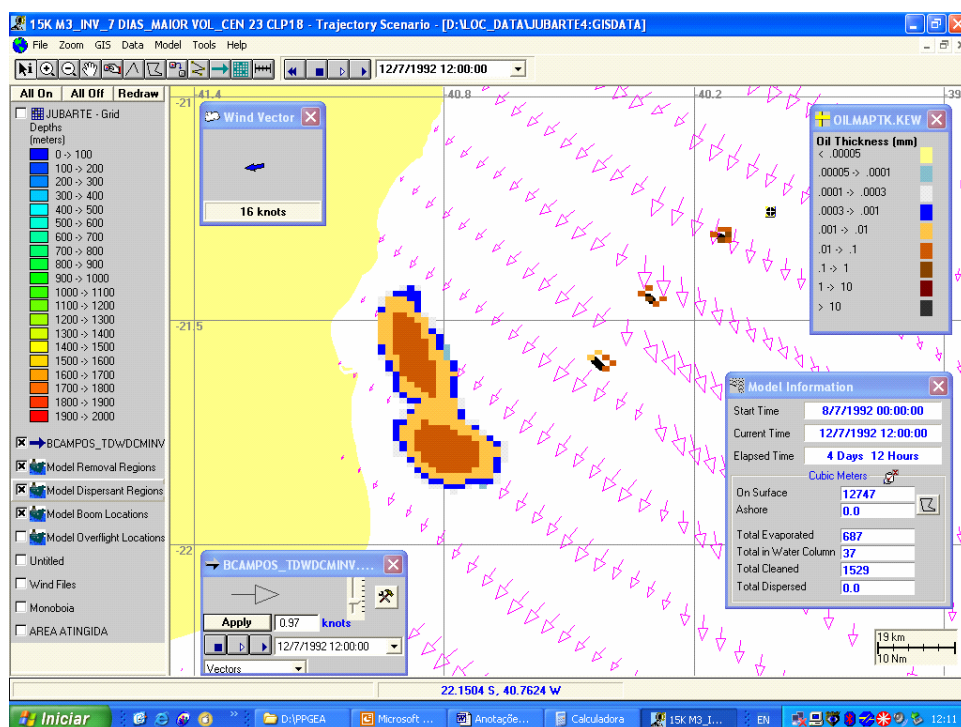


Figura 54 – Cenário de Referência Postergado em 06h, tempo de simulação 4 ½ dias

Neste cenário (Cen Ref + 06h), característico da resposta a um incidente ocorrido durante o dia, e mais favoravelmente no terceiro quadrante do dia, entre 12 e 18h, permitindo assim a mobilização da estrutura necessária nas primeiras horas, porém, retardando o início da sua atuação efetiva para o alvorecer do próximo dia, observa-se uma perda de eficiência nas operações de contenção e recolhimento, quando comparada ao cenário de referência (Cen Ref). Uma vez que a mancha de óleo é atacada em cada uma das etapas de resposta sempre 06 horas mais tarde, com um maior espalhamento do volume de óleo derramado, e com isto, respondendo com menor eficiência às operações de resposta.

Para uma melhor comparação entre o cenário de referência (Cen Ref) e o cenário postergado em 06h (Cen Ref + 06h), veja-se a Tabela 21, para o tempo de simulação de 07 dias, depois de completado o toque na costa.

Tabela 21
Quadro Comparativo: (Cen Ref) x (Cen Ref + 06h)

Cenários	Contribuição da Estratégia				Esforço de Mobilização		
	Óleo junto à Costa		Óleo Recolhido + Óleo Contido Remanescente		Tempo p/ Início de Resposta (h)	Tempo p/ Estrutura Completa (h)	Estrutura Necessária (Número de Formações)
	(m ³)	%	(m ³)	%			
Cen Ref	9.838	65,6	4.023	26,8	12	60	07
Cen Ref + 06h	10.374	69,2	3.495	23,3	18	66	07

Na seqüência, apresenta-se a visualização do resultado da implementação de um outro cenário correspondente ao cenário de referência, porém com o número total de formações utilizadas aumentado proporcionalmente em cerca de 30% (Cen Ref + 30%).

7.2.4 Cen Ref + 30% (Cenário de Referência, Aumentado em 30%)

Este cenário tem como base uma estrutura de contenção e recolhimento de óleo prevista no cenário de referência para (12, 36 e 60h), aumentada de (2+2+3=) 07 para (3+3+3=) 09 formações. O aspecto da mancha neste cenário (Cen Ref + 30%), no instante 4 ½ dias do início da simulação, pode ser visto na Figura 55.

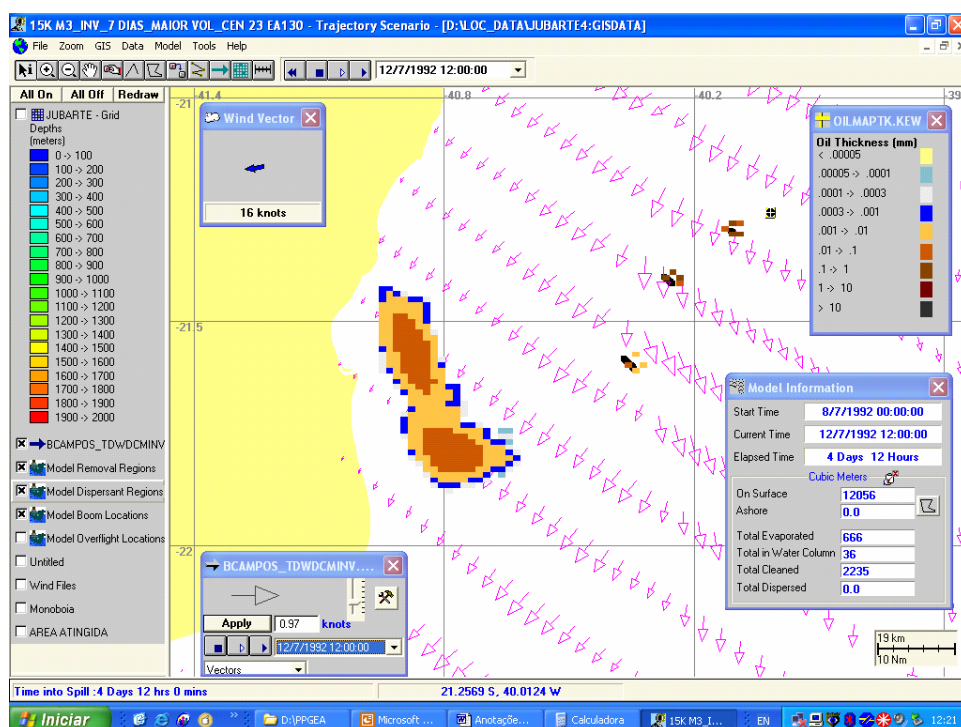


Figura 55 – Cenário de Referência Aumentado em 30%, tempo de simulação 4 ½ dias

Neste cenário (Cen Ref + 30%), montado com o intuito de se avaliar o efeito de um aumento na estrutura utilizada de contenção e recolhimento, observa-se um ganho de eficiência nas operações de contenção e recolhimento da ordem de 40%, ainda maior que os cerca de 30% de acréscimo no número de formações, quando comparado ao cenário de referência (Cen Ref), correspondendo assim ao ganho na prática na capacidade de resposta, também de cerca de 40%. Uma vez que, a disponibilidade antecipada de mais uma formação (12h), e depois de outra (36h), corresponde a uma capacidade total de contenção e recolhimento de 18 'formações x dia' (03 no 1º dia/12h + 06 no 2º dia/36h + 09 no 3º dia/60h = 18), ao invés de 13 'formações x dia' (02 no 1º dia/12h + 04 no 2º dia/36h + 07 no 3º dia/60h = 13).

Para uma melhor comparação entre o cenário de referência (Cen Ref) e o cenário aumentado em 30% (Cen Ref + 30%), veja-se a Tabela 22, para o tempo de simulação de 07 dias, depois de completado o toque na costa.

Tabela 22
Quadro Comparativo: (Cen Ref) x (Cen Ref + 30%)

Cenários	Contribuição da Estratégia				Esforço de Mobilização		
	Óleo junto à Costa		Óleo Recolhido + Óleo Contido Remanescente		Tempo p/ Início de Resposta (h)	Tempo p/ Estrutura Completa (h)	Estrutura Necessária (Número de Formações)
	(m³)	%	(m³)	%			
Cen Ref	9.838	65,6	4.023	26,8	12	60	07
Cen Ref + 30%	8.200	54,7	5.659	37,7	12	60	09

Completando a apresentação de resultados dos cenários de contenção e recolhimento considerados neste estudo, apresenta-se a seguir a visualização do resultado da implementação de um outro cenário correspondente ao cenário de referência, porém com o número total de formações utilizadas aumentado proporcionalmente em cerca de 150% (Cen Ref + 150%).

7.2.5 Cen Ref + 150% (Cenário de Referência, Aumentado em 150%)

Este cenário tem como base uma estrutura prevista de contenção e recolhimento de óleo no cenário de referência para (12, 36 e 60h), aumentada de (2+2+3=) 07 para (6+6+6=) 18 formações. O aspecto da mancha neste cenário (Cen Ref + 150%), no instante 4 ½ dias do início da simulação, pode ser visto na Figura 56.

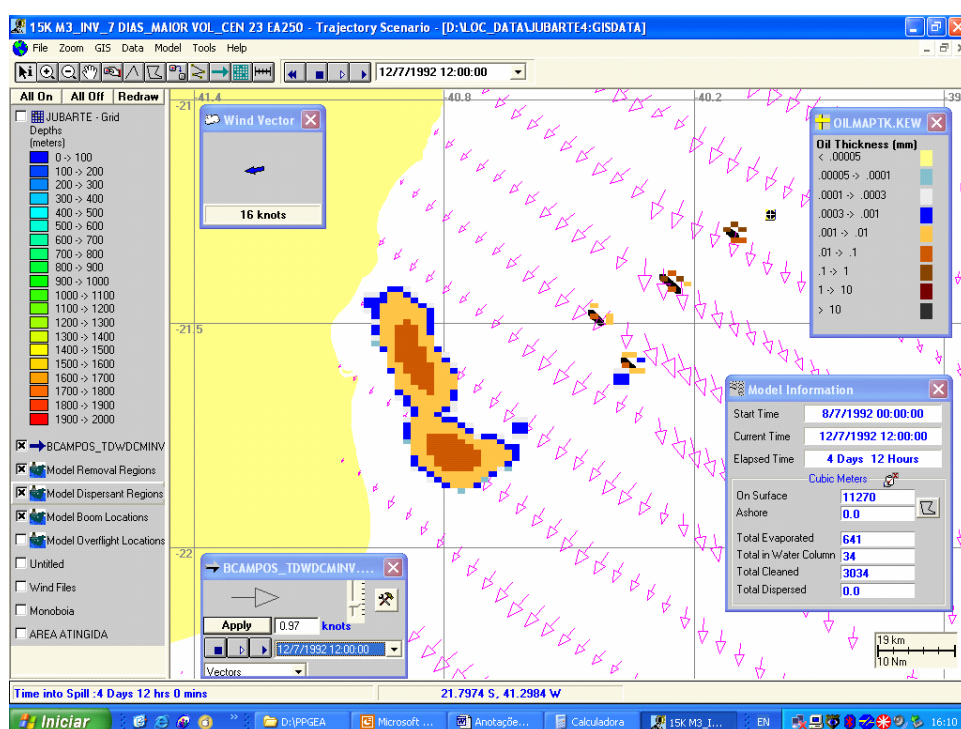


Figura 56 – Cenário de Referência Aumentado em 150%, tempo de simulação 4 ½ dias

Neste cenário (Cen Ref + 150%), montado com o intuito de se avaliar o efeito de um aumento mais expressivo na estrutura utilizada de contenção e recolhimento, da ordem de 150%, observa-se um ganho de eficiência nas operações de contenção e recolhimento da ordem de 100%, quando comparada ao cenário de referência (Cen Ref), apesar de esse aumento corresponder na prática a um ganho da ordem de 180%

na capacidade de resposta. Considerando que a disponibilidade antecipada de um número maior de formações corresponde a uma capacidade total de contenção e recolhimento de 36 'formações x dia' (06 no 1º dia/12h + 12 no 2º dia/36h + 18 no 3º dia/60h = 36), ao invés de 13 'formações x dia' (02 no 1º dia/12h, 04 no 2º dia/36h, 07 no 3º dia/60h = 13).

Para uma melhor comparação entre o cenário de referência (Cen Ref) e o cenário aumentado em 150% (Cen Ref + 150%), veja-se a Tabela 23, para o tempo de simulação de 07 dias, depois de completado o toque na costa.

Tabela 23
Quadro Comparativo: (Cen Ref) x (Cen Ref + 150%)

Cenários	Contribuição da Estratégia				Esforço de Mobilização		
	Óleo junto à Costa		Óleo Recolhido + Óleo Contido Remanescente		Tempo p/ Início de Resposta (h)	Tempo p/ Estrutura Completa (h)	Estrutura Necessária (Número de Formações)
	(m³)	%	(m³)	%			
Cen Ref	9.838	65,6	4.023	26,8	12	60	07
Cen Ref + 150%	5.854	39,0	7.989	53,3	12	60	18

7.3 CONTENÇÃO E RECOLHIMENTO + DISPERSÃO COMBINADA

Inicia-se neste ponto a apresentação e análise de resultados das estratégias de contenção e recolhimento associadas à dispersão combinada (mecânica e química) do óleo hipoteticamente derramado. Primeiramente, têm-se a visualização do resultado da implementação de um cenário correspondente ao cenário de referência para contenção e recolhimento, porém apoiado pela dispersão combinada (mecânica e química) a partir de 108h do início do incidente (Cen Ref + DC108h).

7.3.1 Cen Ref + DC108h (Cen. de Ref. + Disp. Combinada a partir de 108h)

Este cenário tem como base uma estrutura de resposta equivalente à prevista no cenário de referência para contenção e recolhimento, (2 + 2 + 3 =) 07 formações para (12, 36 e 60h), acrescida de uma capacidade de dispersão combinada correspondente às mesmas 07 formações, além do apoio de 02 aeronaves Hércules (como especificado no item 5.2.2.1, 01 aeronave atende a até 04 formações), para efeito comparativo, ainda que a batimetria local ou a proximidade da costa não permita o uso de dispersante químico, a partir de 108h do início do incidente (derramamento instantâneo). O aspecto da mancha neste cenário (Cen Ref + DC108h), no instante 4 ½ dias do início da simulação, pode ser visto na Figura 57.

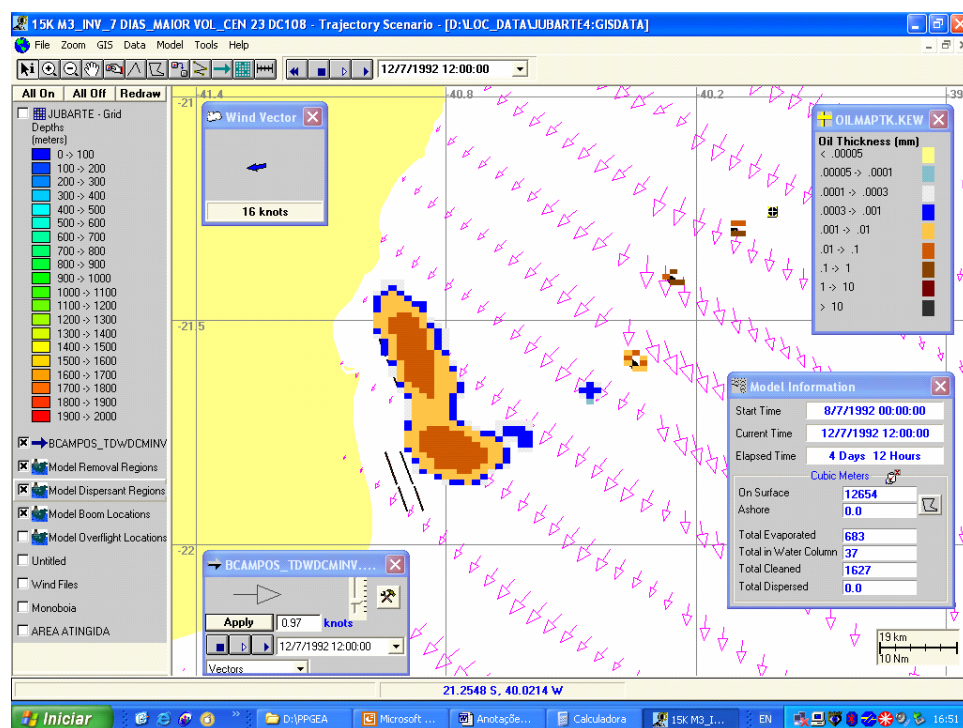


Figura 57 – Cenário de Referência + Dispersão Combinada a partir de 108h, tempo de simulação 4 ½ dias

Neste cenário (Cen Ref + DC108h), montado com o intuito de se iniciar a avaliação do efeito da associação progressiva de uma estrutura de dispersão combinada (mecânica e química), neste caso a partir de 108h (4 ½ dias) do início do incidente, com uma estrutura equivalente à prevista para contenção e recolhimento (12, 36 e 60h), e com os parâmetros de dispersão considerados, se observa um ganho de eficiência nas operações de resposta, da ordem de 45% para o óleo interceptado e de 18% para redução de volume junto à costa, quando comparada ao cenário de referência (Cen Ref).

Para uma melhor comparação entre o cenário de referência (Cen Ref) e o cenário que associa a dispersão combinada a partir de 108h (Cen Ref + DC108h), veja-se a Tabela 24, para o tempo de simulação de 07 dias, depois de completado o toque na costa.

Tabela 24
Quadro Comparativo: (Cen Ref) x (Cen Ref + DC108h)

Cenários	Contribuição da Estratégia				Esforço de Mobilização		
	Óleo junto à Costa		Óleo Recolhido + Óleo Contido Remanescente + Óleo Disperso		Tempo p/ Início de Resposta (h)	Tempo p/ Estrutura Completa (h)	Estrutura Necessária (Número de Formações)
	(m ³)	%	(m ³)	%			
Cen Ref	9.838	65,6	4.023	26,8	12	60	07
Cen Ref + DC108h	8.108	54,1	5.790	38,6	12	60	07

A seguir, têm-se a visualização dos resultados da implementação de um outro cenário correspondente ao cenário de referência para contenção e recolhimento, porém apoiado pela dispersão combinada (mecânica e química) a partir de 84h do início do incidente (Cen Ref + DC84h).

7.3.2 Cen Ref + DC84h (Cen. de Ref. + Disp. Combinada a partir de 84h)

Este cenário tem como base uma estrutura de resposta equivalente à prevista no cenário de referência para contenção e recolhimento, (2 + 2 + 3 =) 07 formações para (12, 36 e 60h), acrescida de uma capacidade de dispersão combinada correspondente às mesmas 07 formações, além do apoio de 02 aeronaves Hércules (como especificado no item 5.2.2.1, 01 aeronave atende a até 04 formações), para efeito comparativo, mesmo que a batimetria local ou a proximidade da costa não permita o uso de dispersante químico, a partir de 84h do início do derramamento instantâneo. O aspecto da mancha neste cenário (Cen Ref + DC84h), no instante 4 ½ dias do início da simulação, pode ser visto na Figura 58.

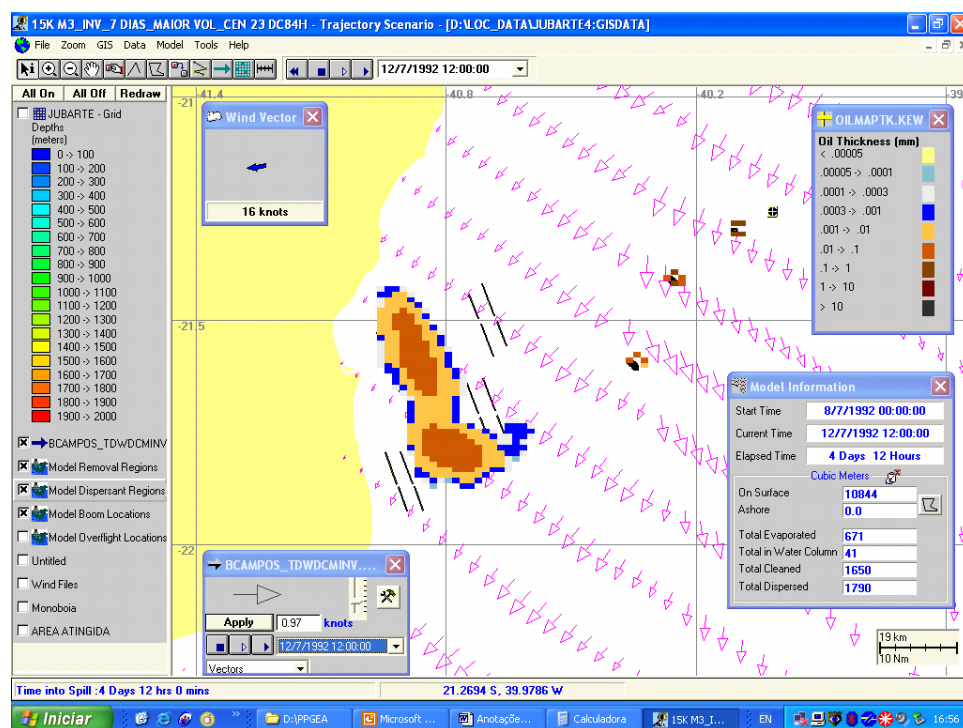


Figura 58 – Cenário de Referência + Dispersão Combinada a partir de 84h, tempo de simulação 4 ½ dias.

Neste cenário (Cen Ref + DC84h), montado para dar seqüência à avaliação do efeito da associação progressiva de uma estrutura de dispersão combinada (mecânica e química), neste caso a partir de 84h (3 ½ dias) do início do incidente, com uma estrutura equivalente à prevista para contenção e recolhimento (12, 36 e 60h), e com os parâmetros de dispersão considerados, se observa um ganho ainda maior de eficiência nas operações de resposta, da ordem de 75% para o óleo interceptado e de 31% para redução de volume junto à costa, quando comparada ao cenário de referência (Cen Ref).

Para uma melhor comparação entre o cenário de referência (Cen Ref) e o cenário que associa a dispersão combinada a partir de 84h (Cen Ref + DC84h), veja-se a Tabela 25, para o tempo de simulação de 07 dias, depois de completado o toque na costa.

Tabela 25
Quadro Comparativo: (Cen Ref) x (Cen Ref + DC84h)

Cenários	Contribuição da Estratégia				Esforço de Mobilização		
	Óleo junto à Costa		Óleo Recolhido + Óleo Contido Remanescente + Óleo Disperso		Tempo p/ Início de Resposta (h)	Tempo p/ Estrutura Completa (h)	Estrutura Necessária (Número de Formações)
	(m ³)	%	(m ³)	%			
Cen Ref	9.838	65,6	4.023	26,8	12	60	07
Cen Ref + DC84h	6.845	45,6	7.083	47,2	12	60	07

Na seqüência, apresenta-se a visualização do resultado de um outro cenário, semelhante ao cenário de referência para contenção e recolhimento a partir de 12 e 36h, e apoiado pela dispersão combinada (mecânica e química) a partir de 60h do início do incidente (Cen 'Ref' + DC60h).

7.3.3 Cen 'Ref' + DC60h (Cen. de 'Ref'. + Disp. Combinada a partir de 60h)

Este cenário tem como base uma parte da estrutura prevista no cenário de referência para contenção e recolhimento 02 formações para o ETA 12h, e (2 + 2 =) 04 formações para o ETA 36h, acrescida de uma capacidade de dispersão combinada, correspondente às 07 formações originalmente previstas a partir do ETA 60h, além do apoio de 02 aeronaves Hércules (como especificado no item 5.2.2.1, 01 aeronave atende a até 04 formações). Neste cenário, as embarcações que originalmente se posicionariam para a contenção e recolhimento a partir de 60h, ao invés disso e na mesma locação, promovem a dispersão combinada do óleo hipoteticamente derramado e quimicamente tratado. O aspecto da mancha neste cenário (Cen 'Ref' + DC60h), no instante 4 ½ dias do início da simulação, pode ser visto na Figura 59.

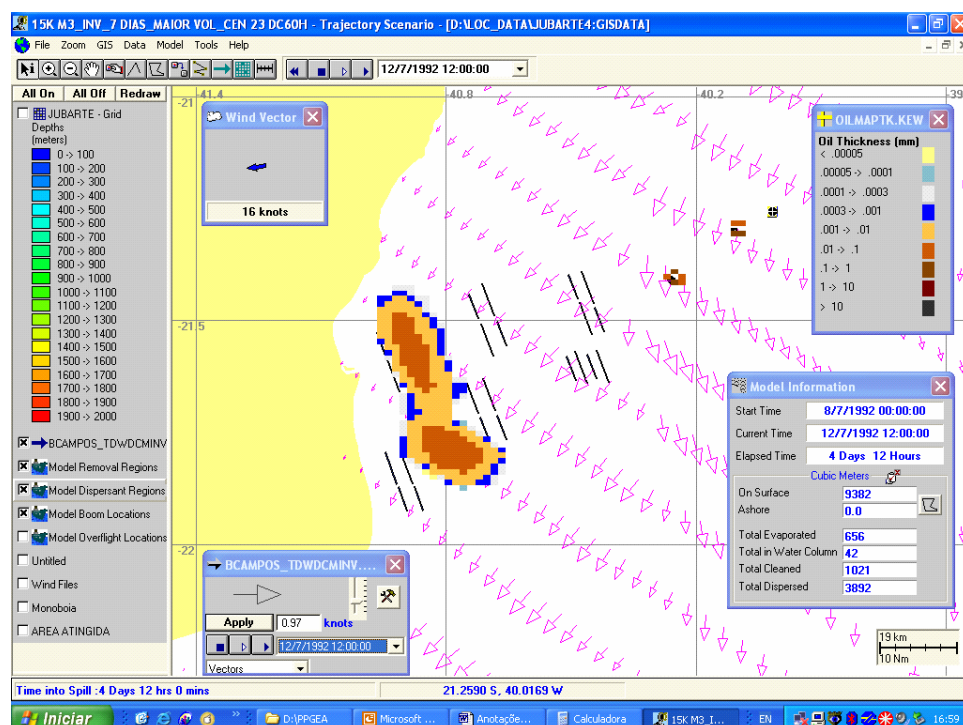


Figura 59 – Cenário de 'Referência' + Dispersão Combinada a partir de 60h, tempo de simulação 4 ½ dias.

Neste cenário (Cen 'Ref' + DC60h), também montado para dar seqüência à avaliação do efeito da associação progressiva de uma estrutura de dispersão combinada (mecânica e química), neste caso a partir de 60h (2 ½ dias) do início do incidente, com uma estrutura equivalente à prevista para contenção e recolhimento (12, 36 e 60h), e com os parâmetros de dispersão considerados, se observa o ganho mais expressivo de eficiência nas operações de resposta, dentre todos os cenários simulados, da ordem de 105% para o óleo interceptado e de 42% para redução de volume junto à costa, quando comparado ao cenário de referência (Cen Ref).

Para uma melhor comparação entre o cenário de referência (Cen Ref) e o cenário que associa a dispersão combinada a partir de 60h (Cen 'Ref' + DC60h), veja-se a Tabela 26, para o tempo de simulação de 07 dias, depois de completado o toque na costa.

Tabela 26
Quadro Comparativo: (Cen Ref) x (Cen 'Ref' + DC60h)

Cenários	Contribuição da Estratégia				Esforço de Mobilização		
	Óleo junto à Costa		Óleo Recolhido + Óleo Contido Remanescente + Óleo Disperso		Tempo p/ Início de Resposta (h)	Tempo p/ Estrutura Completa (h)	Estrutura Necessária (Número de Formações)
	(m ³)	%	(m ³)	%			
Cen Ref	9.838	65,6	4.023	26,8	12	60	07
Cen 'Ref' + DC60h	5.738	38,3	8.238	54,9	12	60	07

A seguir, têm-se a visualização do resultado de outro cenário semelhante ao cenário de referência para contenção e recolhimento a partir de 12h, e apoiado pela dispersão combinada a partir de 36h do início do incidente (Cen 'Ref' + DC36h).

7.3.4 Cen 'Ref' + DC36h (Cen. de 'Ref'. + Disp. Combinada a partir de 36h)

Este cenário utiliza uma parcela menor da capacidade de contenção e recolhimento prevista no cenário de referência (02 formações, para o ETA de 12h), porém é acrescido de uma capacidade de dispersão combinada correspondente, (a) às 04 formações previstas para atuar a partir de 36h, com o apoio de 01 aeronave Hercules, e (b) às 07 formações previstas para 60h do início do incidente (derramamento instantâneo), contando então com o apoio de 02 aeronaves Hercules (como especificado no item 5.2.2.1, 01 aeronave atende a até 04 formações). Neste cenário, as embarcações que originalmente se posicionariam para a contenção e recolhimento a partir de 36h, ao invés disso e nas mesmas locações, atuam na dispersão combinada do óleo hipoteticamente derramado. O aspecto da mancha neste cenário (Cen 'Ref' + DC36h), no instante 4 ½ dias do início da simulação, pode ser visto na Figura 60.

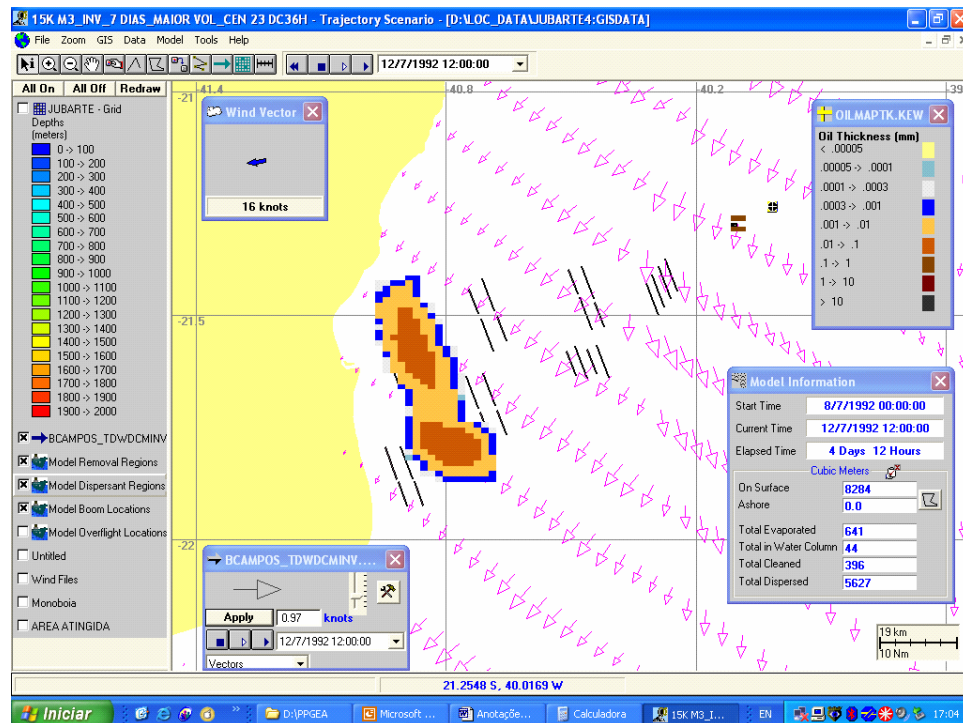


Figura 60 – Cenário de 'Referência' + Dispersão Combinada a partir de 36h, tempo de simulação 4 ½ dias.

Neste cenário (Cen 'Ref' + DC36h), também montado para dar seqüência à avaliação do efeito da associação progressiva de uma estrutura de dispersão combinada (mecânica e química), neste caso a partir de 36h (1 ½ dias) do início do incidente, equivalente à estrutura de contenção e recolhimento prevista para (12, 36 e 60h), e com os parâmetros de dispersão considerados, se observa um ganho de eficiência nas operações de resposta equivalente àquele mais expressivo, também da ordem de 105% para o óleo interceptado e de 41% para redução de volume junto à costa, quando comparada ao cenário de referência (Cen Ref).

Para uma melhor comparação entre o cenário de referência (Cen Ref) e o cenário que associa a dispersão combinada a partir de 36h (Cen 'Ref' + DC36h), veja-se a Tabela 27, para o tempo de simulação de 07 dias, depois de completado o toque na costa.

Tabela 27
Quadro Comparativo: (Cen Ref) x (Cen 'Ref' + DC36h)

Cenários	Contribuição da Estratégia				Esforço de Mobilização		
	Óleo junto à Costa		Óleo Recolhido + Óleo Contido Remanescente + Óleo Disperso		Tempo p/ Início de Resposta (h)	Tempo p/ Estrutura Completa (h)	Estrutura Necessária (Número de Formações)
	(m ³)	%	(m ³)	%			
Cen Ref	9.838	65,6	4.023	26,8	12	60	07
Cen 'Ref' + DC36h	5.858	39,1	8.189	54,6	12	60	07

Completando a visualização de resultados de estratégias de contenção e recolhimento associadas à dispersão artificial combinada (mecânica e química) do óleo hipoteticamente derramado, apresenta-se a seguir a visualização do resultado da implementação de um outro cenário, composto exclusivamente pela dispersão combinada (mecânica e química) a partir de 12h do início do incidente (Cen Excl DC12h).

7.3.5 Cen Excl DC12h (Cen. de Exclusiva Disp. Combinada a partir de 12h)

Este cenário utiliza uma capacidade de dispersão combinada correspondente (a) às 02 formações a partir de 12h, com o apoio de 01 aeronave Hercules, para efeito comparativo, ainda que a sua disponibilização seja prevista para 24 a 36h pós-acionamento, e (b) às 04 formações a partir de 36h, também com o apoio de 01 aeronave Hercules, além de (c) às 07 formações a partir de 60h do início do incidente (derramamento instantâneo), então com o apoio de 02 aeronaves Hercules (como especificado no item 5.2.2.1, 01 aeronave atende a até 04 formações). Neste cenário, as mesmas embarcações que se posicionariam para contenção e recolhimento a partir de 12h, ao invés disso e nas mesmas localidades, promovem a dispersão combinada do óleo hipoteticamente derramado. O aspecto da mancha neste cenário (Cen Excl DC12h), no instante 4 ½ dias do início da simulação, pode ser visto na Figura 61.

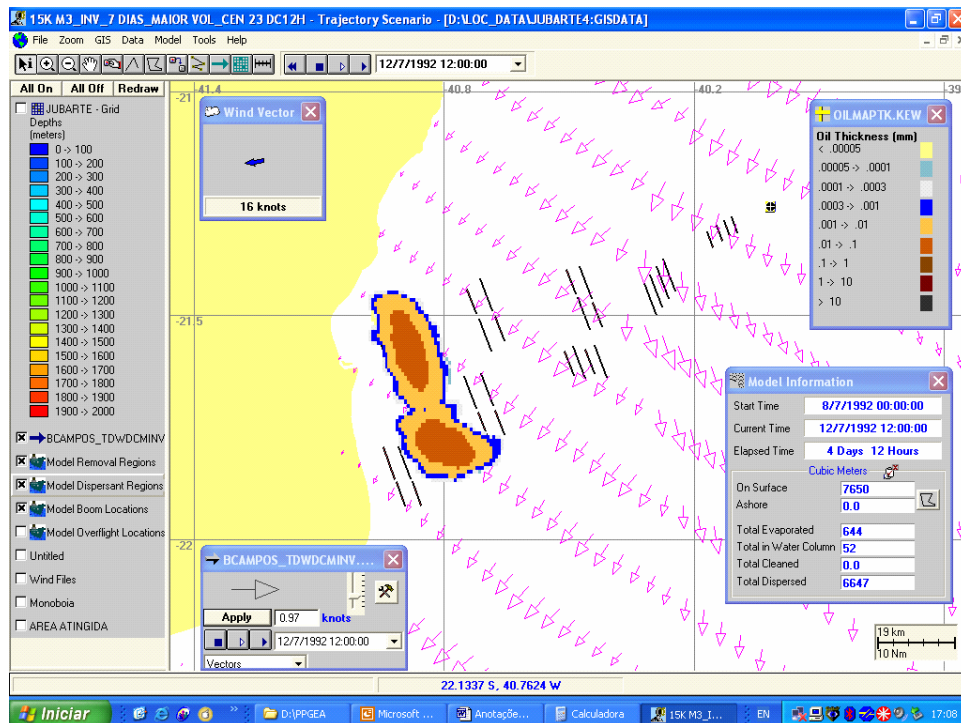


Figura 61 – Cenário de Exclusiva Dispersão Combinada a partir de 12h, tempo de simulação 4 ½ dias.

Neste cenário (Cen Excl DC12h), montado para concluir a avaliação do efeito da associação progressiva de uma estrutura de dispersão combinada (mecânica e química), neste caso a partir de 12h do início do incidente, equivalente à estrutura de contenção e recolhimento prevista para (12, 36 e 60h), e com base nos parâmetros de dispersão considerados, se observa um ganho de eficiência nas operações de resposta bastante significativo, da ordem de 95% para o óleo interceptado e de 36% para redução de volume junto à costa, se comparada ao cenário de referência (Cen Ref).

Para uma melhor comparação entre o cenário de referência (Cen Ref) e o cenário que considera somente a dispersão combinada a partir de 12h (Cen Excl DC12h), veja-se a Tabela 28, para o tempo de simulação de 07 dias, depois de completado o toque na costa.

Tabela 28
Quadro Comparativo: (Cen Ref) x (Cen Excl DC12h)

Cenários	Contribuição da Estratégia				Esforço de Mobilização		
	Óleo junto à Costa		Óleo Recolhido + Óleo Contido Remanescente + Óleo Disperso		Tempo p/ Início de Resposta (h)	Tempo p/ Estrutura Completa (h)	Estrutura Necessária (Número de Formações)
	(m ³)	%	(m ³)	%			
Cen Ref	9.838	65,6	4.023	26,8	12	60	07
Cen Excl DC12h	6.269	41,8	7.808	52,1	12	60	07

Observação: Todos os resultados aqui apresentados estão relacionados a um dado conjunto de condições que compõem um cenário accidental e devem ser vistos como preliminares e comparativos, a serem utilizados como subsídios para a discussão sobre a utilização das alternativas de contenção e recolhimento ou dispersão combinada (mecânica e química) como estratégias de resposta a derramamentos de óleo no mar. Outros cenários accidentais que se apresentem poderão levar a resultados diferentes daqueles inicialmente previstos, ou esperados a partir de relações diretas de proporcionalidade.

8 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Discutem-se aqui os resultados obtidos, primeiramente através de uma análise comparativa das estratégias de resposta simuladas, e a seguir, pela avaliação da evolução da eficiência das frentes de formação em função dos tempos de chegada.

8.1 ANÁLISE COMPARATIVA DAS ESTRATÉGIAS DE RESPOSTA

8.1.1 Análise Comparativa da CONTENÇÃO e RECOLHIMENTO

Apresenta-se na Tabela 29, o quadro resumo dos resultados obtidos com as estratégias de resposta analisadas neste estudo, baseadas exclusivamente na contenção e recolhimento do óleo hipoteticamente derramado, com a finalidade de permitir uma análise complementar quali-quantitativa, através da comparação entre elas.

Tabela 29
Quadro Resumo das Estratégias para CONTENÇÃO e RECOLHIMENTO

Cenários	Contribuição da Estratégia				Esforço de Mobilização		
	Óleo junto à Costa		Óleo Recolhido + Óleo Contido Remanescente		Tempo p/ Início de Resposta (h)	Tempo p/ Estrutura Completa (h)	Estrutura Necessária (Número de Formações)
	(m ³)	%	(m ³)	%			
Cen NR	13.889	92,6	0	0	0	0	0
Cen Ref – 06h	8.627	57,5	5.223	34,8	6	54	07
Cen Ref	9.838	65,6	4.023	26,8	12	60	07
Cen Ref + 06h	10.374	69,2	3.495	23,3	18	66	07
Cen Ref + 30%	8.200	54,7	5.659	37,7	12	60	09
Cen Ref + 150%	5.854	39,0	7.989	53,3	12	60	18

A antecipação ou o retardo de 06h nos tempos de resposta previstos no cenário de referência, desencadeados a partir do horário de ocorrência do incidente (no primeiro quadrante diário), apresentam resultados com magnitudes distintas daquela do cenário de referência. O ganho relativo sinalizado na comparação do cenário de referência (Cen Ref) com o cenário antecipado em 06 horas (Cen Ref – 06h), cerca de 30% para o volume de óleo interceptado, com uma diminuição de cerca de 14% do volume junto à costa, é bem mais expressivo que a perda relativa de eficiência observada na comparação entre os cenários de referência (Cen Ref) e o cenário postergado em 06 horas (Cen Ref + 06h), com cerca de 13% de perda no volume de óleo interceptado e uma redução da ordem de 05% do volume junto à costa.

O primeiro aumento experimentado na estrutura de resposta, da ordem de 30% sobre o número total de formações utilizadas no cenário de referência (de 07 para 09 formações), é aproximadamente equivalente à antecipação de 06h em cada uma das etapas de resposta no cenário de referência. Ou seja, no cenário que representa o primeiro aumento na estrutura de resposta (Cen Ref + 30%) em relação ao cenário de referência (Cen Ref), o ganho relativo é da ordem de 40% para o volume de óleo interceptado, com uma diminuição de cerca de 16% do volume junto à costa. E na modificação do cenário de referência (Cen Ref) para o cenário antecipado em 06 horas (Cen Ref – 06h), o ganho relativo sinalizado é da ordem de 30% para o óleo interceptado, com uma diminuição de cerca de 14% do volume junto à costa.

O segundo aumento experimentado na estrutura de resposta em relação ao cenário de referência (Cen Ref) não se faz perceber em sua totalidade, devido à pequena eficiência de contenção e recolhimento observada na mancha-norte, para a resposta a partir de 60h do início do incidente (derramamento instantâneo). Representando um aumento da ordem de 150% para o número total de formações utilizadas (de 07 para 18 formações), este cenário (Cen Ref + 150%) demonstra um ganho de 98% para o volume de óleo interceptado (Óleo Recolhido + Óleo Contido Remanescente), com uma diminuição de cerca de 40% do volume junto à costa. Esta eficiência relativamente pequena, da resposta observada na mancha-norte no (Cen Ref + 150%), se deve,

muito provavelmente, a uma pequena espessura daquela mancha no instante correspondente, cuja visualização no modelo indica no núcleo da mancha uma faixa de espessuras entre 0,01 e 0,1mm.

Ainda da Tabela 28, deve-se ressaltar que os ganhos de eficiência, observados nas estratégias baseadas exclusivamente na contenção e recolhimento do óleo eventualmente derramado, não são lineares ou diretamente proporcionais aos acréscimos experimentados na estrutura de resposta. Isto, em função da espessura da mancha de óleo variar de maneira não uniforme, no espaço e no tempo, ao sabor de diferentes variáveis sobre ela atuantes: tipo de óleo, fração de leves, volume derramado, regime de derramamento se instantâneo ou contínuo, intensidade e direção relativas entre correntes marinhas e ventos, incidência da luz solar, temperatura do ar, presença ou ausência de chuva, etc.

8.1.2 Análise Comparativa das Estratégias Associadas

Na Tabela 30 a seguir, apresenta-se o conjunto dos resultados obtidos com as estratégias analisadas neste estudo, baseadas na contenção e recolhimento associada à dispersão combinada (mecânica e química) do óleo hipoteticamente derramado, além do cenário de exclusiva dispersão combinada, com a finalidade de permitir também uma análise complementar quali-quantitativa, através da comparação entre eles. A parte inicial da tabela reapresenta os dados da contenção e recolhimento, de modo a facilitar a comparação também com aqueles resultados.

Tabela 30
Quadro Resumo Contenção e Recolhimento + Dispersão Combinada

Cenários	Contribuição da Estratégia				Esforço de Mobilização		
	Óleo junto à Costa		Óleo Recolhido + Óleo Contido Remanescente + Óleo Disperso		Tempo p/ Início de Resposta (h)	Tempo p/ Estrutura Completa (h)	Estrutura Necessária (Número de Formações)
	(m ³)	%	(m ³)	%			
Cen NR	13.889	92,6	0	0	0	0	0
Cen Ref – 06h	8.627	57,5	5.223	34,8	6	54	07
Cen Ref	9.838	65,6	4.023	26,8	12	60	07
Cen Ref + 06h	10.374	69,2	3.495	23,3	18	66	07
Cen Ref + 30%	8.200	54,7	5.659	37,7	12	60	09
Cen Ref + 150%	5.854	39,0	7.989	53,3	12	60	18
Cen Ref + DC108h	8.108	54,1	5.790	38,6	12	60	07
Cen Ref + DC84h	6.845	45,6	7.083	47,2	12	60	07
Cen 'Ref' + DC60h	5.738	38,3	8.238	54,9	12	60	07
Cen 'Ref' + DC36h	5.858	39,1	8.189	54,6	12	60	07
Cen Excl DC12h	6.269	41,8	7.808	52,1	12	60	07

A partir dos parâmetros considerados neste estudo, é de se notar que é possível obter resultados superiores aos do cenário de referência (Cen Ref) (26,8% para volume de óleo interceptado e 65,6% para óleo junto à costa), com uma operação adicional alternativa da mesma estrutura original, em lugar da ampliação da estrutura de resposta. Ou seja, o resultado obtido com o cenário correspondente ao início de dispersão combinada (mecânica e química) a partir de 108h do incidente (derramamento instantâneo) (Cen Ref + DC108h) (38,6% para volume de óleo interceptado e 54,1% para óleo junto à costa) é equivalente àquele alcançado no cenário que corresponde ao aumento no cenário de referência de cerca de 30% do número de formações utilizadas (Cen Ref + 30%) (37,7% para volume de óleo interceptado e 54,7% para óleo junto à costa).

Deve-se observar também que o cenário que prevê o início de dispersão combinada (mecânica e química) a partir de 84h do incidente (derramamento instantâneo) (Cen Ref + DC84h), com uma estrutura equivalente a do cenário de referência (Cen Ref), apresenta um resultado naturalmente e significativamente superior (47,2% para volume de óleo interceptado e 45,6% para óleo junto à costa), quando comparado ao do cenário de referência (Cen Ref) (26,8% para volume de óleo interceptado e 65,6% para óleo junto à costa), uma vez que equivale à utilização de recursos adicionais, por um tempo maior de operação das formações disponíveis. O resultado deste cenário (Cen Ref + DC84h) é superior mesmo ao do cenário de resposta antecipada em 06h (Cen Ref – 06h) (34,8% para volume de óleo interceptado e 57,5% para óleo junto à costa).

Quanto ao cenário com uma estrutura também equivalente à do cenário de referência (Cen Ref), que prevê o início de dispersão artificial combinada (mecânica e química) a partir de 60h do incidente (derramamento instantâneo) (Cen 'Ref' + DC60h), este apresenta um resultado comparativo muito positivo (54,9% para volume de óleo interceptado e 38,3% para óleo junto à costa), uma vez que se equivale ao cenário correspondente ao aumento no cenário de referência de cerca de 150% do número de formações utilizadas (Cen Ref + 150%) (53,3% para volume de óleo interceptado e 39,0% para óleo junto à costa).

O cenário com uma estrutura também equivalente a do cenário de referência (Cen Ref), que prevê o início de dispersão combinada (mecânica e química) a partir de 36h do incidente (derramamento instantâneo) (Cen 'Ref' + DC36h), apresenta resultado (54,6% para volume de óleo interceptado e 39,1% para óleo junto à costa) equivalente ao do cenário onde a dispersão se inicia à 60h do incidente (derramamento instantâneo) (Cen 'Ref' + DC60h) (54,9% para volume de óleo interceptado e 38,3% para óleo junto à costa). Desta comparação, observa-se que, com os parâmetros considerados, praticamente não se distingue para o ETA (tempo de chegada) de 36h, a contenção e recolhimento, utilizada no (Cen 'Ref' + DC60h) ou a dispersão combinada correspondente utilizada no (Cen 'Ref' + DC36h), apresentando ambos os cenários resultados globais equivalentes.

O cenário de exclusiva dispersão combinada (Cen Excl DC12h) sinaliza uma inversão na tendência da curva de eficiência das estratégias de contenção e recolhimento associadas à dispersão combinada (mecânica e química), apresentando um resultado ligeiramente menos favorável (52,1% para volume de óleo interceptado e 41,8% para óleo junto à costa) do que o cenário que utiliza a contenção e recolhimento no ETA de 12h (Cen 'Ref' + DC36h) (54,6% de volume de óleo interceptado e 39,1% para óleo junto à costa).

Por outro lado, este cenário (Cen Excl DC12h), baseado exclusivamente na dispersão combinada (mecânica e química), apresenta resultado igual ou superior a qualquer dos cenários convencionais de resposta baseados exclusivamente na contenção e recolhimento (52,1% para volume de óleo interceptado e 41,8% para óleo junto à costa); seja a partir de 06, 12 ou 18h do incidente com derramamento instantâneo (34,8%, 26,8% ou 23,3% para volume de óleo interceptado e 57,5%, 65,6% ou 69,2% para óleo junto à costa). Este cenário supera também aquele que prevê aumento no número de formações da ordem de 30% (37,7% para volume de óleo interceptado e 54,7% para óleo junto à costa), e é praticamente equivalente ao que prevê aumento da ordem de 150% no número de formações (53,3% para volume de óleo interceptado e 39,0% para óleo junto à costa).

Dentre todos os cenários modelados utilizando a contenção e recolhimento, associada ou não à dispersão combinada (mecânica e química), o melhor resultado provém do cenário (Cen 'Ref' + DC60h). Ou seja, com os parâmetros utilizados neste estudo e para as frentes de formação disponíveis no cenário de referência, a combinação que melhor contribuiu para a interceptação do volume de óleo derramado, e conseqüentemente para a diminuição do volume de óleo junto à costa, é aquela que considera a contenção e recolhimento para os ETA's de 12h e 36h, associada à dispersão combinada a partir de 60h do incidente com derramamento instantâneo.

Destaca-se ainda que, se os cenários (Cen Ref + 150%) (53,3% para volume de óleo interceptado e 39,0% para óleo junto à costa) e (Cen 'Ref' + DC36h) (54,6% para volume de óleo interceptado e 39,1% para óleo junto à costa) são equivalentes, na avaliação do benefício ambiental líquido dos cenários, aquele que recolhe um pouco mais do óleo derramado retirando-o do ambiente marinho, deverá destiná-lo adequadamente. Ou encaminhando-o para o processo de refino, através de navios aliviadores, que seria a princípio a solução mais limpa, ou destinando-o sob a forma de resíduo oleoso, assim identificado e tratado, incluindo os resíduos provenientes da limpeza de todos os equipamentos e materiais utilizados na operação.

No item seguinte, é discutida a evolução da eficiência da estrutura utilizada em cada frente de formação, à medida em que as operações se distanciam do local do derramamento, e aumenta o intervalo de tempo entre o instante do incidente e a chegada das formações para o início da resposta, com conseqüente diminuição da espessura da mancha de óleo pela atuação do espalhamento natural. Para a estratégia de contenção e recolhimento é considerado apenas o recolhimento de óleo, tendo em vista a dificuldade de se estimar, ainda no âmbito deste estudo, os volumes esperados para a contenção em cada uma das frentes de formação, em função da área de contenção, da espessura da mancha, da eficiência do conjunto (embarcações, equipes e equipamentos), do cenário ambiental, etc. E para a estratégia de dispersão combinada é feita uma comparação entre as capacidades instaladas e a eficiência do processo de dispersão artificial em função dos tempos de resposta.

8.2 EVOLUÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS FRENTES DE FORMAÇÃO

8.2.1 Evolução da Eficiência do Recolhimento de Óleo

Apresenta-se na Tabela 31 a evolução da eficiência de recolhimento de óleo pelas frentes de formação, para diferentes ETAs (tempos de chegada), tendo-se como base o cenário de referência (Cen Ref), que prevê a contenção e recolhimento para os ETAs de 12, 36 e 60h do início do incidente.

Tabela 31
Evolução da Eficiência do Recolhimento para Diferentes ETAs

Frente de Formação	ETA (h)	Capacid. de Recolhim. (m ³ /h)	Tempo de Operação Significat. (h)	Volume Recolhido Esperado (m ³)	Volume Recolhido Efetivo (m ³)	Eficiência do Recolhim. (%)
A	12	2 x 40 = 80	04	320	318	99
B	36	4 x 40 = 160	04	640	570	89
C	60	7 x 40 = 280	04	1.120	467	42

* 40m³/h é a capacidade comparativa de recolhimento para 01 formação com 03 embarcações;

É de se notar uma queda significativa na eficiência da resposta baseada na contenção e recolhimento do óleo eventualmente derramado, à medida em que o tempo de resposta aumenta em relação ao início do incidente. A comparação apresentada é feita com base nas primeiras horas de operação da estrutura de resposta em cada ETA (tempo de chegada), no período que foi chamado de Tempo de Operação Significativa, onde as eficiências são naturalmente mais elevadas, conforme resultados apresentados pelo modelo.

Assim, observa-se no cenário de referência (Cen Ref), para o ETA (tempo de chegada) de 12h, uma eficiência plena, de praticamente 100% da capacidade comparativa aqui

considerada, 20% da capacidade nominal do *skimmer* (recolhedor). Para o ETA (tempo de chegada) de 36h, observa-se uma pequena redução no desempenho da resposta, para cerca de 90% da capacidade comparativa. E, para o ETA (tempo de chegada) de 60h, observa-se um rendimento do conjunto limitado a menos da metade da capacidade de recolhimento considerada, cerca de 40% da capacidade comparativa.

8.2.2 Evolução da Eficiência da Dispersão Combinada

Apresenta-se na Tabela 32 a evolução da eficiência da dispersão combinada pelas frentes de formação correspondentes a diferentes ETAs (tempos de chegada), tendo-se como base de avaliação o cenário que prevê o uso exclusivo da dispersão combinada, a partir de 12h do início do incidente (Cen Excl DC12h).

Tabela 32

Evolução da Eficiência da Dispersão Combinada para Diferentes ETAs

Frente de Formação	ETA (h)	Estrutura de Resposta Utilizada* (m ³ /h)	Tempo de Operação Significat. (h)	Capacidade de Dispersão do Óleo (m ³)	Volume Efetivam. Disperso (m ³)	Eficiência da Dispersão do Óleo** (%)
A	12	2 x 40 = 80	12	960	831	86
B	36	4 x 40 = 160	12	1920	1677	87
C	60	7 x 40 = 280	12	3360	2647	78
D	84	7 x 40 = 280	12	3360	1492	44
E	108	7 x 40 = 280	12	3360	1161	34

* 40m³/h é a capacidade estimada de dispersão combinada para 01 formação com 03 embarcações;

** Eficiência da dispersão combinada (mecânica e química) do óleo efetivamente tratado;

Da Tabela 31, verifica-se uma eficiência de dispersão combinada das frentes de formação com ETA (tempo de chegada) de até 60h da ordem de 80 a 85%, e daí em

diante, para as frentes de formação com ETAs de 84h e 108h, uma significativa redução de eficiência, para a ordem de 45 e 35% de volume de óleo efetivamente disperso em relação à capacidade de dispersão estimada.

Neste sentido, a observação já citada anteriormente de que a eficiência observada nas estratégias de resposta não é constante, nem mesmo diretamente proporcional às variações experimentadas na estrutura utilizada, vale também para estratégias baseadas na dispersão combinada (mecânica e química). Lembrando, porém, que foge do escopo deste estudo, a determinação das causas da perda de eficiência das estratégias avaliadas. Pretende-se aqui apenas ressaltar que: a perda de eficiência em função do tempo de resposta existe, é significativa e deve ser considerada no planejamento de resposta a derramamento de óleo.

9 CONCLUSÃO

Comprova-se no âmbito deste estudo, a limitação das estratégias de resposta para grandes derramamentos em condições ambientais críticas, não tendo se conseguido em nenhum dos 10 cenários de resposta simulados evitar o toque ainda significativo da mancha na linha de costa, cerca de 25% do volume derramado (ver Tabela 30, à página 184).

Observa-se que a contribuição de uma estratégia de resposta simulada varia em função do esforço de mobilização desprendido, não sendo linear ou diretamente proporcional aos acréscimos experimentados na estrutura de resposta. Neste estudo a contribuição da estratégia está representada pelo percentual de óleo interceptado (de 23,3 a 54,9%), e o esforço de mobilização pelos tempos para início de resposta (de 06 a 18h) e pelo tamanho da estrutura utilizada (de 07 a 18 formações, apoiadas ou não por 02 aeronaves) (ver Tabela 30, à página 184).

Os resultados obtidos demonstram que as estratégias de resposta modeladas perdem eficiência, contenção e recolhimento (de 99 para 42%) e dispersão combinada mecânica e química (de 86 para 34%), à medida que o tempo de resposta se afasta do instante do derramamento (de 12 para 60h, no primeiro caso e de 12 para 108h, no segundo) e a espessura da mancha se reduz em função do espalhamento natural do óleo (ver Tabela 31, à página 188 e Tabela 32, à página 189).

A partir dos parâmetros considerados neste estudo ($40\text{m}^3/\text{h}$ por formação), nota-se que é possível obter resultados superiores aos do cenário de referência (cenário mínimo de resposta para o efetivo atendimento à legislação) (de 26,8 para 34,8%) para interceptação do óleo com a estrutura original de resposta. Ou ainda, (de 26,8 para 54,9%) com uma operação adicional (a partir de 84 e 108h) e alternativa (dispersão combinada) da mesma estrutura marítima (07 formações), apoiada então por 02 aeronaves dispersantes, em lugar da ampliação da estrutura marítima de resposta (de 07 para 18 formações) (ver Tabela 30, à página 184).

A estratégia de contenção e recolhimento mostrou-se pouco (42%, na mancha sul) ou nada eficaz (nula, na mancha norte) na interceptação do óleo para o ETA de 60h, sendo absolutamente contra-indicada (nula) para ETA's superiores a 60h, mesmo para óleos persistentes. Essa perda de eficiência em função do tempo de resposta é significativa (da ordem de 60%, na mancha sul, a 60h) e deve ser considerada no planejamento de resposta a derramamento de óleo (ver Tabela 31, à página 188).

A estratégia de dispersão combinada se mostra equivalente a de contenção e recolhimento para o ETA de 36h (de 87 para 89%), se mostra mais eficiente para o ETA de 60h (de 78 para 42%), e pode ser utilizada mesmo com eficiência reduzida (com 44 e 34%) para os ETAs de 84h e 108h, contribuindo ainda de forma significativa para a interceptação de parte do óleo derramado (ver Tabela 32, à página 189).

Dentre todos os cenários modelados com os parâmetros considerados neste estudo ($40\text{m}^3/\text{h}$ por formação), a combinação que melhor contribui para a interceptação do volume de óleo derramado, e conseqüentemente para a diminuição do volume de óleo junto à costa, é aquela que considera a atuação da estratégia de contenção e recolhimento para os ETAs de 12h e 36h, associada à estratégia de dispersão combinada a partir de 60h, 84h e 108h do incidente com derramamento instantâneo (Cen 'Ref' + DC60h). Além disso, o cenário baseado exclusivamente na dispersão combinada (mecânica e química) (Cen Excl DC12h) apresenta resultado praticamente igual ou superior a qualquer dos cenários convencionais de resposta baseados exclusivamente na contenção e recolhimento (ver Tabela 30, à página 184).

9.1 RECOMENDAÇÕES

Considerar para uma melhor avaliação de benefício ambiental líquido dos diferentes cenários de resposta, primeiro, a limitação assumida por este estudo que trata como impacto ambiental significativo proveniente do óleo derramado no mar somente o toque da mancha na linha de costa, e segundo, que o cenário que recupera uma parcela

maior do óleo derramado, retirando-o do ambiente marinho, deverá destiná-lo adequadamente, incluindo os resíduos gerados na limpeza dos equipamentos e os materiais utilizados.

Realizar ensaios de laboratório e testes de campo, que se fazem necessários para melhor definir o comportamento esperado dos diferentes tipos de óleo, produzidos ou transportados na região, se eventualmente derramados (ensaios de intemperização) e frente ao dispersante químico mais indicado para aquele tipo de óleo (testes de dispersibilidade).

Considerar sub divisões da faixa que se chama hoje de 'descarga grande' na Resolução Conama 293 (CONAMA, 2001), que vai de 200m³ a 1.000, 5.000, 10.000, 20.000, 50.000m³, ou volumes ainda maiores, e prever um tratamento diferenciado em função das características do óleo derramado (grupos 1, 2, 3 e 4), para efeito de dimensionamento da estrutura de resposta.

Elaborar uma matriz de decisão, como uma primeira referência para a definição da estratégia de resposta mais indicada em cada caso, considerando as principais variáveis envolvidas num derramamento de óleo: as características do óleo derramado, o volume derramado, as condições ambientais do momento, a proximidade de áreas ambientalmente sensíveis e as características dos equipamentos disponíveis.

Investigar a relocação gradativa também das formações de contenção e recolhimento a cada período de operação (3h, 4h ou 6h), considerando o tempo necessário de mobilização e desmobilização, assim como feito neste estudo para as frentes de dispersão combinada (mecânica e química);

Estimar volumes esperados para a contenção do óleo em cada frente de formação, como função do tempo de resposta, do tipo de óleo, da espessura da mancha, da área de contenção, da eficiência do conjunto (embarcações, equipamentos e equipes) e do cenário ambiental (impróprio, neutro ou favorável) que se apresente.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMSA, (2005). *Oil Spill Trajectory Model and Oil Spill Dispersants*. AMSA - Australia Maritime Safety Authority. Australia. Disponível em <www.amsa.gov.au>. Acesso em 27/01/2005.

ANP, (2005). Agência Nacional do Petróleo. Brasília, Brasil. *Anuário Estatístico 2004. Distribuição Percentual das Reservas Provadas de Petróleo, segundo Unidades da Federação, em 31/12/2003*. Disponível em <www.anp.gov.br/conheca/anuario_2004>, Seção 2 - Indústria Nacional do Petróleo, Gráfico 2.2. Acesso em 29/01/2005.

ASA, (2004). *OILMAP - Oil Spill Model Assessment Package*. Applied Science Associates. Disponível em <www.appsci.com>. Acesso em 07/07/2004.

ASA, (2005). *SIMAP - Integrated Oil Spill Impact Model System / Overview and Usefulness of Modeling Approach*. Applied Science Associates. Disponível em <www.appsci.com>. Acesso em 11/11/2005.

ASA, (2000a). *OILMAP User Manual – Version 4.0*. Applied Science Associates (ASA), Rhode Island, USA.

ASA, (2000b). *Technical Manual – OILMAP For Windows – Version 4.0*. Applied Science Associates (ASA), Rhode Island, USA.

(Baker & Lunel, 2000) JENIFER M. BAKER & TIM LUNEL (2000), in *Introduction of Volume 10: Choosing Spill Response Options to Minimize Damage – Net Environmental Benefit Analysis – Ipieca Report Series*. Disponível em <www.ipieca.org/Publications>. Acesso em 27/09/05.

BRASIL, (1981). Lei no 6.938 de 31 de agosto de 1981. Estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente e dá outras providências. Disponível em <www.mma.gov.br>. Acesso em 20/09/2005.

BRASIL, (1998). Lei nº 9.605/98 de 12 de fevereiro de 1998. Lei de Crimes Ambientais, também conhecida como Lei da Natureza. Disponível em <www.mma.gov.br>. Acesso em 20/09/2005.

BRASIL, (2000). Lei no 9.966 de 28 de abril de 2000. Trata das questões relacionadas à poluição por óleo no Brasil, também conhecida como Lei do Óleo. Disponível em <www.mma.gov.br>. Acesso em 20/09/2005.

CEPEMAR, (2004a). Centro de Pesquisas do Mar (CEPEMAR), Vitória, Brasil. *EIA – Estudo de Impacto Ambiental para as Atividades de Produção e Escoamento de Petróleo do Campo de Jubarte – Fase1 do Desenvolvimento da Produção*. RT 017/04.

CEPEMAR, (2004b). Centro de Pesquisas do Mar (CEPEMAR), Vitória, Brasil. *RIMA – Relatório de Impacto Ambiental para as Atividades de Produção e Escoamento de Petróleo do Campo de Jubarte – Fase1 do Desenvolvimento da Produção*. RT 017/04.

CONAMA, (2000). CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, Brasília, Brasil. Resolução Nº 269, de 14 de setembro de 2000. Dispõe sobre a utilização de dispersantes químicos em vazamentos, derrames e descargas de petróleo e seus derivados no mar. ANEXO – *Regulamento para uso de dispersantes químicos em derrames de óleo no mar*. 19pp. DOU 11/12/2000 e 12/01/2001.

CONAMA, (2001). CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, Brasília, Brasil. 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. ANEXO III – *Critérios para o Dimensionamento da Capacidade Mínima de Resposta*. 14pp. DOU 29/04/2002.

(Costa et al., 2005) COSTA, L.R.T.A, FERREIRA, V.J.M.F, ANDRADE, F.N.P & ANTOUN, A.R. *Strategic Optimization and Contingency Planning Model for Oil Spill Response*. IX LACPEC – Latin American and Carebeean Petroleum Engineering Conference, 2005. Rio de Janeiro, Brasil.

(Daling & Strom, 1999) PER S. DALING & TOVE STROM (1999). *Weathering of Oils at Sea: Model / Field Data Comparisons*. Spill Science & Technology Bulletin, Vol. 5, Nº 1, pp. 63-74.

(Daling et al., 2002) PER S. DALING, IVAR SINGSAAS, MARK REED & OLE HANSEN (2002). *Experiences in Dispersant Treatment of Experimental Oil Spills*. Spill Science & Technology Bulletin, Vol. x. No. x, pp. xxx-xxx. Published by Elsevier Science Ltd. (Article in Press).

ETC, (2005). Environment Canada, ENVIRONMENT TECHNOLOGY CENTRE, Emergencies Science and Technology Division. Disponível em <www.etc-cte.ec.gc.ca>. Acesso em 11/11/2005.

IMO, (2005). *INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO)*. Disponível em <www.imo.org>. Acesso em 19/09/05.

IPIECA, (2001). *Dispersants and their role in oil spill response*. International Petroleum Industry Environmental Conservation Association. London. UK. Ipieca Report Series, Volume Five, 2nd Edition, November 2001.

ITOPF, (1999). *The use of international oil industry spill response resources: Tier 3 Centres – Ipieca / Itopf, 1999 – Ipieca Report Series*. Disponível em <[www.ipieca.org / Publications](http://www.ipieca.org/Publications)>. Acesso em 27/09/05.

ITOPF Handbook 2004/2005. The International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF). London. UK. Disponível em <<http://www.itopf.com/publicat.html>>. Acesso em 27/01/2005.

ITOPF, (2006). Clean up Techniques and Can Have Fuel Oils Be Dispersed? The International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF). London. UK. Disponível em <<http://www.itopf.com>>. Acesso em 27/01/2005.

IUPAC, (1999) *Oil Spill Dispersants*. International Union of Pure and Applied Chemistry. Washington. USA. Pure Appl. Chem., Vol. 71, No. 1, pp. 27–42, 1999.

(Lehr et al., 2002) LEHR, W., JONES, R., EVANS, M., SIMECEK-BEATTY, D. & OVERSTREET, R. (2002). *Revisions of the ADIOS oil spill model*. Environmental Modelling and Software, 17, 191-199.

(McCay et al., 2004) MCCAY, D. F., ROWE, J. J., WHITTIER, N., SANKARANARAYANAN, S. & ETKIN, D.S. (2004). *Estimation of Potential Impacts and Natural Resource Damages of Oil*. Journal of Harzardous Materials, 107, 11-25.

MMA, (2005). MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, Brasília, Brasil. Disponível em <www.mma.gov.br>, atualizada em 08/06/05. Acesso em 20/09/05.

NOAA, (2002a). National Oceanic and Atmospheric Administration. USA. *Adios – Automated Data Inquiry for Oil spill - User's Manual*. Disponível em <<http://response.restoration.noaa.gov/software/adios/tools.html>>. Acesso em 29/06/2004.

NOAA, (2002b). National Oceanic and Atmospheric Administration. USA. *Gnome - General Noaa Oil Modeling Environment - User's Manual*. Disponível em <<http://response.restoration.noaa.gov/software/gnome/tools.html>>. Acesso em 29/06/2004.

NORDVICK, A. B. (1995). *The Technology Windows-of-Opportunity for Marine Oil Spill Response as Related to Oil Weathering and Operations*. Spill Science & Technology Bulletin, Vol. 2, Nº 1, pp. 17-46.

OEBIUS, H. U. (1999). *Physical Properties and Processes that Influence the Clean Up of Oil Spills in the Marine Environment*. Spill Science & Technology Bulletin, Vol. 5, Nº 3/4, pp. 177-289.

(Reed et al., 1995) REED, M., AAMO, O.M. & DALING, P. S. (1995). *Quantitative Analysis of Alternate Oil Spill Response Strategies using OSCAR*. Spill Science & Technology Bulletin, Vol. 2, Nº 1, pp. 67-74.

(Reed et al., 1999) REED, M., EKROL, N., RYE, H. & TURNER, L. (1999). *Oil Spill Contingency and Response (OSCAR) Analysis in Support of Environmental Impact Assessment Offshore Namibia*. Spill Science & Technology Bulletin, Vol. 5, Nº 1, pp. 29-38.

(Reed et al., 2004) REED, M., DALING, P., LEWIS, A., DITLEVSEN, M. K., BRORS, B. CLARK, J. & AURAND, D. (2004). *Modelling of Dispersant Application to Oil Spills in Shallow Coastal Waters*. Environmental Modelling and Software, 19, 681-690.

SINTEF, (2006). The Foundation for Scientific and Industrial Research at the Norwegian Institute of Technology (NTH). Disponível em <www.sintef.no>. Acesso em 11/07/06.

(Walkert et al., 1999) ANN HAYWARD WALKERT, JANET H. KUCKLICK & JAKELINE MICHEL, *Effectiveness and Environmental Considerations for Non-Dispersant Chemical Countermeasures*. Pure Appl. Chem., Vol. 71, No. 1, pp. 67-81, 1999.

GLOSSÁRIO

Capacidade de Resposta – Capacidade efetiva instalada x tempo de operação.

Dispersão Combinada – Utilização conjunta de equipamentos e produtos para promover artificialmente a dispersão química e mecânica do óleo derramado.

Eficiência de Resposta – percentual de óleo interceptado (recolhido + contido remanescente + disperso artificialmente) em relação ao volume de óleo derramado.

Estrutura de Resposta – Conjunto de embarcações, aeronaves, equipamentos, materiais e equipes disponibilizadas para o atendimento a situações de emergência. Número de formações (ou embarcações) e aeronaves utilizadas.

ETA – do inglês *Estimated Time of Arrival*, representa o tempo estimado para um componente da estrutura de resposta (embarcação, aeronave, equipamentos, etc) se apresentar no local do incidente.

Formações x dia – expressão utilizada para designar uma capacidade de operação, proporcional a de uma formação (03 embarcações) durante um dia (24h) de trabalho.

Junto à Costa – termo utilizado para designar a soma do óleo efetivamente na costa (*Ashore*) com o óleo próximo à costa, obtido a partir da ferramenta de avaliação da quantidade de óleo no interior de um dado polígono.

Skimmer – termo emprestado da língua inglesa, utilizado para se referir a diferentes tipos de recolhedores de óleo da superfície de corpos d'água.