

MODELAGEM DINÂMICA DE SISTEMAS COMPLEXOS NA AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DAS ESTRATÉGIAS DE RESPOSTA PARA COMBATE A "OIL SPILL"

Marcelo Cruz dos Santos (*)

* Universidade Federal do Rio de Janeiro / Analista Ambiental do IBAMA/DILIC/CGMAC/COEXP.

RESUMO

O risco de derramamento de óleo resultante das atividades offshore de exploração e produção de petróleo e gás é avaliado por meio de estudos de análise de risco apresentados pelas empresas operadoras, os quais determinam a caracterização da infraestrutura de apoio e combate a "oil-spill". A ocorrência de um "oil-spill" implica na aplicação simultânea de diversas metodologias para combater os vazamentos, como contenção e recolhimento, dispersão mecânica e química e queima "in-situ". Cada metodologia gera diferentes volumes e tipos de resíduos e seus impactos ambientais correspondentes. O problema central dessa questão é o fato de que, em muitos casos, o volume de resíduos gerados pela aplicação de cada estratégia de resposta pode ser maior que o próprio volume vazado, tornando os impactos ambientais dos resíduos gerados maiores do que os impactos ambientais do vazamento em si. A questão de caracterizar os impactos ambientais oriundos da aplicação das estratégias de resposta é complexa, uma vez que inexiste metodologia que qualifique e quantifique os impactos ambientais específicos resultantes da implementação de cada estratégia de resposta, deixando a avaliação de impacto ambiental limitada ao volume de óleo vazado e seus impactos diretos. O presente trabalho apresenta resultados preliminares de Tese de Doutorado em desenvolvimento, a qual propõe um sistema de modelagem baseado na Dinâmica de Sistemas, que diante de um caso concreto de derramamento de óleo, informe quais foram os impactos ambientais gerados por cada estratégia de resposta aplicada. A Dinâmica de Sistemas é uma metodologia de modelagem que permite entender como as variáveis de um determinado sistema "complexo" interagem, permitindo a percepção de sua natureza dinâmica e as possibilidades de melhoria em seu desempenho. Baseia-se em uma estrutura de fluxos e estoques que permite a modelagem de sistemas com grande número de variáveis, que podem ter seu papel individual diante do sistema adequadamente dimensionado e compreendido. Para que um determinado sistema seja considerado "complexo", um processo de "feedback" deve ocorrer entre suas variáveis, de modo que a ação em uma variável gere efeitos em um ponto anterior do sistema, alterando as condições nas quais as decisões iniciais foram baseadas. O uso da Dinâmica de Sistemas, na medida em que possibilita a compreensão da relevância de cada variável frente ao sistema como um todo, permite a determinação das relações de causa e efeito entre as variáveis e a compreensão sistêmica do problema em estudo, permitindo que decisões mais robustas possam ser tomadas com relação às mudanças tecnológicas ou processuais que venham a contribuir significativamente para a maximização da capacidade de resposta e a minimização de seus impactos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Dinâmica de Sistemas, Sistemas Complexos, Pensamento Sistêmico, "Oil-spill", Petróleo e Gás Natural.

INTRODUÇÃO

Vazamentos de petróleo, os chamados "oil-spills", são eventos intrinsecamente relacionados com a indústria mundial de petróleo e gás natural em suas diversas ramificações. Dados estatísticos da International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF) estimam que aproximadamente 5,86 milhões de toneladas de petróleo bruto foram lançadas nos oceanos especificamente como resultado de incidentes causados por petroleiros de 1970 a 2018 (ITOPF, 2018). No que se refere à ocorrência de "oil-spill" com origem nas atividades de exploração e produção, dados apresentados por Morgan et al (2014), destacam que embora menos frequentes, costumam ter impactos mais significativos por conta dos grandes volumes de seus vazamentos, e em especial por sua proximidade com a linha costeira. Como exemplo, citam o Campo de Ekofisk Bravo no Mar do Norte, de onde em 1977 foram derramados mais de 27.000 toneladas de petróleo bruto, a plataforma de Nowruz que em 1983 durante a primeira Guerra do Golfo derramou 260.000 toneladas de petróleo cru no Golfo Pérsico, a erupção do Poço Ixtoc I que liberou mais de 450.000 toneladas de óleo no Golfo do México e novamente no Golfo do México, a explosão da plataforma Deepwater Horizon em 2010 que resultou no lançamento de 627.000 toneladas de petróleo bruto para as águas do Golfo.

Os autores citam ainda estatísticas que indicam que nos períodos compreendidos entre 1962 e 1990, e entre 1991 e 2012, teriam sido lançados anualmente em média respectivamente 53.652,22 e 84.166,49 toneladas de petróleo bruto nos oceanos ao redor do Globo, o que totalizaria cerca de 3,41 milhões de toneladas.

A ocorrência de um “oil-spill” implica na imediata aplicação de metodologias de combate ao vazamento já consagradas, quais sejam a contenção e recolhimento, a dispersão mecânica, a dispersão química e a queima “in-situ”. Cada uma dessas metodologias gera distintos volumes e tipos de resíduos e seus correspondentes impactos ambientais. O problema central dessa questão é o fato de que em muitos casos o volume de resíduos gerados pela aplicação das estratégias de resposta pode ser muitas vezes superior ao próprio volume vazado, fazendo com que os seus impactos ambientais sejam tão ou mais graves do que os impactos ambientais do vazamento em si.

A questão da minimização dos impactos ambientais é complexa na medida em que inexistente metodologia que qualifique e quantifique os impactos ambientais específicos e oriundos da implementação de cada específica estratégia de resposta selecionada, ficando a avaliação dos impactos ambientais limitada ao volume de óleo vazado e sua possibilidade de toque na costa, nos termos apresentados pelas modelagens hidrodinâmica e de dispersão de óleo exigidas nos processos de Licenciamento Ambiental.

Este trabalho apresenta a proposta de desenvolvimento de um sistema de modelagem baseado na Dinâmica de Sistemas, que diante de um caso concreto de “oil-spill” permita quantificar e qualificar os impactos ambientais de cada estratégia de resposta implementada. A relevância do projeto ora em desenvolvimento reside no fato de tratar-se de uma proposta inédita que amplia o foco das operações de combate a “oil-spill” e da avaliação de seus impactos ambientais. Essa ferramenta de modelagem, uma vez implementada, permitirá a ampliação da capacidade de prognóstico e diagnóstico dos efetivos e globais impactos ambientais oriundos de um “oil-spill”, por meio da quantificação e qualificação não apenas dos impactos ambientais do próprio vazamento, mas também daqueles oriundos da implementação das necessárias ações de resposta.

Para que a relevância dessa proposta fique clara, voltemos a 20 de abril de 2010, quando ocorreu o acidente com a Plataforma Deepwater Horizon, da BP, no Golfo do México. Embora não ajam números precisos, as diversas estimativas de volume vazado dão conta de que entre 4 e 6 milhões de barris de óleo bruto tenham vazado para as águas do Golfo, equivalentes a cerca de 540.000 a 810.000 toneladas. Desse total, pouco mais de 800 mil barris foram contidos e recolhidos (CRONE & TOLSTOY, 2010). Ressalte-se que este foi o maior acidente marinho de “oil-spill” da história (Camelli et al., 2010), cerca de 20 vezes maior do que o ocorrido em 1989 com o petroleiro Exxon Valdez (Paine et al., 1996). Uma ampla variedade de ações de resposta ao vazamento foi empreendida, objetivando a contenção e recolhimento, dispersão e queima, fazendo uso de todas as técnicas então disponíveis. Além de tais esforços que conseguiram recuperar pouco mais de 800 mil barris, foram lançados cerca de 1,84 milhões de galões de dispersantes sobre o óleo em suspensão e diretamente sobre o vazamento, na cabeça do Poço Macondo (USCG 2011). Quanto à queima, foram conduzidos 411 focos de queima “in-situ”, que em tese foram responsáveis pela queima de 250.000 bbl (MABILE & ALLEN 2010, USCG 2011). Cada uma das técnicas adotadas gerou distintos tipos e volumes de resíduos, totalizando a geração de 80.276 toneladas de resíduos sólidos e 956.350 bbl de resíduos líquidos (AZWELL et al., 2011). Nessa conta não estão incluídos os resultados das emissões atmosféricas dos 411 focos de queima “in-situ”, as quais incluem não apenas material particulado, óxidos de enxofre e nitrogênio, etc, mas também grandes volumes de gases de efeito estufa além de resíduos sólidos oriundos da queima das barreiras.

Para implementação de toda essa gigantesca operação, foram lançados mais de 1.200 km de barreiras de contenção, utilizadas cerca de 9 mil embarcações, 2 plataformas de perfuração, 82 helicópteros, 47.849 pessoas envolvidas de 26 órgãos governamentais norte-americanos. Apesar de todos esses gigantescos esforços e infraestrutura, cerca de 67% de todo o óleo foi considerado residual, evaporado ou dissolvido por degradação natural ou dispersado naturalmente (USCG 2011).

Cabe ressaltar que a incerteza é um elemento que permeia todo o processo de avaliação da real extensão do acidente. A tal ponto, que Lehr et al (2010) apresentam estimativas bastante distintas quanto aos resultados das ações de resposta e óleo residual, conforme a Figura 1:

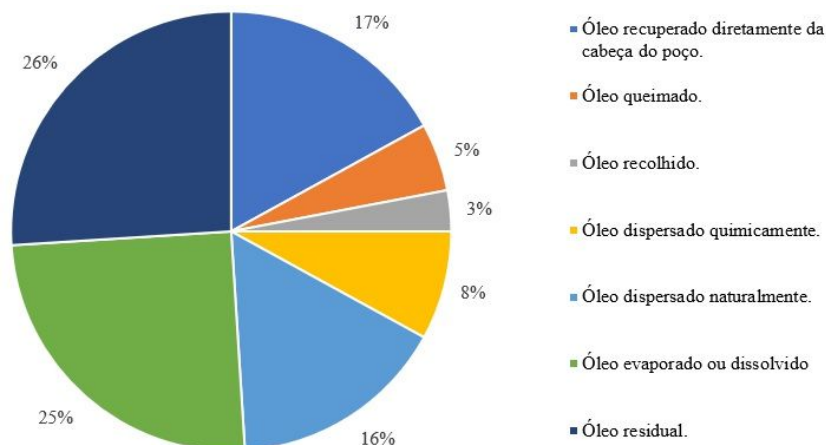


Figura 1: Resultados das ações de resposta e óleo residual (LEHR ET AL, 2010).

Em resumo, a imagem que permanece até hoje do acidente e afundamento da Deepwater Horizon são as imensas manchas de óleo em suspensão, as praias contaminadas pelo óleo, os focos de queima “in-situ”, a fauna oleada, dentre tantas outras imagens que embora dramáticas, não revelam a extensão total do acidente. O questionamento que deve ser feito é qual é o verdadeiro e completo impacto ambiental desse acidente, caso sejam levados em consideração não apenas o volume de óleo lançado no ambiente marinho do Golfo do México, mas também o enorme volume de resíduos sólidos, efluentes e emissões atmosféricas decorrentes do acidente, associados a seus respectivos impactos ambientais

OBJETIVOS

A utilização da Dinâmica de Sistemas na modelagem da utilização das estratégias de resposta para combate a “oil-spill” possibilitará a manipulação de todas as estratégias de resposta e suas características intrínsecas (consideradas como variáveis no modelo) de forma individual ou agrupada, gerando inúmeras informações de saída que representarão as tipologias de resíduos gerados por cada ação de resposta e respectivos volumes, determinando os impactos ambientais de cada ação de resposta individual, e do conjunto de ações.

A construção do modelo levará em conta a necessidade de sua segmentação em compartimentos distintos, cada um dos quais representando cada uma das técnicas de combate disponíveis e as diversas outras formas de dispersão natural do óleo.

Tendo em vista o grande número de variáveis envolvidas no sistema, a determinação das relações de causa e efeito, sempre que existentes, permitirá compreender sistemicamente o problema, permitindo que decisões mais robustas possam ser tomadas no que se refere a alterações tecnológicas ou procedimentais que contribuam significativamente para a maximização da capacidade de resposta e a minimização dos impactos ambientais correlatos.

Diante do exposto, cabe considerar que ainda que levemos em conta a ampla utilização das metodologias de combate a “oil-spill” e dos incontáveis recursos humanos e materiais em geral disponibilizados quando da ocorrência de vazamentos, o verdadeiro alcance dos impactos ambientais é subestimado, na medida em que a avaliação dos impactos ambientais em geral limita-se à avaliação específica dos volumes derramados e de suas consequências. Em resumo, podemos concluir que na atualidade a avaliação de impactos ambientais decorrentes de “oil-spill” é significativamente subestimada na medida em que limita-se a avaliar os impactos do acidente em si, deixando uma ampla lacuna referente aos impactos provocados pelos resíduos líquidos e sólidos gerados pelas ações de resposta os quais podem ser substanciais, embora sejam em geral não considerados ou minimizados.

O modelo ora em desenvolvimento pretende preencher essa lacuna.

METODOLOGIA

A Dinâmica de Sistemas é uma metodologia de modelagem que permite a compreensão de como as variáveis de um determinado sistema “complexo” interagem, permitindo a percepção de sua natureza dinâmica e as possibilidades de melhoria em sua performance. Baseia-se em uma estrutura de fluxos e estoques que permite a modelagem de sistemas com grande número de variáveis, as quais podem ter seu papel individual frente ao sistema como um todo devidamente dimensionado e compreendido.

Para que um dado sistema seja considerado “complexo”, é necessário que entre suas variáveis ocorra um processo de “feedback”, de tal forma que a ação sobre uma variável retroalimente o sistema, alterando as condições sobre as quais foram baseadas as decisões iniciais. A Figura 2 ilustra um Sistema Complexo, com seus Estoques, Fluxos e “Feedbacks”.

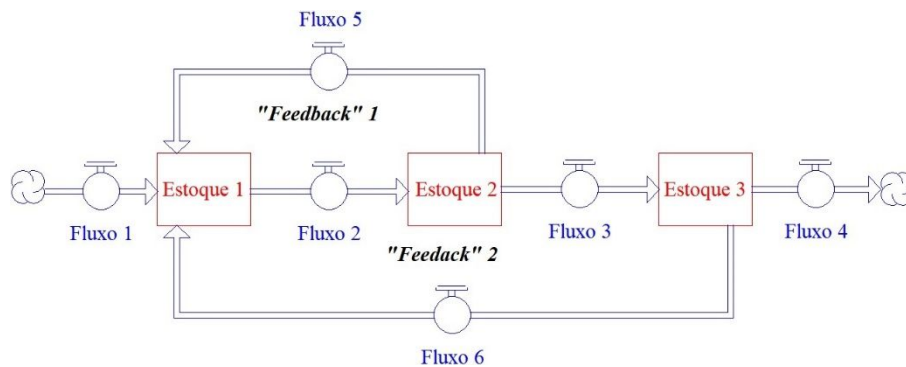


Figura 2: Exemplo de Sistema Complexo.

A abordagem do problema a ser modelado pela Dinâmica de Sistemas deve seguir uma sequência de etapas que permita a escolha de ações que vão desde a definição e compreensão do problema, até a tomada de decisões quanto a alterações que o modelo gerado tenha indicado como necessárias:

- Definição do problema;
- Identificação das variáveis que interagem dentro do sistema e dos efeitos gerados por cada variável;
- Identificar as causas do problema em estudo e avaliar a informação gerada de forma a possibilitar a tomada de decisão quanto a novas ações.
- Construir um modelo matemático das políticas de decisão, fontes de informação, e interações dos componentes do sistema.
- Simular o comportamento do sistema através do tempo na forma como foi descrito pelo modelo.
- Comparar os resultados gerados pelo modelo com outros resultados disponíveis em outros estudos;
- Revisar o modelo procurando torná-lo o mais próximo possível da realidade;
- Redesenhar, dentro do modelo, os relacionamentos organizacionais e políticas que podem ser modificadas no sistema atual para achar as mudanças que melhorem o comportamento do sistema.
- Efetuar as alterações no sistema real de acordo com as informações que o modelo indicou que provocarão a melhoria de desempenho.

Uma das aplicações resultantes da modelagem por Dinâmica de Sistemas é a possibilidade de visualização de qualquer sistema através da identificação das suas características estruturais, de suas relações de causa e efeito e das estruturas de “feedback”. Tal tarefa utiliza a técnica dos chamados diagramas de Enlace Causal. Tais diagramas são utilizados para produzir uma descrição dos principais elementos que causam o comportamento de um sistema, sendo particularmente úteis para o desenvolvimento de um entendimento compartilhado da dinâmica relacional do sistema, ou mesmo para comunicar alguma descoberta.

Na perspectiva da Dinâmica de Sistemas, qualquer sistema pode ser descrito através de uma linguagem composta de quatro elementos:

- Estoques, os quais representam o estado momentâneo de um recurso, como por exemplo, estoques de mercadorias, volume de um vazamento, número de trabalhadores, recursos financeiros, etc.;
- Fluxos, que são atividades que produzem crescimento ou redução dos estoques;
- Conversores, os quais processam informações a respeito dos estoques e fluxos, ou representam fontes de informação externa ao sistema;
- Conectores, que nada mais são do que links de informação que conectam Estoques, Fluxos e Conversores.

Na Dinâmica de Sistemas são utilizadas as características estruturais do diagrama de Enlace Causal para desenvolver um modelo de simulação do sistema, usando a linguagem dos Fluxos e Estoques. Os modelos de simulação podem ser usados para investigar e compreender por que certo sistema se comporta de uma certa maneira, permitindo desta forma encontrar melhores formas de operá-lo, uma vez que se pode conhecer de antemão as consequências que certos eventos desencadearão no sistema.

Para o desenvolvimento do modelo, foi utilizado o Ambiente de Modelagem Computacional iThink, uma poderosa ferramenta para identificar as interdependências entre processos e problemas.

A utilização da Dinâmica de Sistemas na modelagem da utilização das estratégias de resposta para combate a “oil-spill” possibilitará a manipulação de todas as variáveis individualmente ou em conjunto, gerando inúmeras informações de saída distintas. Tal prática permitirá identificar o peso de cada variável ou conjunto de variáveis, de tal forma que a tomada de decisão quanto a mudanças passe a revestir-se de maior qualidade.

No caso em questão, ao falarmos em “variáveis” estamos tratando de um diversificado conjunto de elementos, que vai desde as próprias estratégias de resposta, chegando à forma como cada uma dessas estratégias é implementada, as tipologias e volumes de resíduos gerados por cada uma delas, as formas de tratamento, desinfecção e disposição final dos resíduos, etc.

O modelo em desenvolvimento não tem como principal motivação a alteração da estrutura de resposta a combate de “oil-spill”, como poderia ser intuído ao falarmos em “alterações”. Sugestões de mudanças na estrutura de resposta até podem surgir a partir da análise dos resultados apresentados pelo modelo, mas no entanto seu principal foco é ir além da atual concepção de impacto ambiental de uma acidente de vazamento de petróleo, ao incluir os impactos que em geral passam despercebidos, daqueles resíduos que são gerados após a implementação das ações de resposta.

O modelo ora em desenvolvimento pode ser sintetizado pela Figura 3, a qual representa algumas das principais estratégias de resposta usualmente disponíveis e seus respectivos resíduos gerados, bem como a totalização dos resíduos gerados pelas diversas alternativas de resposta, gerando o montante de impactos ambientais oriundos da aplicação da estrutura de resposta a combate de “oil-spill”.



Figura 3: Visão esquemática do modelo em desenvolvimento.

As técnicas tradicionais de combate a “oil-spill” necessariamente geram um grande acúmulo de resíduos oleosos em grandes volumes, em especial no que se refere aos resíduos oriundos de toque de óleo na costa. Há que se destacar que em diversos acidentes observa-se que os volumes de resíduos em casos extremos podem gerar até 40 vezes mais resíduos do que o próprio volume de óleo liberado, mesmo em casos de pequenos vazamentos. Observa-se ainda que na ampla maioria dos casos, os volumes de resíduos são substancialmente maiores do que os volumes dos vazamentos, o que comprova que essa é uma situação que não deve ser negligenciada quando da avaliação real e global dos impactos ambientais oriundos de “oi-spill”.

A Tabela 1 relaciona uma longa série de acidentes históricos, comparando os volumes derramados com seus respectivos volumes de resíduos sólidos e líquidos. Há que se destacar que além dos resíduos indicados na tabela, não entram no cômputo geral as emissões atmosféricas correspondentes, o que ampliaria ainda mais os impactos ambientais.

Tabela 1: Volumes de resíduos gerados por acidentes de “oil-spill”. Fonte: WADSWORTH, 2014.

Ano	Nome do Acidente	“Oil-spill” (toneladas)	Resíduos líquidos (toneladas)	Resíduos sólidos (toneladas)	Total de resíduos gerados (toneladas)	Taxa resíduos gerados / “oil-spill”
1993	Braer	86.200	-	2.000	2.000	0,02
2010	Deepwater Horizon	780.000	162.260	89.200	251.460	0,32
1996	Sea Empress	72.370	25.000	11.000	36.000	0,50
1978	Amoco Cadiz	227.000	100.000	100.000	200.000	0,88
1995	Sea Prince	5.500	2.000	5.100	7.100	1,29
1980	Tanio	13.500	-	28.000	28.000	2,07
2006	Solar 1	2.080	-	5.010	5.010	2,41

2002	Prestige	63.000	50.000	159.300	209.300	3,32
1999	Volgoneft 248	1.280	-	4.500	4.500	3,52
1989	Exxon Valdez	37.000	97.500	38.800	136.300	3,68
2007	Hebei Spirit	10.900	2.610	37.610	40.220	3,69
2001	Baltic Carrier	2.550	965	10.750	11.715	4,59
1988	Amazzone	2.100	-	13.000	13.000	6,19
2004	Athos I	900	200	6.700	6.900	7,67
1997	Nakhodka	6.200	-	50.000	50.000	8,06
1999	Erika	19.800	1.100	200.000	201.100	10,16
1997	Nissos Amorgos	3.600	-	40.000	40.000	11,11
2007	Volgoneft 139	2.000	200	79.740	79.940	39,97

Tais resultados atestam a importância de incluir nas avaliações de impacto ambiental dos acidentes de “oil-spill” os impactos ambientais da geração de resíduos sólidos, efluentes e emissões atmosféricas de cada estratégia de resposta aplicada.

RESULTADOS ESPERADOS

A utilização da Dinâmica de Sistemas na modelagem da utilização das estratégias de resposta para combate a “oil-spill” possibilitará a manipulação de todas as estratégias de resposta e suas características intrínsecas (consideradas como variáveis no modelo) de forma individual ou agrupada, gerando inúmeras informações de saída que representarão as tipologias de resíduos gerados por cada ação de resposta e respectivos volumes, determinando os impactos ambientais de cada ação de resposta individual, e do conjunto de ações.

A construção do modelo levará em conta a necessidade de sua segmentação em compartimentos distintos, cada um dos quais representando cada uma das técnicas de combate disponíveis e as diversas outras formas de dispersão natural do óleo.

Tendo em vista o grande número de variáveis envolvidas no sistema, a determinação das relações de causa e efeito, sempre que existentes, permitirá compreender sistemicamente o problema, permitindo que decisões mais robustas possam ser tomadas no que se refere a alterações tecnológicas ou procedimentais que contribuam significativamente para a maximização da capacidade de resposta e a minimização dos impactos ambientais correlatos.

Diante do exposto, cabe considerar que ainda que levemos em conta a ampla utilização das metodologias de combate a “oil-spill” e dos incontáveis recursos humanos e materiais em geral disponibilizados quando da ocorrência de vazamentos, o verdadeiro alcance dos impactos ambientais é subestimado, na medida em que a avaliação dos impactos ambientais em geral limita-se à avaliação específica dos volumes derramados e de suas consequências. Em resumo, podemos concluir que na atualidade a avaliação de impactos ambientais decorrentes de “oil-spill” é significativamente subestimada na medida em que limita-se a avaliar os impactos do acidente em si, deixando uma ampla lacuna referente aos impactos provocados pelos resíduos líquidos e sólidos gerados pelas ações de resposta os quais podem ser substanciais, embora sejam em geral não considerados ou minimizados.

O modelo ora em desenvolvimento pretende preencher essa lacuna.

No atual estágio de desenvolvimento do modelo, os aspectos conceituais de um incidente de “oil-spill” estão sendo traduzidos para a linguagem da Dinâmica de Sistemas, ou seja, todos os compartimentos envolvidos estão sendo representados por meio dos blocos de construção do modelo, ou seja, estoques e fluxos, como podem ser observados na Figura 4. Nesse primeiro protótipo, a modelagem tem início na definição do tipo de vazamento, definindo se trata-se de um “blow-out”, ou seja, um vazamento contínuo ou se trata-se de acidente com um petroleiro ou navio-tanque, ou seja, um vazamento “instantâneo”.

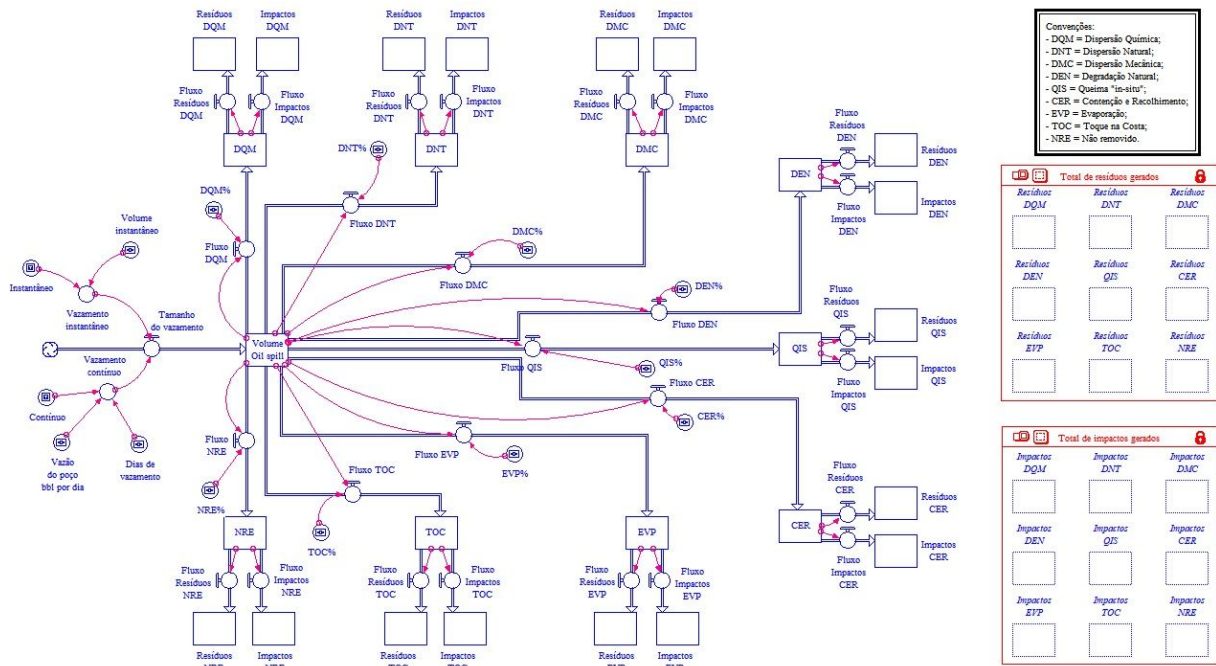
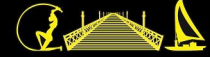


Figura 4: Modelo conceitual preliminar de um “oil-spill”.

Na Figura 4 podem ser observados 9 Estoques que correspondem às possibilidades de compartimentos para onde o óleo poderá ser conduzido ou removido. Tratam-se das estratégias de resposta tradicionais (contenção e recolhimento, dispersão química, dispersão mecânica, queima “in-situ”), os processos naturais (dispersão natural, evaporação, degradação natural), o toque na costa e o óleo não removido, que se mantém na coluna d’água independentemente das estratégias de resposta e dos processos naturais.

Cada um desses estoques corresponde no efeito prático a um determinado percentual do óleo derramado. Para efeito da modelagem, esse percentual poderá ser definido com base em avaliações de acidentes anteriores ou com base em medições relativos a caso concreto. A Figura 5 mostra um exemplo em que cada compartimento tem a sua participação percentual na distribuição do óleo vazado, por meio de 9 “sliders” que definem a critério do modelador os percentuais correspondentes a cada compartimento. A ferramenta é totalmente manipulável pelo modelador.

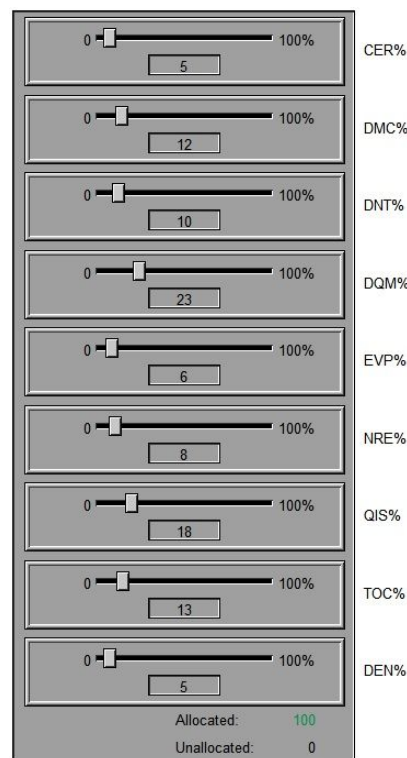


Figura 5: Conjunto de “sliders” que definem os percentuais de participação de cada compartimento na remoção do óleo

Outras ferramentas importantes do modelo podem ser vistas nas Figuras 6, 7 e 8, onde são apresentadas um conjunto de botões seletores que logo no início do modelo definem o tipo de vazamento (se contínuo ou “instantâneo”), e “sliders” que definem a vazão de vazamento descontrolado do poço e a duração do vazamento, caso a modelagem seja de “blow-out”, e o volume do vazamento “instantâneo”, caso a modelagem seja de acidente com um petroleiro ou navio-tanque.



Figura 6: Seletor de tipo de vazamento.



Figura 7: “Sliders” vazão do poço e duração do “blow-out”.



Figura 8: “Slider” volume do vazamento “instantâneo”.

Dentre muitos outros recursos de visualização de resultados, o modelo apresenta gráficos de vários formatos, como o exemplo da Figura 9, onde é apresentada a evolução da remoção de óleo por Dispersão Química (DQM) e a vazão do poço em “blow-out” durante 100% do período de descontrole. Os gráficos podem apresentar quaisquer resultados que correspondam às variáveis do modelo, a critério do modelador.



Figura 9: Exemplo de gráfico

A flexibilidade do modelo e sua grande capacidade de representar com precisão as informações que o modelador julgue necessárias mostra claramente que a ferramenta, uma vez concluída, checada e calibrada, tem um enorme potencial de avaliação da real extensão dos impactos ambientais de acidentes de “oil-spill”.

Diante disso, e diante dos resultados já alcançados, espera-se que a avaliação de impactos ambientais dessa natureza passe a considerar, uma vez que seja implementada a modelagem proposta, uma gama de impactos até o momento bastante negligenciados, levando-se em conta a não consideração dos resíduos gerados pela implementação das estratégias de resposta e seus impactos ambientais associados.

CONCLUSÕES

A indústria do petróleo tem como uma de suas mais marcantes características o dinamismo e a rápida adaptação a novas tecnologias. Como tal, há que se exigir que a questão do risco não fique limitada a antigas formas de interpretação, que conforme foi exposto, não correspondem a toda sua dimensão no que se refere aos reais impactos ambientais decorrentes de “oil-spill”. A modelagem ora proposta permitirá uma avaliação mais próxima da realidade, dimensionando os reais impactos ambientais de todo o cenário do acidente, desde aqueles obviamente observados pelo vazamento em si, mas também por todos aqueles dele decorrentes por conta das ações de resposta implementadas.

A relevância do modelo ora proposto reside no fato de tratar-se de uma proposta inédita que amplia o foco das operações de combate a “oil-spill”. Na atualidade, tais operações limitam-se a ser definidas com base nas modelagens hidrodinâmicas e de dispersão de óleo, as quais por sua vez limitam-se a definir a correspondente infraestrutura de resposta.

Na ocorrência de um caso concreto de “oil-spill”, os procedimentos implementados focam basicamente na remoção da maior quantidade possível do óleo das águas, bem como evitar o seu toque na costa. Para tal, são utilizados todos os recursos definidos na estrutura de resposta, sem levar em consideração os impactos ambientais de cada técnica utilizada. Tal procedimento, por mais eficiente que seja no sentido de conter o vazamento e remover do ambiente natural o óleo derramado, não leva em consideração na tomada de decisões da sequência de operações os impactos ambientais de cada técnica utilizada. A nosso ver, essa prática peca por não avaliar as consequências ambientais das técnicas de contenção, recolhimento, dispersão e queima “in-situ”, as quais geram como contraponto à suas capacidades de resposta, volumes e tipos de resíduos que podem ser direta ou inversamente proporcionais a essas capacidades de resposta.

O modelo ora proposto tem o objetivo de permitir uma avaliação dos impactos ambientais mais próxima da realidade, ao incluir na avaliação de impactos todo o real conjunto de resíduos e emissões gerados pelas estratégias de combate.

O modelo ora proposto tem o objetivo de criar uma metodologia que torne possível avaliar e comparar as capacidades de resposta de cada técnica com os seus respectivos impactos ambientais, maximizando a capacidade de resposta ao mesmo tempo em que são minimizados seus impactos ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Azwell, T., Blum, M. J., Hare, A., Joye, S., Kubendran, S., Laleian, A., Lane, G., Meffert, D. J., Overton, E. B., Thomas J., White, L. E., 2011. **The Macondo Blowout Environmental Report. Deepwater Horizon Study Group 3. Environmental Report – January 2011.**
2. Camelli, R., Reddy, D.M., Yoerger, D.R., Van Mooy, B.A.S., Jakuba, M.V., et al., 2010. **Tracking hydrocarbon plume transport and biodegradation at Deepwater Horizon.** Science 330, 201–204.
3. Crone, T.J., Tolstoy, M. (2010). **Magnitude of the 2010 Gulf of Mexico Oil Leak.** Science (New York, N.Y.). 330. 634. 10.1126/science.1195840.
4. IPIECA, 2014. **Oil spill waste minimization and management. Good practice guidelines for incident management and emergency response personnel.**
5. ITOPF, 2019. **Oil Tanker Spill Statistics 2018.** The International Tanker Owners Pollution Federation Limited, United Kingdom, 16 pp.
6. Lehr, B., Bristol, S., Possolo, A., 2010. **Oil Budget Calculator Deepwater Horizon. Technical Documentation.** A Report to the National Incident Command.
7. Mabile, N. & Allen, A., 2010. **Controlled burns - After-Action Report. Burns on May 28th-August 3, 2010.** Controlled Burn Group. Disponível em <http://www.mdl2179trialdocs.com/releases/release201501260800005/TREX-241730.pdf>.
8. Morgan, A. & Shaw-Brown, K. & Bellingham, I. & Lewis, A. & Pearce, M. & Pendoley, K. (2014). **Global Oil Spills and Oiled Wildlife Response Effort: Implications for Oil Spill Contingency Planning.** International Oil Spill Conference Proceedings. May 2014, Vol. 2014, No. 1, pp. 1524-1544. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/263890695_Global_Oil_Spills_and_Oiled_Wildlife_Response_Effort_Implications_for_Oil_Spill_Contingency_Planning.
9. Paine, R.T., Ruesink, L., Sun, A., Soulanille, E.L., Wonham, M.J., et al., 1996. **Trouble on oiled waters: lessons from the Exxon Valdez oil spill.** Ann. Rev. Ecol. Syst. 27, 197–235.
10. USCG (U.S. Coast Guard), 2011. **On scene coordinator report: Deepwater Horizon oil spill.** Washington, DC. U.S. Department of Homeland Security, U.S. Coast Guard. Submitted to the National Response Team. Disponível em http://www.uscg.mil/foia/docs/dwh/fosc_dwh_report.pdf.
11. Wadsworth, T. 2014 International Oil Spill Conference. **Comparison and Assessment of Waste Generated During Oil Spills.** ITOPF Ltd., 1 Oliver’s Yard, 5 City Road London EC1Y 1Hq, United Kingdom.