

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

**Gabriel Correia Leone** 

Lógica Fuzzy para modelamento e auxílio no processo de tomada de decisão em caso de derrame de óleo no mar

#### **Gabriel Correia Leone**

# Lógica Fuzzy para modelamento e auxílio no processo de tomada de decisão em caso de derrame de óleo no mar

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.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Rigo

Co-orientador: Dr.-Ing Renato Krohling

VITÓRIA 2010

### Lógica Fuzzy para modelamento e auxílio no processo de tomada de decisão em caso de derrame de óleo no mar

#### **Gabriel Correia Leone**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental – Recursos Hídricos.

Aprovada em 30/08/2010 por:	
-	Prof. Daniel Rigo, D.Sc. Universidade Federal do Espírito Santo Orientador
-	Renato Krohling, DrIng. Programa de Pós-Graduação em Informática, UFES Co-Orientador
-	Prof. Antonio Sergio Mendonça Ph. D. Universidade Federal do Espírito Santo
- Ce	Renato Parkinson Martins, D.Sc. ntro de Pesquisas Tecnológicas da Petrobras – CENPES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO Vitória, Agosto de 2010 Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP) (Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Leone, Gabriel Correia, 1983-

L5831

Lógica fuzzy para modelamento e auxílio no processo de tomada de decisão em caso de derrame de óleo no mar / Gabriel Correia Leone. – 2010.

187 f.: il.

Orientador: Daniel Rigo.

Co-Orientador: Renato Krohling.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Lógica difusa. 2. Processo decisório. 3. Lógica booleana. I. Rigo, Daniel. II. Krohling, Renato. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. IV. Título.

CDU: 628

Este trabalho é dedicado a todos que lutam em prol de um mundo melhor e mais justo, não distinguindo a espécie há qual a vítima pertence, seu credo, cor e gênero.

#### Agradecimentos,

A meus pais e irmãos que mesmo distantes e não conhecedores de meu oficio, sempre me dão apoio.

A Carol, minha linda esposa, por todo apoio, confiança e estímulo, os quais foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

Aos meus filhos, Gaia, Jimmy, Nega e Chico, pela alegria de viver, pelo entusiasmo ao me verem, e por me considerarem "o cara" mais importante do mundo.

A coordenação do Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental e seus docentes, os quais alguns foram fundamentais no meu amadurecimento pessoal e profissional.

Aos meus orientadores Daniel e Renato, pela confiança, paciência, ajuda, oportunidades e todo suporte necessário para conclusão deste trabalho.

A banca, por ter aceito o convite.

À Capes, pela bolsa; À ASA, pelo OILMAP; Gearh, pelos recursos. Petrobrás a base de dados

As pessoas as quais fiz amizade e aqueles que me acompanham há um bom tempo, como: Tião, Ronaldo, Estefhan, Renata, Amaury, Emilia, Pedro, Cristian, Kátia e aqueles que não citei também.

Não me importa que não façam carros, foguetes e prédios.

Não me importa que, e se raciocinam, se fazem cálculos complexos ou tenham religião.

Não me importa que não os entenda e que não sabemos nada sobre vossas vontades.

Não, nada disso me importa.

O que me importa é que eles sentem dor, assim como eu e você, e isso já basta para libertá-los de tal aflição.

**Gabriel Correia Leone** 

#### Sumário

1	INTRODUÇÃO	20
2	OBJETIVOS	22
2.1	Objetivo geral	22
2.2	Objetivos Específicos	22
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1	CARACTERIZAÇÃO DOS ÓLEOS	23
3.1.1	Composição do óleo	23
3.1.2	Propriedades do óleo	23
3.2	Comportamento do óleo no meio ambiente.	25
3.3	Movimento do óleo	27
3.4	Respostas a derrames	29
3.4.1	Contenção de óleo na água	31
3.4.2	Recolhimento de óleo na água	33
3.4.3	Agentes tratadores de manchas de óleo	36
3.5	Modelagem Computacional	39
3.5.1	Modelo OILMAP	40
3.6	Introdução à Lógica Fuzzy	42
3.6.1	Lógica Fuzzy versus Lógica Clássica (Booleana)	42
3.6.2	Conjuntos Fuzzy (Fuzzy Sets)	45
3.6.3	Conceitos de Lógica Fuzzy	46
3.6.4	Fuzzificação	46
3.6.5	Grau de pertinência	46
3.6.6	Variáveis Lingüísticas	47

3.6.7	Inferência Nebulosa	48
3.6.8	Defuzzificação	49
3.7	Uso da Lógica Fuzzy	50
4	METODOLOGIA	53
4.1	Área de estudo	53
4.2	Modelo Numérico Oilmap	54
4.3	Parâmetros utilizados na modelagem	54
4.3.1	Base de Dados	54
4.4	Definição dos cenários	60
4.4.1	Nível de Resposta	60
4.5	Aplicação da Lógica Fuzzy em Modelamento de Derrames de Óleo	73
4.5.1	Fuzzificação	75
4.5.2	Inferência Nebulosa - Combinação das Regras Condição/Ação	78
4.5.3	Deffuzificação	80
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
5.1	Contenção, Recolhimento e Dispersão Química	85
5.1.1	Cenário 1 – 200m³ (Óleo médio/pesado)	86
5.1.2	Cenário 1 – 500m³ (Óleo médio/pesado)	88
5.1.3	Cenário 1 – 1000m³ (Óleo médio/pesado)	90
5.2	Toque na Costa	94
5.2.1	Condições Meteoceanográficas	94
5.2.2	Capacidade de Resposta	98
5.3	Cenários Não-Toque	108
5.3.1	Condições Meteoceanográficas	109
5.3.2	Capacidade de Resposta	113

5.4	Resultados Obtidos pelo Modelo Fuzzy	124
5.4.1	Resultados do Modelo Fuzzy para Óleo Médio	125
5.4.2	Resultados do Modelo Fuzzy para Óleo Pesado	137
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	150
7	REFERENCIAS	151
ANEXC	) A	158

#### Lista de Figuras

Figura 1: Processo de Intemperismo sofrido por um óleo após o derrame. Adaptado de Itopof (2009)
Figura 2: Influência do vento e corrente no movimento do óleo no mar28
Figura 3: Esquema mostrando elementos de uma barreira de contenção31
Figura 4: Esquemas de formação em "U", "J" e "V"32
Figura 5: Alguns dos skimmers disponíveis no mercado
Figura 6: Equipe em campo utilizando sorbentes para recolhimento de óleo35
Figura 7: Esquema de atuação de dispersantes; A) Gostas de dispersante contendo surfactantes é espalhado sobre o óleo; B) O solvente leva o surfactante para dentro do óleo; C) As moléculas de surfactante migram para interface óleo/água diminuindo sua tensão permitindo que; D) Pequenas gotas se desprendam da mancha. E) As gotas dispersam por mistura turbulenta deixando apenas o brilho na superfície d'água.
Figura 8: Modelo binário de classificação de altura44
Figura 9: Modelo Fuzzy de classificação de altura44
Figura 10: Exemplo de aplicação da base de regras e defuzificação utilizando centro de gravidade (adaptado de ZADEH, 1965)
Figura 11: Localização do Campo Jubarte. Fonte: (CEPEMAR, 2004b apud FERREIRA, 2006)
Figura 12: Malha numérica do Modelo OILMAP55
Figura 13: Malha computacional responsável pelos cálculos no modelo de tranporte e intemperização
Figura 14: Exemplo do campo hidrodinâmico do Modelo OILMAP56
Figura 15: Exemplo de campo de vento atuante na região58
Figura 16: Óleo derramado num cenário de referencia de 500m³64

Figura 17: Diagrama mostrando os cenários de dispersão construídos a partir de Cenário de Referência.	
Figura 18: Evolução dos cenários de dispersão para um acidente de 500m³. A Cenário de Referência; B) Cenário de Referência + dispersante 108h; C) Cenário de Referência + dispersante 84h; D) Cenário de Referência + dispersante 60h; E Cenário de Referência + dispersante 36h; F) Dispersão Exclusiva	de E)
Figura 19: Esquema de aplicação do dispersante em um polígono7	<b>7</b> 0
Figura 20: Direção de vento predominante na região de estudo para o ano de 1992 segundo NCEP ( <i>National Centers for Environmental Prediction</i> )	
Figura 21: Exemplo de Função de pertinencia7	<b>7</b> 4
Figura 22: Sistema Fuzzy de Inferência7	<b>7</b> 4
Figura 23: Variáveis Nebulosas do Conjunto Condição Meteoceanográfica, utilizada no Modelo Fuzzy	
Figura 24: Variável porte do acidente7	7
Figura 25: Variável Condição Meteoceanográfica7	7
Figura 26: Variável Capacidade de Resposta7	<b>7</b> 8
Figura 27: Combinação das Regras Condição/Ação7	<b>7</b> 9
Figura 28: Superfície para Porte do Acidente7	<b>7</b> 9
Figura 29: Processo de Deffuzyficação do Conjunto Nebuloso Capacidade o Resposta.	
Figura 30: Direções de Ventos e Correntes nos cinco dias de contingenciamento do óleo. Cenário 1	
Figura 31: Direções de Ventos e Correntes nos cinco dias de contingenciamento o óleo. (Cenário 2 - Esquerda); (Cenário 3 - Direita)	
Figura 32: Intensidade de ventos (m/s) (Esquerda) e Correntes (Direita) x Tempo (Horas) de resposta	

Figura 33: Capacidade de Resposta (%) x Tempo (Horas). Esquerda (Contenção e Recolhimento) / Direita – (Dispersão Química). Cenário 199
Figura 34: Capacidade de Resposta (%) x Tempo (Horas). Esquerda (Contenção e Recolhimento) / Direita – (Dispersão Química). Cenário 2100
Figura 35: Capacidade de Resposta (%) x Tempo (Horas). Esquerda (Contenção e Recolhimento) / Direita – (Dispersão Química). Cenário 3101
Figura 36: Ventos e Correntes nos momentos em que houve resposta ao acidente.  Cenário 4 (Esquerda); Cenário 5 (Direita)
Figura 37: Ventos e Correntes nos momentos em que houve resposta ao acidente (Cenário 3)
Figura 38: Intensidade (m/s) x Tempo (Horas) de resposta. Esquerda (Ventos); Direita (Correntes)
Figura 39: Capacidade de Resposta (%) x Tempo (Horas). Esquerda (Contenção e Recolhimento) / Direita – (Dispersão Química). Cenário 4
Figura 40: Capacidade de Resposta (%) x Tempo (Horas). Esquerda (Contenção e Recolhimento) / Direita – (Dispersão Química). Cenário 5
Figura 41: Capacidade de Resposta (%) x Tempo (Horas). Esquerda (Contenção e Recolhimento) / Direita – (Dispersão Química). Cenário 6
Figura 42: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 1 – 200m³); Direita (Cenário 1 – 500m³)
Figura 43: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Cenário 1 – 1000m³
Figura 44: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 2 – 200m³); Direita (Cenário 2 – 500m³)
Figura 45: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Cenário 2 – 1000m³
Figura 46: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 4 – 200m³); Direita (Cenário 4 – 500m³)

Figura 47: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Cenário 4 – 1000m³132
Figura 48: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 5 – 200m³); Direita (Cenário 5 – 500m³)
Figura 49: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Cenário 5 – 1000m³
Figura 50: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 6 – 200m³); Direita (Cenário 6 – 500m³)
Figura 51: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Cenário 6 – 1000m³
Figura 52: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 1 – 200m³); Direita (Cenário 1 – 500m³)
Figura 53: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Cenário 1 – 1000m³
Figura 54: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 2 – 200m³); Direita (Cenário 2 – 500m³)
Figura 55: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Cenário 2 – 1000m³
Figura 56: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 4 – 200m³); Direita (Cenário 4 – 500m³)
Figura 57: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Cenário 4 – 1000m³
Figura 58: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 5 – 200m³); Direita (Cenário 5 – 500m³)
Figura 59: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Cenário 5 – 1000m³
Figura 60: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 6 – 200m³); Direita (Cenário 6 – 500m³)

Figura 61:	Comparação	de	resultados	obtidos	por	ambos	os	modelos.	Cenário	5 –
1000m³										148

#### Lista de Tabela

Tabela 1: Relação entre a aparência, espessura e volume de óleo flutuante29
Tabela 2: Características dos óleos simulados59
Tabela 3: Parâmetros utilizados no Modelo OILMAP60
Tabela 4: Volume a ser recolhido para cada nível de resposta62
Tabela 5: Número de formações necessárias para combate em cada cenário de referência simulado63
Tabela 6: Número de formações nos cenários de referência duplicados, triplicados e adiantados65
Tabela 7: Parâmetros utilizado nos cenários com dispersante70
Tabela 8: Condições meteoceanográficas iniciais dos cenários simulados71
Tabela 9: Total de cenários simulados73
Tabela 10: Intervalos das variáveis selecionadas para o Modelo Fuzzy75
Tabela 11: Base de Regras Modelo Fuzzy – Cond. Meteoceanográficas (Óleo Médio)81
Tabela 12: Base de Regras Modelo Fuzzy – Porte do Acidente (Óleo Médio)81
Tabela 13: Base de Regras Modelo Fuzzy – Capacidade de Resposta (Óleo médio).
Tabela 14: Base de Regras Modelo Fuzzy – Cond. Meteoceanográficas (Óleo Pesado)83
Tabela 15: Base de Regras Modelo Fuzzy – Porte do Acidente (Óleo Pesado)83
Tabela 16: Base de Regras Modelo Fuzzy – Capacidade de Resposta (Óleo Pesado)84
Tabela 17: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 186
Tabela 18: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 187

Tabela 19: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 188
Tabela 20: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 189
Tabela 21: Resultados em % obtidos pelo OILMAP para o Cenário 190
Tabela 22: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 191
Tabela 18: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 2158
Tabela 19: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 2159
Tabela 20: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 2160
Tabela 21: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 2161
Tabela 22: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 2162
Tabela 23: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 2163
Tabela 24: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 3164
Tabela 25: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 3165
Tabela 26: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 3166
Tabela 27: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 3 167
Tabela 28: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 3168
Tabela 29: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 3 169
Tabela 30: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 4170
Tabela 31: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 4 171
Tabela 32: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 4 172
Tabela 33: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 4 173
Tabela 34: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 4 174
Tabela 35: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 4 175
Tabela 36: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 5176
Tabela 37: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 5 177
Tabela 38: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 5178

Tabela 39: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 5179
Tabela 40: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 5180
Tabela 41: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 5181
Tabela 42: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 6182
Tabela 43: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 6183
Tabela 44: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 6184
Tabela 45: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 6185
Tabela 46: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 6186
Tabela 47: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 6187

#### Resumo

O aumento da demanda energética nos dias atuais tornou a sociedade dependente do uso de um recurso natural não renovável, o petróleo. A busca por reservas e a retirada deste produto é de fundamental importância social e econômica. No entanto, em casos de acidente, as conseqüências ambientais são algumas vezes catastróficas. Devido a esse caráter, a busca por medidas que auxiliem no processo de tomada de decisão é fundamental.

Este trabalho trata do uso do Modelo Numérico OILMAP para modelamento de cenários de contenção, recolhimento e dispersão química em casos de acidentes de óleo sob diferentes parâmetros ambientais, com intuito de proporcionar informações necessárias para montagem de uma base de regras que dêem suporte para modelar através de um Modelo Fuzzy uma maneira para se obter respostas de maneira mais ágil e com menor custo computacional.

A Lógica Fuzzy adiciona valores lingüísticos ao invés de numéricos, o que proporciona a adição de incerteza no problema, melhor compreensão por parte de não especialistas, respostas mais rápidas e menores custos computacionais.

Foram simulados cenários utilizando um modelo numérico de transporte sob diferentes condições ambientais, que serviram de base para montagem de um Modelo Fuzzy. O Modelo Fuzzy apresentou resultados condizentes com o modelo numérico, e com esforço computacional inferior e maior velocidade de resposta o que demonstra que esta metodologia representa uma importante ferramenta no auxílio à tomada de decisão.

Palavra chave: Demanda Energética; Lógica Fuzzy; Lógica Booleana; Tomada de Decisão; Modelo OILMAP; Modelo Fuzzy.

#### Abstract

The increase of energy demand makes the society dependent on the use of a non-renewable natural resource: oil. The search for oil and gas reserves and the removal of this material have social and economic importance. However, in cases of accident, the environmental consequences are sometimes disastrous. Because of these features, the search for mitigation measures to reduce the impacts from the activities help the process of decision making.

This work deals with the use of Numerical Model OILMAP for modeling scenarios of containing, recover and fate dispersion in cases of oil accidents under different environmental parameters proportioning information to build a base of rules that support a modeling through Fuzzy Model in a manner that more quickly and faster responses can be achieve.

Fuzzy Logic have linguistic values instead numerical values, which adds uncertainty to analysis the problem, better understanding by non-specialists, faster responses and lower computational cost.

First, scenarios were simulated by using a numerical model of transport for different environmental conditions, basis for creating a Fuzzy Model. Fuzzy Model results were, in most cases, consistent with the numerical model, denoting computational effort and faster responses, demonstrating that is an important tool for assisting decision making.

#### 1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda energética mundial tem estimulado cada vez mais a procura e exploração de gás e derivados do petróleo tanto *inshore* como *offshore*, incentivando o mercado a desenvolver cada vez mais tecnologias para melhorar o aproveitamento das atividades exploratórias, dentre estas, o aumento na capacidade de armazenamento e transporte de óleo. Com as capacidades aumentadas, crescem também as possibilidades de acidentes com maiores proporções.

Apesar da maior parte do óleo lançado no ambiente marinho ser através de pequenas fontes e em pequenas quantidades (BURGHERR 2006), são os grandes derramamentos de óleo que chamam a atenção do público graças à grande repercussão e seu caráter catastrófico.

Com os primeiros acidentes de grande magnitude e sérios danos ao meio ambiente, percebeu-se da necessidade de planos e estruturas que mitigassem os efeitos de derrames, gerando tecnologias de combate a eventos acidentais de óleo.

Os impactos de um acidente com derrame de óleo são primeiramente percebidos como um problema ambiental de grande magnitude, e a complexidade na tomada de decisão, principalmente no campo da Pesquisa Operacional, é muito alta devido à aleatoriedade dos acontecimentos e das variáveis envolvidas, onde o responsável, ou responsáveis pela tomada de decisão estão na maior parte do tempo sob grande estresse (GARCIA, 2006).

Devido a toda essa complexidade, sistemas que auxiliam o tomador de decisão na hora de um derrame são imprescindíveis para que as incertezas inerentes ao problema enfrentado sejam reduzidas, aumentando a confiabilidade das decisões.

Existem algumas ferramentas que auxiliam o tomador de decisão na melhor escolha a ser feita, dentre elas podemos citar os modelos numéricos de trajetória de partículas. Estes modelos podem, através de equações diferenciais preveem o comportamento de uma mancha de óleo.

Pode-se citar entre os modelos, o OILMAP (Oil Spill Model Assessment Package), desenvolvido pela Applied Science Associates, Inc. (ASA), é um software que

acompanha e prevê o deslocamento e transformações químicas (trajectory and fates) de qualquer tipo de petróleo eventualmente derramado.

Apesar dos modelos numéricos serem uma ferramenta de grande utilização, eles não levam em consideração incertezas inerentes em qualquer situação real, pois lidam com valores precisos, deixando de lado a subjetividade dos dados de entrada. Outra característica dos modelos computacionais são os altos custos técnicos e computacionais que envolvem a modelagem. Outro sistema que vem sendo utilizado no processo de decisão é a Lógica Fuzzy.

A Lógica Nebulosa (inglês: *Fuzzy Logic*), criada por Zadeh (1965), é uma ferramenta que tem o intuito de lidar com sistemas onde a imprecisão dos dados existentes necessita de uma abordagem diferenciada e não mais a abordagem clássica, ou Booleana.

Esta metodologia se utiliza de palavras e não números, o que facilita a compreensão de certos problemas mesmo por quem não possui conhecimento técnico, pois sua modelagem é feita através de conectivos que tentam simular o conhecimento humano de forma natural, além de ser capaz de englobar incertezas inerentes a problemas reais.

Outra vantagem do uso desta técnica é seu custo computacional, que é bem inferior ao custo que os modelos numéricos possuem, tanto técnico como em velocidade de processamento, o que beneficia casos onde o tempo de resposta é de grande importância para o sucesso ou fracasso.

O presente trabalho utiliza a Lógica Fuzzy como ferramenta de modelagem deste complexo sistema de tomada de decisão, na tentativa de fornecer indicações das ações mais apropriadas a serem tomadas no momento de um acidente, de maneira mais confiável e com o menor custo de resposta.

#### 2 OBJETIVOS

#### 2.1 Objetivo geral

 Analisar a Lógica Fuzzy no modelamento e auxílio na tomada de decisão em caso de derrame acidental de óleo no mar.

#### 2.2 Objetivos Específicos

- Simular, no modelo numérico OILMAP, cenários de derrame de óleo sob influência de diferentes parâmetros de entrada e estratégias de resposta.
- Analisar cenários de respostas, baseados na contenção, recolhimento e dispersão.
- Selecionar as variáveis que influenciam no transporte de óleo e suas interações no meio, para criação de um Modelo Fuzzy.
- Simular cenários de contenção e recolhimento utilizando um Modelo Fuzzy.
- Analisar e comparar respostas fornecidas pelos modelos, OILMAP e Fuzzy.

#### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ÓLEOS

Nesta sessão procura-se caracterizar o óleo, pois suas propriedades influênciam na forma como uma ação será planejada. Descrê-se também a caracterização dos tipos de estratégias de contenção e recolhimento em caso de derrame de óleo no mar.

#### 3.1.1 Composição do óleo

Óleos crus são misturas de compostos de carbono e hidrogênio variando de componentes pequenos e voláteis a componentes muito grandes e não-voláteis. Essa mistura de componentes varia de acordo com a formação geológica da área onde o óleo foi encontrado e influencia fortemente suas propriedades. Por exemplo, óleos crus, que consistem primariamente de compostos grandes, são viscosos e densos (PEREIRA & GOMES, 2002). Produtos do petróleo como gasolina ou diesel são misturas de componentes menores, logo suas propriedades são mais especificas e menos variáveis

Os óleos possuem como principal elemento os hidrocarbonetos, juntamente com uma variedade de enxofre, nitrogênio, oxigênio e às vezes sais minerais, além de metais traço como níquel, vanádio e cromo. Em geral os hidrocarbonetos encontrados nos óleos são caracterizados por sua estrutura.

#### 3.1.2 Propriedades do óleo

Os diferentes tipos existentes de oleo, possuem propriedades características. Essa variação se dá em termos de viscosidade, densidade, solubilidade, Tensão interfacial óleo/água e ponto de congelamento.

A viscosidade é a resistência de um líquido fluir. Quanto menor a viscosidade, mais prontamente um liquido se move (EPA, 2005). Por exemplo, a água tem uma baixa viscosidade e flui prontamente. O contrário, com alta viscosidade, flui com

dificuldade. A viscosidade de um óleo é determinada pela fração de óleo leve e óleo pesado que este contenha. Quanto maior a percentagem de óleo leve, como saturados, e menor o total de asfaltenos, menor a viscosidade (FINGAS, 2000).

A densidade é a massa de um dado volume de óleo e é tipicamente expresso em gramas por centímetro cúbico (g/cm³). Sua propriedade é usada pela indústria do petróleo para definir óleos pesados e leves. *Densidade* também é importante porque indica se um determinado óleo ira afundar ou flutuar na água. A maior parte dos óleos e produtos refinados são menos densos que a água, flutuando livremente na superfície após o derrame (FERNANDES, 2001).

A solubilidade na água é a medida de quanto um óleo irá dissolver na coluna d'água. Solubilidade é uma questão importante, pois o óleo apresenta substancias tóxicas a vida aquática, especialmente em altas concentrações. Como a perda de óleo por solubilidade é pequena, este não é um processo tão eficiente quanto a evaporação. De fato, a solubilidade de óleo na água é tão pequena (geralmente menor que 100 partes por milhão) que seria equivalente a um grão de açúcar dissolvido em um copo d'água.

A tensão interfacial óleo/água, também conhecida como tensão superficial, é a força de atração ou repulsão entre moléculas superficiais de óleo na água. Quando maior a tensão superficial, mais o óleo tende a permanecer no lugar. Se a tensão superficial é baixa, o óleo tenderá a se espalhar mesmo que não haja ventos ou correntes (EPA, 2005)

Ponto de congelamento é a temperatura abaixo da qual o óleo não ira mais fluir. Esta característica é uma função da quantidade de graxas e asfaltenos na composição do óleo derramado. Enquanto o óleo esfria, ele alcançará a temperatura conhecida como "ponto de nuvem" (*cloud point*), na qual as graxas existentes começam a cristalizar. Quando a temperatura de congelamento é alcançada, o óleo passa de líquido a semi-sólido, conforme**Erro! Fonte de referência não ncontrada.** (ITOPF, 2002).

#### 3.2 Comportamento do óleo no meio ambiente.

Quando um óleo é derramado na água começa a sofrer uma variedade de processos físico-químicos transformadores (VIE. et al, 2007), que altera tanto a parte física como a química de um determinado óleo. Outro processo que pode ser relatado em nível de importância é o movimento do óleo no ambiente. As mudanças das propriedades do óleo e os processos de movimentação podem se sobrepor, com o primeiro influenciando fortemente como o óleo irá se movimentar no ambiente e vice-versa. Esses processos dependem muito do tipo de óleo derramado e as condições do tempo durante e após o derrame.

Segundo ITOPF (2002), o comportamento de uma mancha de óleo na água é de grande importância, pois é ele quem vai determinar os tipos de ações mais adequadas a serem tomadas em caso de um derrame. Por exemplo, se um óleo evapora rapidamente, a limpeza se torna menos intensa, mas a quantidade de hidrocarbonetos que entra na atmosfera, provocando poluição, aumenta.

Na água, uma mancha de óleo está sob influência de correntes e ventos que podem carregá-la para uma área sensível, como ecossistemas onde a vida selvagem presente será muito afetada. Por outro lado, uma mancha pode ser carregada para alto mar e acabar se dissipando naturalmente tendo pouco efeito sobre o meio ambiente (FINGAS, 2000).

Com o óleo derramado na água, uma série de mudanças físicas e químicas nas propriedades do óleo começam acontecer. Estas mudanças recebem o nome de *intemperismo*. O *intemperismo* ocorre em diferentes taxas, mas começa imediatamente depois do derrame. As taxas de *intemperismo* não são consistentes ao longo do derrame de óleo e são maiores logo após o derrame. A Figura 1 mostra os processos de intemperismo ocorrendo sob uma mancha de óleo.

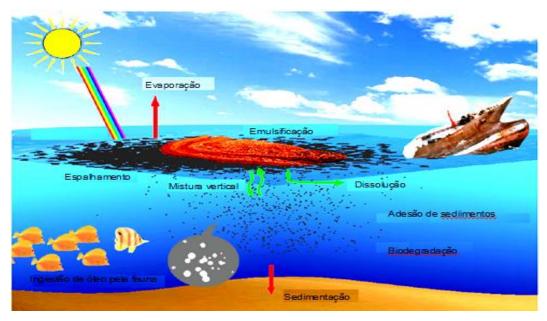


Figura 1: Processo de Intemperismo sofrido por um óleo após o derrame. Adaptado de Itopof (2009).

Tanto o intemperismo como a taxa em que ocorre dependem mais do tipo de óleo do que das condições ambientais existentes. A maioria dos processos de intemperismo é dependente da alta temperatura, e irão diminuir significantemente em temperaturas próximas de zero.

A *evaporação* é usualmente o mais importante processo de intemperismo e tem um grande efeito na trajetória da mancha. Por exemplo, numa temperatura de 15°C e após dois dias de derrame, gasolina *evapora* completamente, enquanto um diesel evapora 60%, um óleo cru evapora por volta de 40%, um óleo cru pesado por volta de 20%, e um *Bunker C* por volta de 3% (FINGAS, 2000).

A *emulsificação* é o segundo processo mais importante do *intemperismo*, pois muda drasticamente as propriedades do óleo, como por exemplo, um óleo líquido, quando sofre emulsificação se torna viscoso e seu volume aumenta consideravelmente.

Alem destes citados acima, outros processos de intemperismo são, dispersão natural (espalhamento), dissolução, foto-oxidação, sedimentação, adesão a materiais, interação com minerais, biodegradação e formação de "tall barrs".

#### 3.3 Movimento do óleo

O óleo após derramado tende a se espalhar e se movimentar superficialmente devida influências externas como vento, corrente, força gravitacional, entre outros. Estes movimentos devem ser compreendidos para que a escolha e a forma como será dada uma resposta seja a mais eficiente e com menor custo operacional.

O espalhamento de um óleo derramado na água é provavelmente o processo mais dominante nos primeiros estágios do derrame, e um dos fatores que mais influenciam outros processos como evaporação e dispersão (SEBASTIÃO & GUEDES, 1995).

Após um derrame em água o óleo tende a se espalhar numa mancha sobre a superfície da água. Isso é especialmente verídico quando componentes mais leves como gasolina, diesel, e óleos crus leves, os quais formam uma camada bem fina. Óleos mais pesados e Bunker C se espalham em manchas com vários mm de espessura (FINGAS, 2002).

A taxa à qual o óleo se espalha ou se fragmenta é afetada diretamente pelas marés e correntes, quanto maior a combinação de forças atuantes, mais rápido é o processo (ITOPF, 2002). No entanto, o espalhamento ocorre também com a total ausência de correntes e vento. Esse espalhamento é causado pela força da gravidade e pela tensão interfacial entre o óleo e a água. A viscosidade do óleo opõe esse movimento. Ao passar do tempo, a força gravitacional começa a perder efeito, mas a força interfacial continua a espalhar o óleo. A transição entre as forças começam a ser substituídas nas primeiras horas em que o óleo foi derramado.

Como regra geral, uma mancha de óleo se espalha relativamente rápido imediatamente após o derrame. Os limites de uma mancha típica são usualmente mais fino que na parte interior, tomando a forma de um ovo frito. Esse efeito diminui após o primeiro dia de derrame.

O rápido espalhamento faz com que a possibilidade de limpeza da mancha seja afetada, pois quanto mais fina se torna uma mancha, menor é a capacidade com que os recolhedores trabalham. Na presença de correntes e ventos isso é ainda mais afetado.

Em adição à tendência natural de espalhar, as manchas de óleo na água são movidas ao longo da superfície da água, primariamente por correntes e ventos. Por exemplo, se a mancha de óleo se encontra próxima à costa e a velocidade do vento é menor que 10 km/h, a mancha geralmente se move a uma taxa que é 100% da corrente superficial e aproximadamente 3% da velocidade do vento, conforme Figura 2, fazendo com que o vento não tenha um papel muito significante.

Por outro lado, se o vento é maior que 20 km/h e a mancha está em mar aberto, o deslocameto neste caso é determinado pelo vento. Apesar disso, correntes e ventos devem sempre ser considerados independente da situação que está a ocorrer.

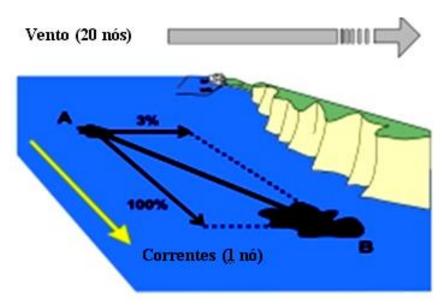


Figura 2: Influência do vento e corrente no movimento do óleo no mar. Fonte: ITOPF, (2009).

Quanto se quer determinar o movimento de uma mancha de óleo tem-se que atentar a dois fatores que afetam a acurácia da predição. A mais significante é a falta de habilidade de se obter dados de vento e correntes no momento do derrame. O outro, numa escala bem menor é o fenômeno conhecido com Efeito de Coriolis (FINGAS, 2000), onde a rotação da Terra deflete o movimento de objeto significantemente para direita no hemisfério norte e para esquerda no hemisfério sul.

#### 3.4 Respostas a derrames

Escolher a técnica mais apropriada em caso de derrame de óleo é crucial e irá depender das circunstancias exatas de um acidente. O reconhecimento aéreo, monitoramento da mancha, o uso de dispersantes, contenção e recolhimento, entre outros, são as formas de se lidar com situações de derrames de óleo.

Durante a fase inicial de um derrame de óleo, informação sobre o lançamento é de grande importância. Embora existam vários tipos de técnicas de sensoriamento remoto disponíveis para mapear a distribuição de óleo, a técnica mais confiável é a observação visual de aviões. Essas observações servem para prever os movimentos subseqüentes do óleo, implementando assim as melhores decisões a serem tomadas e avisando a comunidade da situação presente da poluição (NOAA, 1996).

É possível através da observação visual tentar calcular a quantidade de óleo derramado, mas isso pode gerar alguns enganos devido a alguns complicadores. Por exemplo, óleos crus muito leves e produtos refinados também leves irão rapidamente se espalhar numa camada muito fina quando derramado. Em condições de luminosidade terá aparência de arco-íris (NOAA, 1996).

Este método de mensuração não é o mais apropriado já que a coloração do óleo na água é dependente de como a luz solar está incidindo sobre a mancha e a angulosidade de observação. A Tabela 1 abaixo mostra as prováveis concentrações de óleo na água segundo sua coloração.

Tabela 1: Relação entre a aparência, espessura e volume de óleo flutuante.

Tipo de óleo	Aparência	Espessura aproximada	Volume aproximado (m³/km²)
Brilho do óleo	Prata	>0.0001mm	0.1
Brilho do óleo	Brilhante	>0.0003mm	0.3
Óleo cru e combustível	Marrom para preto	>0.1mm	100
Emulsão óleo e água	Marrom /Laranja	>1 mm	1000

Fonte: ITOPF, 2009.

Outra técnica utilizada para visualização de manchas é o sensoriamento remoto. Nesta técnica um equipamento é montado numa aeronave com a função de monitorar, detectar e identificar fontes de descargas marinhas ilegais e de manchas acidentais. Os sensores destes equipamentos trabalham pela detecção de propriedades da superfície do mar como coloração, refletância e rugosidade. O óleo é detectado pela alteração em quaisquer dessas propriedades.

Através do uso de instrumentos de sensoriamentos remotos modernos, o óleo pode ser monitorado a qualquer momento do dia (FINGAS & BROWN, 1997), mas mesmo com o uso de equipamentos sofisticados e mais baratos, a tecnologia do sensoriamento remoto deixa a desejar.

As imagens de satélite podem também detectar óleo na água. Os sensores a bordo também são óticos, detectando nas regiões visíveis e próximo da região infravermelha do espectro, ou fazer uso de radar. Nessa técnica é necessário um céu aberto sem nuvens, tornando esta uma ferramenta limitada. O *SAR* (Radar de Abertura Sintética) não necessita de um tempo bom, tornando-a uma ferramenta mais eficiente.

Existe também a possibilidade da não-resposta, que segundo (FERREIRA, 2006), se difere do "nada-se-fazer". Essa opção é a 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.

Ainda segundo Ferreira, (2006) este procedimento é adotado a partir da constatação de que a mancha não esteja se dirigindo para áreas ambientalmente sensíveis, e além do monitoramento também se faz coletas diárias de amostras do óleo, para análise em laboratório e verificação de seu estado de intemperização e alteração das características.

#### 3.4.1 Contenção de óleo na água

A contenção de um óleo se refere ao processo de confinar o óleo, e quando um derrame acontece na água, é muito importante que contenha a mancha o mais rápido possível, para que os danos causados a pessoas, lugares e ecossistemas tenham menores proporções. Equipamentos de contenção são usados para restringir a mancha de óleo permitindo seu recolhimento, remoção e dispersão. As barreiras de contingenciamento são os equipamentos mais freqüentemente usados para conter o óleo na água (WONG & BARIN, 2003). As barreiras de contenção são geralmente os primeiros equipamentos a serem mobilizados num derrame e são utilizados durante toda a operação.

As barreiras parecem uma cortina vertical com porções para dentro e para fora da linha d'água. A maioria das barreiras comerciais consiste de quatro componentes básicos, estes são o meio de flutuação, uma borda livre, que previne que o óleo passe por cima da barreira (splashover), uma saia que previne o óleo de passar por debaixo da barreira e um membro de tensão para suportar a barreira (Figura 3). As barreiras são construídas em seções, usualmente de 15 a 30 m de comprimento, com conectores instalados em cada para conexão de um ao outro.

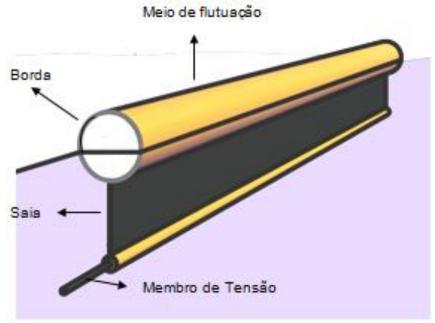


Figura 3: Esquema mostrando elementos de uma barreira de contenção. Fonte: EPA, 2005.

Quando usado para a contenção, as barreias podem ser organizadas na forma de U, V ou J. A configuração em U, mais comum entre as formações, conforme a Figura 4, é alcançada pela colocação da barreira atrás de dois navios, ancoragem ou combinações de ambas estratégias. Está formação é criada pela força que a corrente gera no centro da barreira.

A velocidade máxima que geralmente as barreiras suportam para que haja um recolhimento eficiente é chamado de requerimento crítico. O requerimento crítico para estas é que a velocidade relativa óleo-água não ultrapasse 0,5 m/s ou 1 nó (WONG & BARIN, 2003).

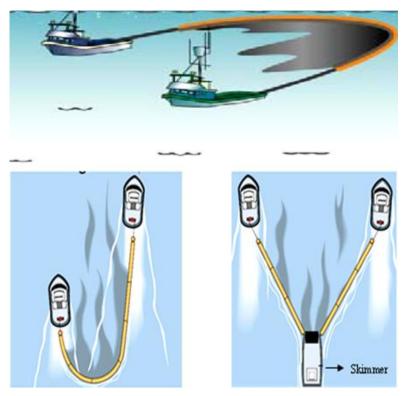


Figura 4: Esquemas de formação em "U", "J" e "V".

Fonte: EPA, 2005.

#### 3.4.2 Recolhimento de óleo na água

Recolher o óleo da água é o próximo passo a ser dado numa operação de limpeza. É também a melhor maneira de se retirar um óleo do meio ambiente. O processo de remoção do óleo se dá ao mesmo tempo que o processo de contenção. Quanto mais o óleo se espalha mais complicado fica o processo de recolhimento, sendo às vezes impossível.

Skimmers (recolhedores) (Figura 5) são equipamentos mecânicos designados a remover óleo da superfície da água. Eles variam grandemente em tamanho, aplicação e capacidade, tanto como na eficiência de recolhimento. São classificados de acordo com área onde são utilizados, por exemplo, em águas oceânicas, na costa, águas rasas ou rios. Também são classificados de acordo com a viscosidade do óleo que capacitados a recolher, ou seja, óleo pesado ou leve.

Skimmers estão disponíveis numa variedade de formas, incluindo unidades independentes construídas dentro de navios ou em unidades que operam tanto de forma estacionária ou móvel. Alguns possuem lugares de armazenamento para o óleo recuperado e alguns destes possuem outros equipamentos como separadores para tratar o óleo recuperado.



Figura 5: Alguns dos skimmers disponíveis no mercado.

Fonte: EPA, 2005.

A efetividade de um skimmer é avaliada de acordo com a quantidade de óleo que este recolhe e com a quantidade de água recolhida juntamente com o óleo. Remover a água do óleo pode ser tão difícil quanto o processo de retirar o óleo. A efetividade depende de vários fatores incluindo o tipo de óleo derramado, as propriedades do óleo como viscosidade, a espessura da mancha, as condições do mar, velocidade do vento, temperatura do ambiente e a presença de gelo ou material flutuante.

A maioria dos skimmers funciona melhor quando a mancha é relativamente fina e não funcionam bem quando a mancha é muito fina. O óleo deve ser antes coletado em barreiras, para posterior utilização dos skimmers.

As condições ambientais no local de derrame têm o maior efeito na eficiência dos skimmers. Todos os skimmers funcionam melhor em águas calmas. Dependendo do tipo de skimmer, muitos não irão funcionar efetivamente em ondas maiores que 1 metro ou em correntes que ultrapassam 1 nó. A maioria dos skimmers não opera efetivamente em águas com gelo ou locais com objetos flutuantes como algas ou lixo. Alguns skimmers possuem estruturas que impedem tais objetos de atrapalharem a remoção de óleo. Alguns óleos muitos viscosos podem prejudicar a sucção do óleo pelo skimmers impossibilitando a remoção deste da água.

Outra forma de classificar os skimmers é de acordo com sua operação básica, podendo estes ser oleofílicos, de sucção ou a vácuo, elevatórios, submersão, centrífugos ou vortex. Cada um destes skimmers tem suas vantagens e desvantagens.

Por exemplo, os oleofílicos são aqueles que trabalham com a atração do óleo. Estes são feitos de cinto, discos ou rolo de material oleofílico para capturar o óleo da superfície. O óleo é então separado em um tanque de recolhimento. Suas vantagens são flexibilidade permitindo seu uso em manchas de espessuras finas.

Outro exemplo de skimmers muito utilizados são os de sucção a vácuo. O óleo é sugado e bombeado para tanques de armazenamento. São apesar de tudo muito eficientes, mas correm o risco de ficar entupidos e por isso requerem muita

manutenção especializada. Sua operação se dá melhor em águas calmas e onde o óleo já esteja contido nas barreiras.

Absorventes também são materiais que absorvem líquidos e são usados para recuperar óleo através de mecanismos de absorção, adesão, ou ambos. Existem absorventes permitem que o óleo penetre em poros do material no qual ele é feito, enquanto outros atraem o óleo para sua superfície, mas não permite que o óleo penetre. Geralmente são utilizados no final de um processo de limpeza para remoção de traços de óleo, em manchas bem pequenas ou em locais onde o skimmer não alcance. Uma vez usados para recolhimento de óleo, eles devem ser removidos da água e propriamente dispostos na terra ou limpados para o reuso.

A capacidade de um absorvente depende da área de superfície disponível para aderência do óleo juntamente com o tipo de superfície. Um absorvente poroso com pequenas capilaridades (Figura 6) possui uma grande quantidade de área de superfície e é melhor para recuperar óleos leves e combustíveis. Absorventes com a superfície rugosa seriam melhores para limpeza de óleo pesados e Bunker ou óleo residual.



Figura 6: Equipe em campo utilizando sorbentes para recolhimento de óleo.

Fonte: EPA, 2005.

### 3.4.3 Agentes tratadores de manchas de óleo

Tratar o óleo com agentes químicos preparados é outra opção de lidar com o óleo derramado. Uma variedade de agentes químicos tratadores de mancha está disponível para ajudar na limpeza e remoção de óleo. Deve se notar, no entanto, que a aprovação deve ser obtida das autoridades apropriadas antes de serem usados. Mais que isso, estes agentes não são sempre efetivos e tratar o óleo pode ser tóxico para vida aquática e selvagem (CHAPMAN et al, 2007).

Outro método que pode ser utilizado no lugar do mecânico é o tratamento biológico, especialmente em locais onde óleos alcançam a linha de costa e habitats sensíveis onde a limpeza se torne difícil e ambientalmente danosa.

Estes métodos geralmente envolvem adição de agentes químicos ou biológicos podendo fazer parte também a queima local. Os agentes químicos, quando usados de maneira correta e sobre aprovação dos órgãos responsáveis podem ter boa efetividade no aceleramento da dispersão do óleo da superfície do mar para a coluna d'água. No entanto, o uso deste deve levar em conta os impactos do óleo disperso nos recursos naturais que ficam abaixo da superfície de água, como corais e peixes (CHAPMAN et al, 2007).

Agentes dispersantes são químicos que contém surfatantes, ou componentes que quebram líquidos e substâncias como óleo em pequenas gotas. Ao se quebrar o óleo em pequenas gotas, estas dispersam nas primeiras camadas da coluna d'água onde ficam sujeitas aos processos naturais como ventos, ondas e correntes, que passam a quebrá-las. Isto ajuda na limpeza do óleo da superfície da água, amenizando a mancha que viria tocar a costa.

Surfatantes são químicos parecidos com detergentes, que possuem moléculas solúveis tanto em água como em óleo, fato este que estabiliza as gotas de óleo dispersando-o na coluna d'água. Isso pode ser desejável quando uma mancha de óleo se desloca para uma colônia de aves ou um ecossistema sensível. Os dispersantes "modernos" usam sistemas de solventes que permitem uma concentração muito alta de surfactante, que chega a 65%. Esses dispersantes concentrados são efetivos taxas de aplicação 1:20 em baixas como (dispersante:óleo) ou menos (FIOCCO & LEWIS, 1999).

A efetividade do dispersante é afetada por sua composição e do sistema de aplicação. Outros fatores importantes são o estado e a composição do óleo disperso, a taxa de dispersante para o óleo, e o total de energia de mistura no sistema (FIOCCO & LEWIS, 1999).

A Figura 7 mostra um esquema de como o dispersante atua. Este é lançado em pequenas gotas em cima da mancha de óleo penetrando-o pela ação do solvente no momento do lançamento do spray. Quando o dispersante alcança a face inferior da mancha, as moléculas de surfactantes se espalham pela interface óleo-água diminuindo assim a tensão interfacial. A partir de então, pequenas gotas de óleo começam a se soltar e se dispersar na coluna d'água. Assim, a camada de óleo tende a se desfazer e é estabilizada pelo surfactante que previne que a mancha se forme de novo.

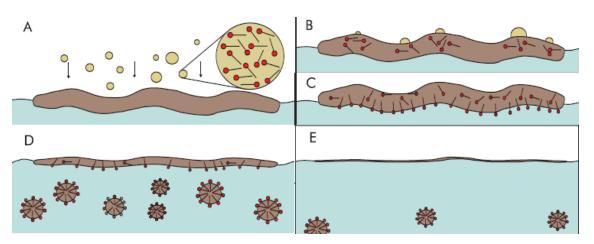


Figura 7: Esquema de atuação de dispersantes; A) Gostas de dispersante contendo surfactantes é espalhado sobre o óleo; B) O solvente leva o surfactante para dentro do óleo; C) As moléculas de surfactante migram para interface óleo/água diminuindo sua tensão permitindo que; D) Pequenas gotas se desprendam da mancha. E) As gotas dispersam por mistura turbulenta deixando apenas o brilho na superfície d'água.

Fonte: ITOPOF, 2009.

Os agentes biológicos são nutrientes, enzimas, ou microrganismos que aumentam a taxa natural em que a biodegradação do óleo ocorre. Biodegradação é um processo no qual organismos como bactéria e fungos quebram os compostos complexos do óleo em simples para obter energia e nutrientes (FINGAS, 2000).

A idéia de biodegradação é atrativa, porém seu uso prático é restrito. Esta prática não pode ser usada na superfície do mar já que qualquer material adicionado irá se diluir rapidamente e se perder da mancha, e mesmo que o uso destes ajude na degradação, o processo é muito lento para impedir que a mancha chegue à costa (ITOPF, 2009). Seu uso na terra também é controverso, pois a quantidade de oxigênio necessário para degradação só estaria disponível na camada superior do óleo, tornando esse processo efetivo somente se o óleo se apresentasse em camadas muito finas.

Fingas (2000) relata que pode levar semanas para que a biodegradação remova os componentes saturados e as frações aromáticas, mesmo em condições ideais, e os componentes insaturados que compõem os óleos pesados como asfaltenos, permanecem no local por longos períodos de tempo.

A queima local do óleo é uma técnica que envolve a queima controlada do óleo próximo ao local de derrame. Uma vantagem dessa técnica é a grande quantidade de óleo removido sobre uma área em menos tempo do que com as técnicas existentes. Essa técnica é feita especialmente em locais muito gelados onde o óleo é contido pelo gelo (FINGAS, 2000).

Esta técnica pode oferecer uma logística simples, rápida, barata, e oferece prontamente um modo de reduzir os impactos de uma mancha de óleo. Devido à grande quantidade de produtos que após a combustão viram fumaça, a necessidade de recolhimento, armazenamento, transporte e disposição do material recuperado são reduzidas (BARNEA, 1996)

Existem alguns problemas enfrentados para o uso desta técnica, dentre eles podese citar a ignição do óleo, manter a mancha acessa, a geração de grande quantidade de fumaça, o afundamento de grande quantidade de material muito viscoso e denso e problemas de segurança (ITOPF, 2009).

### 3.5 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).

Existem modelos computacionais relacionados como:

**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 Soluto – 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 (contenção, 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.

#### 3.5.1 Modelo 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.

### 3.6 Introdução à Lógica Fuzzy

A Lógica Nebulosa (inglês: Fuzzy Logic - LF), pode ser visto como uma generalização da tradicional Lógica Clássica, sendo basicamente uma metodologia que trata conhecimentos imprecisos e/ou incertezas. Foi desenvolvida pelo professor Zadeh, no ano de 1965, no intuito de lidar com situações onde a lógica classica não mais satisfazia. Apesar de trazer consigo o nome nebuloso, esta metodologia tenta aproximar a razão, atendendo duas capacidades notáveis do ser humano.

A primeira é a capacidade de conversar, pensar e tomar decisões racionais num ambiente de imprecisão, incerteza, informações incompletas, conflitantes, parcialmente verdadeiras e parcialmente possíveis, resumindo um ambiente sem informações perfeitas (ZADEH, 2008).

A segunda é a capacidade de lidar com uma ampla variedade de questões físicas e mentais sem qualquer medida e nenhuma computação. Em termos mais específicos, a questão central sobre a Lógica Fuzzy é a capacidade de modelar imprecisão, inerente no processo de tomada decisões num ambiente de incertezas (ZADEH, 1988).

Phillis & Andriantiatsaholiniaina, (1999) comentam da habilidade para lidar com conceitos complexos e polimorfos, os quais não são abertos para uma quantificação exata e que contém ambiguidades, providenciando as ferramentas matemáticas para lidar com tais conceitos nebulosos dando respostas concretas.

# 3.6.1 Lógica Fuzzy versus Lógica Clássica (Booleana).

Lógica Fuzzy pode ser vista como uma extensão da Lógica Clássica. Seus usos e objetivos é que são bastante diferentes. Portanto, a Lógica Fuzzy lida com modelos aproximados. Isto implica que, no geral, as cadeias da razão na Lógica Fuzzy são curtas no comprimento, e rigor não tem papel importante como tem no sistema da lógica clássica (ZADEH, 1988).

A Lógica Fuzzy se difere da Lógica Clássica justamente no que se refere à noção de verdadeiro e falso. Nesta lógica, tudo, incluindo a verdade possui um "grau de verdade", ao contrário dos sistemas Lógicos Binários, onde o valor verdade só pode assumir dois valores: verdadeiro ou falso (JANÉ, 2004).

Abaixo é dado um exemplo prático e de fácil compreensão para perceber as diferenças entre as lógicas aqui citadas. Nele é descrita a relação entre altura de pessoas. Ao se dizer que uma determinada pessoa é alta, isto é perfeitamente entendido, mesmo que não se defina exatamente a partir de que altura, em metros, uma pessoa pode ser considerada alta.

Por outro lado, na Lógica Clássica, uma pessoa pode apenas ser considerada alta ou não-alta, correlacionando com um determinado comprimento padrão. Sem se estabelecer uma referência exata, é impossível determinar se a afirmação "Gabriel é alto" é verdadeira ou falsa com a Lógica Classica. Por exemplo: se a referência fosse 1.8 m, uma pessoa com 1.81 m seria considerada "alta", enquanto outra, de 1.79 m, seria "não-alta". A Figura 8 mostra uma curva que divide as duas classes. Essa curva possui uma mudança brusca, e um valor binário "0" ou "1" indica em qual classificação se encontraria uma pessoa em termos de sua altura em metros.

A consideração é sempre válida quando há um limite ou uma referência que tenta dividir o sim ou não, o preto do branco, etc. Na realidade, os seres humanos têm a tendência de suavizar as mudanças bruscas, de fazer meias-afirmações ou de enxergar graduações em cores que entram em contradição com a lógica binária (JANÉ, 2004).

A mudança brusca, em *1.8 m*, de "alto" para "não-alto", em geral é contra o senso comum do pensamento humano. A lógica fuzzy evita tal problema pela adoção do conceito de se pertencer parcialmente a um conjunto, como em afirmações do tipo "não muito alto" ou "bem alto" (Figura 9).

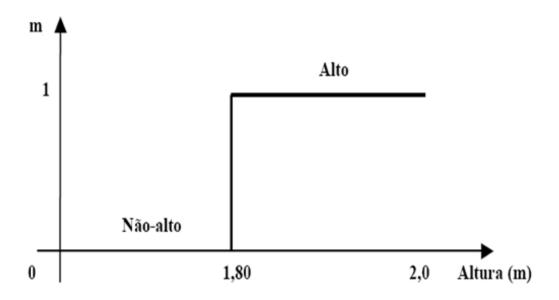


Figura 8: Modelo binário de classificação de altura

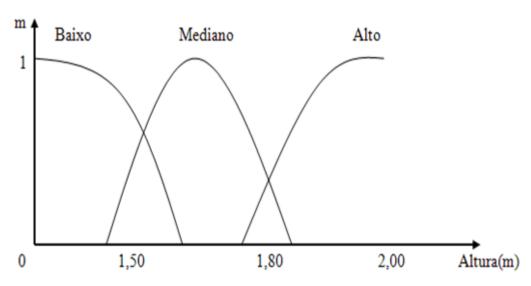


Figura 9: Modelo Fuzzy de classificação de altura

Este pertencer parcialmente a um conjunto é chamado grau de pertinência, um conceito presente na Lógica Fuzzy diferente da Lógica Clássica. Neste caso as alturas são classificadas de uma maneira mais sutil, de acordo com o respectivo grau de participação no conjunto de pessoas altas, ou seja, dizer que uma pessoa que tem 1,49 m de altura, possui um grau de pertinência no conjunto de pessoas

baixas de 0,75. Da mesma forma uma pessoa que possui uma altura de 1,75 possui um grau de pertinência de 0,15 em relação a este conjunto.

Logo se pode dizer que a classificação de todos os elementos observados, não mais como pertencentes ou não a um conjunto, mas sim de acordo com seu respectivo grau de pertinência ao conjunto estudado.

Por se tratar de uma generalização da Lógica Clássica, a teoria dos conjuntos nebulosos está focada na "Teoria dos Conjuntos Nebulosos" (Fuzzy Sets), que são classes que possuem fronteiras indefinidas, tendo este papel central para LF. Historicamente, a Teoria dos Conjuntos Nebulosos precederam a Lógica Fuzzy no seu sentido mais amplo (ZADEH, 2008).

# 3.6.2 Conjuntos Fuzzy (Fuzzy Sets)

Zadeh (1965) definiu conjuntos nebulosos como objetos encontrados no mundo físico real que não têm critérios precisos de pertinência, como em seu exemplo da classe de animais, que claramente incluía cachorros, cavalos, pássaros, etc, no entanto, alguns seres como bactérias, etc, possuíam um ambíguo status com respeito à classe de animais.

Claramente, a "classe de mulheres bonitas" ou "classe de homens altos", não constituem classes ou conjuntos no senso matemático usual destes termos. Ainda, o fato continua que tal definição imprecisa de "classes" tenha um importante papel na forma como o homem pensa, particularmente no reconhecimento de padrões, comunicação da informação, e abstração. O conceito de Conjunto Nebuloso, que é a "classe" com um continuo de graus de pertinência que traz um modo natural de lidar com problemas.

O conceito de um conjunto fuzzy se classifica como uma classe com um contínuo de graus de funções de pertinência. A noção de um conjunto fuzzy provém um conveniente ponto de partida para a construção de uma metodologia que anda paralela em muitos aspectos com a metodologia usada comumente, porém é mais generalizada e, potencialmente, pode ter mais aplicabilidade.

### 3.6.3 Conceitos de Lógica Fuzzy

#### 3.6.4 Fuzzificação

O primeiro passo de um sistema lógico f*uzzy*, chamado de fuzzificação, corresponde à transformação dos dados de entrada iniciais em suas respectivas variáveis lingüísticas. Nesta etapa, todas as informações relativas à imprecisão ou incerteza associada a estas variáveis devem ser consideradas. Pinho (1999) cita a necessidade de que especialistas da área estudada sejam consultados durante a atribuição de valores relacionados aos graus de pertinência para cada uma das variáveis em estudo, contribuindo assim para maior precisão nos resultados.

### 3.6.5 Grau de pertinência

Grau de pertinência em LF é uma medida de compatibilidade, ou seja, o quanto que um determinado valor lingüístico se enquadra dentro do grupo (GARCIA et al., 2006), como explicitado no exemplo da altura, da sessão anterior. É importante ressaltar que o grau de pertinência não representa uma medida ou valor probabilístico.

Para definir quanto um elemento pertence a um conjunto, utiliza-se a função de pertinência (FP). A FP é uma função que associa um ponto no conjunto X a um número real (inglês: crisp value), normalmente compreendido no intervalo [0, 1] (ZADEH, 1965), sendo que esses extremos representam, respectivamente, a completa exclusão e a total pertinência do elemento analisado em relação a um determinado conjunto nebuloso.

Assim, um conjunto A de derrames de óleo, pode possuir diversas FP. Uma FP definiria quanto cada elemento do conjunto (derrame de óleo) é impactante baseado em volume derramado, tipo de óleo, extensão da costa atingida, etc.

### 3.6.6 Variáveis Lingüísticas

Zadeh (1996) introduziu a frase "computando com palavras" para capturar a idéia de computação baseada em termos e expressões, e não em valores numéricos. Uma variável lingüística é definida como uma variável que utiliza termos comuns como grande, pequeno, alto, médio, etc., como valores e onde o significado dessas palavras é dada por conjuntos nebulosos em algum domínio de discurso (QUIN & LAWRY, 2004).

Em outras palavras, uma variável lingüística é uma variável cujos valores são palavras ou sentenças numa linguagem natural ou sintética. Por exemplo, "idade" é uma variável lingüística dos valores "jovem", "não jovem", "muito jovem", "velho", assim por diante. Geralmente, os valores de variável lingüística podem ser gerados de um termo primário, por exemplo, "jovem", e seu antônimo, "velho", uma coleção de modificadores, "não, muito, mais ou menos" e os conectivos "e" e "ou" (ZADEH, 1988).

A principal função das variáveis lingüísticas é fornecer uma maneira sistemática para uma caracterização aproximada de fenômenos complexos ou mal definidos. Em essência, a utilização de descrição lingüística tal como empregada por seres humanos, e não de variáveis quantificadas, permite o tratamento de sistemas que são muito complexos para serem analisados por meio de termos matemáticos convencionais, permitindo modelar melhor como os seres humanos pensam e tomam decisões (TEIXEIRA et al., 2006).

Portanto, o conceito de variáveis lingüísticas tem um papel central nas aplicações da Lógica Fuzzy, porque capta o modo como os humanos percebem, raciocinam e se comunicam. Não menos essencial é que o uso de palavras pode ser visto como uma forma de compressão de dados que toleram imprecisão para alcançar tratabilidade, robustez e economia de comunicação (ZADEH, 1994). Mais informações sobre variáveis lingüísticas podem ser vistas em (ZADEH, 1975).

#### 3.6.7 Inferência Nebulosa

A inferência nebulosa é composta por um conjunto de proposições também nebulosas, mais comumente conhecidas como *base de regras*, que descrevem as relações entre variáveis lingüísticas e os conjuntos nebulosos utilizando proposições e conectivos lógicos tais como *SE – ENTÃO*, *E e OU*. As inferências nebulosas fornecem conclusões ou saídas de um dado sistema analisando os níveis de compatibilidade das entradas com as condições impostas pela base de regras, ou seja, determinando como as regras serão ativadas e combinadas.

Esses conectivos lógicos *SE-ENTÃO* são usadas para formular sentenças na Lógica Fuzzy. Uma forma simples de regra *SE-ENTÃO* assume a forma de,

"SE x é A ENTAO y é B",

onde *A* e *B* são valores lingüísticos definidos por conjuntos fuzzy nos universos de discurso X e Y respectivamente. A parte *SE* da regra "x é A" é chamada de antecedente ou premissa, enquanto a parte *ENTÃO* da regra "y é B" é chamada conseqüente ou conclusão. Um simples exemplo de tal regra pode ser

"Se o volume derramado é grande Então o impacto é alto".

O conceito grande é representado por um numero entre 0 e 1, e o antecedente é uma interpretação que retorna um único número entre 0 e 1. Por outro lado, *grande* é representado por um conjunto nebuloso, e então o conseqüente é uma obrigação que atribui todo conjunto fuzzy *B* para a variável de saída y. Nas regras *SE-ENTÃO*, a palavra "é" é usada de duas formas completamente diferentes dependendo de onde aparece no antecedente e conseqüente.

Geralmente, a entrada para uma regra SE-ENTÃO é o valor atual para a variável de entrada (nesse caso, volume derramado) e a saída é outro conjunto fuzzy (nesse caso, alto). Esse conjunto será depois defuzzificado, dando um valor numérico na saída.

Os operadores lógicos *E* e *OU* são definidos mais comumente, respectivamente, pelo mínimo e pelo máximo entre os graus de pertinência, ou seja,

Conectivo E : SE  $x \notin A \land y \notin B ENTÃO \mu_c(z) = min \{ \mu_a(x), \mu_b(y) \}$ 

Conectivo OU : SE  $x \in A$   $\forall y \in B ENTÃO \mu_c(z) = max \{ \mu_a(x), \mu_b(y) \}$ 

Os resultados obtidos com a aplicação das diversas regras são agregados por meio do conectivo OU, ou seja, são considerados os valores máximos para os graus de pertinência da variável de saída em relação a um determinado conjunto nebuloso.

### 3.6.8 Defuzzificação

A entrada para o processo de defuzzificação são conjuntos nebulosos, e a saída é um número simples. Do mesmo modo que a fuzzificação ajuda a validação da regra durante os passos intermediários, a saída final desejada para cada variável é geralmente um número único.

A defuzzificação consiste na formalização de um dado número real (não nebuloso – inglês: crisp value) representativo do conjunto nebuloso resultante da aplicação da inferência de regras, sendo mais comumente utilizado o COG (*Center Of Gravity*), que fornece o baricentro do gráfico do conjunto nebuloso obtido pela agregação, como pode ser observado na Figura 10.

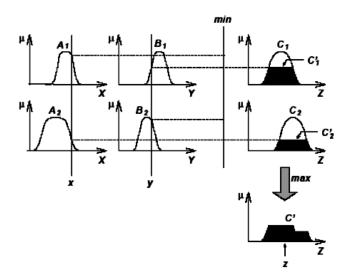


Figura 10: Exemplo de aplicação da base de regras e defuzificação utilizando centro de gravidade (adaptado de ZADEH, 1965).

# 3.7 Uso da Lógica Fuzzy

Desde sua criação até os tempos atuais a Lógica Fuzzy vem sendo aplicada para diversos fins como indústria automotiva, fotografia, sistemas de controle, sistemas de apoio à decisão (SAD), entre outros. Além das diferentes áreas de aplicação, a Lógica Fuzzy também é combinada com outros conceitos, como redes neurais e algoritmos genéticos. A seguir serão listadas algumas aplicações da lógica fuzzy a problemas ambientais.

Nas inúmeras aplicações na qual a Lógica Fuzzy é utilizada como ferramenta, se pode citar o trabalho de Wirtz & Liu (2003). Neste trabalho foi desenvolvido um modelo de tomada de decisão para auxiliar na melhor resposta a ser dada após um derrame de óleo. Os autores conseguiram demonstrar que a metodologia empregada poderia auxiliar diferentes tomadores de decisão que procuram uma estratégia ótima nos problemas enfrentados no campo de gerenciamento costeiro.

Na área ambiental pode-se citar inúmeros trabalhos. Phillis & Andriantiatsaholiniaina, (2000), desenvolveram um modelo chamado SAFE (Avaliação da Sustentabilidade por Validação Fuzzy). Este modelo analisou vários parâmetros do meio físico, social

e biológico fornecendo como saída o grau (%) de sustentabilidade existente no local estudado.

Özesmi & Özesmi (2003), desenvolveram um modelo ecológico baseado em conhecimentos de especialistas e de moradores locais, utilizando umas das principais ferramentas da Lógica Fuzzy, que é reproduzir o conhecimento humano.

Icaga (2006), Duque et al., (2006), Giordano et al., (2007), são autores que utilizaram-se da Lógica Fuzzy em seus trabalhos para construir modelos que avaliam a qualidade de água, na solução de problemas, como conflitos, entre diferentes atores sociais.

No Brasil, o uso da Lógica Fuzzy também esta presente como ferramenta auxiliar em tomadas de decisão. Em se tratando em casos de derrames de óleo podemos citar dois trabalhos, foi o desenvolvido por Garcia e colaboradores (2006). Estes autores propuseram a utilização da Lógica Fuzzy como ferramenta de modelagem do processo de tomada de decisão em caso de derrames de óleo, evidenciando que esta fornece indicações apropriadas das ações a serem tomadas no momento de um acidente, em um espaço de tempo mais curto, de maneira mais confiável, e com o menor custo de resposta.

No segundo trabalho, desenvolvido por Krohling & Rigo, (2008), aplica o método de avaliação fuzzy de segunda ordem para auxilio à tomada de decisão entre diferentes agentes tomadores de decisão envolvidos no plano de contingência. O método foi aplicado para avaliar alternativas de resposta a derramamento de óleo pesado no litoral sul do Espírito Santo. Os resultados encontrados pelos autores demonstraram a viabilidade do método.

Dentre outros exemplos de utilização da técnica no Brasil podemos citar Teixeira et al. (2007), que desenvolveram um modelo fuzzy para seleção e avaliação de projetos de responsabilidade socioambiental (RSA). O trabalho mostrou que é possível integrar as diferentes dimensões do desenvolvimento sustentável no processo de seleção e avaliação de projetos de RSA, gerando subsídios para tomada de decisão.

Outros autores como Paula & Souza (2007) e Santos et al. (2006) utilizaram a Lógica Fuzzy como técnica de apoio a zoneamento ambiental e classificação do clima no estado de Minas Gerais, respectivamente, demonstrando a capacidade promissora dos múltiplos usos na qual essa metodologia pode ser aplicada e o significativo poder de contribuição que esta pode ter nas diversas áreas do conhecimento.

#### 4 METODOLOGIA

### 4.1 Área de estudo

A área de estudo escolhida abriga um dos grandes reservatórios brasileiro de petróleo. Faz parte da porção norte da Bacia Geológica de Campos e foi descoberta em janeiro de 2001, tendo seu reconhecimento apenas em agosto de 2002.

Trata-se do Campo Jubarte (Figura 11), cujo volume foi estimado em 600 milhões de barris de petróleo (17° graus API). A modelagem considerou o local de derrame na plataforma FPSO P-34, nas coordenadas 21° 15' 33,2" S, 40° 01' 02,2" W. Este ponto foi escolhido por ser um dos pioneiros na produção de óleo da camada présal.

A camada pré-sal, descoberta recentemente no Brasil, apresenta petróleo de alto valor comercial, 30° graus API, juntamente com gás associado. A plataforma P-34 foi a primeira a entrar em atividade no país, justamente por se situar a 2,5 km do poço exploratório 1-ESS-103A, descobridor de óleo no pré-sal, e por apresentar condições mais favoráveis de exploração do que as demais áreas detectadas, servindo como laboratório para desenvolvimento de tecnologia para exploração.



Figura 11: Localização do Campo Jubarte. Fonte: (CEPEMAR, 2004b apud FERREIRA, 2006)

### 4.2 Modelo Numérico Oilmap

#### 4.3 Parâmetros utilizados na modelagem

As simulações realizadas neste trabalho contemplaram diferentes tipos de cenários com situações distintas de vento e correntes. Tudo isso foi feito para que se pudesse ter uma melhor compreensão do comportamento do óleo diante destas situações de modo a elaborar o Modelo Fuzzy.

#### 4.3.1 Base de Dados

Para que a execução do Modelo OILMAP aconteça de maneira satisfatória é necessária uma série de informações. Estas informações constituem a base de dados. A base de dados neste modelo é composta de malhas, condições ambientais (ventos e correntes), tipo de óleo derramado e vazão de derrame.

#### 4.3.1.1 Malhas

Duas malhas foram utilizadas para a região da Bacia de Campos. A primeira (Figura 12) representa o campo hidrodinâmico e cobre o litoral brasileiro desde as proximidades da Baía de Todos os Santos (BA) até a altura da Lagoa dos Patos (RS). 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 70 x100 pontos, com resolução média de 3.000m. Sua largura varia de aproximadamente de  $^{1}/_{3}$  a  $^{1}/_{2}$  de seu comprimento total.

A segunda malha computacional, mostrada na Figura 13, é onde ocorrem todos os cálculos do Modelo OILMAP. Estruturada de forma regular, exceto nas áreas de interesse e nas proximidades da linha de costa, esta malha possui resolução média de 1500m.

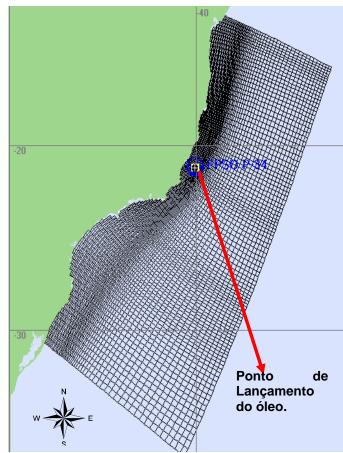


Figura 12: Malha numérica do Modelo OILMAP.

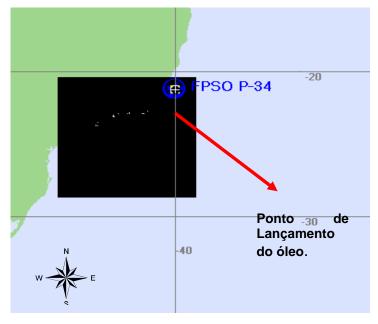


Figura 13: Malha computacional responsável pelos cálculos no modelo de tranporte e intemperização.

# 4.3.1.2 Condições Ambientais

Para simular um derrame e transporte do óleo é necessário conhecer as principais condições ambientais atuantes na região de interesse. Neste trabalho, os principais processos são: forçantes de maré e ventos sobre a plataforma continental e Corrente do Brasil no talude continental.

Para caracterização dos padrões de circulação foram utilizados campos de velocidades gerados pelo modelo *POCM - WOCE Parallel Ocean Circulation Model* (FERREIRA, 2006) 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*, visando à introdução de respostas da plataforma às forçantes locais (Figura 14).

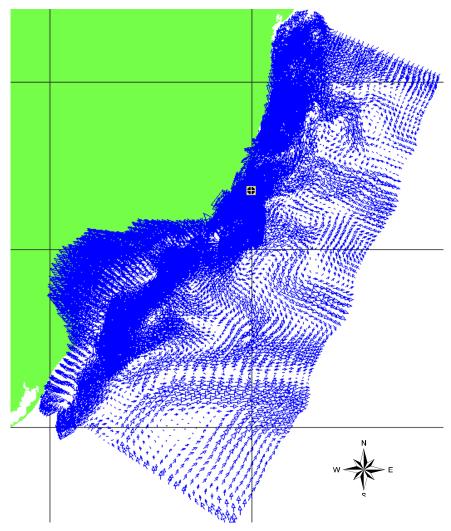


Figura 14: Exemplo do campo hidrodinâmico do Modelo OILMAP.

O campo hidrodinâmico resultante da combinação destes dois modelos é pertencente à Petrobrás e foi utilizado como base para o Modelo OIMAP. Os dados apresentam resultados a cada 3 horas, no ano de 1992. Na calibração do modelo hidrodinâmico, foram selecionados dados de corrente, coletados num ponto 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.

Os campos de vento atuante na região é uniforme e foram baixados pelo sistema de análise e previsão global do tempo (*GFS*, na sigla em inglês), do NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*). Esse sistema gera diariamente dados atmosféricos globais, a partir de modelos de previsão e dados medidos in situ, assimilados nos modelos. Os dados são gerados 4 vezes ao dia (00Z, 06Z, 12Z e 18Z) com resolução espacial de 2º. A Figura 15 mostra em destaque o vetor do campo de vento atuando juntamente com campo hidrodinâmico.

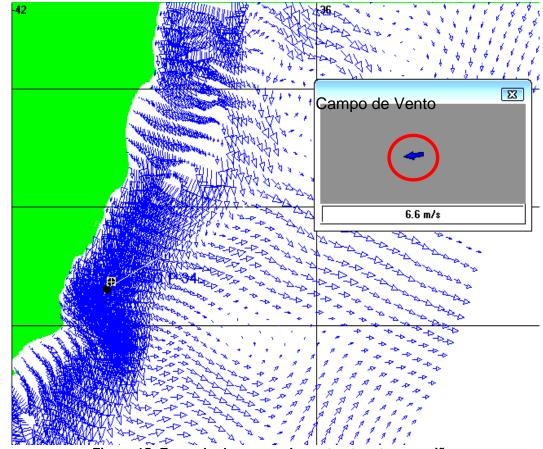


Figura 15: Exemplo de campo de vento atuante na região.

#### 4.3.1.3 Óleo

Para simular a produção na Plataforma FPSO P-34, utilizou-se dois tipos de óleos. O primeiro é o óleo cru pesado, e o segundo é o óleo cru médio recentemente descoberto na camada pré-sal.

O óleo cru pesado nesta região, por ser produzido há mais tempo, apresenta suas características mais conhecidas e disponíveis em meios eletrônicos. O óleo do présal apresentou restrição de informações, tendo apenas sua gravidade específica divulgada, que é de 30 °API, sendo classificado segundo Ferreira, (2006) e Itopof, (2004), como óleo médio do Grupo-III.

Sendo assim escolheu-se, da base de dados do Modelo Oilmap, um óleo que apresentasse características semelhantes. O óleo escolhido foi o *Mesa Cru 30 Citgo*, baseando-se na densidade semelhante ao encontrado na camada Pré-Sal.

Os volumes derramados foram de 200, 500 e 1000 m³ para que se pudesse observar como seria o comportamento, frente às estruturas de recolhimento. A Tabela 2 apresenta as características e os volumes derramados utilizados nas simulações juntamente com o tempo de lançamento. O tempo de lançamento foi padronizado em todos os cenários.

Tabela 2: Características dos óleos simulados.

Óleo	Viscosidade	Densidade	Volume m³	Tempo de Lançamento
Jubarte Cru pesado	4.369 cP a 25°C	16,8 °API	200, 500, 1000	Instantâneo
Mesa Cru 30 Citgo	_	29,8 °API	200, 500, 1000	Instantâneo

#### 4.3.1.4 Parâmetros de entrada

Os parâmetros de entrada do Modelo OILMAP, com exceção da temperatura, não variam nos diferentes cenários modelados. A não alteração de alguns parâmetros aconteceu depois de feitos alguns testes de sensibilidade no Modelo OILMAP. Aqueles que não apresentaram significante alteração nos resultados como, por exemplo, número de partículas, permaneceram iguais em todos os cenários.

O tempo de simulação foi diferente nos cenários simulados, de acordo com o toque ou não toque na costa. No primeiro o tempo é cessado imediatamente após todo óleo estar retido na costa e o segundo por um período máximo de 30 dias. A Tabela 3 apresenta os parâmetros utilizados nas simulações.

Tabela 3: Parâmetros utilizados no Modelo OILMAP.

Parâmetros	Verão	Inverno	
Temperatura ° C	24	22	
Passo de Tempo (min)	60	60	
Fator de Vento (%)	3	3	
Coeficiente de difusão turbulenta Horizontal (m²/s)	10	10	
Número de Partículas	1000	1000	
Massa mínima (10%)	10	10	
Tempo de simulação (dias)	Toque / 30	Toque / 30	

# 4.4 Definição dos cenários

Os cenários foram definidos para que pudesse ser feita uma boa avaliação do comportamento do óleo e da resposta das estruturas de contenção e recolhimento no ambiente sobre diferentes condições ambientais.

Os cenários de contenção e recolhimento foram baseados na Resolução do CONAMA nº 398, de junho de 2008. As estruturas tiveram variações na sua quantidade e no tempo de resposta.

### 4.4.1 Nível de Resposta

### 4.4.1.1 Resolução do CONAMA Nº 398

Os cenários de contenção e recolhimento foram baseados na classificação feita pela Resolução CONAMA nº 398, de junho de 2008. Esta dispõe sobre o conteúdo

mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, originados nas mais diversas atividades, e orienta a sua elaboração. Cabe ressaltar que, apesar de orientar a elaboração de um plano de emergência, não contempla algumas questões.

Classificam-se nesta legislação acidentes de pequeno, médio e grande porte. Essa classificação é que determina o quanto de estrutura mínima deverá existir para o caso de um cenário acidental. Um acidente de pequeno porte é aquele em que o volume derramado não ultrapassa 8 m³. Um de médio porte é aquele em que o derrame fica num intervalo de 8 a 200 m³. Já o de grande porte se enquadra em volumes maiores que 200 m³. Neste trabalho, apenas situações de pior caso foram estudados, onde os volumes simulados foram de 200, 500 e 1000 m³.

Para incidentes de pior caso, a legislação prevê que a resposta deve ser planejada de forma escalonada, onde os valores da CEDRO (Capacidade Efetiva Diária de Recolhimento de Óleo) se referem à capacidade total disponível no tempo mínimo especificado.

Este tempo mínimo especificado é classificado como TN1, TN2 e TN3. Estes são os máximos de tempo em que se devem disponibilizar recursos para contenção e recolhimento. A expressão CEDRO, de um equipamento, é que determina a quantidade de óleo que um skimmer é capaz de recolher conforme sua capacidade. Esse cálculo deve seguir alguns critérios relacionados a volume derramado e será explicado em maiores detalhes na próxima sessão.

Na prática é inesperado que se recolha óleo no período da noite e que a eficiência do recolhimento seja 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.

Tratando de contenção de óleo, não fica explicitado configurações (U ou J) de como as barreiras ficariam dispostas. Fala-se 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.

Portanto, o tempo de recolhimento diário utilizado neste trabalho foi de 6 horas. A formação das barreiras se deu em formato de 'U' com comprimento para cada formação de 400m, o que resulta numa frente de ataque de aproximadamente 250m, pelo efeito de acomodação da barreira aos esforços da corrente marinha resultante.

### 4.4.1.2 Contenção e Recolhimento

Para contenção e recolhimento, a Resolução do CONAMA (2008) diz que nos casos em que o volume da descarga de pior caso (Vpc) for menor que o somatório dos volumes de recolhimento dos três níveis de resposta para águas marítimas além da zona costeira (1600, 3200, 6400m³), o cálculo da capacidade de recolhimento deverá obedecer aos seguintes critérios:

TN1 é igual a 12 horas CEDROdpc1 é igual a 0,15 x Vpc
TN2 é igual a 36 horas CEDROdpc2 é igual a 0,30 x Vpc
TN3 é igual a 60 horas CEDROdpc3 é igual a 0,55 x Vpc

Sendo assim, para os casos de acidente com 200, 500 e 1000m³, o volume a ser recolhido para cada nível de resposta é exposto na Tabela 4.

Tabela 4: Volume a ser recolhido para cada nível de resposta.

Volume (m³)	200	500	1000	
Tempo mín. de resposta		CEDRO (Dpc)		
TN1	0,15 x 200 = 30	0,15 x 500 = 75	0,15 x 1000 = 150	
TN2	0,3 x 200 = 60	0,3 x 500 = 150	0,3 x 1000 = 300	
TN3	0,55 x 200 = 110	0,55 x 500 = 275	0,55 x 1000 = 550	

Após conhecer o volume a ser recolhido nos cenários estudados, apresentado na Tabela 4, faz-se necessário o cálculo do CEDRO para atender a legislação vigente. Este cálculo é feito pela Equação 3:

$$CEDRO = 24 \times Cn \times Fe \tag{3}$$

Onde:

Cn: Capacidade Nominal do Recolhedor em m³/h

Fe: Fator de Eficácia do Skimmer (Utiliza-se um valor de 0,2).

O fator *Fe* representa a eficácia que se espera de um recolhedor num derrame de óleo. Portanto, utilizando formações com 3 embarcações, sendo uma com a finalidade de recolhimento, onde tem-se um skimmer de 50m³, e duas com o objetivo de contenção (formato em U), consegue-se uma *CEDRO* de 240m³/dia que satisfaz várias das situações acidentais descritas pela Tabela 4.

A Tabela 5 mostra a quantidade de formações necessárias, por nível de resposta, para satisfazer a supracitada Resolução para cada cenário acidental estudado. Estes cenários são denominados Cenários de Referência.

Tabela 5: Número de formações necessárias para combate em cada cenário de referência simulado.

Silididao.						
Volume (m³)	200 500		1000			
Tempo mín. De resposta	Formações					
TN1	1	1	1			
TN2	1	1	2			
TN3	1	2	3			

A Figura 16 mostra a mancha de óleo se deslocando em um dos cenários estudados. O detalhe destaca como são representadas as formações de contenção e recolhimento no Modelo OILMAP nos três níveis de resposta para cada cenário de referência (TN1, TN2 e TN3) no caso de um derrame de 500 m³ apresentado na Tabela 6.

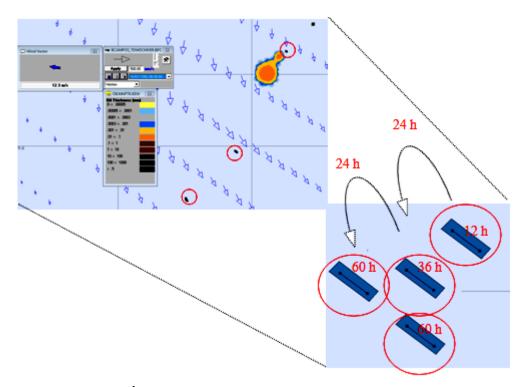


Figura 16: Óleo derramado num cenário de referencia de 500m<sup>3</sup>.

Após conhecidas as formações necessárias para cada tipo de cenário acidental de referência fez-se, com intenção de comparar as estratégias, algumas adições na quantidade de formações e o adiantamento em 6 horas da chegada das estruturas de referência. O uso de dispersante também foi uma alternativa estudada e é apresentado na seção a seguir.

As adições nas quantidades de formações foram feitas de modo a dobrar e triplicar as formações de referência. O adiantamento em 6h da resposta de referência e sua duplicação, foram estabelecidos para verificar a importância que o tempo de chegada tem no caso de um derrame de óleo. A Tabela 6 apresenta os novos cenários simulados e as quantidades de formações utilizadas.

Tabela 6: Número de formações nos cenários de referência duplicados, triplicados e adiantados.

Volume	200			500			1000		
Cenários	TN1	TN2	TN3	TN1	TN2	TN3	TN1	TN2	TN3
Ref x 2	2	2	2	2	2	4	2	4	6
Ref x 3	3	3	3	3	3	6	3	6	9
Ref - 6h	1	1	1	1	1	2	1	2	3
Ref x 2 - 6h	2	2	2	2	2	4	2	4	6

# 4.4.1.3 Dispersão

Apesar da legislação autorizar uso de dispersante apenas para casos especiais, como descrito na Resolução nº 269 (CONAMA, 2000), aqui seu uso também se deu em caráter comparativo. Os cenários simulados foram montados de acordo com ITOPF, (2010).

A utilização do dispersante se deu de forma gradual. Primeiro mesclou-se o uso do dispersante com os cenários de referência de contenção e recolhimento após o quinto dia de derrame (108h). Os cenários evoluíram até que se obtivesse apenas o uso da dispersão, ou seja, um cenário de dispersão exclusiva conforme a Figura 17.

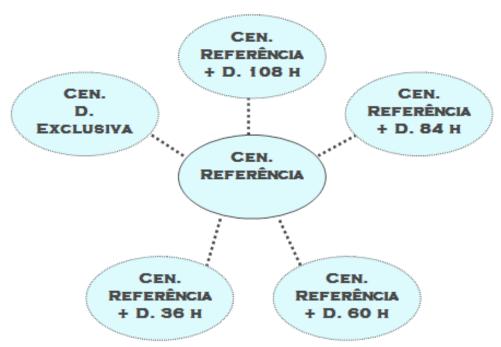


Figura 17: Diagrama mostrando os cenários de dispersão construídos a partir do Cenário de Referência.

A Figura 18 mostra como ocorreu a evolução gradativa dos cenários que tiveram uso de dispersante. Trata-se de um cenário onde houve toque na costa e o volume a ser disperso foi de 500m³.



Figura 18: Evolução dos cenários de dispersão para um acidente de 500m³. A) Cenário de Referência; B) Cenário de Referência + dispersante 108h; C) Cenário de Referência + dispersante 84h; D) Cenário de Referência + dispersante 60h; E) Cenário de Referência + dispersante 36h; F) Dispersão Exclusiva.

Um dos principais desafios para aplicação de dispersantes é a estimativa do volume de óleo a ser tratado e, depois, o cálculo da taxa adequada de aplicação. Para alcançar isso, estimativas devem ser feitas considerando a média de espessura e o volume de uma mancha de óleo. A taxa de dispersante para um óleo varia entre 1:3 e 1:50, dependendo do tipo de dispersante. O cálculo para propósito de planejamento deve ser feito em dois passos.

O primeiro diz respeito à estimativa do volume de óleo (Litros/hectare). O segundo trata a questão do cálculo da quantidade de dispersante necessário para alcançar a dose requerida (litros) e a taxa de aplicação (Litros/hectare).

Como regra geral, a maioria dos óleos na superfície do oceano se espalha rapidamente em poucas horas atingindo um espessura de 0,1mm ( $10^{-4}$ m). Nessa espessura, o volume de óleo em um hectare (10000m<sup>2</sup> =  $10^4$  m<sup>2</sup>) é:

$$10^{-4}$$
m x  $10^{4}$ m<sup>2</sup> = 1m<sup>3</sup>

A proporção do dispersante utilizado neste trabalho foi de 1:20, ou seja, a cada 1 litro utilizado, 20 litros de óleo são dispersos. A partir dessas informações conseguese através da Equação 4 calcular o volume necessário de dispersante para que 1m³ de óleo seja tratado.

$$Vd = Vo/Cd$$
 (4)

Onde:

*Vd* = Volume de dispersante (Litros)

Vo = Volume de óleo a ser tratado (Litros)

*Cd* = Concentração do dispersante

Desta forma, o volume de dispersante para tratar 1m³ de óleo é 50L/hectare. Conhecendo essas informações, a taxa de descarga pode então ser calculada pela multiplicação da taxa de aplicação (Litro/m²) pelo comprimento do braço de spray e a velocidade (m/s) da aeronave que aplica.

A aplicação do dispersante foi realizada por uma aeronave agrícola que desenvolve uma velocidade de 45m/s. O comprimento do braço do spray que aplica o dispersante possui 15m para uma aplicação de 50L/hectare (0,005L/m²). Neste caso a descarga seria de:

$$Tx = E \times Vd \times Vel$$
 (5)

Onde:

Tx é a taxa de descarga

E é a envergadura da aeronave

Vd é o Volume de dispersante em m³

Vel é a velocidade de aplicação do avião.

 $Tx = 15 \times 0,005 \times 45 = 3,37 \text{ L/s}$ 

Sabe-se então que a cada 30 segundos de rasante, esta aeronave pode aplicar aproximadamente 100L de dispersante. A aeronave utilizada neste estudo é um modelo agrícola que apresenta 1,2m<sup>3</sup> de armazenagem de dispersante, sendo possíveis desta maneira 12 aplicações para cada saída que esta possa vir a fazer.

Portanto, um avião voando a 45m/s durante 30 segundos percorre 1350m. Como consegue aplicar 12 vezes a cada saída, a área a ser tratada corresponde a 243.000 m². Levando em conta a quantidade de óleo tratado em um hectare é de 1m³, o volume total tratado em cada saída da aeronave seria de aproximadamente de 24 m³.

Segundo FERREIRA (2006), com essa velocidade é possível realizar 4 aplicações diárias de dispersante no Campo Jubarte.

Considerou-se que cada polígono de aplicação (1350 X (15 x 12)) será equiparado a uma formação de contenção e recolhimento (3 navios). Quando ocorre de um cenário apresentar mais de uma formação, que são casos encontrados nos derrames de 500 e 1000 m³, a capacidade de dispersão se dará em igual proporção, duplicando e triplicando. A Figura 19 mostra um esquema de como simulou-se a mancha, sendo seguida pela Tabela 7, que mostra os parâmetros utilizados para este caso.

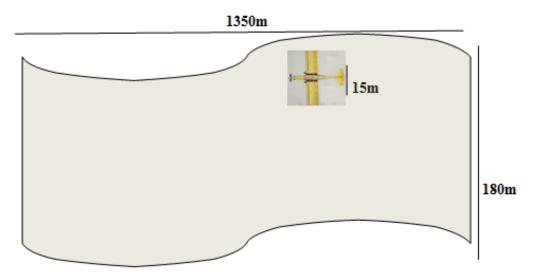


Figura 19: Esquema de aplicação do dispersante em um polígono.

Tabela 7: Parâmetros utilizado nos cenários com dispersante.

Parâmetros	Sistema: Aeronave agrícola
Taxa de Aplicação (L/s)	3,37
Tancagem de dispersante (m³)	1,2
Velocidade de cruzeiro (m/s)	70
Velocidade operacional (m/s)	45
Largura do spray (m)	15
Número de viagens	4
Área de aplicação (m²)	243.000

# 4.4.1.4 Condições Meteoceanográficas

As condições meteoceanográficas variaram no intuito de se reproduzir cenários em que a mancha de óleo apresentasse diferentes comportamentos. Essa variabilidade

se deu para que se pudesse "mapear" a forma como as estruturas de combate a mancha de óleo responderia as diferentes situações encontradas ao longo do tempo. Por isso definiu-se um total de 6 cenários com as condições de vento e correntes mais comuns na região, segundo a base de dados disponível.

A Tabela 8 mostra o tempo de toque nos cenários e as condições iniciais de ventos e correntes. A Figura 20 mostra as direções e intensidades predominantes de vento na região de estudo durante 12 meses, para o ano de 1992.

Tabela 8: Condições meteoceanográficas iniciais dos cenários simulados.

		oes meteoceano inicial vento	Condição in		
Cenários	Direção (°)	Intensidade (m/s)	Direção (°)	Intensidade (m/s)	Tempo de toque
1	80	6,36	200	0,25	10 dias
2	100	5,52	200	0,2	4 dias e 6h
3	84	10,9	190	0,25	5,7 dias
4	100	3,39	220	0,35	ñ toca
5	0	6,4	235	0,35	ñ toca
6	50	6	160	0,15	ñ toca

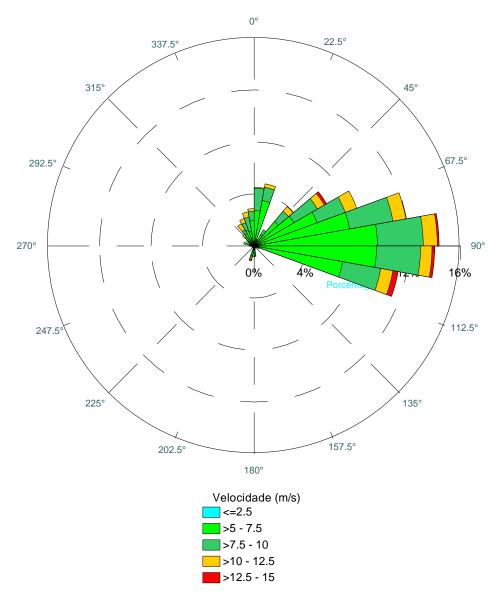


Figura 20: Direção de vento predominante na região de estudo para o ano de 1992, segundo NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*).

Somando-se todos cenários incluindo os dois tipos de óleo (médio e pesado), desde a não resposta até o uso da dispersão exclusiva, para os 3 volumes derramados, temos um total de 396 cenários simulados (Tabela 9).

Tabela 9: Total de cenários simulados.

Cenário	Volume(m³)	Tipo de óleo	Tipo de estratégia		
			Cont. e Rec.	Dispersão	
	200	Médio (30 °API)	N. R.	Ref. + 108h	
			Ref.	Ref. + 84h	
1, 2, 3, 4, 5, 6	500		Ref. x 2	Ref. + 60h	
		Pesado (17 ºAPI)	Ref. x 3	Ref. + 36h	
	1000		Ref6h	Disp. Exclusiva	
			Ref. x 2 -6h	-	

# 4.5 Aplicação da Lógica Fuzzy em Modelamento de Derrames de Óleo.

Para montagem do Modelo Fuzzy, foram realizadas as seguintes etapas: Fuzzificação, Inferência e Defuzzificação.

A primeira etapa consiste em transformar os valores numéricos das variáveis selecionadas no Modelo OILMAP, transformando-as em valores linguísticos. Em todas as transformações, as funções de pertinência foram triangulares devido à simplicidade de seu uso. Esta função não é nada mais do que a coleção de três pontos, formando um triângulo, como mostrado na Figura 21.

A segunda etapa ocorre no Sistema de Inferência Fuzzy (Figura 22). É neste momento que se combinam os Conjuntos Nebulosos através do Banco de Regras, compatibilizando as saídas do Modelo Fuzzy de forma a se obter os resultados desejados.

A terceira etapa é a conversão do valor lingüístico em um valor escalar através do calculo do centro de gravidade formado pela combinação de regras na maquina de inferência.

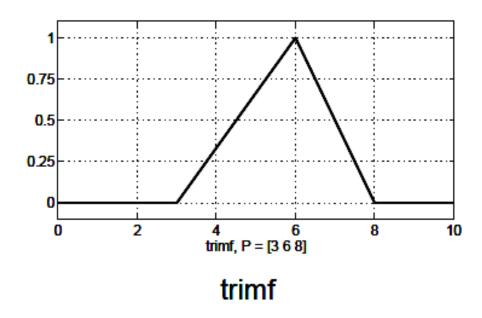


Figura 21: Exemplo de Função de pertinencia.

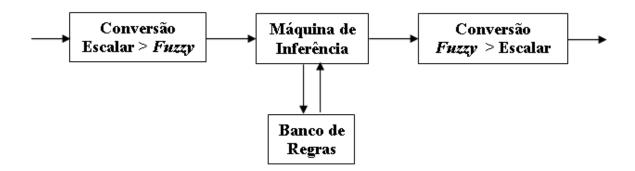


Figura 22: Sistema Fuzzy de Inferência.

## 4.5.1 Fuzzificação

As variáveis do Modelo Fuzzy são baseadas nos resultados obtidos pelo Modelo OILMAP. Sua transformação em conjuntos nebulosos se deu de forma a associar a influência deste nos resultados obtidos. A Tabela 10 mostra um exemplo de classificação da variável Condição Meteoceanográfica, da maneira como se programou no Modelo Fuzzy.

A Condição Meteoceanográfica é a combinação dos valores existentes entre os ventos e correntes, por exemplo, quanto maior os valores de ventos e correntes, maiores os valores das condições meteoceanográficas.

Tabela 10: Intervalos das variáveis selecionadas para o Modelo Fuzzy.

Variáveis	Valor Numérico	Expressão lingüística		
Vento (m/s)	< 2; 0 - 4; 2 - 6; 4 -8; > 8	Muito fraco; fraco; moderado; forte; muito forte		
Corrente	< 0,1; 0 - 0,2; 0,1 - 0,20; 0,1 - 0,3; 0,2 - 0,4; > 0,4	Muito fraco; fraco; moderado; forte; muito forte		
Condição Meteoceanográfica	0 - 0,25; 0,05 - 0,5; 0,25 - 0,75; 0,5 - 1; 0,75 - >1	Muito fraco; fraco; moderado; forte; muito forte		

A Figura 23 mostra o Conjunto Nebuloso "Condição Meteoceanográfica" e as variáveis que o compõem.

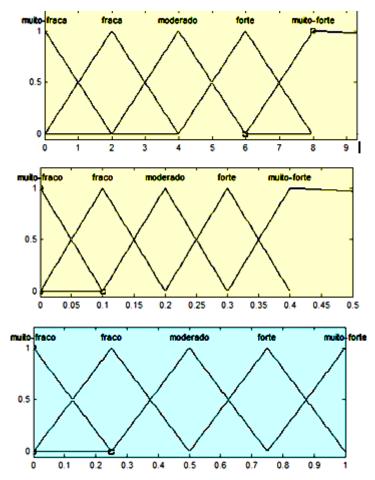


Figura 23: Variáveis Nebulosas do Conjunto Condição Meteoceanográfica, utilizadas no Modelo Fuzzy.

Das variáveis lingüísticas, a primeira consistiu no Porte do Acidente. Esta é composta por duas variáveis, "Tipo e Volume" de óleo derramado (Figura 24). Foram feitos dois conjuntos distintos para os diferentes óleos, um conjunto para óleo médio e outro para óleo pesado. Essa distinção se deu pela dificuldade na criação de regras devido às similaridades e discrepâncias apresentadas pelo Modelo OILMAP para as diferentes situações simuladas.

Isso provocou uma enorme quantidade de subconjuntos para diferenciação dos cenários com os diferentes tipos de óleo, o que dificultaria a combinação da base de regras.

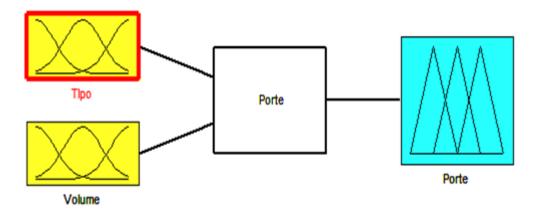


Figura 24: Variável porte do acidente.

Outro conjunto nebuloso, já citado anteriormente, foi Condição Meteoceanográfica. Este é formado pelos conjuntos Vento e Corrente (Figura 25). Por último fez-se o conjunto Capacidade de Resposta (Figura 26). Este conjunto é formado pelos resultados obtidos dos conjuntos, Condição Meteoceanográfica e Porte do Acidente, juntamente com o Tempo de Mobilização.

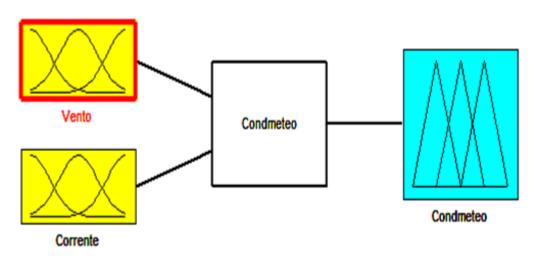


Figura 25: Variável Condição Meteoceanográfica.

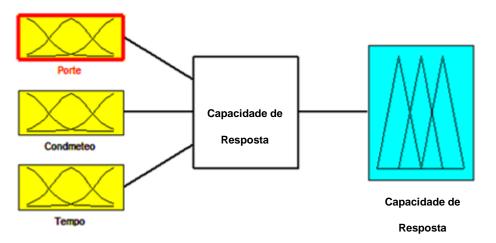


Figura 26: Variável Capacidade de Resposta.

# 4.5.2 Inferência Nebulosa - Combinação das Regras Condição/Ação

Esta etapa ocorre dentro do Sistema de Inferência Fuzzy. As variáveis de entrada são combinadas através de regras Se-Então (*If-Then Rules*), obtendo como saída uma outra variável, como aparece na Figura 26. A Figura 27 mostra a interface existente no Matlab que permite a combinação das variáveis através das regras de maneira simples.

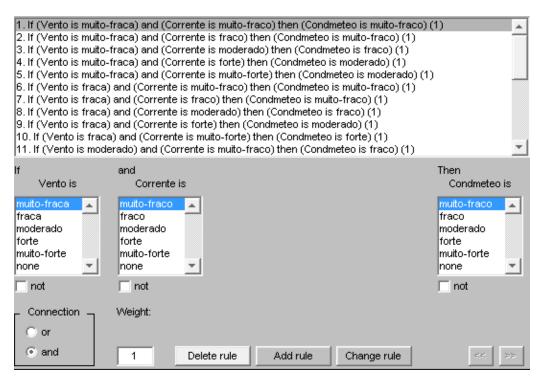


Figura 27: Combinação das Regras Condição/Ação.

Foram no total 146 regras, sendo 73 para cada tipo de óleo. As combinações destas regras que são mostradas nas Tabela 11 a 16. A Figura 28 apresenta a superfície proveniente da combinação das regras fuzzy para variável Porte do Acidente.

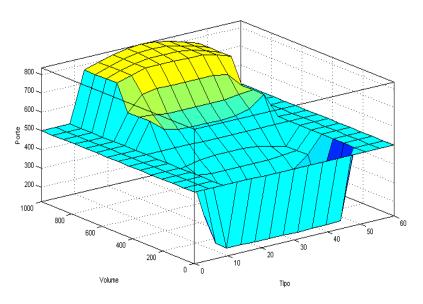


Figura 28: Superfície para Porte do Acidente.

## 4.5.3 Deffuzificação

Após fornecidos os valores de entrada no Modelo Fuzzy estes são transformados em valores lingüísticos e combinados através das regras nebulosas. Após isso o resultado é obtido como ilustrado na Figura 29.



Figura 29: Processo de Deffuzyficação do Conjunto Nebuloso Capacidade de Resposta.

As Bases de Regras utilizada neste trabalho são apresentas nas Tabela 11 a 16. Nelas podem-se verificar as combinações para os cenários que contém óleo médio e óleo pesado.

Tabela 11: Base de Regras Modelo Fuzzy – Cond. Meteoceanográficas (Óleo Médio)

Vento/Corrente	MFr	Fr	Mod	Fo	MFo
MFr	MFr	Fr	Fr	Mod	Mod
Fr	MFr	MFr	Fr	Mod	Fo
Mod	Fr	Fr	Mod	Fo	Fo
Fo	Mod	Mod	Fo	Fo	MFo
MFo	Fo	Fo	MFo	MFo	MFo

MFr – Muito Fraco; Fr – Fraco; Mod – Moderado; Fo – Forte; MFo – Muito Fraco.

Tabela 12: Base de Regras Modelo Fuzzy – Porte do Acidente (Óleo Médio)

Tipo / Volume	Gr	MGr	Eno
Médio	Gr	MGr	Eno

**Gr – Grande; MGr – Muito Grande; Eno – Enorme.** 

Tabela 13: Base de Regras Modelo Fuzzy - Capacidade de Resposta (Óleo médio).

Dorto	Doute /	/ Tompo		Co	ond. Meteoceanográfic	as	
Porte	1	Tempo	MFr	Fr	Mod	Fo	MFo
Gr		Min.	Ru	Ru	Ru	MRu	MRu
Gr		Med.	MRu	MRu	MRu	MRu	MRu
Gr		Máx.	MRu	MRu	MRu	MRu	MRu
MGr		Min.	Во	Во	Mod	Ru	MRu
MGr		Med.	Ru	Ru	Ru	Ru	MRu
MGr		Máx.	Ru	Ru	MRu	MRu	MRu
Eno		Min.	Ot	Ot	Во	Mod	Ru
Eno		Med.	Mod	Mod	Ru	Ru	MRu
Eno		Máx.	Ru	Ru	Ru	Ru	MRu

Gr - Grande; MGr - Muito Grande; Eno - Enorme.

MFr - Muito Fraco; Fr - Fraco; Mod - Moderado; Fo - Forte; MFo - Muito Fraco.

MRu – Muito Ruim; Ru – Ruim; Bo – Boa; MBo – Muito Boa; Ot – Ótima.

Tabela 14: Base de Regras Modelo Fuzzy – Cond. Meteoceanográficas (Óleo Pesado)

Vento/Corrente	MFr	Fr	Mod	Fo	MFo
MFr	MFr	Fr	Fr	Mod	Mod
Fr	MFr	MFr	Fr	Mod	Fo
Mod	Fr	Fr	Mod	Fo	Fo
Fo	Mod	Mod	Fo	Fo	MFo
MFo	Fo	Fo	MFo	MFo	MFo

MFr – Muito Fraco; Fr – Fraco; Mod – Moderado; Fo – Forte; MFo – Muito Fraco.

Tabela 15: Base de Regras Modelo Fuzzy – Porte do Acidente (Óleo Pesado)

Tipo / Volume	Gr	MGr	Eno
Pesado	Gr	MGr	Eno

**Gr – Grande; MGr – Muito Grande; Eno – Enorme.** 

Tabela 16: Base de Regras Modelo Fuzzy - Capacidade de Resposta (Óleo Pesado).

Donto	Douts /	_		Cond. Meteoceanográficas				
Porte	1	Tempo	MFr	Fr	Mod	Fo	MFo	
Gr		Min.	Ru	Ru	MRu	MRu	MRu	
Gr		Med.	Mru	MRu	MRu	MRu	MRu	
Gr		Máx.	MRu	MRu	MRu	MRu	MRu	
MGr		Min.	Mbo	Mbo	Mod	Ru	Ru	
MGr		Med.	MRu	MRu	Ru	Ru	MRu	
MGr		Máx.	MRu	MRu	MRu	MRu	MRu	
Eno		Min.	Ot	Ot	Во	Mod	Mod	
Eno		Med.	Mod	Mod	Mod	Mod	MRu	
Eno		Máx.	Ru	Ru	Ru	MRu	MRu	

**Gr – Grande; MGr – Muito Grande; Eno – Enorme.** 

MFr – Muito Fraco; Fr – Fraco; Mod – Moderado; Fo – Forte; MFo – Muito Fraco.

MRu – Muito Ruim; Ru – Ruim; Bo – Boa; MBo – Muito Boa; Ot – Ótima.

# 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados aqui apresentados são referentes aos cenários de contenção, recolhimento e dispersão química de óleo, além daqueles obtidos através do Modelo Fuzzy. Primeiro será feita uma análise do Cenário 1, escolhido como exemplo para verificar todos os tipos de respostas testados. Os demais resultados (Cen. 2,3,4,5,6) estão no ANEXO A. A partir daí serão apresentadas a capacidade de resposta de todos os cenários, pois estes servem de base para montar um Modelo Fuzzy, que tem como saída a "Capacidade de Resposta" frente a determinadas condições meteoceanográficas e tempo.

## 5.1 Contenção, Recolhimento e Dispersão Química

Os cenários de contenção, recolhimento e dispersão foram divididos em seções para análise do Cenário 1. São compostos por diferentes volumes derramados, ou seja, são apresentados os resultados obtidos para os diferentes óleos num mesmo volume.

As Tabela 17 a 22 apresentam os resultados obtidos pelo Modelo Oilmap. Os resultados dos demais cenários estão no ANEXO A.

Feito isso, apresentam-se seções mostrando as capacidades de resposta obtidas por cada tipo de resposta. Os resultados são separados em dois grupos: os que tocam a costa e os que não tocam a costa.

# 5.1.1 Cenário 1 – 200m³ (Óleo médio/pesado)

Tabela 17: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 1.

# Óleo médio/200m³

Cenário / Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0	3	54,2	42,8	0	0
Ref.	0	3,6	51,35	42,2	2,85	0
Ref. x 2	0	4,15	49,05	41,65	5,15	0
Ref. x 3	0	4,15	45,65	41,05	9,15	0
Ref. + 108h	0	4,15	48,5	42,2	2,85	2,3
Ref. + 84h	0	4,15	45,65	42,2	2,85	5,15
Ref. + 60h	0	5,3	39,95	41,05	2,3	11,4
Ref. + 36h	0	8,75	37,65	40,5	0,55	12,55
Disp. Exclusiva	0	6,45	27,95	38,2	0	27,4
Ref6h	0	3	50,2	41,65	5,15	0
Ref. x 2 -6h	0	4,75	44,5	40,5	10,25	0

Tabela 18: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 1.

# Óleo pesado/200m³

Cenário / Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0	1,1	73,25	25,65	0	0
Ref.	0	2,15	69,5	25,15	3,2	0
Ref. x 2	0	2,7	66,3	24,6	6,4	0
Ref. x 3	0	3,75	61,5	24,05	10,7	0
Ref. + 108h	0	2,1	65,8	25,15	3,2	3,75
Ref. + 84h	0	3,75	61,5	24,6	3,2	6,95
Ref. + 60h	0	4,35	54	24,05	2,65	14,95
Ref. + 36h	0	6,9	51,35	23,55	0,55	17,65
Disp. Exclusiva	0	5,9	38,5	20,85	0	34,75
Ref6h	0	2,1	67,4	24,6	5,9	0
Ref. x 2 -6h	0	2,65	59,9	23,55	13,9	0

# 5.1.2 Cenário 1 – 500m³ (Óleo médio/pesado)

Tabela 19: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 1.

# Óleo médio/500m³

Cenário / Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0	2,1	56,36	41,54	0	0
Ref.	0	2,58	52,48	40,84	4,1	0
Ref. x 2	0	3,02	48,84	40,16	7,98	0
Ref. x 3	0	3,24	44,96	39,48	12,32	0
Ref. + 108h	0	0,76	47,92	40,84	4,1	6,38
Ref. + 84h	0	1,44	42,44	40,16	4,1	11,86
Ref. + 60h	0	2,78	34,46	39,24	2,52	21
Ref. + 36h	0	4,38	30,58	38,34	0,68	26,02
Disp. Exclusiva	0	4,4	23,96	36,74	0	34,68
Ref6h	0	2,34	51,12	40,38	6,16	0
Ref. x 2 -6h	0	2,8	44,72	39,02	13,46	0

Tabela 20: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 1.

# Óleo pesado/500m³

Cenário / Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0	0	74,86	24,38	0	0
Ref.	0	0	69,74	23,96	5,34	0
Ref. x 2	0	0	65,02	23,32	9,84	0
Ref. x 3	0	0	59,9	22,68	15,4	0
Ref. + 108h	0	0,42	63,52	23,74	5,34	8,34
Ref. + 84h	0	0,42	56,48	23,32	5,34	15,82
Ref. + 60h	0	1,5	45,98	22,24	3	26,74
Ref. + 36h	0	1,92	41,06	21,6	0,86	32,72
Disp. Exclusiva	0	1,92	32,72	20,32	0	43,86
Ref6h	0	0	67,8	23,32	7,48	0
Ref. x 2 -6h	0	0	59,46	22,24	16,68	0

# 5.1.3 Cenário 1 – 1000m³ (Óleo médio/pesado)

Tabela 21: Resultados em % obtidos pelo OILMAP para o Cenário 1.

## Óleo médio/1000m³

Cenário / Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso			
N. R.	0	1,99	57,62	40,39	0	0			
Ref.	0	2,22	51,57	39,48	6,73	0			
Ref. x 2	0	2,45	48,03	38,68	10,84	0			
Ref. x 3	0	2,67	45,87	38,34	13,12	0			
Ref. + 108h	0	4,16	47,35	39,48	6,73	7,64			
Ref. + 84h	0	4,17	36,97	38,68	6,73	18,83			
Ref. + 60h	0	0,63	31,26	37,54	4,56	26,01			
Ref. + 36h	0	2,45	22,82	36,28	1,6	36,85			
Disp. Exclusiva	0,46	2,33	19,28	35,83	0	42,1			
Ref6h	0	2,1	50,43	38,91	8,56	0			
Ref. x 2 -6h	0	2,34	41,87	37,31	18,48	0			

Tabela 22: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 1.

# Óleo pesado/1000m³

Cenário / Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0	0,64	75,94	23,42	0	0
Ref.	0	0,96	67,91	22,57	8,56	0
Ref. x 2	0	1,17	63,32	21,93	13,58	0
Ref. x 3	0	1,72	60,53	21,6	16,15	0
Ref. + 108h	0	3,75	62,35	22,57	8,56	10,05
Ref. + 84h	0	4,07	48,77	21,82	8,56	24,06
Ref. + 60h	0,32	2,57	40,21	21,07	5,78	33,69
Ref. + 36h	0,11	1,39	31,55	20,11	2,03	44,81
Disp. Exclusiva	0,43	1,6	27,17	20	0	50,8
Ref6h	0	1,07	66,42	22,03	10,48	0
Ref. x 2 -6h	0	1,4	55,29	20,64	22,67	0

#### • 200m³

Nos Cenários simulados, a fração evaporada é significativa, principalmente no óleo médio, que fica em torno de 40% do volume total, e para óleo pesado, em torno de 20%.

Os volumes de óleo recolhido neste cenário ficam por volta de 2,85 %, quando o óleo derramado é do tipo médio, e 3,2% quando se trata de óleo pesado. Todas as respostas para o cenário com derrame de óleo pesado apresentam maiores capacidade de recolhimento e dispersão. No entanto, devido à taxa de evaporação que sofre o óleo médio, o volume que toca a costa é sempre superior. Por exemplo, o Cenário Não Resposta, possui 54% do óleo médio na costa, enquanto o pesado 73%, uma diferença em torno de 19%.

Quando se compara a melhor resposta, ou seja, a que mais conseguiu evitar o toque na costa, que neste caso foi o Cenário Dispersão Exclusiva, essa diferença diminui, chegando a 9%, sendo 27% do médio e 38% do pesado.

Com a gradativa adição de dispersantes, mais especificamente as 108h do derrame, fica clara a importância deste tipo de resposta, pois 2,3% do óleo são tratados. Este valor é próximo do óleo recolhido nas três primeiras etapas em um cenário com óleo médio. Para confirmar essa tendência, observa-se que com uso de dispersante a partir das 84h de derrame, a resposta quase iguala a triplicação de formações de contenção e recolhimento.

Outro fato que não pode ser deixado de lado é o tempo de resposta. Com o adiantamento da resposta em 6 horas, o volume recolhido passa a ser de 5,2%, que é praticamente o dobro de óleo recolhido.

#### 500m³

Para cenários com maiores derrames de óleo, o volume recolhido também tende a aumentar, chegando a 4,1% para óleo médio e 5,34% para óleo pesado, nos

Cenários de Referência. Contudo, nos Cenários de Não Resposta, mais óleo, independente do tipo, tende a chegar à costa.

Há também melhoria na qualidade da resposta com o adiantamento em 6 horas no combate ao óleo. Os cenários Ref. -6h e Ref. x 2 -6h, comprovam isso quando comparados aos cenários com Formações de Referências duplicadas e triplicadas respectivamente.

A dispersão funciona de maneira parecida com a contenção e recolhimento. Quanto maior o volume de óleo derramado, maior a quantidade de óleo tratado. No Cenário Dispersão Exclusiva para óleo pesado, quase 45% do volume total é tratado, enquanto que para óleo médio este valor chega aos 37%, uma diferença próxima dos 10%.

Uma das diferenças percebidas foi o aumento dos valores encontrados para os cenários Ref. + 60h e Ref. + 36h. Estes, antes muito próximos em seus valores num cenário com 200m³ derramados, agora apresentam uma diferença próxima dos 4%.

#### • 1000m³

Novamente, o volume de óleo tratado é proporcional à quantidade de óleo derramado. Dessa maneira, os maiores valores de óleo recolhidos e/ou tratados alcançam máximos.

O óleo médio apresenta 6% de seu volume recolhido enquanto o óleo pesado apresenta 8,5%.

O volume tratado para um cenário com uso de dispersante após 108h chega a ser maior do que quando contido e recolhido nas três etapas desta ação. O uso deste a partir das 84 horas é superior do que o adiantamento em 6 horas com o dobro da estrutura para ambos os tipos de óleo.

O volume tratado com o uso exclusivo de dispersante chega a 42% para óleo leve e 50,8% para óleo pesado, fazendo com que menores porcentagens de óleo toquem a costa. Porém, quando não há resposta, maior é o valor de óleo que toca a costa.

Como no cenário de 500m³ de óleo derramado, os valores recolhidos são maiores quando se adianta a resposta, sendo estes superiores aos encontrados quando se dobram e triplicam as Formações de Referências, respectivamente.

Os Cenários "Ref. + 60h" e "Ref. +36h", continuam a apresentar diferenças em torno de 7% para os óleos pesado e médio. É valido lembrar, que o Cenário 1 foi escolhido como exemplo, e os resultados dos 5 demais cenários estão no ANEXO A.

A seguir são mostrados como se comportam os equipamentos frente às condições meteoceanográficas existentes durante as ações de combate aos óleos derramados. Nesta etapa são apontados todos os cenários, pois os resultados serviram de base para montagem do Modelo Fuzzy.

## 5.2 Toque na Costa

Os três acidentes aqui apresentados fazem parte dos cenários onde houve toque da mancha na costa. Para melhor visualização, os gráficos de ventos e correntes, e capacidade de resposta dos equipamentos utilizados serão apresentados separadamente.

## 5.2.1 Condições Meteoceanográficas

A relação entre ventos e correntes é de grande importância para compreender como estes influenciam no transporte da mancha, e na capacidade de resposta das estruturas montadas para contenção, recolhimento e dispersão do óleo. Por isso os valores abaixo mostram o comportamento destes no momento em que o óleo está sendo contingenciado.

Os acidentes representados no Cenário Toque são: Cenário 1, 2 e 3. O primeiro tocou a costa em aproximadamente 10 dias, o segundo em 4 dias e 6 horas e o último, 5 dias e 9 horas.

As Figura 30 e 31mostram as direções de ventos e correntes durante os cinco primeiros dias em que ocorreram respostas ao derrame de óleo nos cenários em que o óleo toca a costa. Em seguida a Figura 32 apresenta os valores de intensidade (m/s) de ventos e correntes nos momentos em que o óleo era contido-recolhido e/ou dispersado.

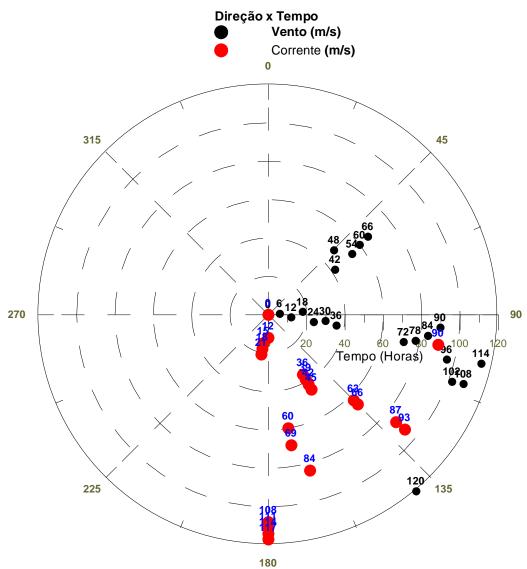
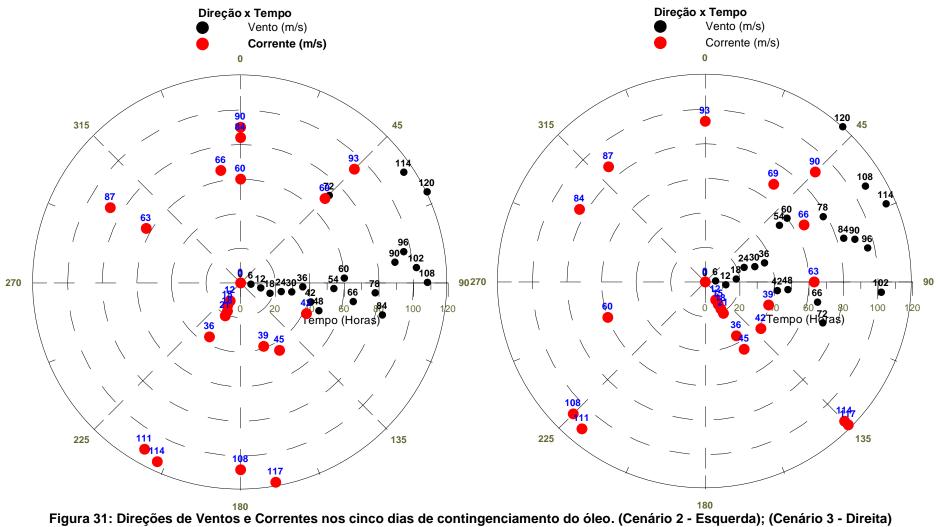


Figura 30: Direções de Ventos e Correntes nos cinco dias de contingenciamento do óleo. Cenário 1.



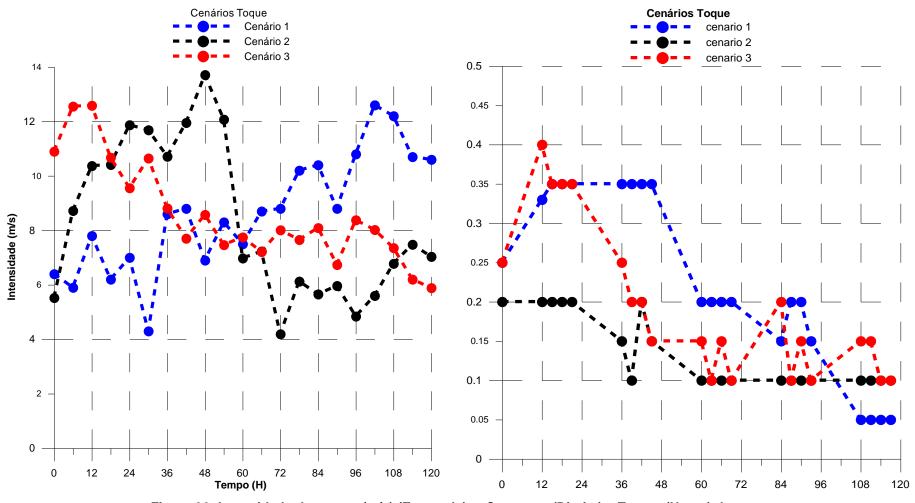


Figura 32: Intensidade de ventos (m/s) (Esquerda) e Correntes (Direita) x Tempo (Horas) de resposta.

Os ventos que atuam nos cenários citados, apresentam predominância nas direções *NE*; *ESE*. No Cenário 1 os ventos começam com direção *E* indo a *NE* e finalizando *ESE*. No Cenário 2 os ventos foram predominantemente *E*. Por último, o Cenário 3 apresentou ventos variando na faixa de *E*, *NE* com maior concentração na direção *ENE*.

As correntes apresentam dominância S, SSE no primeiro cenário. Os dois seguintes cenários não apresentaram um padrão, variando muito ao longo do tempo.

A intensidade dos ventos atuantes na mancha de óleo, ao contrário das direções, não foi típica da região de estudo, como mostra a Figura 20. A Figura 32 mostra que com exceção do Cenário 1, que apresentava velocidade inferior a 8m/s, os demais cenários apresentaram velocidades superiores a 10m/s na primeira etapa do ataque ao óleo (12h). Este fato justifica o menor tempo para que o óleo chegasse à costa.

Na segunda etapa do contingenciamento (36h), todos cenários apresentam velocidades superiores a 8m/s, destacando-se o Cenário 2 por apresentar velocidade próxima aos 11m/s. Na terceira etapa (60h) todos cenários apresentam velocidades entre 7 e 8m/s. O Cenário 1 continua a aumentar a velocidade até as 108h do derrame enquanto o cenário 3 manteve-se nesta faixa e o Cenário 2 apresentou uma queda.

Ao observar as correntes percebe-se que o cenário 2 apresenta valores sempre abaixo dos 0,2m/s. O cenário 3 apresenta valor superior a este apenas na primeira etapa (12h), chegando a 0,4m/s. O Cenário 3 obteve os maiores valores atingindo na primeira e segunda etapa velocidades de 0,35m/s.

## 5.2.2 Capacidade de Resposta

As Figura 33, 34 3 35, a seguir, mostram como se comportam as capacidades de recolhimento e dispersão dos Cenários de Referência frente às condições meteoceanográficas simuladas.

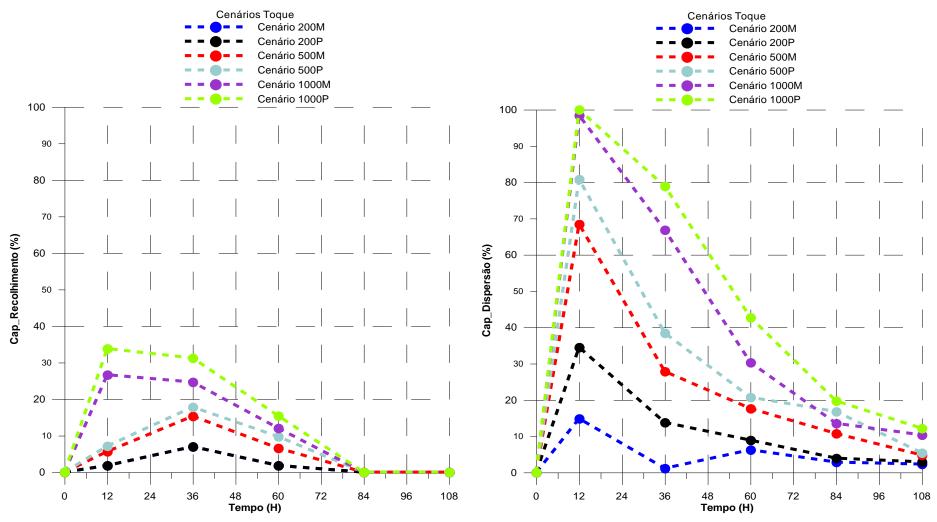


Figura 33: Capacidade de Resposta (%) x Tempo (Horas). Esquerda (Contenção e Recolhimento) / Direita – (Dispersão Química). Cenário 1.

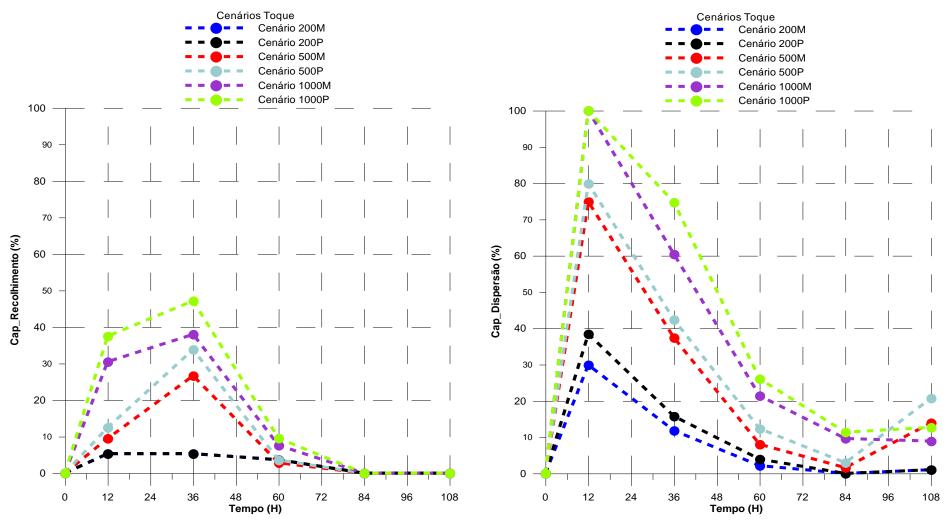


Figura 34: Capacidade de Resposta (%) x Tempo (Horas). Esquerda (Contenção e Recolhimento) / Direita – (Dispersão Química). Cenário 2.

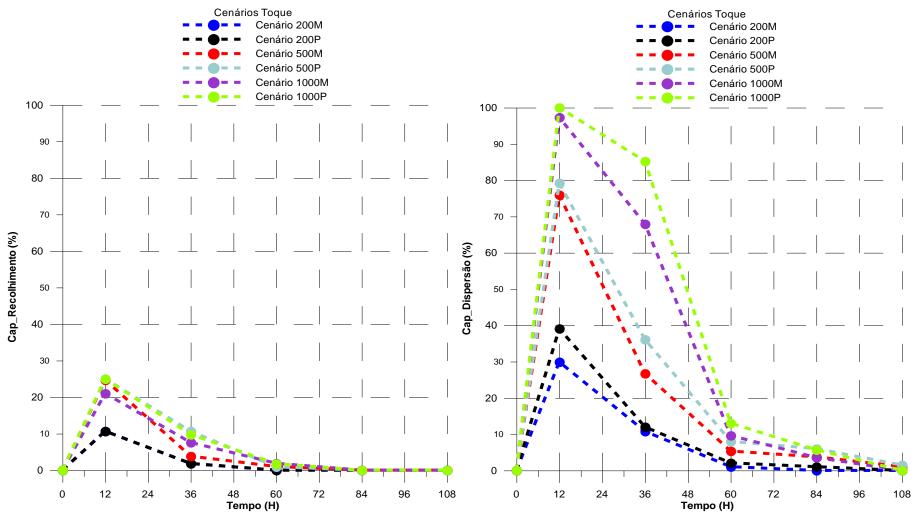


Figura 35: Capacidade de Resposta (%) x Tempo (Horas). Esquerda (Contenção e Recolhimento) / Direita – (Dispersão Química). Cenário 3.

É valido lembrar que a Capacidade de Resposta é medida pela capacidade esperada de recolhimento do óleo, no caso de contenção e recolhimento, e óleo disperso, no caso da dispersão. Por exemplo, é de se esperar que "1 Formação" (3 navios) tenha a capacidade de recolher 10m³/hora (skimmer com capacidade nominal de 50m³/h), considerando uma efetividade de 20%. Da mesma forma, espera-se que 24m³ de óleo sejam dispersos a cada aplicação de dispersante realizada.

## 5.2.2.1 Contenção e Recolhimento

#### Cenário 1

Na primeira etapa da contenção e recolhimento (12h) as simulações com volumes de 200 e 500m³ apresentaram uma capacidade de resposta inferior aos 10% do esperado, enquanto 1000m³ apresentou uma capacidade de resposta em torno de 27% para óleo leve e 34% para óleo pesado.

Na segunda etapa (36h), as simulações com volumes de 200 e 500m³ apresentaram um aumento de sua capacidade de resposta. No primeiro ocorreu uma ligeira melhora, porém manteve-se abaixo dos 10% do esperado para ambos os óleos. O segundo apresentou uma melhora de 10%, sendo capaz de recolher 17% de sua capacidade de resposta esperada em um cenário com óleo médio e 34% num cenário com óleo pesado. Já o cenário de 1000m³ apresentou uma leve perda (2%), para ambos os óleos.

Na terceira etapa (60h), há uma queda na capacidade de resposta nos cenários. O cenário com um volume de 1000m³ (óleo pesado) passa a recolher 15% do esperado, enquanto os cenários de 500 e 200m³ mantêm suas capacidades de recolhimentos praticamente nulo.

Para analisar a capacidade de resposta dos equipamentos devem ser observadas as condições meteoceanográficas de cada cenário. A primeira etapa, que obteve a

menor capacidade de recolhimento para os cenários com volumes de 500 e 200m³, apresentaou ventos em torno de 8m/s e correntes em torno de 0,35m/s. A segunda etapa apresentava condições piores de ventos e iguais de correntes, porém o que diferencia esta da primeira é a direção em que se encontravam. Na primeira estes apresentavam uma angulosidade em torno de 90°, enquanto na segunda 130°. Esse aumento na força do vento juntamente com a angulosidade, pode ter sido responsável pela diminuição na velocidade deslocamento da mancha, permitindo que o óleo fosse contido mais facilmente.

A terceira etapa apresentou valores mais amenos de correntes (0,05m/s) e mais intensas de ventos, com velocidades superiores a 12(m/s). Unindo ventos mais fortes e tempo de derrame, a capacidade de resposta fica bem afetada fazendo com que os equipamentos não sejam eficazes.

#### Cenário 2

O Cenário 2 apresentou melhor capacidade de resposta que o Cenário 1 nas duas primeiras etapas (12 e 36h) e pior na terceira (60h). Na primeira etapa, o cenário com volume de 1000m³ apresentou capacidade de resposta próxima de 38% do esperado para óleo pesado e 30% para óleo médio. Os cenários com volumes de 200 e 500m³ apresentaram capacidade de resposta em torno de 5% e 10% respectivamente, sendo que o primeiro não apresentou diferença entre os óleos, e o segundo apresentou melhor capacidade de recolhimento para óleo pesado.

Na segunda etapa (36h) os cenários com volumes 1000 e 500m³ apresentaram melhor capacidade de resposta, enquanto 200m³ manteve-se constante. Para ambos os óleos, o volume de 1000m³ teve uma capacidade de resposta 8% superior à primeira etapa, chegando a 48% para óleo pesado e 38% para óleo médio. Para o cenário com volume de 500m³ a capacidade de resposta foi de 21 e 16% superior para óleo pesado e médio, respectivamente.

Na terceira etapa (60h), todos os cenários apresentaram capacidade de resposta abaixo de 10%, sendo que o cenário de 1000m³ apresentou melhor capacidade de

resposta. As diferenças presentes nos diferentes tipos de óleos nas primeiras etapas desapareceram após 60h do acidente.

Considerando os ventos e correntes existentes neste cenário, é possível verificar que apesar dos ventos serem mais fortes (10m/s) do que os do Cenário 1, as correntes encontravam-se 50% menos intensas (0,2m/s), melhorando a capacidade de resposta da contenção e recolhimento quando comparado ao primeiro cenário.

Na segunda etapa houve aumento na intensidade do vento, porém com diminuição de cerca de 50% da intensidade de correntes, que passara a ter cerca de 0,1m/s, melhorando a capacidade de contenção e recolhimento dos cenários de maior volume (500 e 1000m³).

Na terceira etapa (60h), os ventos e correntes se encontravam mais amenos, porém, devido o passar do tempo de resposta há uma significativa diminuição na capacidade da contenção e recolhimento.

### • Cenário 3

O Cenário 3 apresentou os piores resultados de capacidade de resposta para todos o óleos em todas etapas (12, 36 e 60h), no derrame de 1000m³. Os cenários com volumes de 200 e 500m³, apresentaram resultados superiores na primeira etapa e inferiores nas ultimas duas etapas (36 e 60h). Esses valores encontrados ocorreram devido à partição da mancha de óleo, trazendo conseqüências como a diminuição na capacidade de resposta.

Na primeira etapa, parao cenário com volume de 200m³, a capacidade de resposta ficou em torno de 10% para ambos os óleos. Nos demais cenários (500 e 1000m³), as capacidades de resposta foram similares, ficando entre 21 e 25%. Na segunda etapa (36h), todos os valores foram inferiores às capacidades encontradas nos Cenários 1 e 2.

Os cenários com volumes de 500 e 1000m³ apresentaram comportamento muito semelhante na segunda etapa da contenção, com capacidade de resposta em torno

de 10% quando se tratava de óleo pesado. Se tratando de óleo médio, o derrame de 1000m³ apresentou o dobro da capacidade de resposta em comparação ao cenário de 500m³. Na terceira etapa, a capacidade de resposta em todos cenários foi próximo a 0%.

As condições meteoceanograficas do Cenário 3 apresentaram valores mais intensos na primeira etapa de recolhimento, tanto para correntes (0,4m/s), como para ventos (>12m/s). Estas condições fizeram com que as respostas desempenhadas sofressem as conseqüências diminuindo a capacidade de recolhimento.

Nota-se que o ângulo formado pelos vetores vento e corrente mantiveram-se acima dos 120°. Esse ângulo, como observado nos casos anteriores, provoca uma diminuição do deslocamento da mancha, atuando como um freio, o que facilita a resposta de contenção e recolhimento. Porém, quando estas mesmas condições atuam de forma constante ao longo do tempo, como foi no caso deste cenário, provocam maior espalhamento da mancha, diminuindo a espessura da camada de óleo, prejudicando o recolhimento.

Isso é possível de ser observado pelos resultados obtidos, pois, apesar dos valores de correntes e ventos serem inferiores aos demais cenários, a capacidade continua reduzida.

## 5.2.2.2 Dispersão Química

Deve ser observado que a dispersão química se mostrou mais capaz de remover o óleo da superfície, nos cenários que tocam a costa, quando comparada com a contenção e recolhimento, analisando-se o parâmetro volume na costa.

Assim como nos cenários de contenção e recolhimento, a dispersão química foi mais capaz quanto maior o volume de óleo derramado. Para volumes de 1000m³ a capacidade de resposta chega a 100% do esperado, enquanto para 500 e 200m³ esta chega a ser de 80 e 40%, dependendo do tipo de óleo.

#### Cenário 1

No Cenário 1, o cenário com volume de 200m³ apresentou a menor capacidade de resposta para todos os volumes, tendo o óleo pesado uma capacidade de 34% e o óleo médio 27% do esperado na etapa de dispersão (12h). Os cenários de 500 e 1000m³ apresentaram uma capacidade de resposta de 74 e 79%, 98 e 100% para óleos médios e pesados respectivamente. Na segunda etapa, os volumes de 200 e 500m³ perderam 50% da capacidade de resposta. O maior volume derramado continuou a apresentar melhor capacidade com valores acima de 80 e 70% para óleo pesado e médio.

Nas ultimas etapas (60, 84 e 108h), com exceção do cenário de 1000m³ (60h), que apresentou capacidades de resposta de 42 e 30% (óleo pesado e médio), todas restantes já se encontravam abaixo dos 20% da capacidade esperada. Na quarta etapa todos os cenários se encontravam abaixo dos 20%.

#### Cenário 2

O Cenário 2, para um cenário com volume de 200m³, apresentou em sua primeira etapa, valores de capacidade de resposta em torno de 38% para óleo pesado e 30% para óleo médio, superando o Cenário 1. Nas etapas seguintes (36 e 60h), para o mesmo cenário (200m³), a capacidade de resposta começou a se igualar ao Cenário 1, ficando por volta do 5% do esperado. A partir daí, há um decréscimo da capacidade aproximando-se do nulo.

Para o derrame com volume de 500m³, as capacidades de respostas obtidas para ambos os óleos são parecidas, sendo 74% para óleo médio e 80% para óleo pesado. Estes valores são superiores ao Cenário 1, tratando-se de óleo médio. Já para o óleo pesado essa diferença não é significativa. Na segunda etapa (36h), o Cenário 2 apresenta uma queda em sua capacidade de resposta, com valores em torno de 37% para óleo médio e 42% para óleo pesado.

As etapas a seguir (60 e 84h) apresentaram uma queda na capacidade de resposta em ambos os óleos, permanecendo, contudo, acima das capacidades encontradas

nos cenários de 200m³. A capacidade de resposta na quarta etapa é praticamente nula. Os resultados obtidos foram 8 e 1% para óleo médio e 12 e 2% para óleo pesado.

Na última etapa houve uma melhora da capacidade, saindo de valores nulos, para valores superiores a 13% e 20% para óleo médio e pesado respectivamente.

Para o cenário com volume de 1000m³, as duas primeiras etapas apresentaram comportamento parecido com o Cenário 1, tendo a primeira etapa valores máximos de capacidade de resposta e a segunda etapa uma capacidade inferior, com valores de 60% para óleo médio e 74% para óleo pesado. As duas etapas seguintes (60 e 84h) apresentaram capacidades inferiores quando comparadas a mesma etapa do Cenário 1, ficando em torno dos 10%. A última etapa manteve uma capacidade em torno de 9% para óleo médio e 13% para óleo pesado.

As condições meteoceanográficas mostraram ventos acima dos 10m/s, com um máximo de 14m/s às 48h do derrame, declinando a partir daí até as 108h, quando ganham força. Os valores de correntes mostraram um máximo de 0,2m/s caindo após as 36h mantendo-se a 0,1m/s. Esses valores de ventos e correntes equilibraram os resultados dos Cenários 1 e 2 na primeira etapa do recolhimento. Na segunda etapa os valores mantém-se equilibrados apesar dos valores superiores de correntes do Cenário 1. Na terceira etapa, os valores menos intensos de ventos e correntes prejudicaram a capacidade de resposta, mantendo todos os resultados inferiores aos encontrados no Cenário 1.

A quarta etapa (84h) mostrou o pior resultado juntamente com as condições meteoceanográficas mais amenas. Na quinta etapa, os valores voltam a subir juntamente com os ventos que se tornam mais intensos.

## • Cenário 3

O Cenário 3 apresentou capacidade de resposta semelhante aos Cenários 1 e 2 na primeira etapa de recolhimento. O cenário com volume de 200m³ teve uma capacidade de resposta de 29 e 39% do esperado, para óleo médio e pesado

respectivamente. O cenário com volume de 500m³ tivera capacidades de 75 e 79% para óleo médio e pesado. A capacidade máxima (100%) fora alcançado para o cenário de 1000m³.

A segunda etapa apresentou resultados inferiores de capacidade de resposta para os cenários com volumes de 200 e 500 m³, com valores de 10 e 12% e 12 e 26% para óleo médio e pesado respectivamente. Para 1000m³, valores superiores aos demais foram encontrados, em torno de 67% para óleo médio e 85% para óleo pesado.

Na terceira etapa (60h) ocorreu um decréscimo na capacidade de resposta, mantendo-se abaixo de 10% para todos cenários, exceto 1000m³ (óleo pesado). Após esta etapa os valores se tornam tão baixos que tendem a se tornar nulos nos cenário de 200m³, e inferiores a 5% nos cenários restantes.

As condições meteoceanográficas mais intensas na primeira etapa do Cenário 3 permitiram a melhor capacidade de dispersão, mesmo que levemente perante os outros cenários. Na segunda etapa (36h), a diminuição das intensidades de ventos e correntes, que se mantivera abaixo dos demais cenários, fizeram com que as capacidades de dispersão também ficassem prejudicadas, exceto para o volume de 1000m<sup>3</sup>.

Da mesma forma que citado anteriormente na contenção e recolhimento, a combinação constante de ventos e correntes acima de 120°, fizeram com que a mancha se dividisse em duas partes, diminuindo a capacidade de resposta da dispersão química. Isso se mostra com os resultados obtidos após as 60h, que se mantiveram em grande parte abaixo dos 10%.

# 5.3 Cenários Não-Toque

Os acidentes representados nos Cenários Não-Toque são: Cenário 4, 5 e 6. Todos estes cenários foram simulados por um período de 30 dias.

# 5.3.1 Condições Meteoceanográficas

As Figura 36 e 37 mostram as direções de ventos e correntes durante os cinco primeiros dias em que ocorreram respostas a derrame de óleo nos cenários em que o óleo não toca a costa.

A Figura 38 mostra as intensidades (m/s) durante os cenários que não tocam a costa. Para melhor visualização, os gráficos como ventos e correntes, e capacidade de resposta dos equipamentos utilizados serão apresentados separadamente.

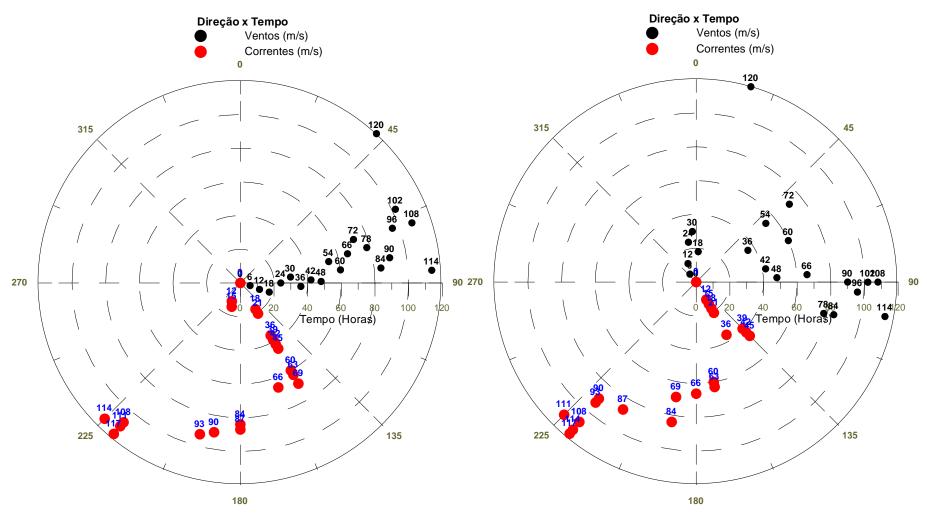


Figura 36: Ventos e Correntes nos momentos em que houve resposta ao acidente. Cenário 4 (Esquerda); Cenário 5 (Direita).

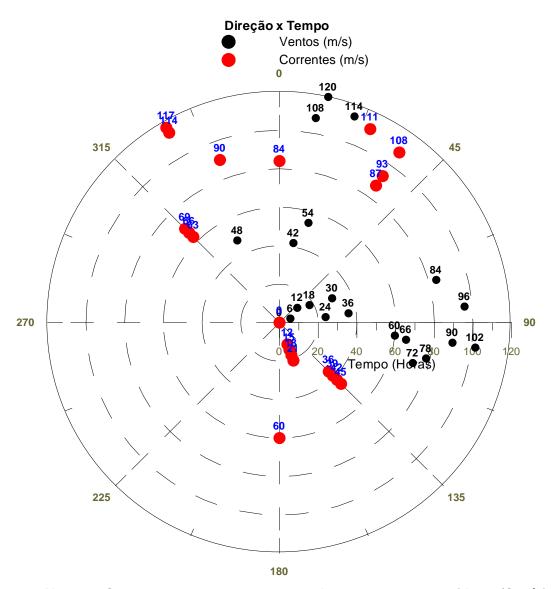
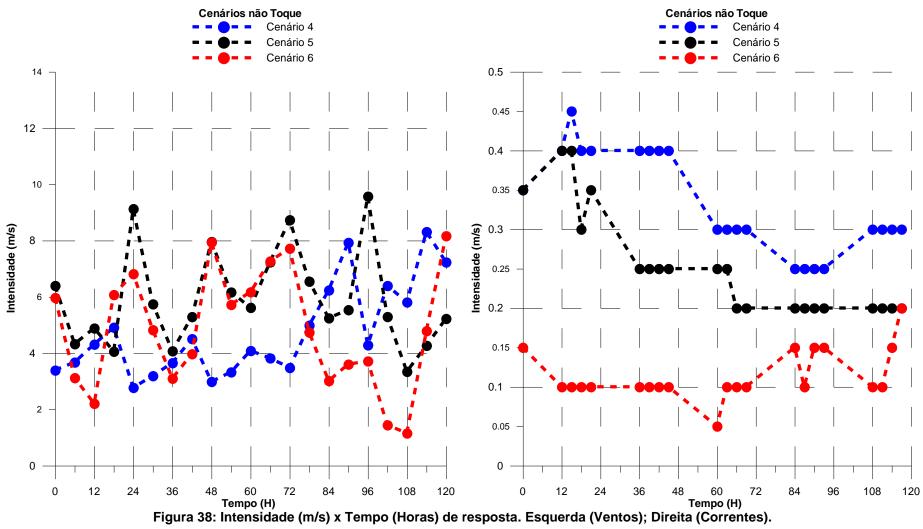


Figura 37: Ventos e Correntes nos momentos em que houve resposta ao acidente (Cenário 3).



Os ventos que agiam quando se atacava a mancha de óleo, nos acidentes que não tocaram a costa, apresentaram predominância nas direções E, *ESSE*, *SE*. No Cenário 4 os ventos são predominantes ESSE durante toda resposta ao acidente. No Cenário 5 os ventos vieram de S até as primeiras 36 horas, mudando de direção e se mantendo entre E, NE até o fim da resposta. Por último, o Cenário 3 apresentou ventos variando entre a faixa *E*, com algumas exceções vindo do sentido Sul.

As correntes apresentaram dominância no intervalo SE, SO no quarto e quintos cenário. O terceiro cenário apresentou uma variação maior de direções, tendo predominantemente direções S e N.

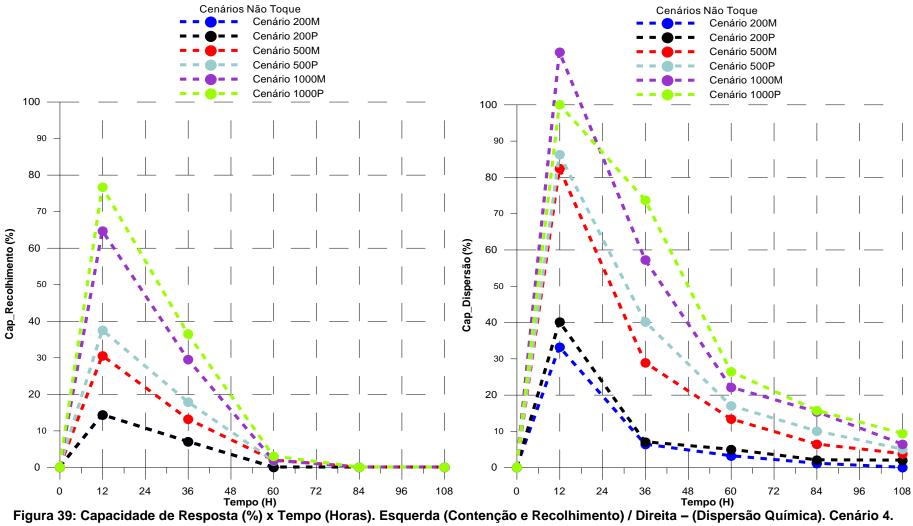
A intensidade dos ventos atuantes na mancha de óleo durante os cenários de nãotoque foram mais amenos que os ventos atuantes no cenário toque. Durante a maior
parte do tempo, os ventos mantiveram-se abaixo dos 8m/s, tendo um mínimo, no
sexto cenário, de 1,15m/s. A Figura 38 mostra que os Cenários 4 e 6 passaram boa
parte do tempo com ventos inferiores a 4m/s chegando a um máximo de 8m/s. O
Cenário 5 apresentou as maiores velocidades de uma forma geral, mas não se
diferenciando muito do encontrado no restante dos cenários.

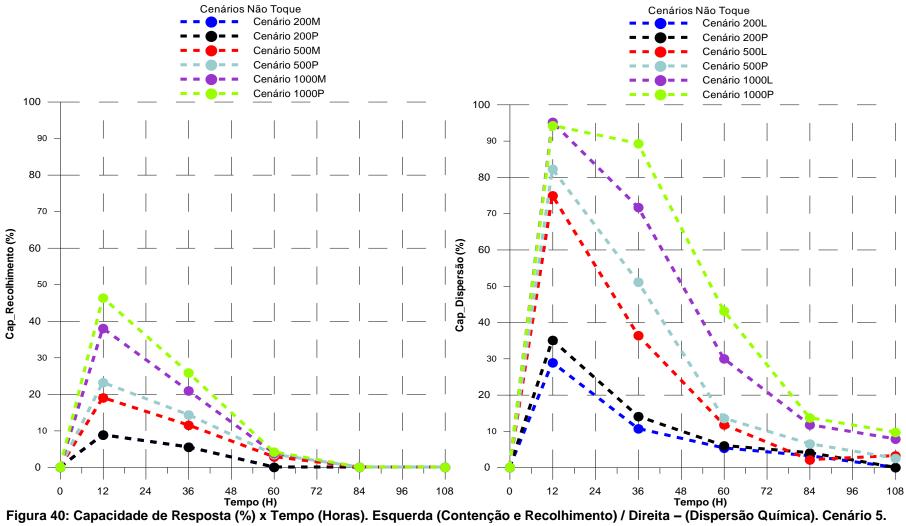
Os Cenários 4 e 5 mantiveram as velocidades mais intensas de todos os cenários simulados, incluindo os que tocaram a costa, enquanto o Cenário 6 apresentou o mais ameno. As velocidades máximas encontradas nos dois cenários chegam a 0,45 e 0,4m/s para o quarto e quinto respectivamente. O Cenário 6 mantém uma velocidade média de 0,1m/s tendo como ápice a intensidade de 0,2m/s no fim da resposta e um mínimo de 0,05m/s as 60h. Os Cenários 4 e 5 apresentaram uma velocidade mínima de 2m/s.

# 5.3.2 Capacidade de Resposta

As Figura 39 a 41mostram como se comportam as capacidades de respostas, frente às condições meteoceanográficas simuladas para os cenários em que não houve toque de óleo na costa.

É válido ressaltar que a Capacidade de Resposta calculada aborda a quantidade que se espera ser recolhida pelos skimmers ou tratada pelos dispersantes. Os Cenários 4 e 6, apresentam para os casos onde houve derrame de óleo (1000m³), valores superiores a 100%. Estes valores, portanto, significam que a capacidade de dispersão e recolhimento foi superior ao esperado em ambos os casos onde isso ocorreu.





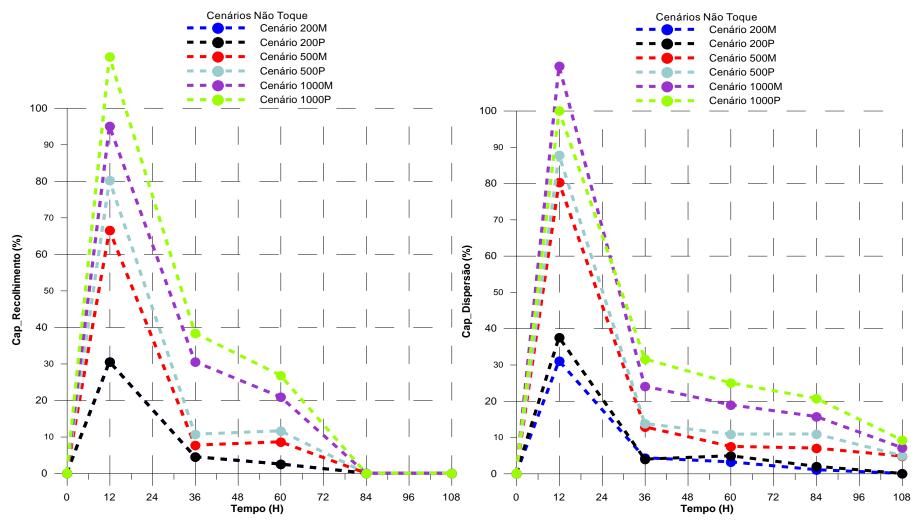


Figura 41: Capacidade de Resposta (%) x Tempo (Horas). Esquerda (Contenção e Recolhimento) / Direita – (Dispersão Química). Cenário 6.

# 5.3.2.1 Contenção e Recolhimento

## • Cenário 4

O Cenário 4 apresentou maior capacidade de resposta na primeira etapa (12h) que qualquer outro cenário em que houve o toque da mancha na costa. Nos acidentes de 200m³, uma capacidade maior que 10% fora obtida, fato este inédito entre os cenários citados até agora. Os valores apresentados para ambos os óleos foram 11% para óleo médio e 14% para óleo pesado. Para segunda etapa (36h) os valores continuaram sendo os melhores entre os cenários de toque, com valores de 6% para óleo leve e 7% para óleo pesado. A terceira etapa não apresentou volume recolhido, ou seja, 0% de capacidade de resposta.

Não diferente, o cenário com derrame de 500m³ apresentou valores maiores que os obtidos nos cenários anteriores, sendo que a capacidade de resposta chegou a 30% para óleo médio e 37% para óleo pesado, na primeira etapa da resposta (12h). A segunda etapa também apresentou significante diminuição da capacidade de resposta, chegando a 13% para óleo médio e 17% para óleo pesado. A terceira etapa apresentou valores abaixo dos 2% para ambos os óleos.

No acidente de 1000m³ o valor da capacidade de resposta encontrado para primeira etapa chega a 76% para o óleo pesado e 65% para óleo médio, comprovando mais uma vez que quanto maior o volume derramado de óleo, maior a capacidade de resposta dada pelos equipamentos de contenção e recolhimento. Esses valores encontrados novamente são superiores a qualquer cenário em que houve o toque na costa. A segunda etapa (36h) apresentaram capacidades superiores a 30% para óleo médio e 36% para óleo pesado. A terceira etapa, novamente foi a que apresentou menor capacidade de recolhimento não passando dos 4% para ambos os casos.

As condições meteoceanográficas na primeira etapa do recolhimento apresentavam ventos fracos, em torno de 4m/s, e correntes passando dos 0,40m/s. Apesar da intensidade das correntes, os valores de recolhimento foram superiores aos

encontrados anteriormente mostrando a importância dos ventos na capacidade de se contingenciar e recolher um óleo.

A segunda etapa (36h) manteve constante a velocidade das correntes e teve um pequeno decréscimo na intensidade dos ventos, chegando a 4m/s. Esta etapa também apresentou resultados melhores de recolhimento que os demais cenários até aqui citados, reforçando a importância que os ventos possuem numa resposta a um derrame. A terceira etapa há um decréscimo na velocidade das correntes, mesmo assim a capacidade de resposta fica muito reduzida chegando a 0%. Essa redução é esperada, já que o espalhamento do óleo é um dos fatores que prejudicam o recolhimento. O mesmo ocorreu no Cenário 3, onde os ventos e correntes atuando acima de 120° facilitaram o espalhamento da mancha, aumentando sua área e diminuindo sua espessura.

### Cenário 5

O Cenário 5 apresentou resultados de capacidade de resposta que o Cenário 4 para primeira etapa em todos os cenários simulados. A capacidade de resposta alcançada num derrame de 200m³, foi de 7 e 9% para óleo médio e pesado respectivamente. A segunda etapa também apresentou cenários com resultados pouco piores que o Cenário 4, atingindo um Maximo de 5% para óleo pesado e 3% para óleo médio. A terceira etapa, assim como no Cenário 4, apresentou capacidade nula.

Para um derrame de 500m³ as capacidades aumentam como nos demais cenários, ficando em torno de 19% para óleo médio e 23% para óleo pesado. Esses resultados foram inferiores aos encontrados no Cenário 4. A segunda etapa (36h) apresentou resultado levemente inferior, com capacidades próximas a 11 e 14% para respectivos óleos, médio e pesado. A terceira etapa apresenta, como no cenário de 200m³, valor inferior a 5%.

Tendo como cenário o derrame de 1000m³, os volumes recolhidos pela primeira etapa chega aos 38% para óleo médio e 46% para óleo pesado. Esse resultado é inferior ao Cenário 4 mas é superior aos cenários em que houve toque na costa. A

capacidade de resposta diminui na segunda etapa, passando a 20 e 25% do esperado para óleo médio e pesado. A terceira etapa apresentou capacidade inferior a 5%.

As condições meteoceanográficas para este Cenário apresentaram intensidades bastantes semelhantes ao Cenário 4, com velocidades de ventos em torno de 4m/s e de correntes em torno de 0,4m/s. A diferença das capacidades podem ser explicadas pela direção em que se encontrava os ventos e correntes. No Cenário 4 este se encontrava por volta de 90°, enquanto que no Cenário 5 ambos estavam na mesma direção, fazendo que com que as forças se somassem prejudicando a contenção e recolhimento do óleo.

Na segunda etapa (36h), as condições no Cenário 5 são mais amenas que no Cenário 4, quando se fala em correntes, que neste período apresentou velocidades de 0,25m/s. Já os ventos tiveram um aumento chegando próximo dos 5,5m/s. Mesmo com a diminuição das correntes, a capacidade de resposta continuou pior que no Cenário 1, evidenciando a influência dos ventos.

Na terceira etapa, as condições meteoceanográficas eram mais intensas no Cenário 5, quando se fala de ventos, chegando a 5,6m/s. Já o Cenário 4 apresentava maiores velocidades de correntes, em torno de 0,3m/s. É provável que o maior espalhamento da mancha no Cenário 4 tenha diminuído a capacidade de recolhimento em relação ao Cenário 5.

## • Cenário 6

O Cenário 6 apresentou as melhores capacidades de resposta entre todos acidentes. Na primeira etapa, para um cenário com volume de 200m³, cerca de 22% de óleo médio e 30% do óleo pesado. Na segunda etapa a capacidade de resposta fica em torno de 5% para ambos os óleos, diminuindo na terceira etapa, chegando próxima a 0%. Dos cenários que não houveram toque, este é o único que apresentou recolhimento na terceira etapa.

O derrame de 500m³ apresentou na primeira etapa, capacidade de resposta superior ao esperado de 66% para óleo médio e 80% para óleo pesado. A segunda etapa,

neste caso, apresentou capacidade de resposta ligeiramente menor que a terceira etapa, ficando com valores de 7 e 10% para óleo médio e pesado respectivamente. A terceira etapa apresentou valores de 8 e 11% do esperado para óleo médio e pesado.

Para um cenário com volume de 1000m³, ambos os óleos apresentaram capacidadde de resposta máxima na primeira etapa. Para óleo pesado, um valor superior de óleo recolhido para um skimmer de 50m³ foi alcançado. Para óleo médio essa capacidade de resposta chegou a 95%. A segunda etapa neste mesmo cenário apresentou valores superiores aos encontrados nos cenários anteriores. O óleo médio obteve capacidade de 30% e o óleo pesado, 38% do esperado. Da mesma forma a terceira etapa apresentou os maiores valores de capacidade entre todos cenários, chegando a 20% e 26% de óleo médio e pesado.

As condições meteoceanográficas presentes neste cenário apresentaram os valores mais amenos de correntes e ventos. A primeira manteve-se sempre próxima a faixa do 0,1m/s, tendo um ligeiro aumento no final das etapas de dispersão. O vento apresentou valores que variaram ao logo do tempo, mas que não passaram dos 8m/s por todo período de resposta, ficando abaixo dos 4m/s em boa parte do tempo.

Os cenários com volumes 200, 500 e 1000m³ representaram muito bem o comportamento do óleo frente às condições presentes. O primeiro apresentou capacidade de resposta superior na primeira etapa, como a maioria dos cenários, devido ao menor espalhamento da mancha. As demais etapas apresentaram capacidades de resposta inferiores, sendo a segunda etapa superior a terceira etapa.

O cenário com volume de 500m³ apresentou comportamento diferente frente às condições. A primeira etapa apresentou uma capacidade de resposta superior as demais. A segunda etapa apresentou valores abaixo dos encontrados na terceira etapa. Observando as condições de ventos e correntes, verifica-se que a segunda etapa apresentava valores mais amenos que a terceira etapa.

Uma provável causa desse resultado é devido ao Modelo OILMAP utilizar barreiras fixas, fazendo com que a força de arrasto seja menor na segunda etapa,

proporcionando então, o menor acúmulo de óleo nas barreiras, e consequentemente a menor capacidade de recolhimento.

# 5.3.2.2 Dispersão Química

## • Cenário 4

O Cenário 4 apresentou os melhores resultados na primeira etapa, entre todos cenários simulados, para os volumes de 200m³. Os valores encontrados foram de 33% para óleo médio e 40% para óleo pesado. A segunda etapa não apresentou resultados como a primeira etapa, com valores inferiores que os demais resultados, atingindo 6 e 7% do esperado, para óleo médio e pesado respectivamente. A partir da terceira etapa, a capacidade de resposta diminuiu ficando sempre abaixo dos 5% chegando próximo de 0% na quinta etapa (108h).

O cenário com volume de 500m³ também apresentou resultados superiores de capacidade de resposta entre os cenários, com 82 e 86% dos valores esperados para os óleos simulados, sendo o primeiro óleo médio e o segundo pesado. A segunda etapa apresentou resultados de 28 e 40% para óleo médio e óleo pesado, ficando abaixo dos Cenários 2 e 5 para o mesmo volume. Na terceira etapa, o volume é superior aos 10% para ambos os óleos, ficando abaixo apenas do Cenário 1, com valores de 13 e 17% do esperado. A partir da quarta etapa os valores de capacidade de respostas se mantêm abaixo de 10%, chegando a 4% para óleo leve e 5% para óleo pesado.

Para um cenário com volume de 1000m³, a primeira etapa assim como os demais cenários, apresentam valores máximos de capacidade de resposta para ambos os óleos, sendo que o óleo médio apresenta maior capacidade de resposta que o óleo pesado. Na segunda etapa este cenário volta a apresentar resultados inferiores, com 57% do esperado para óleo médio e 73% para óleo pesado, superando o Cenário 6. A terceira etapa apresenta capacidade de recolhimento superiores a 20%. Na quarta etapa, 15% foi a capacidade de resposta para ambos os óleos. A quinta etapa apresentou resultados de 6 e 9% do esperado para óleo médio e pesado.

O Cenário 5 apresentou resultados inferiores de dispersão química entre todos os cenários, na primeira etapa, para os cenários com volumes de 200m³. Apesar do resultado, este manteve-se muito próximo do encontrado nas etapas anteriores, com capacidades de 28 e 35% do esperado para óleo médio e pesado. A segunda etapa apresentou valores similares aos Cenários 1, 2 e 3, com capacidades de 10 e 14%. A partir da terceira etapa os valores se tornam baixos (6%), chegando a 0 na quinta etapa.

Para o cenário com volume de 500m³, os resultados não são superiores a primeira etapa (12h), onde sua capacidade de resposta fica por volta 70% para óleo médio e 80% para óleo pesado. Na segunda etapa, seus valores se tornam superiores aos demais cenários mantendo-se acima dos 36% para óleo médio e dos 50% para óleo pesado. Na terceira etapa, as capacidades já se tornam semelhantes entre os cenários, com resultados próximos de 10% do esperado, chegando a 3% para quinta etapa.

O acidente com derrame de 1000m³ alcança a proximidade de 100% de capacidade de resposta. A segunda etapa, assim como no derrame de 500m³, alcança a melhor capacidade dentre os cenários simulados, com resultados acima dos 71% para óleo médio e 89% para óleo pesado. A terceira etapa também apresentou resultados superiores, com valores de 30% para óleo médio e 43% para óleo pesado. A quarta e quinta etapa a capacidade de resposta apresentou valores próximos a 10%.

### Cenário 6

O cenário 6, se comportou de forma parecida com os demais cenários quando se trata da primeira etapa, para um cenário acidental de 200m³, com valores próximos a 30 e 40% do esperado para óleo médio e pesado respectivamente. A partir da segunda etapa sua capacidade de resposta decai, obtendo resultados inferiores entre os demais cenários, com valores de 4% para óleo médio e pesado. Na terceira etapa os valores anteriormente citados se mantém chegando eficiência nula na quinta etapa.

O volume de 500m³ não foi diferente. Com capacidade de resposta na faixa dos 80% para óleo médio e 87% para óleo pesado, este cenário obteve o de melhor resultado entre os cenários na primeira etapa. A partir da segunda etapa, a capacidade deste cenário decresce ficando abaixo dos demais, com valores próximos a 10% com ambos os óleos. Após a terceira etapa, a capacidade de resposta se torna inferior aos 10%, chegando a 4% do esperado na quinta etapa.

Para um derrame de 1000m³, a capacidade de resposta máxima é atingida e o óleo médio tem resultado superior ao óleo pesado, superando as expectativas do volume tratado. A segunda e a terceira etapa mantêm os piores resultados obtidos, colocando-se bem abaixo dos cenários restantes. Os valores de capacidade de resposta ficam próximos dos 24 e 31% do esperado para segunda etapa, e 18 e 24% para terceira etapa, para óleo médio e pesado respectivamente. A quarta e quinta etapa apresentam valores que não se diferenciam muito entre os diferentes óleos, com valores próximos a 20 e 10% respectivamente.

# 5.4 Resultados Obtidos pelo Modelo Fuzzy

Esta seção apresenta os resultados fornecidos pelo Modelo Fuzzy para os Cenários de Contenção e Recolhimento, para óleo médio e pesado (Figura 42 a 61).

Os gráficos a seguir apresentam a capacidade de resposta fornecida pelo Modelo Fuzzy juntamente com os resultados obtidos pelo Modelo OILMAP no intuito de uma melhor visualização e comparação dos resultados. Nas apresentações separadas em óleo médio e pesado, portanto, não há distinção entre os cenários que atingem a costa daqueles que não atingem.

O Cenário 3 foi excluído dos resultados apresentados nesta seção. Isso aconteceu, pois este apresentou uma situação diferenciada do restante dos cenários, com a quebra (bipartição) da mancha de óleo, após as 36h de simulação.

Essa quebra fez com que os valores de contenção, recolhimento e dispersão, ficassem alterados de tal forma, que as regras impostas ao Modelo Fuzzy não funcionassem de maneira apropriada como nos demais cenários apresentados.

# 5.4.1 Resultados do Modelo Fuzzy para Óleo Médio.

# • Cenário 1

Os cenários são apresentados do menor para o maior volume, sendo as Figura 42 e 43, aquelas obtidas para o Cenário 1.

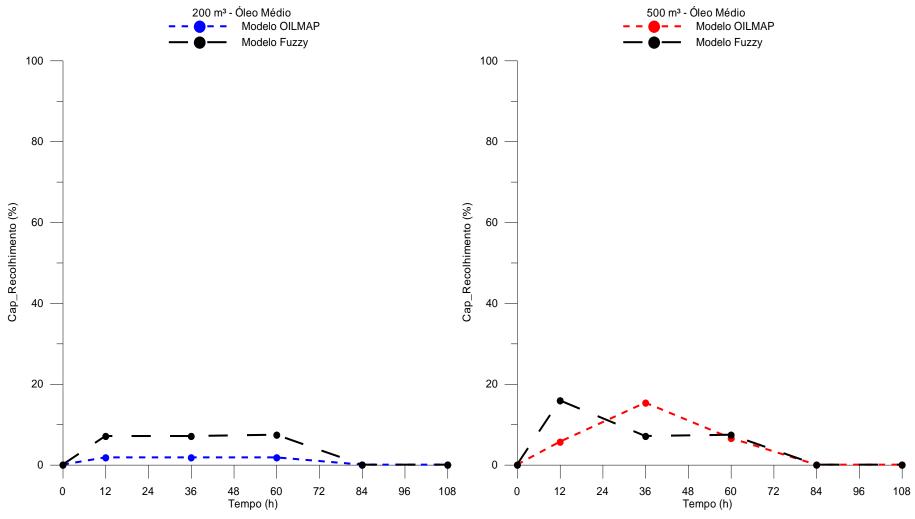


Figura 42: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 1 – 200m³); Direita (Cenário 1 – 500m³).

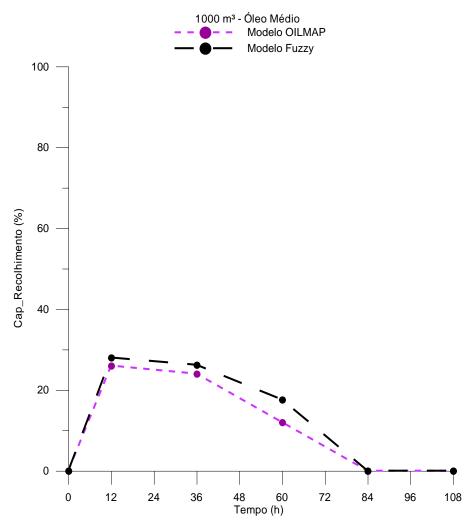


Figura 43: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Cenário 1 – 1000m³.

O cenário 1 apresentou respostas bastantes parecidas em ambos modelos, com destaque ao Cenário com derrame de 1000m³. Neste é possível observar que o Modelo Fuzzy acompanhou de forma adequada, mesmo que superestimando levemente, a queda nas eficiências apresentadas pelas estruturas de contenção e recolhimento ao longo do tempo.

O cenário com derrame de 200m³ foi o que menos apresentou semelhança para este caso, pois os valores mínimos do Modelo Fuzzy não alcançam os valores mínimos do Modelo OILMAP, devido à forma como o Modelo Fuzzy representa seus grupos, de forma aproximada à realidade, e não fixa como os modelos booleanos.

O cenário com 500m³, também apresentou aproximação entre os resultados obtidos. Apesar da curva obtida pelo Modelo Fuzzy não acompanhar de forma precisa a curva obtida pelo Modelo OILMAP, esta representa de forma adequada as capacidades de respostas encontradas.

### Cenário 2

A capacidade de resposta obtida pelo Modelo Fuzzy no Cenário 2 foi compatível com os resultados apresentados pelos Modelo OILMAP. Para o derrame de 200m³ (Figura 44), ocorre novamente, um superestimativa nos resultados encontrados, porém, nada que desqualifique o resultado obtido. É possível observar na Figura 44 que a curva do Modelo Fuzzy acompanha o curva do Modelo OILMAP.

Para um derrame de 500m³ (Figura 44), acontece o contrário, há uma superestimativa do Modelo Fuzzy em relação ao Modelo OILMAP. Mesmo assim, os valores encontrados apresentam semelhanças. Ao observar as curvas consegue-se perceber a mesma tendência ao longo do tempo.

Num acidente de 1000m³ (Figura 45), o Modelo Fuzzy também conseguiu estimar a capacidade de resposta das estruturas de contenção e recolhimento. Neste caso há uma leve subestimada do Modelo Fuzzy em relação ao Modelo OILMAP na capacidade de recolhimento nas 36 horas da resposta.

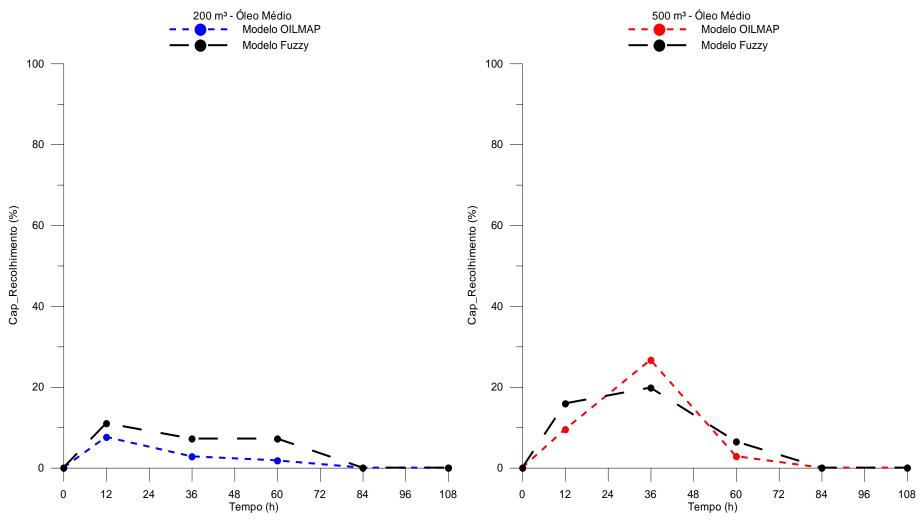


Figura 44: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 2 – 200m³); Direita (Cenário 2 – 500m³).

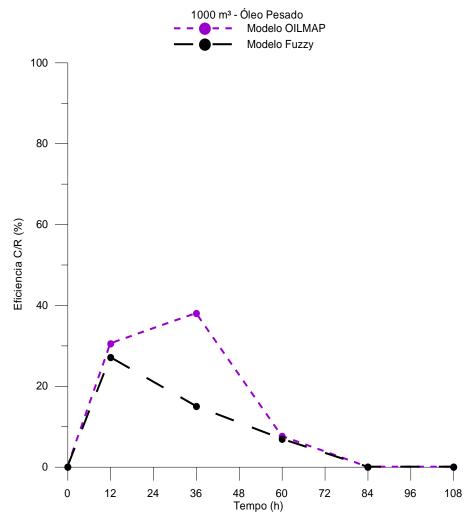


Figura 45: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Cenário 2 – 1000m³.

O Cenário 4 (Figura 46 e 47) apresentou valores bem próximos dos encontrados no Modelo OILMAP, mantendo assim resultados parecidos em ambas modelagens. O derrame de 200m³ não acompanhou a curva devido ao Modelo Fuzzy não apresentar valores inferiores a 6%, o que provocou uma pequena superestimação do volume recolhido na segunda e etapa.

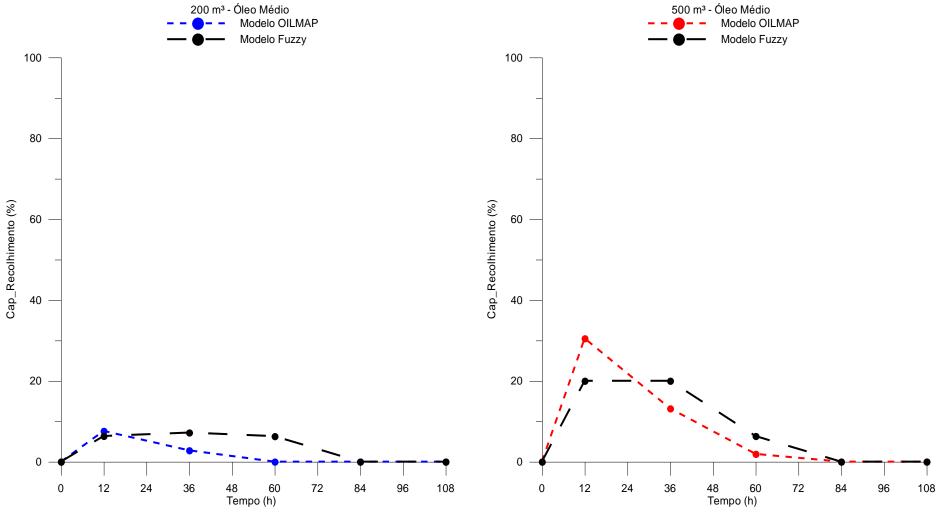


Figura 46: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 4 – 200m³); Direita (Cenário 4 – 500m³).

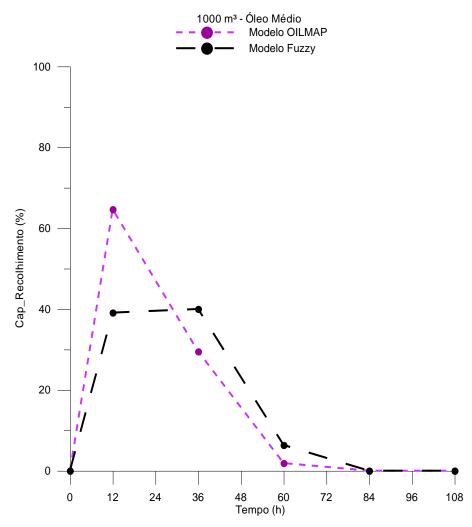


Figura 47: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Cenário 4 – 1000m³.

Já o cenário com derrame de 500m³ apresentou cerca de 10% menos de capacidade de resposta na primeira etapa de contenção e recolhimento. O volume de 1000m³ se comportou de mesma forma, porém com um erro mais acentuado, que chega cerca a de 22%. Esses erros se dão devido à direção dos ventos e correntes presentes no momento do combate a mancha, já que no cenário seguinte (Cenário 5), as condições presentes de correntes e ventos eram semelhantes, porém, com direções diferentes.

As duas etapas seguintes para estes volumes mostraram maior coerência entre os resultados.

O Cenário 5 (Figura 48 e 49), assim como os demais, apresentaram resultados semelhantes. O volume de 200m³ com uma pequena superestimada na segunda e terceira etapas. O cenário com derrame com 500m³ o erro se mostra mais aparente às 36h do derrame, mesmo assim, os valores alcançados para ambos os casos mostram coerência entre os dados.

O derrame de 1000m³ também apresentou estas mesmas características, bons resultados na primeira etapa e pequeno erro nos demais, sem prejudicar a qualidade destes.

### Cenário 6

O Cenário 6 (Figura 50 e 51) apresentou ótimos resultados, com coerência em todas as etapas da contenção e recolhimento. Os valores obtidos através do Modelo fuzzy representaram muito bem a curva de capacidade de resposta. Vale lembrar que este cenário foi aquele proporcionou os maiores valores de capacidade de resposta e os menores valores de correntes e ventos.

É valido destacar o cenário com derrame de 1000m³. Os resultados encontrados entre ambos os modelos mostram a capacidade que a Lógica Nebulosa possui de auxiliar numa tomada de decisão. Outro fato que tem que se atentar é a rapidez e facilidade para se obter este resultado.

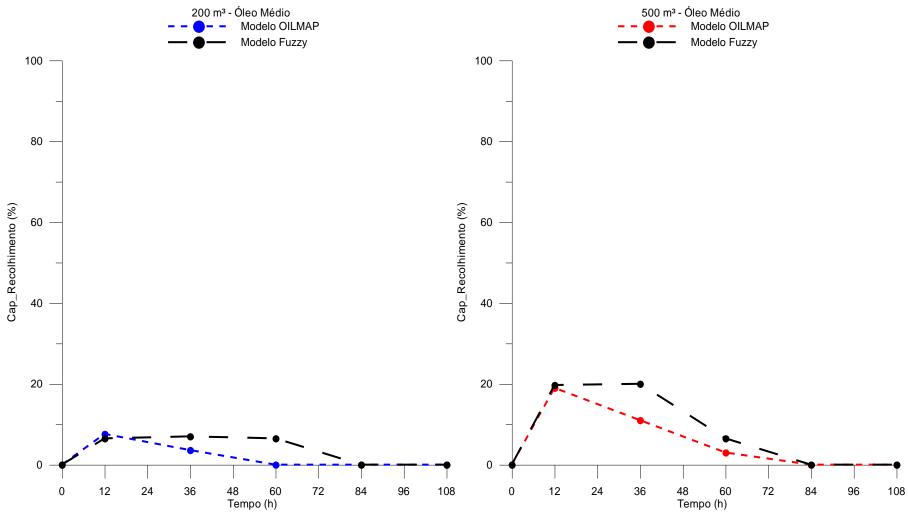


Figura 48: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 5 – 200m³); Direita (Cenário 5 – 500m³).

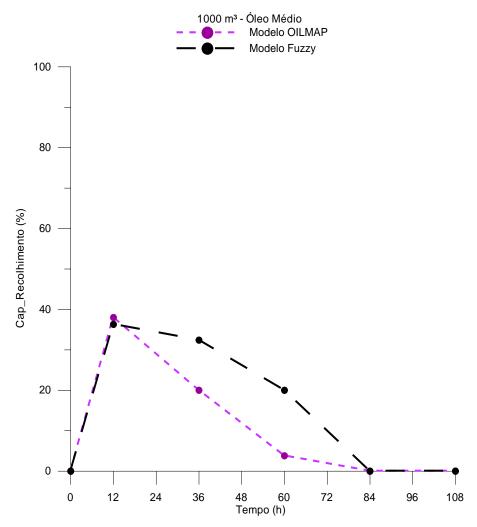


Figura 49: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Cenário 5 – 1000m³.

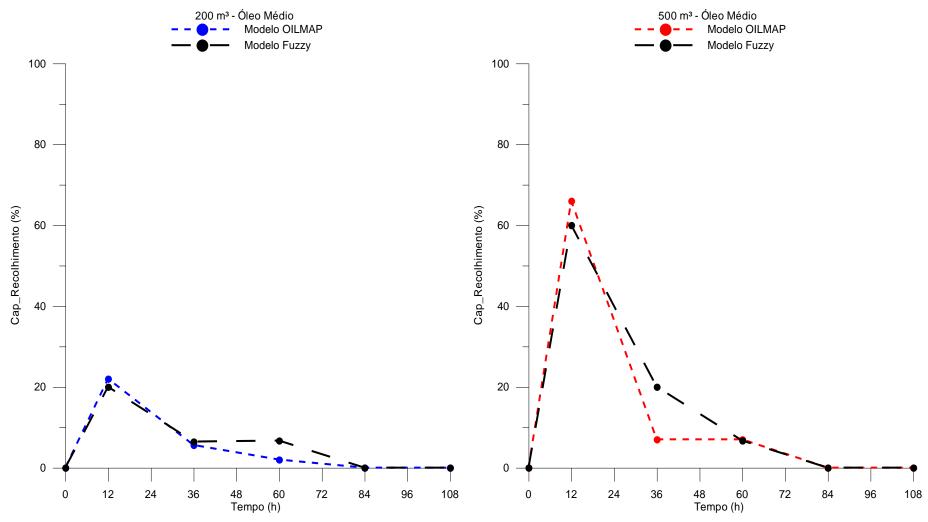


Figura 50: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 6 – 200m³); Direita (Cenário 6 – 500m³).

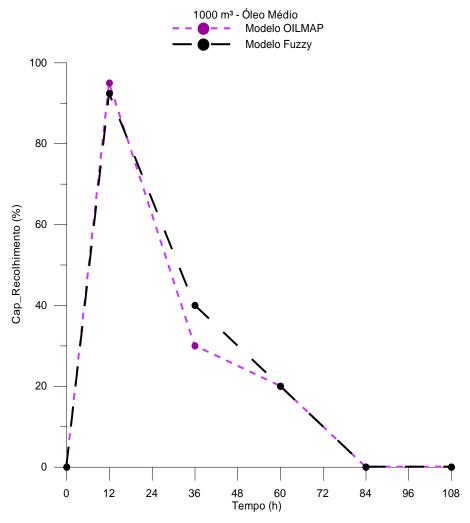


Figura 51: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Cenário 6 - 1000m³.

# 5.4.2 Resultados do Modelo Fuzzy para Óleo Pesado

Nos derrames com óleo pesado o Modelo Fuzzy apresenta resultados semelhantes quando comparados ao do Modelo OILMAP. Na maioria dos casos a Lógica Fuzzy conseguiu acompanhar a diminuição da capacidade de resposta ao longo do tempo e forneceu valores condizentes com os fornecidos pelo Oilmap.

O Cenário 3, devido aos problemas citados anteriormente, ficou de fora da análise destas hipóteses acidentais.

As Figura 52 e 53 mostram como se comportaram a capacidade de resposta dos recolhedores de óleo durante as mesmas condições apresentadas em ambos os modelos. Para um acidente de 200m³, a capacidade de resposta calculada é levemente superestimada pelo Modelo Fuzzy.

Essa equidade nos resultados do Modelo Fuzzy reflete sua capacidade mínima de resposta, pois independente do tempo, são as condições meteoceanográficas que determinam, neste caso, a capacidade de resposta.

Para o derrame de 500m³, o Modelo Fuzzy conseguiu representar a situação ocorrida no Modelo OILMAP. Na primeira etapa (12h) há uma pequena diferença nos resultados, porém, com grande similaridade. As duas etapas seguintes (36, 60h) mostram como o Modelo Fuzzy consegue acessar a capacidade de resposta. O cenário de 1000m³ também se comporta da mesma forma.

### Cenário 2

Neste cenário, representado pelas Figura 54 e 55, acontecem para os cenários com volumes 200m³ e 500m³, uma superestimativa, por parte do Modelo Fuzzy, em todas etapas (12, 36 e 60h). Mesmo assim os valores de encontrados apresentam grande semelhança.

O derrame de 1000m³ não superestimou o resultado apenas da segunda etapa (36h) mas com valores próximos em ambos os modelos.

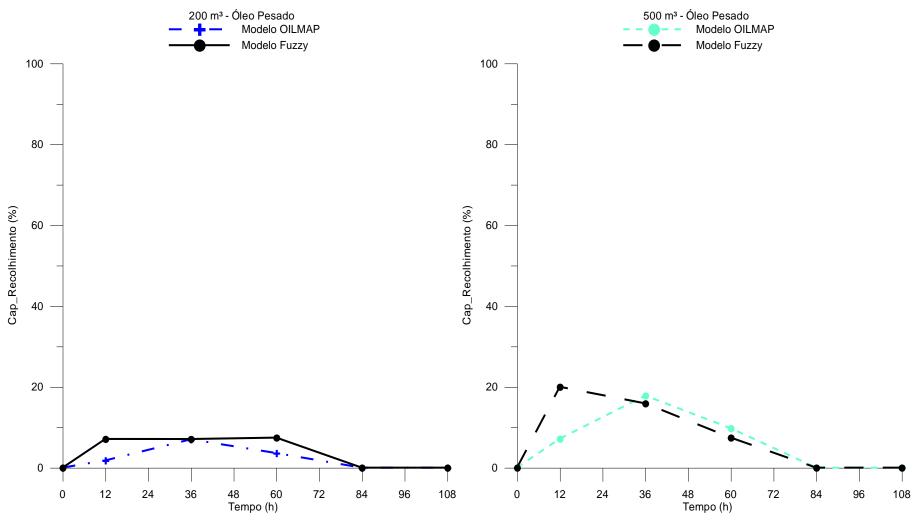


Figura 52: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 1 – 200m³); Direita (Cenário 1 – 500m³).

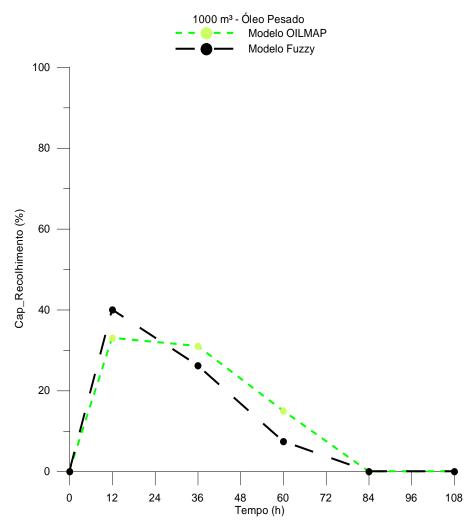


Figura 53: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Cenário 1 – 1000m³.

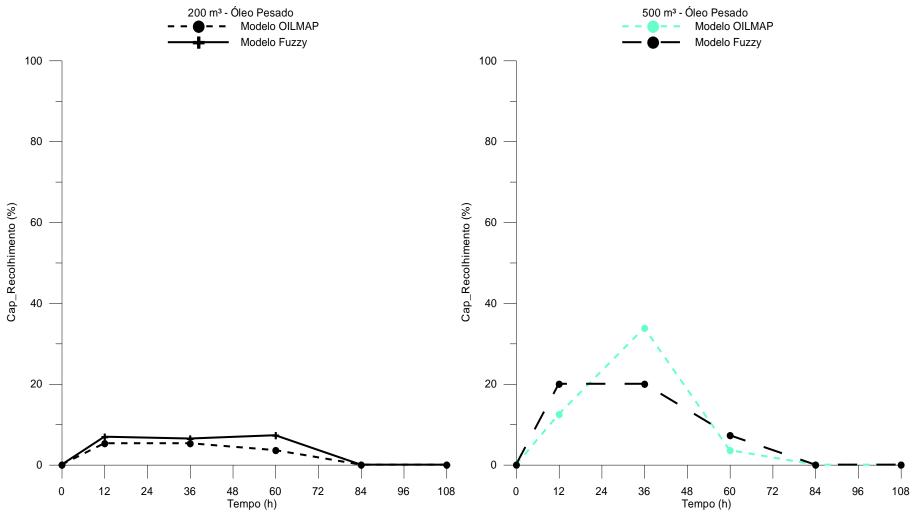


Figura 54: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 2 – 200m³); Direita (Cenário 2 – 500m³).

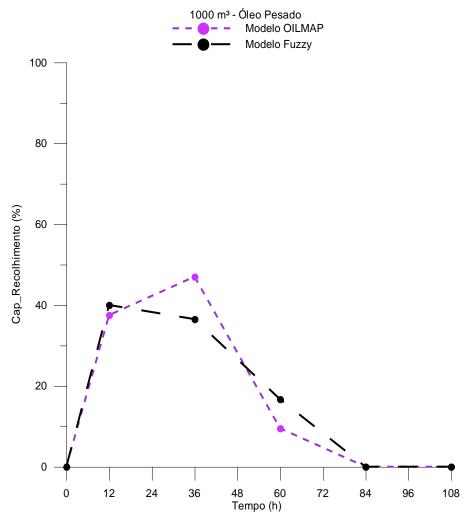


Figura 55: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Cenário 2 - 1000m³.

Dos cenários analisados, o quatro foi aquele mais se diferenciou dos demais. Isso ocorre muito pela combinação das regras utilizadas. Este cenário apresenta grande semelhança de correntes e ventos com o Cenário 5, porém com resultados diferentes. Uma explicação possível é a diferença entre as direções apresentadas pelos ventos e correntes, caso que não foi contemplado neste modelo.

Apesar das diferenças, os valores apresentados ainda continuam similares entre os modelos como mostram as Figura 56 e 57.

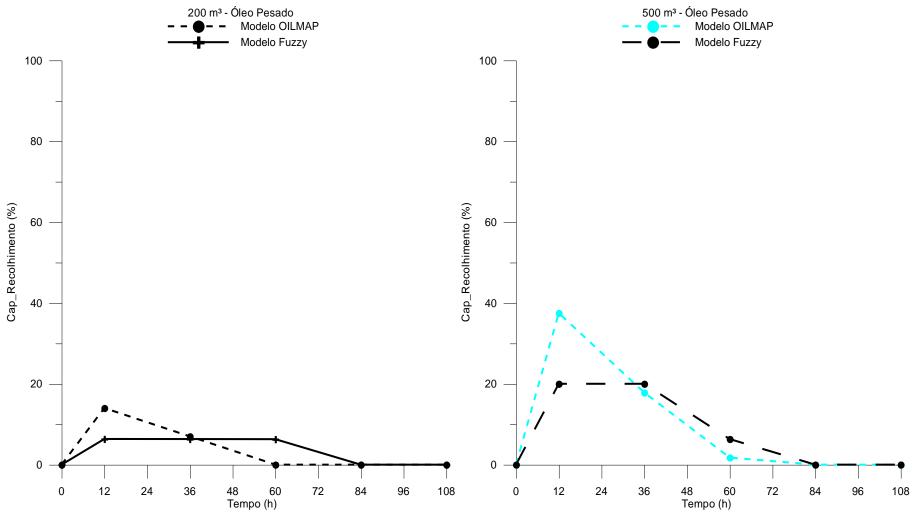


Figura 56: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 4 – 200m³); Direita (Cenário 4 – 500m³).

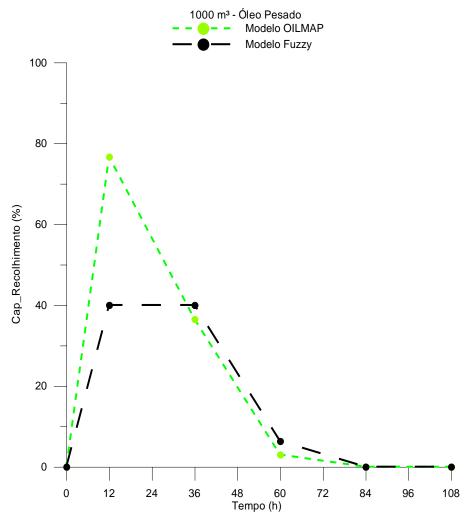


Figura 57: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Cenário 4 – 1000m³.

## Cenário 5

O Cenário 5 mostrou bons resultados condizentes entre ambos os modelos. A segunda etapa (36h) foi a que mais apresentou diferenças, principalmente, nos volumes 500 e 1000m³, mesmo assim estes valores representaram bem a capacidade de resposta.

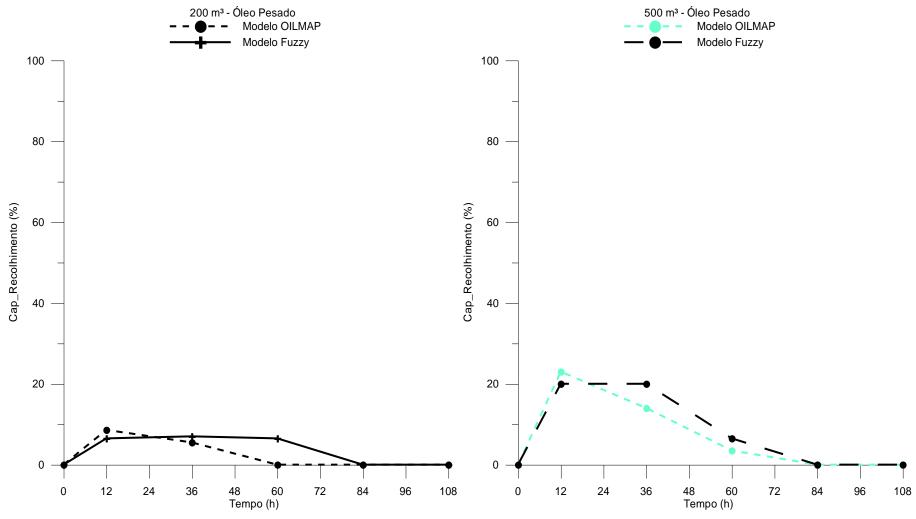


Figura 58: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 5 – 200m³); Direita (Cenário 5 – 500m³).

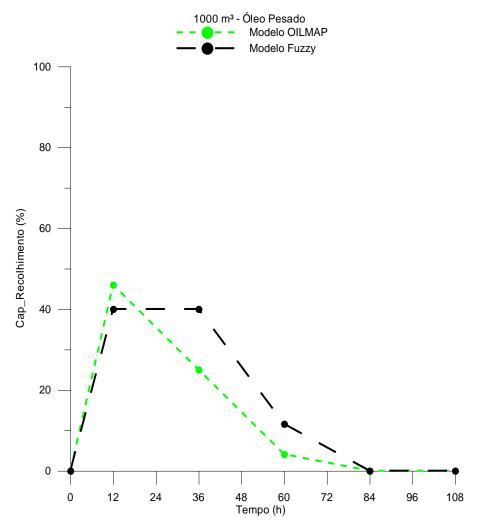


Figura 59: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Cenário 5 – 1000m³.

## Cenário 6

Este cenário (Figura 60 e 61) apresentou novamente os melhores resultados. Os valores fornecidos pelo Modelo Fuzzy apresentam grande semelhança com os obtidos pelo Modelo OILMAP.

Uma diferença percebida para o volume de 1000m³, que apresenta capacidade de resposta superior aos 100%, ou seja, recolheu uma quantidade superior ao esperado. Este fato não consegue ser percebido pelo Modelo Fuzzy devido à sua limitação máxima, que por mais baixas que sejam as condições meteoceanográficas e o tempo de resposta, esta não fornece uma capacidade de resposta igual a 100%.

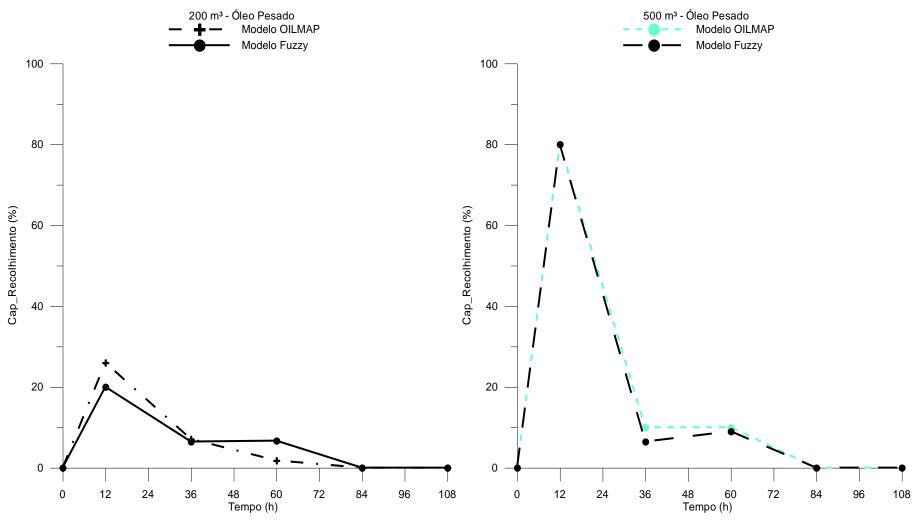


Figura 60: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Esquerda (Cenário 6 – 200m³); Direita (Cenário 6 – 500m³).

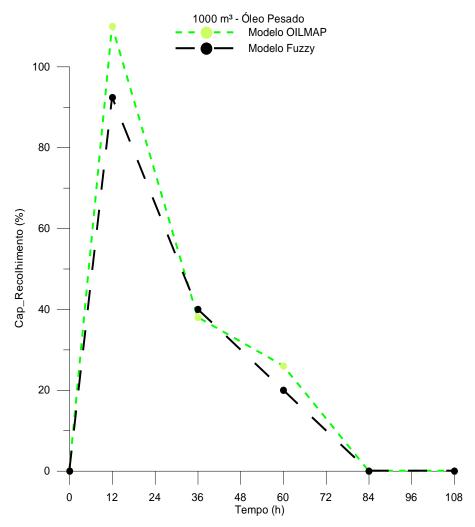


Figura 61: Comparação de resultados obtidos por ambos os modelos. Cenário 5 – 1000m³.

Assim, em geral observou-se que as variáveis vento e corrente possuem grande importância nos resultados obtidos pelo Modelo OILMAP, sendo que quanto mais ameno melhor a capacidade de recolhimento dos equipamentos de contenção e recolhimento. Já para dispersão química, os valores mais acentuados destas variáveis melhoraram a capacidade de dispersar o óleo da superfície do mar.

Dos 6 cenários simulados, 3 tocam a costa e 3 não tocam a costa. Nos cenários que tocam a costa, os ventos apresentam velocidades mais intensas e direções predominantemente *E*. A intensidade de correntes para esses casos apresenta-se mais amena, por isso a dominância do vento.

O tempo de resposta é outra variável muito importante para que a maior quantidade de óleo seja retirado ou disperso da superfície do oceano, pois quanto mais se espalha a mancha, maior é a dificuldade de ação por parte das equipes de resposta. Um exemplo foi que a partir do terceiro dia, poucos cenários tiveram uma capacidade de resposta superior a 10% do esperado, chegando à zero para cenários com volume de 200m³.

Os resultados obtidos mostraram que adiantamento da resposta em 6 horas se mostrou muito importante, com resultados que muitas vezes superam a adição de Formações para combater o óleo. Os cenários que obtiveram o menor volume de óleo derramado chegando à costa foram, em sua maioria, aqueles que tiveram o uso de dispersante químico.

Volume e tipo de óleo derramado também tiveram seu papel na quantidade de óleo que se retira do mar. Derrames com maiores volumes apresentam maior capacidade de recolhimento e dispersao, salvo casos onde a velocidade de ventos foi tão intensa que essa característica não fez diferença. No entanto, foi possível observar que quanto maior o volume de óleo derramado, menor foi à diferença entre a capacidade de resposta de um óleo médio e pesado.

O Modelo Fuzzy apresentou respostas similares aos obtidos pelo Modelo OILMAP, onde a combinação das variáveis apresentadas é feita por semelhança e de acordo com as respostas dadas pelo Modelo OILMAP. A elaboração das regras se deu de maneira simples. Porém, deve-se tomar o cuidado com o número de variáveis a se combinar, pois cada variável adicionada ao Modelo Fuzzy gera novos conjuntos de novas regras, que pode dificultar a Modelagem Fuzzy.

O não uso da direção dos ventos e correntes na Modelagem Fuzzy se fez sentir em alguns cenários, fazendo com que as respostas obtidas pelo Modelo Fuzzy fossem até certo ponto prejudicadas.

O Cenário 3, por ter apresentado separação da mancha de óleo em duas partes, causou prejuízo na capacidade de resposta da contenção e recolhimento, que não foi sentido pelas regras no Modelo Fuzzy. Apesar de não abranger os cenários em sua totalidade, os demais cenários apresentam valores compatíveis, na sua maioria, entre ambos os modelos com desvios médios de 11%.

# 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O Modelo OILMAP conseguiu representar os casos com diferentes parâmetros de entrada obtendo respostas que serviram de base para montagem do Modelo Fuzzy, sendo que na maioria dos casos a dispersão foi responsável pela menor quantidade de óleo chegando a costa.

A variáveis que mais influenciaram nos resultados obtidos foram tempo de resposta, intensidade de ventos e correntes, tipo de óleo e volume derramado.

O Modelo Fuzzy, através de sua base de regras, obteve respostas que foram semelhantes às fornecidas pelo Modelo Oilmap. A quantidade de regras necessárias variam de acordo com o numero de variáveis necessárias para representar o problema, sendo que quanto maior a quantidade de variáveis maior a complexidade na montagem dessa base.

A Lógica Fuzzy se mostrou como uma alternativa para auxiliar no combate a derrame de óleo, pois apresenta respostas rápidas, o que é de grande importância em um ambiente onde a tomada de decisão, como é o caso de um derrame de óleo.

Recomenda-se aqui que para obter resultados que abranjam mais cenários e diferentes condições, deve-se adicionar questões como direção do vento e corrente, além de casos onde há divisão da mancha, tomando-se sempre o cuidado de não extrapolar o número de variáveis, o que torna o trabalho mais árduo.

Percebeu-se que quanto mais subconjuntos formados dentro das variáveis lingüísticas, maiores são as chances de se "mapear" e obter melhores resultados, porém, esta decisão, aumenta o esforço e pode provocar resultados negativos, devido ao aumento do número de regras, pois a capacidade humana de lidar com variáveis são limitadas e seu aumento pode provocar complicações.

Abordar situações como deslocamento da mancha, área e espessura também são formas de se auxiliar na tomada de decisão.

Por último, recomenda-se que além da ajuda de especialistas para montagem de modelos baseados no conhecimento, utilizem-se algoritmos de otimização que conseguem automatizar graus de pertinência adequando de maneira mais eficaz o resultado obtido pelo Modelo Fuzzy.

### 7 REFERENCIAS

BARNEA, N. Health and Safety Aspects of In-situ Burning of Oil. Seattle. 1996.

BOCLIN, A. S. C; MELLO, R. A decision Support method for environmental impact assessment using a fuzzy logic aprroach. **Ecological Economics**. Brasil, v. 58, p. 170 – 181, Brasil, 2005.

BURGHERR, P. In-depth analysis of accidental oil spills from tankers in the context of global spill trends from all sources. Journal of Hazardous Materials. Canada,2006. v.140, p. 245 – 256.

CARDOSO, A. M. Sistema de Informações para Planejamento e Resposta a Incidentes de Poluição Marítima por Derramamento de Petróleo e Derivados. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, UFRJ, 2006.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução n° 398, de 11 de junho de 2008. Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, originados em portos organizados, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares, e orienta a sua elaboração. Ministério do Meio Ambiente, Brasilia, 11 jun. 2008. Seção 1, p.1.

DUQUE, W. O. et. al. Assessing water quality in rivers with fuzzy inference systems: A case study. Environment International. Tarragona. 2006. v.32, p.733–742.

EPA. Understanding Oil Spills and Oil Spill Response: The Behavior and Effects Of Oil Spills In Aquatic Environments. 2005.

FATE OF MARINE OIL SPILL. Technical Information Paper. London: ITOPOF. v.1, n. 2, 2002.

FERNANDES, R. M. **Modelação de Derrames de Hidrocarbonetos.** 2001. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura de Engenharia do Meio Ambiente) – Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2001.

FERREIRA, J.P. Análise de estratégias de resposta a derramamento de óleo pesado no litoral do Espírito Santo utilizando modelagem computacional. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFES, 2006.

FILHO, A. M. S. et al. Estado da Arte Internacional de Planos Nacionais de Combate a Incidentes de Derramamento de Óleo. In: SMEP, 5, 2006. **SEMINAR ON MARINE ENVIRONMENT PROTECTION**, 2006.

FILHO, A. M. S. Planos Nacionais de Contingência para atendimento a derramamento de óleo: análise de países representativos das Américas para implantação no caso do Brasil". Dissertação de Mestrado, Programa de Pós – Graduação em Ciências em Planejamento Ambiental, UFRJ, 2006.

FINGAS, M. F. A literature review of the physics and predictive modeling of oil spill evaporation. Journal of Hazardous Materials, Canada, 17 fev. 1995. 42. p 157 – 175.

FINGAS, M. F. The Basics of Oil Spill. 2 ed. Canada: CRC Press, 2000.

FIOCCO, R.J. LEWIS, A. Oil spill dispersants. Pure Appl. Chem. Great Britain. 1999. v.71, n.1, p. 27-42.

GARCIA, K. et al. Lógica Nebulosa e a Modelagem Computacional do Nível de Resposta aos Incidentes de Derramamento de Petróleo no Brasil. In: Cilamce, 17, 2006, Belém. Proceedings of the XXVII Iberian Latin American Congresso n Computacional Methods in Engineering, Belém, 2006.

GIORDANO, R. et al. Cognitive Models for Adaptive Monitoring System. In:International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications, 1, 2007. Bari. Water Research Institute. Italy. 2007.

GONZÁLES, B. et al. A Fuzzy logic approach for the impact assessment in LCA. **Resoucers, Conservation and recycling.** Asturias, v.37, p. 61 – 79, 2002.

ICAGA, Y. Fuzzy evaluation of water quality classification. Ecological Indicators. Afyon. 2006. v.7, p. 710–718.

IAKOVOU, E. et al. A Synthesis o Decisions Model for Analisys, Assessment, and Contingency Planning for Oil Spill Incidents. **Omega, Int. J. Mgmt, Sci.** Miami, v. 22, n. 5, p. 487 – 470, 1994.

JANÉ, D. A. UMA INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA LÓGICA FUZZY. Revista de Humanidades e Ciências Sociais Aplicadas. Ourinhos. 2008. n.02, p. 1 – 16.

KROHLING, R. A.; RIGO, D. Tomada de decisão em grupo com múltiplos critérios baseado em lógica fuzzy: Uma aplicação no gerenciamento de resposta ao derrame de óleo. In: Rio Oil & Gás Expo and Conference, 1, 2008. Rio de Janeiro. **Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Bicombustíveis,** Rio de Janeiro, 2008.

LIU, X.; WIRTZ, K. W. Consensus oriented fuzzified decision support for oil spill contingency management. **Journal of Hazardous Materials.** 2005. Oldenburg, v. 134, p. 27 – 35.

LIMA, C. J. T. Processo de Tomada de Decisão em Projetos de Exploração e Produção de Petróleo no Brasil: Uma Abordagem Utilizando conjuntos Nebulosos. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências em Planejamento Energético, UFRJ, 2003.

MATLAB, 2007. Fuzzy Logic Toolbox 2: User's Guide. Mathworks, v. 2, p. 299. 2007.

NOAA (1996). National Oceanic and Atmospheric Administration. Aerial Observations of Oil at Sea. Seattle. 1996.

OZESMI, U.; OZESMI, S. L. Ecological models based on people's knowledge: a multi-step fuzzy cognitive mapping approach. **Ecological Modelling.** 2003. Kayseri, v. 176, p. 43 – 64.

PALADINI, E. E. Modelagem Matemática e Simulação Numérica de Derrames de Petroleo no Mar. Abr. 2000. 107p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2000.

PAULA, E. M. S.; SOUZA, J. N. Lógica Fuzzy como técnica de apoio ao Zoneamento Ambiental. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIII, 2007. Florianópolis. Instituto Espacial de Pesquisas Científica, Santa Catarina, 2007.

PEREIRA, R. C; GOMES, A. S. **Biologia Marinha**. Rio de Janeiro: Interciencia, 2002.

PHILLIS, Y. A; ANDRIANTIATSAHOLINIAINA. L. A. Sustainability: an ill-defined concept and its assessment using fuzzy logic. Ecological Economics. 2000. v.37, p. 435–456.

PINHO, A. F. Uma contribuição para a resolução de problemas de programação de operações em sistemas de produção intermitentes flow-shop: A consideração de incertezas. Dissertação (Mestrado em Engenharia) — Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 1999.

QIN, Z; LAWRY, J. Decision tree learning with fuzzy labels. Information Sciences. 2004. v. 172, p. 91 – 129.

REED, M. et al. Oil Spill Modelling towards the Close of 20<sup>th</sup> Century: Overwiew of the State of Art. **Spill Science & Technology Bulletin.** Trondheim, v.5, n.1, p. 3-16,1999.

SANTOS, A. H. et al. Aplicação da Lógica Fuzzy na Classificação do Clima no Estado de Minas Gerais com Base na variação Espacial da temperatura e precipitação Pluvial. 2006.

SEBASTIAO, C.; SOARES, G. S. Modeling the Fate of Oil Spills at Sea. **Spill Science & Technology Bulletin**. Lisboa, v.2, n. 2/3, p. 121- 131, 1995.

SEBASTIAO, C.; SOARES, G. S. Uncertainty in predictions of oil spill trajectories in open sea. **Ocean Engeneering.** Lisboa, v.34, p. 576 – 584, 2007.

SUCHANEK, T. H. (1993). Oil impacts on marine invertebrate populations and communities. American Zoology 33 (6): 510–23.

TEIXEIRA, M. G. et al. Concepção de um modelo fuzzy de tomada de decisão para a seleção e a avaliação de projetos de responsabilidade socioambiental (RSA). In: Cilamce, 18, 2007, Portugal. **Iberian Latin American Congresso n Computacional Methods in Engineering**, Portugal, 2007.

VIEIRA, J. A. R; SOUZA, F. A. M. Investigando o Deslocamento do Derramamento do Óleo no Mar por um Modelo de regressão. In: PDPETRO, 4, 2007, Campinas. 2007.

WONG, K. V. BARIN, E. Oil Spill Containment by a Flexible Boom System. Spill Science & Technology Bulletin. Miami, 2003. v.8, n. 5–6, p. 509–520.

ZADEH, L. A. Fuzzy Logic. Computer Sciences. 1988. v.1, p. 83–92.

ZADEH, L. A. Fuzzy logic = computing with words. IEEE Transaction on Fuzzy Systems. 1996. v. 2, p. 103–111.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. Information and Control. V. 8: 338-353, (1965).

ZADEH, L. A. Is there a need for fuzzy logic? Information Sciences. 2008. v.178, p. 2751–2779.

ZADEH, L. A. Soft Computing and Fuzzy Lógica. IEEE Transaction on Fuzzy Systems. 1994. v. 1, p. 46 – 56.

ZADEH, L. A. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-I. Information Sciences. 1975. v. 8, p. 199 – 249.

ANEXO A

Tabela 23: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 2.

### Óleo médio/200m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0	2,45	54,2	43,35	0	0
Ref.	0	3	51,35	42,8	2,85	0
Ref. x 2	0	4,15	46,8	41,65	7,4	0
Ref. x 3	0	4,15	44,5	41,65	9,7	0
Ref. + 108h	0	1,3	50,2	42,8	2,85	2,85
Ref. + 84h	0	3	46,8	42,8	2,85	4,55
Ref. + 60h	0	4,75	45,05	42,2	2,3	5,7
Ref. + 36h	0	5,9	38,2	41,05	1,15	13,7
Disp. Exclusiva	0	8,75	29,1	38,2	0	23,95
Ref6h	0	3,05	49,05	42,2	5,7	0
Ref. x 2 -6h	0	4,75	45,05	41,05	9,15	0

Tabela 24: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 2.

## Óleo pesado/200m³

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0	1,1	73,25	25,65	0	0
Ref.	0	1,55	69	25,15	4,3	0
Ref. x 2	0	3,2	63,1	24,6	9,1	0
Ref. x 3	0	3,75	60,45	24,05	11,75	0
Ref. + 108h	0	1,05	67,9	25,15	4,3	3,75
Ref. + 84h	0	1,6	63,65	25,15	4,3	7,5
Ref. + 60h	0	2,15	61,5	25,15	3,2	8
Ref. + 36h	0	3,25	52,4	24,05	1,6	18,7
Disp. Exclusiva	0	7,5	39,55	21,4	0	31,55
Ref6h	0	1,6	66,85	24,6	6,95	0
Ref. x 2 -6h	0	3,7	61,5	23,55	11,25	0

Tabela 25: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 2.

### Óleo médio/500m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0	2,32	56,6	41,08	0	0
Ref.	0	2,56	51,8	40,62	5,02	0
Ref. x 2	0	2,8	47,92	40,16	9,12	0
Ref. x 3	0	3,26	45,18	39,7	11,86	0
Ref. + 108h	0	1,6	50,44	40,84	5,02	4,34
Ref. + 84h	0	2,28	40,84	40,38	5,02	13,92
Ref. + 60h	0	2,52	37,42	40,16	4,34	18,26
Ref. + 36h	0	3,02	30,8	39,02	1,14	26,02
Disp. Exclusiva	0,22	4,18	24,18	37,42	0	34
Ref6h	0	2,56	50,2	40,16	7,08	0
Ref. x 2 -6h	0	2,56	46,1	39,48	11,86	0

Tabela 26: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 2.

Óleo pesado/500m3

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0	0,74	75,3	23,96	0	0
Ref.	0	1,38	68,88	23,32	6,42	0
Ref. x 2	0	1,6	63,96	22,88	11,56	0
Ref. x 3	0	2,02	60,54	22,46	14,98	0
Ref. + 108h	0	0,22	67,16	23,74	6,42	5,78
Ref. + 84h	0	0,86	54,54	23,1	6,42	18,4
Ref. + 60h	0	0,86	50,06	22,88	5,56	24,18
Ref. + 36h	0	1,16	41,5	22,04	1,5	33,8
Disp. Exclusiva	0,42	2,88	34,02	21,18	0	41,5
Ref6h	0	1,18	66,74	22,88	9,2	0
Ref. x 2 -6h	0	1,82	61,4	22,24	14,54	0

Tabela 27: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 2.

### Óleo médio/1000m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0	1,99	58,53	39,48	0	0
Ref.	0	2,1	51,46	38,68	7,76	0
Ref. x 2	0	2,22	46,09	38,11	13,58	0
Ref. x 3	0	2,91	43,24	37,65	16,2	0
Ref. + 108h	0	1,48	44,56	39,13	7,76	7,07
Ref. + 84h	0,11	1,48	42,27	38,91	7,76	9,47
Ref. + 60h	0	1,83	34,73	38,68	6,39	18,37
Ref. + 36h	0,57	1,2	31,6	37,65	1,83	27,15
Disp. Exclusiva	0,68	2,9	22,71	36,97	0	36,74
Ref6h	0	2,21	49,75	38,34	9,7	0
Ref. x 2 -6h	0	2,45	43,13	37,31	17,11	0

Tabela 28: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 2.

### Óleo pesado/1000m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0	0,64	76,9	22,46	0	0
Ref.	0	0,96	67,59	21,82	9,63	0
Ref. x 2	0	1,17	60,64	21,18	17,01	0
Ref. x 3	0	1,49	57,01	20,75	20,75	0
Ref. + 108h	0	0,11	58,82	22,14	9,63	9,3
Ref. + 84h	0	0,21	55,72	22,03	9,63	12,41
Ref. + 60h	0	0,53	46,22	21,6	7,91	23,74
Ref. + 36h	0,21	0,64	41,18	20,96	2,25	34,76
Disp. Exclusiva	0,53	1,72	33,8	20,53	0	43,42
Ref6h	0	0,97	65,45	21,39	12,19	0
Ref. x 2 -6h	0	1,4	56,79	20,53	21,28	0

Tabela 29: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 3.

### Óleo médio/200m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0	1,15	55,5	43,35	0	0
Ref.	0	1,15	52,65	42,8	3,4	0
Ref. x 2	0	1,15	52,65	42,2	4	0
Ref. x 3	0	1,15	51,5	42,2	5,15	0
Ref. + 108h	0	2,3	51,55	42,2	3,4	0,55
Ref. + 84h	0	4	49,25	42,2	3,4	1,15
Ref. + 60h	0	4,55	45,85	42,2	3,4	4
Ref. + 36h	0	5,7	41,25	41,65	2,85	8,55
Disp. Exclusiva	0	5,7	33,25	38,8	0	22,25
Ref6h	0	1,15	53,25	42,2	3,4	0
Ref. x 2 -6h	0	1,15	49,8	41,05	8	0

Tabela 30: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 3.

### Óleo pesado/200m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0	0	74,85	25,15	0	0
Ref.	0	0	71,1	25,15	3,75	0
Ref. x 2	0	0	70,6	24,6	4,8	0
Ref. x 3	0	0	67,9	24,6	7,5	0
Ref. + 108h	0,55	0,55	68,4	25,15	3,75	1,6
Ref. + 84h	0,55	0,55	66,25	25,15	3,75	3,75
Ref. + 60h	0,55	2,65	62,05	24,6	3,75	6,4
Ref. + 36h	0,55	3,2	55,65	24,05	3,2	13,35
Disp. Exclusiva	0	5,35	43,8	21,95	0	28,9
Ref6h	0	0	71,1	25,15	3,75	0
Ref. x 2 -6h	0	0	65,8	24,05	10,15	0

Tabela 31: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 3.

### Óleo médio/500m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0,46	1,36	57,34	40,84	0	0
Ref.	0	1,36	53,9	41,08	3,66	0
Ref. x 2	0	1,36	52,32	40,84	5,48	0
Ref. x 3	0	1,36	50,48	40,62	7,54	0
Ref. + 108h	0,46	1,6	50,24	40,62	3,66	3,42
Ref. + 84h	0,46	2,06	47,5	40,62	3,66	5,7
Ref. + 60h	0,22	2,52	45	40,16	3,42	8,68
Ref. + 36h	0,22	2,96	40,92	39,7	2,96	13,24
Disp. Exclusiva	0,92	3,66	31,3	37,88	0	26,24
Ref6h	0	1,36	53,46	41,08	4,1	0
Ref. x 2 -6h	0	1,14	49,8	39,94	9,12	0

Tabela 32: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 3.

## Óleo pesado/500m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0,22	0	76,04	23,74	0	0
Ref.	0	0	71,76	23,74	4,5	0
Ref. x 2	0	0	69,84	23,52	6,64	0
Ref. x 3	0	0	66,62	23,32	10,06	0
Ref. + 108h	0,42	0,22	66,84	23,52	4,5	4,5
Ref. + 84h	0,42	0,64	63,64	23,32	4,5	7,48
Ref. + 60h	0,22	1,06	59,78	23,1	4,28	11,56
Ref. + 36h	0,42	1,72	53,36	22,46	3,64	18,4
Disp. Exclusiva	0,64	2,36	44,38	21,4	0	31,22
Ref6h	0	0	70,92	23,74	5,34	0
Ref. x 2 -6h	0	0	66	22,88	11,12	0

Tabela 33: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 3.

### Óleo médio/1000m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0,23	1,26	58,23	40,28	0	0
Ref.	0	1,26	56,18	40,05	2,51	0
Ref. x 2	0	1,26	54,35	39,71	4,68	0
Ref. x 3	0,11	1,26	50,25	39,25	9,13	0
Ref. + 108h	0,46	1,26	53,91	39,36	2,51	2,5
Ref. + 84h	0,34	1,48	52,2	39,13	2,51	4,34
Ref. + 60h	0,11	1,6	49	38,79	2,17	8,33
Ref. + 36h	0,57	1,83	38,61	37,65	1,26	20,08
Disp. Exclusiva	0,46	1,83	31,77	36,85	0	29,09
Ref6h	0	1,26	54,81	39,48	4,45	0
Ref. x 2 -6h	0	1,14	49,45	38,34	11,07	0

Tabela 34: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 3.

Óleo pesado/1000m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0	0	76,87	23,13	0	0
Ref.	0	0	74,02	22,99	2,99	0
Ref. x 2	0	0	71,34	22,67	5,99	0
Ref. x 3	0,21	0	66,1	22,25	11,44	0
Ref. + 108h	0,32	0	72,94	22,35	1,39	3
Ref. + 84h	0,11	0,11	70,58	22,14	1,39	5,67
Ref. + 60h	0,11	0,43	65,76	21,93	1,18	10,59
Ref. + 36h	0,64	0,64	52,3	21,18	0,96	24,28
Disp. Exclusiva	1,28	0,75	42,68	20,53	0	34,76
Ref6h	0	0	72,09	22,35	5,56	0
Ref. x 2 -6h	0,11	0	64,81	21,39	13,69	0

Tabela 35: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 4.

### Óleo médio/200m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0	0	0	0	0	0
Ref.	50,75	0,55	0	41,65	5,15	0
Ref. x 2	47,9	0,55	0	41,05	8	0
Ref. x 3	43,95	0,55	0	39,95	12,55	0
Ref. + 108h	51,9	1,7	0	42,2	5,15	1,53
Ref. + 84h	49,05	2,85	0	42,2	5,15	3,6
Ref. + 60h	46,2	3,4	0	41,65	5,15	6,165
Ref. + 36h	42,2	5,7	0	39,95	3,4	9,225
Disp. Exclusiva	32,5	5,7	0	37,65	0	21,06
Ref6h	49,65	0,55	0	41,05	7,4	0
Ref. x 2 -6h	43,35	0	0	39,35	13,1	0

Tabela 36: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 4.

## Óleo pesado/200m³

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0	0	0	0	0	0
Ref.	66,85	0	0	24,6	6,4	0
Ref. x 2	63,65	0	0	24,05	10,15	0
Ref. x 3	58,3	0	0	23	15,5	0
Ref. + 108h	69,5	0,55	0	24,6	6,4	2,88
Ref. + 84h	64,7	1,6	0	25,15	6,4	5,76
Ref. + 60h	62,05	3,75	0	24,05	6,4	7,695
Ref. + 36h	55,1	3,2	0	23,55	4,3	14,445
Disp. Exclusiva	42,8	4,8	0	20,85	0	26,955
Ref6h	65,25	0	0	24,05	8,55	0
Ref. x 2 -6h	57,2	0	0	22,45	17,1	0

Tabela 37: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 4.

### Óleo médio/500m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	57,5	0,46	0	0	0	0
Ref.	52,02	0,46	0	40,38	5,7	0
Ref. x 2	47,24	0,46	0	39,24	11,64	0
Ref. x 3	44,96	0,46	0	38,56	13,7	0
Ref. + 108h	52,02	1,14	0	41,08	5,7	3,69
Ref. + 84h	47,7	0,92	0	40,62	5,7	8,208
Ref. + 60h	41,98	1,6	0	39,48	5,24	13,968
Ref. + 36h	35,6	2,06	0	38,1	3,66	20,736
Disp. Exclusiva	26,92	2,52	0	35,82	4,5	30,402
Ref6h	50,2	0,46	0	39,7	8,22	0
Ref. x 2 -6h	43,58	0,46	0	37,88	15,98	0

Tabela 38: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 4.

## Óleo pesado/500m³

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	74,66	0	0	24,6	0	0
Ref.	68,24	0	0	23,52	7,06	0
Ref. x 2	62,04	0	0	22,46	14,34	0
Ref. x 3	59,04	0	0	21,82	17,12	0
Ref. + 108h	68,24	0,22	0	24,18	7,06	5,004
Ref. + 84h	62,68	0,42	0	23,52	7,06	10,404
Ref. + 60h	54,98	1,28	0	22,68	6,64	17,514
Ref. + 36h	46,84	1,72	0	21,4	4,5	25,794
Disp. Exclusiva	36,58	1,92	0	20,1	0	36,576
Ref6h	65,88	0	0	22,88	10,26	0
Ref. x 2 -6h	57,32	0	0	21,4	19,68	0

Tabela 39: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 4.

### Óleo médio/1000m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	58,65	0,46	0	40,73	0	0
Ref.	51,69	0,46	0	39,25	7,76	0
Ref. x 2	46,78	0,46	0	37,99	13,46	0
Ref. x 3	43,01	0,34	0	37,08	17,68	0
Ref. + 108h	50,89	0,8	0	39,82	7,76	5,652
Ref. + 84h	44,61	0,91	0	39,02	7,76	11,916
Ref. + 60h	37,54	1,14	0	37,77	7,42	19,611
Ref. + 36h	31,03	1,14	0	36,17	3,88	27,216
Disp. Exclusiva	24,3	1,14	0	35,37	0	34,605
Ref6h	49,63	0,46	0	38,45	10,61	0
Ref. x 2 -6h	41,76	0,34	0	36,51	20,31	0

Tabela 40: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 4.

### Óleo pesado/1000m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	75,61	0	0	23,74	0	0
Ref.	67,17	0	0	22,46	9,52	0
Ref. x 2	60,96	0	0	21,28	16,58	0
Ref. x 3	56,04	0	0	20,53	21,82	0
Ref. + 108h	66,1	0,21	0	22,99	9,52	7,218
Ref. + 84h	57,97	0,32	0	22,25	9,52	15,111
Ref. + 60h	48,88	0,53	0	21,18	8,98	24,741
Ref. + 36h	40,53	0,64	0	20	4,6	33,597
Disp. Exclusiva	34,65	1,07	0	19,57	0	39,654
Ref6h	64,6	0	0	21,82	12,83	0
Ref. x 2 -6h	54,55	0	0	20,11	24,28	0

Tabela 41: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 5.

### Óleo médio/200m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	59	0	0	0	0	0
Ref.	53,05	0,55	0	41,05	3,4	0
Ref. x 2	50,75	0,55	0	40,5	5,15	0
Ref. x 3	47,9	0,55	0	39,95	8	0
Ref. + 108h	52,5	2,3	0	41,65	3,4	1,53
Ref. + 84h	49,65	2,85	0	41,05	3,4	3,6
Ref. + 60h	45,05	2,85	0	40,5	3,4	8,235
Ref. + 36h	41,65	5,15	0	39,95	2,3	10,26
Disp. Exclusiva	31,4	4,55	0	37,1	0	23,085
Ref6h	52,5	0,55	0	40,5	4	0
Ref. x 2 -6h	48,5	0,55	0	39,95	8	0

Tabela 42: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 5.

## Óleo pesado/200m³

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	73,8	0	0	0	0	0
Ref.	69,5	0	0	24,05	4,3	0
Ref. x 2	66,85	0	0	23,55	5,9	0
Ref. x 3	63,1	0	0	23	9,65	0
Ref. + 108h	69	0,55	0	24,6	4,3	3,375
Ref. + 84h	65,25	1,05	0	24,05	4,3	6,255
Ref. + 60h	59,35	2,65	0	23,55	4,3	11,07
Ref. + 36h	54,55	4,8	0	23	2,65	13,95
Disp. Exclusiva	41,2	5,35	0	20,3	0	28,395
Ref6h	68,45	0	0	24,05	5,35	0
Ref. x 2 -6h	63,65	0	0	23	10,7	0

Tabela 43: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 5.

### Óleo médio/500m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	58,18	0	0	0	0	0
Ref.	54,3	0,46	0	39,94	4,34	0
Ref. x 2	51,12	0,46	0	39,24	7,3	0
Ref. x 3	49,06	0,46	0	38,8	9,82	0
Ref. + 108h	54,54	0,68	0	40,38	4,34	2,466
Ref. + 84h	49,74	1,36	0	39,94	4,34	6,372
Ref. + 60h	46,1	1,36	0	39,24	3,66	10,476
Ref. + 36h	39,02	2,74	0	38,1	2,28	16,848
Disp. Exclusiva	30,8	2,52	0	36,52	0	26,496
Ref6h	53,16	0,46	0	39,48	5,94	0
Ref. x 2 -6h	48,84	0,46	0	38,56	10,72	0

Tabela 44: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 5.

### Óleo pesado/500m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	75,5	0	0	23,74	0	0
Ref.	70,58	0	0	23,1	5,34	0
Ref. x 2	66,74	0	0	22,46	9,42	0
Ref. x 3	63,74	0	0	22,04	11,98	0
Ref. + 108h	71,02	0,42	0	23,32	5,34	2,88
Ref. + 84h	64,6	0,86	0	22,88	5,34	8,28
Ref. + 60h	59,9	1,28	0	22,46	4,5	13,086
Ref. + 36h	50,9	1,28	0	21,4	2,78	22,338
Disp. Exclusiva	41,72	2,56	0	20,74	0	30,798
Ref6h	69,1	0	0	22,68	7,06	0
Ref. x 2 -6h	63,52	0	0	21,82	12,84	0

Tabela 45: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 5.

### Óleo médio/1000m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	59,4	0,460	0	38,79	0	0
Ref.	54,42	0,46	0	38,79	5,48	0
Ref. x 2	50,09	0,46	0	37,99	10,15	0
Ref. x 3	47,35	0,46	0	37,42	13,35	0
Ref. + 108h	52,71	0,68	0	39,13	5,48	4,824
Ref. + 84h	43,81	1,03	0	38,34	5,48	13,248
Ref. + 60h	36,05	1,14	0	37,31	4,79	21,564
Ref. + 36h	28,18	1,37	0	35,83	2,28	29,988
Disp. Exclusiva	22,71	1,48	0	35,14	0	35,937
Ref6h	53,17	0,46	0	38,45	7,07	0
Ref. x 2 -6h	46,78	0,46	0	37,2	14,49	0

Tabela 46: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 5.

### Óleo pesado/1000m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	77	0	0	0	0	0
Ref.	70,37	0	0	22,03	6,63	0
Ref. x 2	64,92	0	0	21,39	12,51	0
Ref. x 3	61,39	0	0	20,75	16,26	0
Ref. + 108h	68,24	0,11	0	22,25	6,63	6,255
Ref. + 84h	56,68	0,43	0	21,6	6,63	16,938
Ref. + 60h	46,74	0,75	0	20,64	5,88	27,045
Ref. + 36h	39,04	0,75	0	19,79	2,78	35,136
Disp. Exclusiva	31,44	1,07	0	19,25	0	42,831
Ref6h	68,77	0	0	21,71	8,66	0
Ref. x 2 -6h	60,64	0	0	20,53	17,75	0

Tabela 47: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 6.

### Óleo médio/200m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.		0	0	0	0	0
Ref.	47,35	1,15	0	40,5	9,15	0
Ref. x 2	40,5	1,15	0	38,8	16,55	0
Ref. x 3	34,8	1,15	0	37,1	23,95	0
Ref. + 108h	50,75	2,3	0	42,8	9,15	1
Ref. + 84h	49,05	3,4	0	42,2	9,15	1,53
Ref. + 60h	45,65	4,55	0	42,2	8,55	4,1
Ref. + 36h	42,2	5,7	0	41,05	6,85	7,7
Disp. Exclusiva	33,65	6,3	0	38,2	0	18,5
Ref6h	45,05	1,15	0	39,95	12	0
Ref. x 2 -6h	40,5	1,15	0	38,8	16,55	0

Tabela 48: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 6.

## Óleo pesado/200m³

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	0	0	0	0	0	0
Ref.	63,1	0	0	23,55	11,25	0
Ref. x 2	54	0	0	21,95	20,85	0
Ref. x 3	47,05	0	0	20,85	28,35	0
Ref. + 108h	68,45	1,05	0	25,65	11,25	0,945
Ref. + 84h	65,8	1,6	0	25,15	11,25	2,88
Ref. + 60h	61,5	2,15	0	25,15	10,5	6,75
Ref. + 36h	56,7	3,75	0	24,05	9,15	11,07
Disp. Exclusiva	45,45	5,9	0	21,95	0	23,085
Ref6h	60,95	0	0	23	13,9	0
Ref. x 2 -6h	54,55	0	0	21,95	20,85	0

Tabela 49: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 6.

### Óleo médio/500m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	58	0	0	0	0	0
Ref.	47,7	1,14	0	39,02	10,96	0
Ref. x 2	44,72	0,22	0	34	19,16	0
Ref. x 3	34,22	0,92	0	35,82	26,92	0
Ref. + 108h	50,2	1,82	0	41,08	10,96	3,294
Ref. + 84h	47,24	2,06	0	39,94	10,96	6,786
Ref. + 60h	42,9	2,28	0	39,48	7,76	11,502
Ref. + 36h	39,02	2,52	0	38,56	6,16	15,822
Disp. Exclusiva	32,64	3,2	0	36,74	0	23,832
Ref6h	45,64	1,14	0	38,34	13,7	0
Ref. x 2 -6h	40,38	0,92	0	37,2	19,4	0

Tabela 50: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 6.

## Óleo pesado/500m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	79	0	0	0	0	0
Ref.	62,88	0	0	22,24	13,68	0
Ref. x 2	53,68	0	0	20,74	23,96	0
Ref. x 3	45,34	0	0	19,46	32,94	0
Ref. + 108h	67,38	0,42	0	23,52	13,68	4,23
Ref. + 84h	62,24	0,86	0	23,1	13,68	8,658
Ref. + 60h	56,68	1,28	0	22,68	7,48	14,634
Ref. + 36h	51,76	1,28	0	21,82	5,78	20,214
Disp. Exclusiva	43,86	2,36	0	20,32	0	29,448
Ref6h	60,54	0	0	21,6	16,68	0
Ref. x 2 -6h	53,68	0	0	20,74	23,96	0

Tabela 51: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 6.

### Óleo médio/1000m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	60	0	0	0	0	0
Ref.	46,78	1,03	0	37,99	13,12	0
Ref. x 2	38,22	0,91	0	35,94	23,5	0
Ref. x 3	35,03	0,8	0	35,26	27,27	0
Ref. + 108h	46,32	1,37	0	39,82	13,12	9,135
Ref. + 84h	40,5	1,37	0	39,13	13,12	15,093
Ref. + 60h	35,14	1,71	0	38,22	9,36	20,952
Ref. + 36h	31,72	1,71	0	37,31	5,7	25,362
Disp. Exclusiva	29,09	1,94	0	36,28	0	28,755
Ref6h	43,47	1,03	0	36,74	17,68	0
Ref. x 2 -6h	35,71	0,91	0	35,37	26,7	0

Tabela 52: Resultados em % obtidos pelo Modelo OILMAP para o Cenário 6.

### Óleo pesado/1000m<sup>3</sup>

Destinação (%)	Superfície	Coluna d'água	Óleo na costa	Evaporado	Recolhido	Disperso
N. R.	78	0	0	0	0	0
Ref.	61,5	0	0	21,39	16,26	0
Ref. x 2	50,37	0	0	19,47	28,98	0
Ref. x 3	46,2	0	0	18,82	33,26	0
Ref. + 108h	61,2	0,11	0	23,03	16,26	11,736
Ref. + 84h	53,42	0,32	0	22,4	16,26	19,026
Ref. + 60h	46,48	0,53	0	21,56	11,44	26,496
Ref. + 36h	42,8	0,53	0	20,82	6,84	31,14
Disp. Exclusiva	37,85	0,95	0	19,98	0	36,531
Ref6h	57,11	0	0	20,32	21,71	0
Ref. x 2 -6h	46,95	0	0	18,93	32,94	0