



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
FRANCISCO JOHANN

**MODELAGEM DE VAZAMENTOS DE ÓLEO NO MAR:
PROJEÇÕES DE ÁREA E VOLUME PARA O COMBATE DE CURTO PRAZO**

Palhoça, SC

2020

FRANCISCO JOHANN

**MODELAGEM DE VAZAMENTOS DE ÓLEO NO MAR:
PROJEÇÕES DE ÁREA E VOLUME PARA O COMBATE DE CURTO PRAZO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Matemática – Bacharelado da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Matemática.

Orientador: Profa. Dra. Ana Regina de Aguiar Dutra
Coorientadora: Profa. Dra. Anelise Leal Vieira Cubas

Palhoça, SC

2020

FRANCISCO JOHANN

**MODELAGEM DE VAZAMENTOS DE ÓLEO NO MAR:
PROJEÇÕES DE ÁREA E VOLUME PARA O COMBATE DE CURTO PRAZO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Matemática e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Matemática da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 10 de dezembro de 2020.

Professora e orientadora Ana Regina de Aguiar Dutra, Dra.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Professora e coorientadora Anelise Vieira Leal Cuba, Dra.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Professor Gabriel Cremona Parma, Dr.
Universidade do Sul de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família e aos meus amigos por toda a paciência mostrada ao longo desses anos.

Agradeço aos professores da Unisul por todo o apoio e ensinamentos fornecidos ao longo do curso.

Agradeço a todos os pesquisadores e estudiosos que decidiram questionar o mundo a sua volta e com isso avançaram o conhecimento humano.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente ajudaram na conclusão do curso e especial deste trabalho.

“The presence of those seeking the truth is infinitely to be preferred to the presence of those who think they've found it.”

“A presença de quem busca a verdade deve ser infinitamente preferida à presença de quem pensa que a encontrou. ”

— Terry Pratchett

RESUMO

Devido a eventos recentes de aparição de óleo no litoral brasileiro e expansão da produção de petróleo offshore no Brasil se propôs neste trabalho o entendimento e uso da modelagem do comportamento do óleo derramado no mar. O objetivo definido foi a modelagem de tabelas que indicassem as dimensões de uma mancha de óleo derramado no mar, variando conforme tempo, volume e velocidade do vento. Foram expostos diferentes modelos de cálculo de espalhamento e evaporação do óleo conforme bibliografia, sendo depois calculadas e montadas as tabelas para um caso específico. Se conclui que é possível modelar o comportamento do óleo para este objetivo, mas há sistemas de modelagem mais avançados e complexos que devem ser utilizados para vazamentos de grande extensão e de maior duração.

Palavras-chave: Petróleo; modelagem ambiental; vazamentos no mar.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Processos envolvidos no comportamento do óleo no mar.	18
Figura 2 - Página objetivo do trabalho com tabela de progressão para vento de 0 m/s	24
Figura 3 - Página objetivo do trabalho com tabela de progressão para vento de 5 m/s	25
Figura 4 – Página objetivo do trabalho com tabela de progressão para vento de 10 m/s.	26
Figura 5 - Página objetivo do trabalho com tabela de progressão para vento de 15 m/s.	27

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Duração dos processos de uma mancha de óleo no mar.....	18
Gráfico 2 - Comparação métodos de espalhamento	21
Gráfico 3 - Comparação métodos espalhamento considerando o vento.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Volume evaporado por tempo	20
Tabela 2 - Comparação visual entre uma mancha sem vento e com vento de 15 m/s.	22

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	TEMA E DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	10
1.2	PROBLEMATIZAÇÃO	10
1.3	JUSTIFICATIVAS	11
1.4	OBJETIVOS	13
1.4.1	Objetivo Geral	13
1.4.2	Objetivos Específicos.....	13
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	13
1.5.1	Tipo da Pesquisa.....	13
1.5.2	Dados utilizados.....	14
1.5.3	Técnicas de coleta e de Tratamento de dados.....	14
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1	ESPALHAMENTO	18
2.2	EVAPORAÇÃO	19
3	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	21
3.1	RESULTADOS OBTIDOS	23
4	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	28
	REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

Apesar quantidade de vazamentos de petróleo, normalmente chamado de óleo, ter diminuído ao longo das décadas, (ITOPF, 2019), o risco de grandes acidentes e de danos a vida marinha continuam existindo. Com isso em mente este trabalho visa modelar e oferecer recursos no combate de curto prazos a vazamentos de óleo no mar com a criação de tabelas que indiquem as dimensões de manchas de óleo no mar ao longo do tempo, levando em consideração as características de volume e vento que se julgou pertinentes ao objetivo.

1.1 TEMA E DELIMITAÇÃO DO TEMA

A modelagem matemática na simulação do comportamento de petróleo vazado na superfície do mar. Se delimitou para vazamentos instantâneos de óleo na superfície, com um período modelado de até 12 horas, não foi considerada a deriva da mancha de óleo nem possíveis ponto de contato com a costa.

1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

De acordo com a ANP, ocorreram 51 acidentes com descarga de óleo durante 2019 no mar jurisdicional brasileiro, chegando a um volume total de 411 m³ no ano. Já de acordo com a International Tanker Owners Pollution Federation Ltd, ITOPF, 2019, que registra os vazamentos com mais de 7 toneladas envolvendo navios tanques no mundo, houve uma diminuição ao longo das décadas na quantidade de vazamentos registrados, chegando a uma média na última década de 6,2 vazamentos por ano.

É importante notar que considerando a frequência e quantidades de óleo vazado, que uma quantidade pequena de grandes vazamentos é responsável por uma grande porcentagem do volume total. Nos dados da ANP, o volume total derramado no mar no ano de

2019 foi o maior registrado desde o início desse acompanhamento, apesar de a quantidade de vazamentos estar próximo da média dos últimos anos.

Os impactos gerados por vazamentos de petróleo são imensos no ecossistema marinho, tanto no mar quanto nos litorais, incluindo os prejuízos econômicos nas cidades litorâneas afetadas. Devido a sua fluatuabilidade, o petróleo tem capacidade de dispersão elevada quando consideradas correntes marítimas, ondas e ventos. Sendo assim a resposta a qualquer vazamento deve ocorrer de maneira rápida e eficiente para minimizar os danos gerados, tal resposta é feita em alto-mar por embarcações de resposta, utilizando materiais para contenção, absorção e remoção do óleo do mar.

Para realizar a distribuição dos recursos necessários para o combate ao petróleo vazado é necessário saber sua possível área para realizar a contenção e volume a ser recolhido, este último sendo informado pela operação das plataformas dependendo do ponto de origem do vazamento. Com isso se questiona como se comporta o petróleo vazado de uma plataforma em alto-mar em relação a sua área de cobertura para a devida aplicação dos recursos disponíveis de contenção e recolhimento.

1.3 JUSTIFICATIVAS

São produzidos no Brasil próximo a 3 milhões de barris de petróleo por dia de acordo com a ANP, sendo mais de 95% produzidos em campos marítimos. Nas operações de produção e transporte do óleo produzido podem ocorrer vazamentos por causa de colisões, falhas de equipamento ou falhas operacionais.

Em agosto de 2019 se identificou um vazamento na costa brasileira, ainda de origem e volume desconhecidos, atingindo uma faixa de 4.334 km em 11 estados do Nordeste e Sudeste, podendo ser considerado o maior derramamento de óleo bruto da história do país e entre os mais extensos no mundo. Foram 724 territórios de pesca e extração de mariscos afetados, colocando em risco a saúde e sustento de 360 mil pescadores artesanais. (Pena et al, 2020.).

O acidente de Deepwater Horizon¹, que foi responsável pelo vazamento de 500.000 m³ de óleo durante 87 dias, desses se estima que 15% alcançou a costa, afetando mais de 2100 km de extensão. Estudos demonstraram que o óleo vazado foi tóxico para vários organismos, como plânctons, invertebrados, peixes, aves e mamíferos, impactando nos seus níveis de crescimento, reprodução e mortalidade. (Beyer et al, 2016)

Apesar de já existir diversos modelos de alta complexidade de dispersão de óleo, capazes de simular cada gotícula levando em conta diversos fatores como emulsão, evaporação, dispersão causada por ondas, com previsões de mais de 60 dias (Spaulding, 2017), o que se pretende neste trabalho é realizar uma simulação simplificada para resposta rápida a vazamentos instantâneos. Como o autor do trabalho trabalha numa plataforma de exploração e produção na Bacia de Santos, com grandes volumes de produção e armazenamento, sempre teve a dúvida de como seria um vazamento, qual seria a área tomada pelo petróleo, comumente chamado de óleo dentro do setor específico.

A própria Petrobras divulgou por questões legais Plano de Emergência para Vazamento de Óleo, PEVO, um documento de mais de 400 páginas com simulações sobre como se comportaria diversos vazamentos possíveis no mar vindos das operações de exploração e produção da Bacia de Santos, incluindo os caminhos prováveis das manchas e áreas costeiras com risco de poluição (Petrobras, 2016). Diferente do trabalho aqui proposto, o PEVO tem o intuito de calcular risco e danos para vazamentos a prazos mais longos, 30 dias, sendo parte dos estudos de viabilidade e para licenciamento ambiental, não tendo o intuito de ser um documento de apoio para o combate a vazamentos nos seus estágios iniciais.

Oliveira, 2017, simulou um vazamento na Bacia de Campos de 1000 m³, mas seu estudo considerou um vazamento no poço de produção, a uma profundidade de 1315 m, tendo aplicado então dois modelos, um para o movimento vertical do óleo, e outro para o comportamento da mancha já formada na superfície, não englobando o estágio desejado neste trabalho de como se comporta o espalhamento inicial.

¹ A Plataforma Deepwater Horizon, operando no Golfo do México, sofreu no dia 20 de abril de 2010 um acidente num de seus poços de produção ocasionando o que é considerado o maior vazamento de óleo no mar da história.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Modelar em duas dimensões vazamentos de óleo de características e volumes pré-determinados de forma a obter a área de superfície da mancha de óleo.

1.4.2 Objetivos Específicos

Identificar quais os principais efeitos que afetam o espalhamento de óleo no mar para serem incluídos na modelagem.

Definir o método de modelagem bidimensional de vazamentos de óleo no mar que melhor se enquadre no projeto em nível de complexidade.

Gerar os cenários que serão analisados considerando os volumes e características do óleo e condições de tempo baseados em dados reais disponíveis.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

1.5.1 Tipo da Pesquisa

Este trabalho será uma pesquisa bibliográfica de abordagem quantitativa, onde o objetivo será encontrar em artigos recentes o modelo para cálculo da área do vazamento que seja capaz de apresentar os valores calculados mais próximos de vazamentos reais.

1.5.2 Dados utilizados

O CONAMA, 2008, caracteriza um vazamento de pequeno porte como sendo de 8 m³ e um de médio como tendo 200 m³, acima disso seria um vazamento de pior caso, que seria um vazamento submarino no poço de produção, o qual não é englobado neste trabalho. Sendo assim se decidiu utilizar na tabela volumes que vão de 8 m³ a 1000 m³, que seria um dos piores casos para um vazamento dentro de uma plataforma de produção, considerando volume de tanques e taxas de transferência entre plataformas e navios aliviadores.

Os valores utilizados de vento foram de 0, 5, 10 e 15 m/s, que serão capazes de englobar quase todos os casos de condição, já que de acordo com a Petrobras, 2016, os valores de vento em mais de 99,5% do tempo ficam abaixo de 15 m/s na Bacia de Santos. A temperatura da superfície da água do mar se considerou como tendo 24 °C, com densidade de 1.0240 g/cm³.

Para o tipo de óleo foi utilizado um de grau API 28, com densidade de 0,8871 g/cm³, que é a média do óleo produzido no Brasil de acordo com a ANP, 2020.

1.5.3 Técnicas de coleta e de Tratamento de dados

A pesquisa bibliográfica será realizada pelo pesquisador nas bases de dados de artigos científicos disponíveis pela instituição de ensino, ou conteúdo de acesso livre. Serão avaliados tanto modelos desenvolvidos nos artigos quanto utilizados por eles advindo de trabalhos anteriores. Serão pesquisados somente conteúdos mais recentes, com data de publicação de 2016 em diante.

Os modelos serão avaliados pela sua compatibilidade com o objetivo, deverão ser utilizáveis pelo pesquisador/autor, com método disponível, já que há métodos utilizados em pesquisas científicas que necessitam de licenças comerciais para utilização. Também serão avaliados os dados necessários para o cálculo do modelo, tanto quanto as condições ambientais necessárias quanto as características do óleo vazado.

Os modelos pesquisados que melhor atenderem aos itens avaliados serão então avaliados quantitativamente quanto a condições reais de espalhamento de óleo no mar, para então ser calculadas e montadas as tabelas objetivo do trabalho.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho avalia no Capítulo 2 modelos que descrevam o espalhamento do óleo no mar e sua evaporação, que são os principais efeitos sofridos pelo óleo nas primeiras horas de um vazamento. No Capítulo 3 é descrito o modelo utilizado e como se decidiu apresentar os resultados. Após são feitas as considerações finais no capítulo 4.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A indústria do petróleo é um setor crítico no mundo, sendo um insumo presente na cadeia de produção e distribuição de todos os produtos e serviços no mercado. De acordo com a IEA, 31,5 % da energia primária mundial foi proveniente do petróleo em 2018. Se estima que 6 milhões de pessoas trabalham diretamente para a indústria do petróleo, podendo passar de dez vezes esse número as posições de trabalho indiretas criadas pelo setor.

De acordo com a ANP, 2019, o setor do petróleo e gás natural é responsável por 13% do PIB e por 50% da oferta interna de energia, também sendo responsável por mais de 500 mil empregos diretos, IBP, 2019. Em 2018, a produção nacional de petróleo atingiu 944 milhões de barris, ficando na 10ª colocação do ranking mundial de produtores de petróleo.

Da produção nacional, mais de 95% vem de campos marítimos através de 503 poços em junho de 2020, de acordo com a ANP. O petróleo vem dos poços misturado com sedimentos, água e gás natural, indo através de mangueiras especiais para as plataformas de produção, instalações flutuantes ou não, onde ele é separado e filtrado. O petróleo produzido pode então ser transportado para as refinarias através de oleodutos submarinos ou ser armazenado temporariamente na própria plataforma para ser eventualmente descarregado para navios tanques.

Como era de se esperar devido ao tamanho da indústria e aos grandes volumes produzidos e transportados vários acidentes de grandes proporções ocorreram ao longo da história, causando danos catastróficos aos ecossistemas afetados. Devido a severidade dos acidentes a indústria possui níveis altos de controle e segurança sobre os processos de exploração, produção e transporte.

O dano primário causado por um vazamento de óleo no mar é ao ecossistema marinho, que é uma estrutura complexa formada por várias espécies interconectadas, cada uma sendo afetada de maneiras diferentes. Devido a fluabilidade do petróleo animais que interagem na superfície da água tendem a ser mais atingidos, como os mamíferos marinhos e aves pesqueiras. Mesmo animais que não são impactados diretamente pelo petróleo podem sofrer alterações populacionais devido a uma escassez de alimentos ou mesmo de seus predadores. (Chang et al, 2014)

Quanto mais próximo da costa for um vazamento maior seu dano econômico e social. As economias pesqueiras e turísticas são as mais atingidas numa contaminação de

petróleo e mesmo que seja feita a limpeza das áreas afetadas, regiões inteiras podem ir à falência caso não haja reparação econômica e atuação governamental.

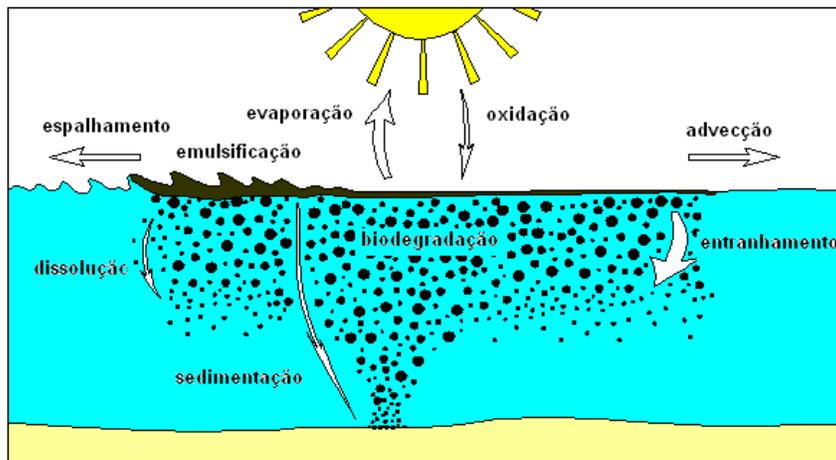
Uma das maiores dificuldades para a modelagem de vazamentos de óleo é a dificuldade para realizar testes empíricos sobre seu comportamento, um dos poucos realizados foi em 1982, onde foram despejados propositalmente volumes de até 8 m³ no Golfo Pérsico para analisar seu comportamento (Lehr et al, 1984). Algo assim é inimaginável nos dias de hoje, tendo que ser utilizados dados obtidos de vazamentos acidentais ou de testes de pequena escala para estimar modelos que venham a ser usados em vazamentos de grande escala em condições de mar aberto.

As primeiras tentativas de modelar o comportamento do óleo no mar começaram nos anos 70 com fórmulas empíricas, considerando a mancha de óleo com formato circular numa superfície de água estacionária (Arkhipov, 2019). Atualmente diversos modelos existem, capazes de calcular o comportamento do óleo com base nas previsões ou históricos de ventos, correntes e ondas, considerando o óleo como diversas gotículas, cada uma tendo propriedades próprias e sofrendo efeitos com base nas suas propriedades químicas (Spaulding, 2017).

De acordo com o material didático de Assad, 2009, os principais processos que podem ocorrer no vazamento de óleo estão representados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, sendo que cada um deles possui um impacto diferente ao longo do tempo, conforme ilustrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Podemos então considerar que na escala de tempo de um dia, que é o pretendido neste trabalho os efeitos mais importantes são o espalhamento, a evaporação, a dissolução e a dispersão, ou entranhamento. Além desses ainda temos a advecção, que fará a mancha se mover como um todo devido as correntes superficiais, impactando somente no formato da mancha de acordo com a duração do vazamento óleo.

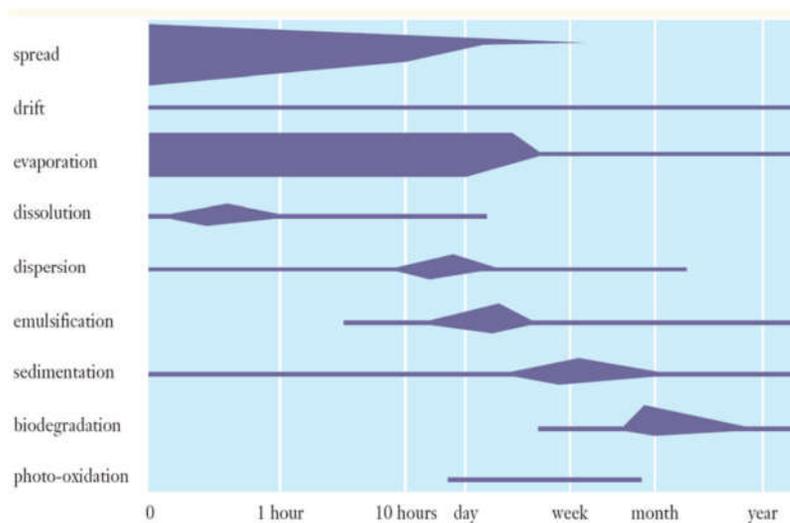
Apesar da dissolução e da dispersão terem efeitos na toxicidade do mar, um efeito nocivo para o ecossistema marinho, devendo ser simuladas quando o objetivo é avaliar o risco ou impacto causado em tal, elas acabam por terem um efeito pequeno no volume e área de óleo da mancha (Mishra e Kumar, 2015), sendo assim não serão considerados neste trabalho.

Figura 1 - Processos envolvidos no comportamento do óleo no mar.



Fonte: Assad, 2019

Gráfico 1 - Duração dos processos de uma mancha de óleo no mar.



Fonte: Zafirakou, 2018

2.1 ESPALHAMENTO

De acordo com Mishra e Kumar, 2015, baseado em trabalhos anteriores, o processo de espalhamento como tendo três estágios, inércia-gravidade, gravidade-viscosidade e

viscosidade-tensão superficial, tradução nossa. O primeiro estágio é muito rápido e o terceiro acontece quando a mancha se separa em manchas distintas, sendo que o óleo permanece a maior parte do tempo no segundo estágio.

As equações apresentadas para o cálculo da área em função do tempo no segundo estágio estão abaixo, baseadas no trabalho de Sriwichien et al, 2019, onde se calcula A que é a área da mancha em 1000 m², V é o volume total da mancha em barris, t é o tempo em minutos, ρ_{oil} e ρ_{sw} representam a densidade do óleo e da água do mar respectivamente, e k é uma constante de valor 1,45.

$$A = k \left[gV^2 t^{3/2} \rho_{oil}^{-1/2} \left(\frac{\rho_{sw} - \rho_{oil}}{\rho_{oil}} \right) \right]^{1/3} \quad 1$$

Diferente do cálculo anterior que retorna somente a área de uma mancha de formato circular, o trabalho de Simecek-Beatty e Lehr, 2017, toma em conta a influência do vento no formato da mancha de óleo, que gera uma área elíptica, sendo o eixo maior na direção do vento. Nas equações 2 e 3 são calculados os dois eixos em metros, sendo R o eixo maior, utilizando densidade da água do mar ρ_{sw} e do óleo ρ_{oil} , o volume inicial em barris V_b , o tempo decorrido em minutos t_m e a velocidade do vento a 10 metros de altura em nós W_k . A equação 4 calcula a área em m² com base nos dois eixos da elipse.

$$Q = 1,7 \cdot \left(\frac{\rho_{sw} - \rho_{oil}}{\rho_{oil}} \right)^{\frac{1}{3}} V_b^{\frac{1}{3}} t_m^{\frac{1}{4}} 10^{1,5} \quad 2$$

$$R = Q + 0,03 \cdot W_k^{\frac{3}{4}} \cdot t_m^{\frac{3}{4}} 10^{1,5} \quad 3$$

$$A = \left(\frac{\pi}{4} \right) QR \quad 4$$

2.2 EVAPORAÇÃO

O cálculo de massa de óleo em gramas perdida na evaporação utilizado no trabalho de Oliveira, 2017, é dado na equação 8. Onde P_{vp} é a pressão de vapor na atmosfera, A é a área da mancha em m², R é a constante universal dos gases, T é a temperatura do óleo em K, f é a fração do vazamento constituída por substâncias voláteis e MW é o peso molecular da parte volátil em gramas por mol de substância. K_3 é o coeficiente de transferência de massa, dado na equação seguinte, onde W é a velocidade do vento em m/h e D o diâmetro da mancha de óleo

em m. Devido ao valor de MW ser algo muito específico e de difícil acesso no caso de um vazamento de petróleo, este método não será utilizado.

$$\frac{dm}{dt} = \left(K_3 \cdot P_{vp} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \right) \cdot f \cdot MW \quad 5$$

$$K_3 = 0,029 \cdot W^{0,78} \cdot D^{-0,11} \cdot 2,7^{-0,67} \cdot \sqrt{\frac{MW+29}{MW}} \quad 6$$

Já Mishra e Kumar, 2015, utilizaram as seguintes equações para determinar a taxa de evaporação do óleo em função do tempo. Onde F_e é a fração de óleo evaporada em %, k_{evp} é o coeficiente de evaporação de massa, em m/s, T_0 é a temperatura inicial de evaporação do óleo em K, T_g é o gradiente da curva de destilação do óleo em K, T_{oil} é a temperatura do óleo em K, que é a mesma da superfície do mar, W_s é a velocidade do vento a 10 metros de altura em m/s, e API é o grau API do óleo.

$$\frac{dF_e}{dt} = \frac{k_{evp} A}{V_0} \left\{ 6,3 - \frac{10,3(T_0 + T_g F_e)}{T_{oil}} \right\} \quad 7$$

$$\frac{dF_e}{dt} = \frac{k_{evp} A}{V_0} \left\{ 6,3 - \frac{10,3(T_0 + T_g F_e)}{T_{oil}} \right\} \quad 8$$

$$T_0 = 532,98 - 3,125 \cdot API \quad 9$$

$$T_g = 985,62 - 13,597 \cdot API \quad 10$$

Zafirakou, 2018, utiliza em seu modelo a equação 11, de origem empírica, que retorna a porcentagem de óleo evaporado por tempo, t, em minutos e temperatura, T, em °C. O comportamento de evaporação tem o comportamento logarítmico, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, devido a composição do petróleo, tendo tanto moléculas mais voláteis, que evaporam com mais facilidade, nas primeiras horas, quanto mais pesadas, que necessitam de uma energia maior para evaporarem ao longo de dias.

$$\%Ev = (4,67 + 0,045 \cdot T) \cdot \ln(t) \quad 11$$

Tabela 1 - Volume evaporado por tempo

Evaporado	Tempo
10%	6 minutos
20%	30 minutos
30%	3 horas
40%	17 horas
50%	4 dias
60%	23 dias

3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para escolha do método foram utilizados os dados obtidos por Lehr et al, 1984, em um derramamento proposital de 51 barris de petróleo, com um vento médio de 5 m/s. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** vemos os dois métodos de espalhamento comparados com os dados empíricos do vazamento. É possível verificar que o crescimento descrito pelo método de Simecek-Beatty e Lehr, 2017, é mais próximo ao que foi verificado empiricamente em relação ao do trabalho de Sriwichien et al, 2019. Ambos os modelos foram calculados utilizando o modelo de evaporação de Zafirakou, 2018, que apesar de mais simples, não necessita de dados mais específicos e de difícil acesso sobre a composição do óleo vazado.

É possível ver que tal predisposição se deu por o método de Simecek-Beatty e Lehr, 2017, levar em consideração o vento sobre a superfície da mancha, esticando-a. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** se compara os dois métodos quando se considera o vento nos quatro níveis de intensidade propostos, 0, 5, 10 e 15 m/s. Em ambos os gráficos é considerado o tempo de até 10 h.

Gráfico 2 - Comparação métodos de espalhamento

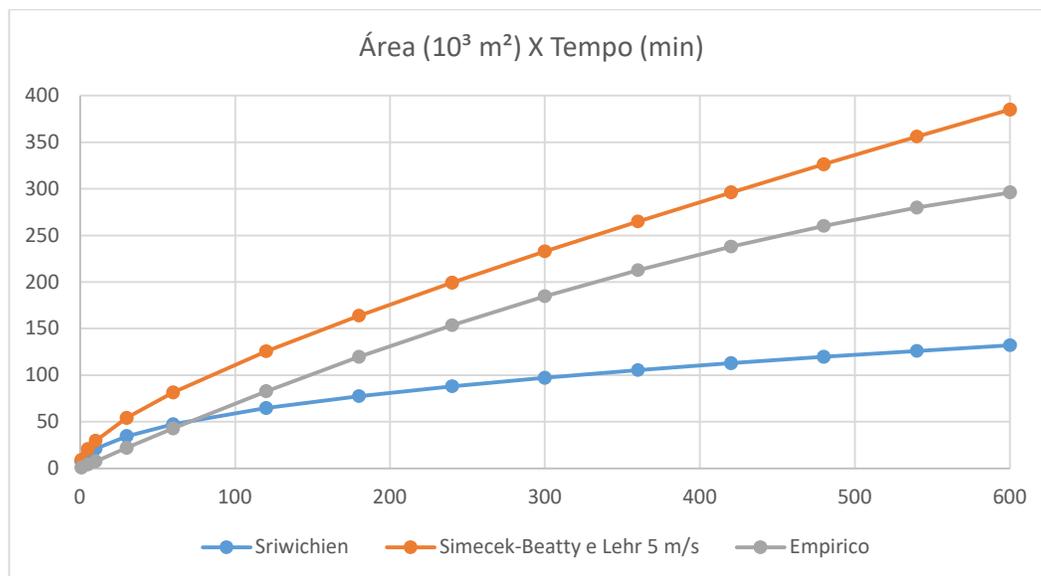


Gráfico 3 - Comparação métodos espalhamento considerando o vento

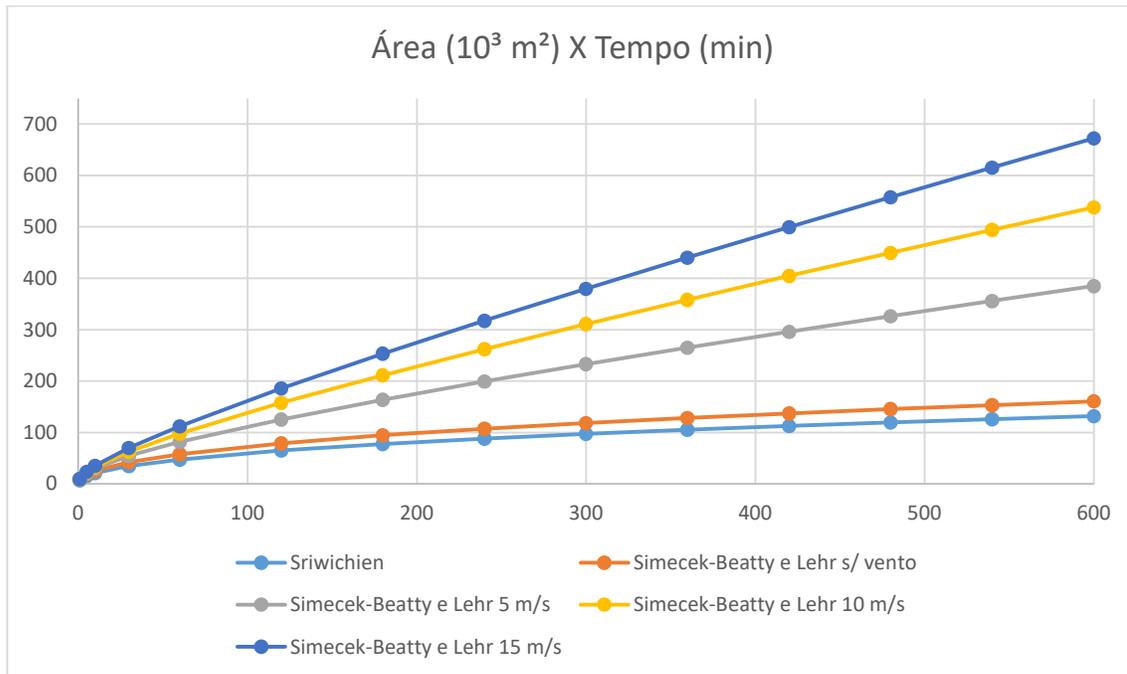


Tabela 2 - Comparação visual entre uma mancha sem vento e com vento de 15 m/s.

	Sem vento	Vento a 15 m/s
1 hora		
2 horas		
4 horas		
8 horas		

12 horas



3.1 RESULTADOS OBTIDOS

O material final são 4 páginas, com o intuito de ser de fácil visualização e entendimento, cada uma delas com uma tabela para as condições: sem vento, vento a 5 m/s, vento a 10 m/s e vento a 15 m/s, que seria para situações extremas. O espaço de tempo considerado para as tabelas foi de até 12 horas, que seria o tempo máximo em que a plataforma iria coordenar os recursos de resposta ao óleo vazado, enquanto os setores responsáveis de terra são mobilizados para a coordenação da resposta a emergência e aeronaves e satélites são mobilizados para obter imagens precisas de localização e posicionamento do óleo que se perdeu contensão.

Se decidi por apresentar os dados em tabelas, cada coluna para um volume de vazamento e cada linha representando o tempo decorrido. No caso de um vazamento, se deve olhar a coluna específica do volume vazado e então verificar o comportamento ao longo do tempo, em cada célula se decidi por apresentar a área calculada para a mancha de óleo e ainda o comprimento e largura dela, estes dois sendo os mais fáceis de estimar visualmente.

As tabelas propostas como objetivo deste trabalho estão nas Figuras 2, 3, 4 e 5, que já representam as páginas propostas para serem disponibilizadas nas unidades de produção, junto de elementos visuais para esclarecer a apresentação dos dados. Para o texto do título acima da tabela se decidi por utilizar “Progressão de óleo derramado no mar com vento a 0 nós.”, cada uma das folhas tem o título específico para a velocidade de vento simulada. Se decidi por utilizar o vento em nós no título pois é a unidade de medida utilizada em embarcações. Foi adicionado também o comparativo das outras unidades mais comumente utilizadas de velocidade, exemplo: “29 nós = 54 km/h = 15 m/s”.

Figura 2 - Página objetivo do trabalho com tabela de progressão para vento de 0 m/s

PROGRESSÃO DE ÓLEO DERRAMADO NO MAR COM VENTO A 0 NÓS

Tempo	Volume de óleo derramado							
	8 m ³	20 m ³	50 m ³	100 m ³	200 m ³	500 m ³	750 m ³	1000 m ³
10 minutos	25.604m ² 181m X 181m	47.164m ² 245m X 245m	86.876m ² 333m X 333m	137.907m ² 419m X 419m	218.914m ² 528m X 528m	403.242m ² 717m X 717m	528.397m ² 820m X 820m	640.107m ² 903m X 903m
30 minutos	42.168m ² 232m X 232m	77.675m ² 314m X 314m	143.078m ² 427m X 427m	227.122m ² 538m X 538m	360.534m ² 678m X 678m	664.109m ² 920m X 920m	870.229m ² 1053m X 1053m	1.054.207m ² 1159m X 1159m
1 hora	57.649m ² 271m X 271m	106.190m ² 368m X 368m	195.603m ² 499m X 499m	310.500m ² 629m X 629m	492.888m ² 792m X 792m	907.908m ² 1075m X 1075m	1.189.696m ² 1231m X 1231m	1.441.214m ² 1355m X 1355m
2 horas	78.669m ² 316m X 316m	144.909m ² 430m X 430m	266.925m ² 583m X 583m	423.718m ² 735m X 735m	672.610m ² 925m X 925m	1.238.957m ² 1256m X 1256m	1.623.494m ² 1438m X 1438m	1.966.722m ² 1582m X 1582m
3 horas	94.272m ² 346m X 346m	173.650m ² 470m X 470m	319.866m ² 638m X 638m	507.756m ² 804m X 804m	806.012m ² 1013m X 1013m	1.484.686m ² 1375m X 1375m	1.945.490m ² 1574m X 1574m	2.356.793m ² 1732m X 1732m
4 horas	107.137m ² 369m X 369m	197.349m ² 501m X 501m	363.519m ² 680m X 680m	577.051m ² 857m X 857m	916.011m ² 1080m X 1080m	1.687.307m ² 1466m X 1466m	2.210.998m ² 1678m X 1678m	2.678.433m ² 1847m X 1847m
5 horas	118.282m ² 388m X 388m	217.878m ² 527m X 527m	401.335m ² 715m X 715m	637.079m ² 901m X 901m	1.011.300m ² 1135m X 1135m	1.862.831m ² 1540m X 1540m	2.440.999m ² 1763m X 1763m	2.957.060m ² 1940m X 1940m
6 horas	128.221m ² 404m X 404m	236.185m ² 548m X 548m	435.056m ² 744m X 744m	690.608m ² 938m X 938m	1.096.273m ² 1181m X 1181m	2.019.351m ² 1603m X 1603m	2.646.099m ² 1836m X 1836m	3.205.520m ² 2020m X 2020m
7 horas	137.254m ² 418m X 418m	252.825m ² 567m X 567m	465.707m ² 770m X 770m	739.264m ² 970m X 970m	1.173.509m ² 1222m X 1222m	2.161.622m ² 1659m X 1659m	2.832.527m ² 1899m X 1899m	3.431.362m ² 2090m X 2090m
8 horas	145.578m ² 431m X 431m	268.157m ² 584m X 584m	493.950m ² 793m X 793m	784.097m ² 999m X 999m	1.244.676m ² 1259m X 1259m	2.292.713m ² 1709m X 1709m	3.004.304m ² 1956m X 1956m	3.639.455m ² 2153m X 2153m
9 horas	153.326m ² 442m X 442m	282.429m ² 600m X 600m	520.239m ² 814m X 814m	825.828m ² 1025m X 1025m	1.310.921m ² 1292m X 1292m	2.414.737m ² 1753m X 1753m	3.164.200m ² 2007m X 2007m	3.833.156m ² 2209m X 2209m
10 horas	160.596m ² 452m X 452m	295.820m ² 614m X 614m	544.905m ² 833m X 833m	864.982m ² 1049m X 1049m	1.373.074m ² 1322m X 1322m	2.529.223m ² 1795m X 1795m	3.314.220m ² 2054m X 2054m	4.014.891m ² 2261m X 2261m
11 horas	167.459m ² 462m X 462m	308.463m ² 627m X 627m	568.193m ² 851m X 851m	901.950m ² 1072m X 1072m	1.431.757m ² 1350m X 1350m	2.637.319m ² 1832m X 1832m	3.455.865m ² 2098m X 2098m	4.186.482m ² 2309m X 2309m
12 horas	173.973m ² 471m X 471m	320.462m ² 639m X 639m	590.296m ² 867m X 867m	937.036m ² 1092m X 1092m	1.487.452m ² 1376m X 1376m	2.739.909m ² 1868m X 1868m	3.590.297m ² 2138m X 2138m	4.349.335m ² 2353m X 2353m

0 nós = 0 km/h = 0 m/s



Tempo decorrido	Volume derramado
	Área da mancha
	Comprimento x Largura

Figura 3 - Página objetivo do trabalho com tabela de progressão para vento de 5 m/s

PROGRESSÃO DE ÓLEO DERRAMADO NO MAR COM VENTO A 10 NÓS

Tempo	Volume de óleo derramado								
	8 m ³	20 m ³	50 m ³	100 m ³	200 m ³	500 m ³	750 m ³	1000 m ³	
10 minutos	29.762m ² 210m X 181m	52.807m ² 274m X 245m	94.535m ² 362m X 333m	147.557m ² 448m X 419m	231.072m ² 557m X 528m	419.744m ² 746m X 717m	547.287m ² 850m X 820m	660.898m ² 932m X 903m	
30 minutos	54.332m ² 299m X 232m	94.184m ² 381m X 314m	165.484m ² 494m X 427m	255.352m ² 605m X 538m	396.101m ² 744m X 678m	712.382m ² 986m X 920m	925.487m ² 1119m X 1053m	1.115.027m ² 1225m X 1159m	
1 hora	81.568m ² 383m X 271m	138.653m ² 480m X 368m	239.663m ² 611m X 499m	366.012m ² 741m X 629m	562.829m ² 905m X 792m	1.002.832m ² 1188m X 1075m	1.298.357m ² 1343m X 1231m	1.560.811m ² 1467m X 1355m	
2 horas	125.662m ² 506m X 316m	208.688m ² 619m X 430m	353.487m ² 772m X 583m	532.778m ² 924m X 735m	810.017m ² 1114m X 925m	1.425.448m ² 1445m X 1256m	1.836.972m ² 1627m X 1438m	2.201.686m ² 1771m X 1582m	
3 horas	163.997m ² 603m X 346m	268.281m ² 726m X 470m	448.301m ² 894m X 638m	669.573m ² 1060m X 804m	1.009.889m ² 1269m X 1013m	1.761.390m ² 1631m X 1375m	2.262.236m ² 1830m X 1574m	2.705.418m ² 1989m X 1732m	
4 horas	199.367m ² 687m X 369m	322.524m ² 819m X 501m	533.408m ² 998m X 680m	791.098m ² 1175m X 857m	1.185.693m ² 1398m X 1080m	2.053.322m ² 1784m X 1466m	2.629.980m ² 1996m X 1678m	3.139.583m ² 2165m X 1847m	
5 horas	232.845m ² 764m X 388m	373.364m ² 903m X 527m	612.362m ² 1091m X 715m	902.956m ² 1277m X 901m	1.346.284m ² 1511m X 1135m	2.317.474m ² 1916m X 1540m	2.961.436m ² 2139m X 1763m	3.529.875m ² 2316m X 1940m	
6 horas	264.978m ² 835m X 404m	421.793m ² 979m X 548m	686.965m ² 1175m X 744m	1.007.993m ² 1369m X 938m	1.496.152m ² 1612m X 1181m	2.562.072m ² 2034m X 1603m	3.267.359m ² 2266m X 1836m	3.889.305m ² 2451m X 2020m	
7 horas	296.089m ² 902m X 418m	468.396m ² 1051m X 567m	758.282m ² 1254m X 770m	1.107.886m ² 1454m X 970m	1.637.943m ² 1706m X 1222m	2.791.956m ² 2143m X 1659m	3.554.078m ² 2383m X 1899m	4.225.532m ² 2574m X 2090m	
8 horas	326.388m ² 965m X 431m	513.554m ² 1119m X 584m	827.005m ² 1328m X 793m	1.203.720m ² 1534m X 999m	1.773.368m ² 1794m X 1259m	3.010.258m ² 2243m X 1709m	3.825.688m ² 2491m X 1956m	4.543.505m ² 2687m X 2153m	
9 horas	356.023m ² 1026m X 442m	557.531m ² 1184m X 600m	893.610m ² 1398m X 814m	1.296.246m ² 1610m X 1025m	1.903.610m ² 1876m X 1292m	3.219.140m ² 2338m X 1753m	4.085.012m ² 2591m X 2007m	4.846.640m ² 2793m X 2209m	
10 horas	385.100m ² 1084m X 452m	600.518m ² 1246m X 614m	958.444m ² 1465m X 833m	1.386.009m ² 1682m X 1049m	2.029.527m ² 1954m X 1322m	3.420.167m ² 2427m X 1795m	4.334.096m ² 2686m X 2054m	5.137.411m ² 2893m X 2261m	
11 horas	413.698m ² 1141m X 462m	642.660m ² 1306m X 627m	1.021.768m ² 1530m X 851m	1.473.419m ² 1751m X 1072m	2.151.763m ² 2029m X 1350m	3.614.517m ² 2511m X 1832m	4.574.478m ² 2777m X 2098m	5.417.675m ² 2988m X 2309m	
12 horas	441.881m ² 1195m X 471m	684.068m ² 1364m X 639m	1.083.785m ² 1592m X 867m	1.558.793m ² 1817m X 1092m	2.270.817m ² 2101m X 1376m	3.803.099m ² 2593m X 1868m	4.807.346m ² 2863m X 2138m	5.688.871m ² 3078m X 2353m	

10 nós = 18 km/h = 5 m/s



Tempo decorrido	Volume derramado
	Área da mancha
	Comprimento x Largura

Figura 4 – Página objetivo do trabalho com tabela de progressão para vento de 10 m/s.

PROGRESSÃO DE ÓLEO DERRAMADO NO MAR COM VENTO A 19 NÓS

Tempo	Volume de óleo derramado							
	8 m ³	20 m ³	50 m ³	100 m ³	200 m ³	500 m ³	750 m ³	1000 m ³
10 minutos	32.597m ² 230m X 181m	56.655m ² 294m X 245m	99.757m ² 382m X 333m	154.137m ² 468m X 419m	239.362m ² 577m X 528m	430.995m ² 766m X 717m	560.165m ² 870m X 820m	675.073m ² 952m X 903m
30 minutos	62.626m ² 344m X 232m	105.440m ² 427m X 314m	180.761m ² 539m X 427m	274.599m ² 650m X 538m	420.351m ² 790m X 678m	745.294m ² 1032m X 920m	963.162m ² 1165m X 1053m	1.156.494m ² 1271m X 1159m
1 hora	97.876m ² 460m X 271m	160.787m ² 557m X 368m	269.703m ² 688m X 499m	403.860m ² 818m X 629m	610.514m ² 981m X 792m	1.067.551m ² 1264m X 1075m	1.372.441m ² 1420m X 1231m	1.642.351m ² 1544m X 1355m
2 horas	157.701m ² 634m X 316m	252.172m ² 747m X 430m	412.504m ² 901m X 583m	607.135m ² 1052m X 735m	903.701m ² 1243m X 925m	1.552.597m ² 1574m X 1256m	1.982.521m ² 1756m X 1438m	2.361.883m ² 1900m X 1582m
3 horas	211.535m ² 777m X 346m	332.800m ² 901m X 470m	535.866m ² 1069m X 638m	779.899m ² 1235m X 804m	1.148.891m ² 1444m X 1013m	1.950.045m ² 1806m X 1375m	2.478.192m ² 2005m X 1574m	2.943.108m ² 2163m X 1732m
4 horas	262.249m ² 904m X 369m	407.868m ² 1036m X 501m	649.238m ² 1215m X 680m	937.033m ² 1392m X 857m	1.369.561m ² 1615m X 1080m	2.302.869m ² 2000m X 1466m	2.915.640m ² 2213m X 1678m	3.453.992m ² 2381m X 1847m
5 horas	310.954m ² 1020m X 388m	479.373m ² 1159m X 527m	756.238m ² 1347m X 715m	1.084.230m ² 1533m X 901m	1.574.674m ² 1767m X 1135m	2.627.447m ² 2172m X 1540m	3.316.266m ² 2395m X 1763m	3.920.416m ² 2573m X 1940m
6 horas	358.218m ² 1129m X 404m	548.339m ² 1273m X 548m	858.714m ² 1469m X 744m	1.224.384m ² 1662m X 938m	1.768.788m ² 1906m X 1181m	2.932.095m ² 2328m X 1603m	3.690.929m ² 2560m X 1836m	4.355.505m ² 2745m X 2020m
7 horas	404.380m ² 1232m X 418m	615.371m ² 1381m X 567m	957.758m ² 1584m X 770m	1.359.209m ² 1784m X 970m	1.954.590m ² 2036m X 1222m	3.221.713m ² 2473m X 1659m	4.046.027m ² 2713m X 1899m	4.766.992m ² 2904m X 2090m
8 horas	449.663m ² 1330m X 431m	680.864m ² 1484m X 584m	1.054.079m ² 1692m X 793m	1.489.816m ² 1898m X 999m	2.133.826m ² 2158m X 1259m	3.499.475m ² 2608m X 1709m	4.385.701m ² 2855m X 1956m	5.159.880m ² 3052m X 2153m
9 horas	494.220m ² 1424m X 442m	745.094m ² 1582m X 600m	1.148.172m ² 1796m X 814m	1.616.974m ² 2008m X 1025m	2.307.701m ² 2274m X 1292m	3.767.576m ² 2736m X 1753m	4.712.815m ² 2990m X 2007m	5.537.626m ² 3192m X 2209m
10 horas	538.165m ² 1515m X 452m	808.260m ² 1677m X 614m	1.240.393m ² 1896m X 833m	1.741.242m ² 2113m X 1049m	2.477.092m ² 2385m X 1322m	4.027.607m ² 2858m X 1795m	5.029.441m ² 3117m X 2054m	5.902.736m ² 3324m X 2261m
11 horas	581.582m ² 1604m X 462m	870.513m ² 1769m X 627m	1.331.013m ² 1992m X 851m	1.863.043m ² 2214m X 1072m	2.642.658m ² 2492m X 1350m	4.280.764m ² 2974m X 1832m	5.337.140m ² 3240m X 2098m	6.257.094m ² 3451m X 2309m
12 horas	624.538m ² 1690m X 471m	931.972m ² 1858m X 639m	1.420.242m ² 2086m X 867m	1.982.703m ² 2311m X 1092m	2.804.910m ² 2595m X 1376m	4.527.975m ² 3087m X 1868m	5.637.121m ² 3357m X 2138m	6.602.156m ² 3572m X 2353m

19 nós = 36 km/h = 10 m/s



	Volume derramado
Tempo decorrido	Área da mancha Comprimento x Largura

Figura 5 - Página objetivo do trabalho com tabela de progressão para vento de 15 m/s.

PROGRESSÃO DE ÓLEO DERRAMADO NO MAR COM VENTO A 29 NÓS

Tempo	Volume de óleo derramado								
	8 m ³	20 m ³	50 m ³	100 m ³	200 m ³	500 m ³	750 m ³	1000 m ³	
10 minutos	35.083m ² 247m X 181m	60.028m ² 312m X 245m	104.336m ² 399m X 333m	159.905m ² 486m X 419m	246.629m ² 595m X 528m	440.858m ² 783m X 717m	571.456m ² 887m X 820m	687.500m ² 970m X 903m	
30 minutos	69.896m ² 384m X 232m	115.307m ² 467m X 314m	194.153m ² 579m X 427m	291.473m ² 690m X 538m	441.611m ² 830m X 678m	774.147m ² 1072m X 920m	996.191m ² 1205m X 1053m	1.192.847m ² 1311m X 1159m	
1 hora	112.173m ² 527m X 271m	180.191m ² 624m X 368m	296.038m ² 755m X 499m	437.040m ² 885m X 629m	652.319m ² 1048m X 792m	1.124.288m ² 1331m X 1075m	1.437.390m ² 1487m X 1231m	1.713.836m ² 1611m X 1355m	
2 horas	185.789m ² 747m X 316m	290.294m ² 860m X 430m	464.243m ² 1014m X 583m	672.322m ² 1165m X 735m	985.831m ² 1356m X 925m	1.664.065m ² 1687m X 1256m	2.110.120m ² 1869m X 1438m	2.502.324m ² 2013m X 1582m	
3 horas	253.210m ² 931m X 346m	389.363m ² 1054m X 470m	612.633m ² 1222m X 638m	876.620m ² 1388m X 804m	1.270.751m ² 1597m X 1013m	2.115.435m ² 1959m X 1375m	2.667.516m ² 2158m X 1574m	3.151.486m ² 2316m X 1732m	
4 horas	317.376m ² 1094m X 369m	482.687m ² 1226m X 501m	750.783m ² 1405m X 680m	1.064.972m ² 1582m X 857m	1.530.754m ² 1805m X 1080m	2.521.641m ² 2190m X 1466m	3.166.072m ² 2403m X 1678m	3.729.628m ² 2571m X 1847m	
5 horas	379.430m ² 1245m X 388m	572.309m ² 1384m X 527m	882.372m ² 1572m X 715m	1.243.148m ² 1757m X 901m	1.774.899m ² 1992m X 1135m	2.899.194m ² 2397m X 1540m	3.627.339m ² 2620m X 1763m	4.262.796m ² 2797m X 1940m	
6 horas	439.959m ² 1386m X 404m	659.279m ² 1531m X 548m	1.009.283m ² 1727m X 744m	1.414.090m ² 1920m X 938m	2.007.802m ² 2164m X 1181m	3.256.487m ² 2586m X 1603m	4.062.265m ² 2818m X 1836m	4.764.213m ² 3003m X 2020m	
7 horas	499.318m ² 1521m X 418m	744.221m ² 1670m X 567m	1.132.634m ² 1873m X 770m	1.579.539m ² 2073m X 970m	2.232.189m ² 2325m X 1222m	3.598.472m ² 2762m X 1659m	4.477.309m ² 3002m X 1899m	5.241.679m ² 3193m X 2090m	
8 horas	557.736m ² 1649m X 431m	827.541m ² 1803m X 584m	1.253.151m ² 2012m X 793m	1.740.630m ² 2218m X 999m	2.449.833m ² 2478m X 1259m	3.928.362m ² 2927m X 1709m	4.876.654m ² 3175m X 1956m	5.700.243m ² 3372m X 2153m	
9 horas	615.375m ² 1773m X 442m	909.526m ² 1931m X 600m	1.371.341m ² 2145m X 814m	1.898.149m ² 2357m X 1025m	2.661.960m ² 2623m X 1292m	4.248.379m ² 3085m X 1753m	5.263.197m ² 3339m X 2007m	6.143.400m ² 3541m X 2209m	
10 horas	672.354m ² 1893m X 452m	990.382m ² 2055m X 614m	1.487.571m ² 2274m X 833m	2.052.668m ² 2490m X 1049m	2.869.463m ² 2763m X 1322m	4.560.137m ² 3235m X 1795m	5.639.035m ² 3495m X 2054m	6.573.682m ² 3702m X 2261m	
11 horas	728.762m ² 2009m X 462m	1.070.267m ² 2174m X 627m	1.602.121m ² 2398m X 851m	2.204.618m ² 2619m X 1072m	3.073.015m ² 2898m X 1350m	4.864.849m ² 3380m X 1832m	6.005.751m ² 3645m X 2098m	6.992.995m ² 3857m X 2309m	
12 horas	784.670m ² 2123m X 471m	1.149.304m ² 2291m X 639m	1.715.208m ² 2519m X 867m	2.354.336m ² 2744m X 1092m	3.273.138m ² 3028m X 1376m	5.163.459m ² 3520m X 1868m	6.364.569m ² 3790m X 2138m	7.402.816m ² 4005m X 2353m	

29 nós = 54 km/h = 15 m/s



	Volume derramado
Tempo decorrido	Área da mancha Comprimento x Largura

4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise das complexidades na modelagem do comportamento de óleos no mar e quais as características que mais impactam no desenvolvimento de seu avanço. Tais estudos são feitos a décadas, ao ponto em que estamos de haverem sistemas de alta complexidade simulando gotícula por gotícula a níveis de composição para verificar sua trajetória e seu comportamento em frente aos processos descritos neste trabalho.

Devido a tal complexidade que seria de difícil acesso e execução neste trabalho, se escolheu por utilizar cálculos mais simples de comportamento, com abrangência de período menor. Outro ponto que deve se levar em consideração é a falta de dados públicos sobre o comportamento de vazamentos de petróleo de maior volume, sendo que os comparados para verificação do modelo utilizado foram de baixo volume, não tendo sido possível comparar com volumes maiores.

O objetivo proposto foi executado, está apresentado como apêndice, tendo sido julgadas pelo autor como de fácil entendimento e consulta em caso de uma emergência que necessite orientar embarcações para combate ao vazamento de óleo no mar, enquanto os recursos visuais de aeronaves não são mobilizados. O trabalho pode vir a ser de grande ajuda para a sociedade caso seja utilizado em campo, auxiliando para que o petróleo de um vazamento não atinja áreas sensíveis da costa e acelerando sua remoção da superfície do mar.

O trabalho apresenta um uso prático hipotético para os modelos de vazamentos de petróleo, devendo ser recalculado para os dados específicos de óleo e condições de cada plataforma em que for disponibilizado para apresentar maior acurácia. Também é possível traçar o caminho oposto ao proposto com a tabela, se estimando o volume vazado pelas proporções da mancha visualizada.

Os estudos aqui realizados podem ser continuados se aperfeiçoando qual modelo utilizar, buscando trabalhar com empresas do ramo de petróleo ou instituições governamentais para se utilizar os sistemas acreditados ou aprovados para uso profissional. Do mesmo modo se poderia utilizar dados mais precisos de vazamentos para validação do modelo utilizado, dados estes que não costumam ser de acesso público. Outro ponto a se continuar os trabalhos é aperfeiçoando o método de apresentação, verificando com a população para qual se destina o objetivo do trabalho pontos de melhoria.

REFERÊNCIAS

ANP. **Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural de Junho de 2020**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/arquivos/publicacoes/boletins-anp/producao/2020-06-boletim.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2020.

ANP. **Relatório de Gestão da ANP 2019**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/images/Auditoria/relatorio-de-gestao-anp-2019.pdf>> Acesso em: 28 set. 2020.

ANP. **Relatório Anual de Segurança Operacional ANP – 2019**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/arquivos/exploracao-producao/sgom/dd/rso/2019-relatorio-anual-seguranca-operacional.pdf>> Acesso em 03 nov. 2020.

ARKHIPOV, B. V. & SHAPOCHKIN, D. A. **Solution of the equation for oil spills spreading over the sea surface by the characteristic method**. Computational Mathematics and Mathematical Physics, v. 59, p. 301-312, mai. 2019.

ASSAD, Luiz Paulo de Freitas. **Noções básicas de modelagem hidrodinâmica computacional e de dispersão de poluentes**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2009

BEYER, Jonny & TRANNUM, Hilde C. & BAKKE, Torgeir & HODSON, Peter V. & COLLIER, Tracy K. **Environmental effects of the Deepwater Horizon oil spill: A review**. Marine Pollution Bulletin, v. 110, p. 28-51, jun. 2016.

BHARDWAJ, Neha; BHASKARWAR, Ashok N. **A review on sorbent devices for oil-spill control**. Environmental Pollution, v. 243 part B, p. 1758-1771, dec. 2018.

CHANG, Stephanie E. & STONE, Jeremy & DEMES, Kyle & PISCITELLI, Marina. **Consequences of oil spills: a review and framework for informing planning**. Ecology and Society, v. 19, n. 2, art. 26, 2014.

CONAMA. **RESOLUÇÃO CONAMA no 398, de 11 de junho de 2008**. Disponível em: <<http://portal.antaq.gov.br/wp-content/uploads/2016/12/Resolu%C3%A7%C3%A3o-CONAMA-n.-398-de-11-de-junho-de-2008.pdf>> Acesso em: 29 set. 2020

IBAMA, Alan. **Vistoria em áreas com localidades oleadas no litoral brasileiro nos dias 04/03 a 19/03/2020**. Disponível em:

<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/emergenciasambientais/2020/manchasdeoleo/2020-03-19_LOCALIDADES_AFETADAS.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2020.

IEA – International Energy Agency. **Total primary energy supply by fuel, 1971 and 2018**.

Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/total-primary-energy-supply-by-fuel-1971-and-2018>> Acesso em: 11 nov. 2020

ITOPF. **Oil Tanker Spill Statistics 2019** Disponível em: <<https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics/>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP. **Empregos no setor de petróleo e gás natural**.

Disponível em: <<https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/dados-emprego-setor-petroleo-e-gas/>>. Acesso em: 28 set. 2020.

LEHR, W. J. & CEKIRGE, R. J. & FRAGA, R. J. & BELEN, M. S. **Empirical Studies of the Spreading of Oil Spills**. Oil & Petrochemical Pollution, v. 2 (1), p. 7-11, 1984.

MISHRA, Aditya Kumar & KUMAR, G Suresh. **Weathering of Oil Spill: Modeling and Analysis**. Aquatic Procedia, v. 4, p.435-442, mar. 2015.

OLIVEIRA, Bernardo Lopes Almeida de & NETTO, Theodoro Antoun & ASSAD, Luiz Paulo de Freitas. **Three-dimensional oil dispersion model in the Campos Basin, Brazil**, Environmental Technology, v. 39:3, p. 277-287, mar. 2017.

PENA, Paulo G. L. & NORTHCROSS, Amanda L. & DE LIMA, Mônica A. G. & RÊGO, Rita de C. F. **Derramamento de óleo bruto na costa brasileira em 2019: emergência em saúde pública em questão**. Cadernos de Saúde Pública, v. 36, n. 2, jan. 2020.

Petrobras. **Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para a Área Geográfica Bacia de Santos, 2016**. Disponível em:

<https://www.comunicabaciadesantos.com.br/sites/default/files/Anexo_II.2-3_RT_Tt15-001-Sol10_Mod_Oleo_AGBS_04mar16_rev06.pdf> Acesso em: 28 set. 2020.

SIMECEK-BEATTY, Debra & LEHR, William J. **Extended oil spill spreading with Langmuir circulation**. Marine Pollution Bulletin, v. 122, p. 226-235, 2017.

SPAULDING, Malcolm L. **State of the art review and future directions in oil spill modeling.** Marine Pollution Bulletin, v. 115, p. 7-19, jan. 2017.

SRIWICHIEEN, S. & CHAYANTRAKOM, K. & KANBUA, W. **A numerical study of oil spill prediction in the Gulf of Thailand using ocean wave model.** Advances in Difference Equations, v. 2019, article 267, 2019.

ZAFIRAKOU, Antigoni. **Oil Spill Dispersion Forecasting Models.** Monitoring of Marine Pollution, Houma Bachari Fouzia, IntechOpen, 2018.