

METODOLOGIA PARA PLANEJAMENTO DE CONTINGÊNCIA COSTEIRA COM FOCO EM RISCO E NA OTIMIZAÇÃO DA CAPACIDADE DE RESPOSTA

Rodrigo Cochrane Esteves¹, rodrigo.cochrane@petrobras.com.br,

Anna Carolina Silva Pereira², carol.pereira@petrobras.com.br,

RESUMO

O presente estudo objetiva apresentar os resultados decorrentes da aplicação de nova metodologia para planejamento e dimensionamento da estrutura de resposta em um terminal aquaviário de óleo que opera com navios petroleiros e oleodutos. A proposta consiste em uma evolução técnica a partir dos requisitos da Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 398/2008, possuindo foco em análise de riscos, na ampliação da capacidade de resposta, otimização das estruturas de prontidão e aperfeiçoamento da alocação de salvaguardas junto às vulnerabilidades socioeconômicas e ambientais mapeadas. A metodologia permite aplicação em diversos empreendimentos costeiros, tais como terminais, portos, refinarias, bases de combustível, dentre outros.

A partir de sua aplicação para um terminal de óleo de grande porte, concluiu-se que o dimensionamento a partir da metodologia proposta permitiria, por intermédio da adoção de premissas baseadas em risco, uma ampliação da segurança ambiental do terminal analisado, garantindo uma resposta inicial adequada e proporcionando um aperfeiçoamento da alocação dos recursos. Adicionalmente, permitiria também uma significativa racionalização das estruturas dimensionadas, com otimização dos custos de prontidão a partir dos ganhos de escala oriundos do compartilhamento de recursos

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, muito foco tem sido dedicado a inovações na área de estudo referente à contingência para fins de controle e combate a vazamentos de óleo no mar decorrentes de atividades e instalações associadas com a produção, processo, transporte e estocagem de hidrocarbonetos crus e derivados. Em particular, após o evento de descontrole de poço (blowout) associado à sonda Deepwater Horizon, no Golfo do México, EUA, em 2010, bastante ênfase tem sido dada às técnicas de resposta não convencionais, ou seja, outras abordagens além da tradicional técnica de contenção e recolhimento.

Como consequência desta tendência, o Brasil promulgou em anos recentes duas resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) referentes ao uso de dispersantes químicos (472/2015) e queima controlada de óleo do mar (482/2017), aperfeiçoando assim o arcabouço legal específico. Todavia, a norma geral que estabelece requisitos mínimos para fins de elaboração dos planos de emergência individual (PEI) permanece praticamente inalterada desde sua primeira versão, em 2001. De forma geral, a Resolução CONAMA nº 398/2008 importou requisitos legais oriundos da legislação portuária norte-americana, simplificando-a e estabelecendo sua aplicação de forma ampla e irrestrita, independentemente do tipo e porte de cada instalação, com exceção de marinas e outras instalações de pequeno porte, as quais podem apresentar um plano simplificado.

De forma geral e sem pretender esgotar o assunto, é evidente que a capacidade de resposta a ser planejada e dimensionada para instalações que possam ocasionar vazamento de óleo para corpos hídricos deve considerar aspectos e características intrínsecos tanto da instalação como de seu entorno. A título de exemplo, não parece razoável que os requisitos associados a tempos de resposta de 2h seja utilizado tanto para portos quanto para plataformas de petróleo situadas além dos limites do mar territorial brasileiro. Adicionalmente, é também inadequado que a referida resolução não estabeleça instrumentos para dimensionamento de capacidades de resposta a partir de outras técnicas, principalmente quando são inúmeras as restrições e limitações que existem para fins de contenção e recolhimento do óleo [1], conforme pode ser verificado nos baixos percentuais de óleo removido por esta técnica, usualmente inferiores a 10% do volume total vazado [2].

Adicionalmente, o recente derramamento de óleo de origem desconhecida que atingiu o Nordeste brasileiro tornou evidente a necessidade de que tanto o Estado Brasileiro quanto os empreendedores e suas instalações possuam mapeamento adequado das áreas vulneráveis do litoral brasileiro, bem como algum

1 M.Sc., Consultor, Engenheiro Sênior de Meio Ambiente e de Segurança do Trabalho – PETROLEO BRASILEIRO S.A.

2 Técnica Sênior de Segurança do Trabalho – PETROBRAS TRANSPORTE S.A.

sistema de gerenciamento de emergência que discipline a comunicação e o rito de planejamento das ações de resposta a fim de priorizar a alocação de recursos junto às áreas vulneráveis mais críticas.

2. DESCRIÇÃO

A atual Resolução CONAMA 398/2008 estabelece requisitos mínimos para dimensionamento da capacidade de resposta dos Planos de Emergência Individuais de instalações com potencial de vazamento de óleo com atingimento de corpos hídricos. Em síntese, estes requisitos consistem em uma abordagem parcial de um processo mais amplo de análise de riscos, uma vez que compreendem de forma limitada algumas de suas etapas: identificação de fontes e cenários acidentais, determinação de volumes de pior caso, modelagem de deriva de mancha para tais volumes, identificação de áreas vulneráveis e dimensionamento mínimo de recursos.

Ao longo dos últimos dez anos, portanto, lacunas relevantes foram observadas em tal sistemática, de forma que se pode citar:

- Cálculo de volumes vazados a partir de inventários estáticos, sem incluir considerações acerca de equilíbrios hidrostático para o caso de dutos terrestres e submarinos e tancagem de embarcações;
- Ausência de diretrizes técnicas para modelagem computacional para estimativa da propagação do óleo vazado;
- Ausência de diretrizes técnicas para avaliação da vulnerabilidade dos receptores sensíveis, considerando os diferentes graus de impacto decorrentes do contato com o óleo vazado;
- Métricas únicas de dimensionamento da capacidade de resposta para instalações com graus variados de risco ambiental;
- Métricas de dimensionamento aplicáveis a apenas uma técnica de resposta, não considerando outras;
- Métricas de dimensionamento da capacidade de resposta com foco em capacidades nominais de equipamentos, sem consideração de aspectos operacionais para aplicação tática no campo;
- Inexistência de regras para regramento de compartilhamento de recursos entre diferentes instalações, de forma a otimizar a alocação dos mesmos e viabilizar ganho sinérgico de escala.

Mediante análise crítica destas oportunidades de melhoria e com base em avaliação técnica da realidade operacional existente em diversas instalações de médio e grande porte que armazenem, transportem ou processem diferentes tipos de hidrocarbonetos (portos, terminais, bases de abastecimento, refinarias, usinas termoeletricas, dentre outros), foram elaboradas diretrizes para aperfeiçoamento do planejamento de contingência costeira para tais empreendimentos situados em ao longo do litoral e junto a águas interiores. Não se considera que a metodologia apresentada neste estudo seja aplicada a instalações offshore, em virtude de diversas características exclusivas de tal tipologia.

A metodologia proposta pode ser sintetizada, portanto, nas seguintes etapas e organizada de acordo com os processos de gestão de riscos adaptados para a realidade costeira [3], conforme ilustrado na figura 1:

- Identificação de fontes e cenários potenciais de vazamento, com cálculo dos volumes potenciais;
- Elaboração de estudo de modelagem de deriva de mancha para diferentes volumes vazados;
- Identificação de receptores vulneráveis para cada volume vazado modelado;
- Análise e enquadramento da vulnerabilidade dos receptores;
- Enquadramento do nível de exigência a partir do risco ambiental da instalação;
- Cálculo da Capacidade Efetiva Diária de Resposta (CEDRE) a ser atendida pela instalação;
- Dimensionamento de recursos a partir de métricas específicas para várias técnicas de resposta;
- Elaboração de plano de proteção de áreas vulneráveis (PPAV);
- Dimensionamento de recursos próprios e compartilhados com outras instalações;

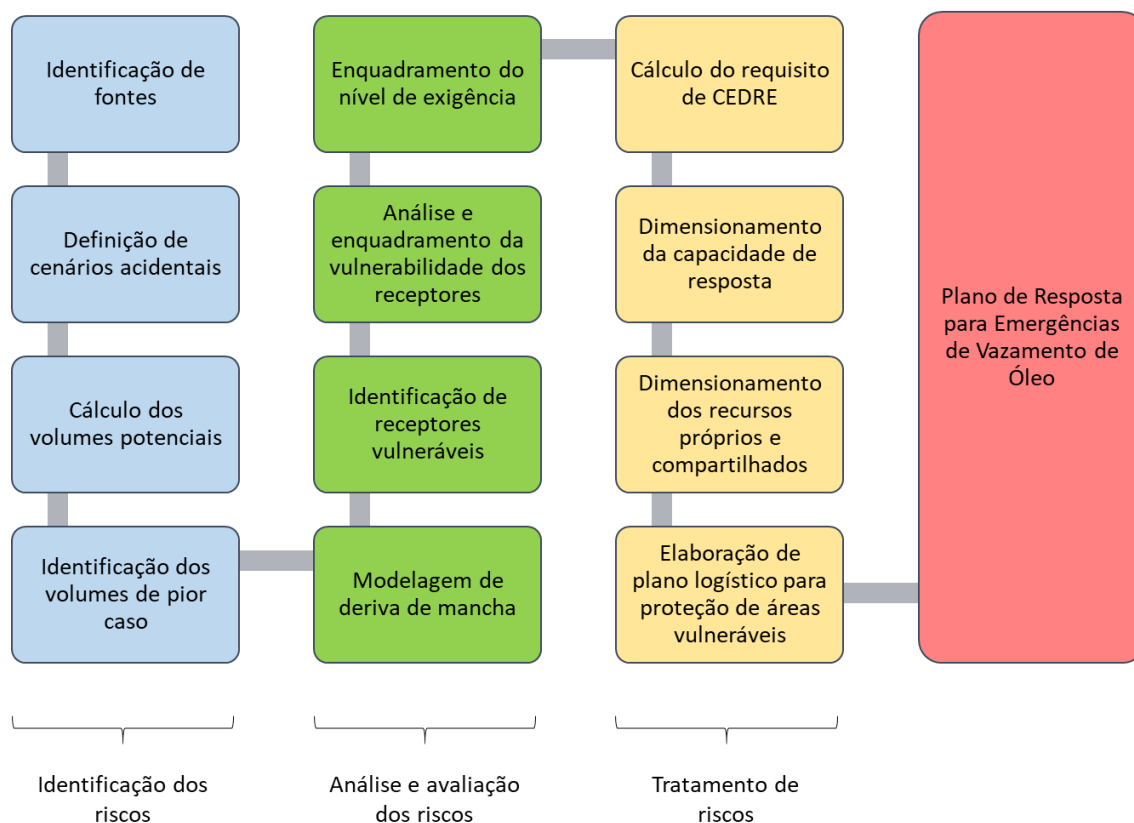


Figura 1 – Etapas de planejamento de contingência para instalações terrestres, situadas junto ao mar ou a águas interiores.

2.1 Identificação de fontes e cenários acidentais

A identificação de fonte e cenários acidentais devem considerar os estudos de análise de risco de processo, incluindo, mas não se limitando à análise de tanques, dutos, equipamentos diversos de processo (reatores, torres, filtros, separadores, trocadores de calor, dentre outros), plataformas de carga e descarga, (incluindo veículos, tais como caminhões-tanque) e embarcações, desde que devidamente atracadas e conectadas nas estruturas molhadas de terminais e portos.

Para cada fonte identificada, deve ser informada a sua caracterização quanto ao tipo de óleo potencialmente vazado, regime de vazamento, capacidade de contenção secundária (diques e bacias de contenção em tanques fixos), volume potencial vazado e as vias de propagação para atingimento dos corpos hídricos tanto intra como extramuros.

2.2 Cálculo de volumes acidentais e dos volumes de pior caso

Para o cálculo dos volumes vazados, os inventários nominais de produtos devem ser considerados, devendo haver cautela para não superestimar os cenários acidentais ao se adotar a regra usual de 100% da capacidade total de tanques, reservatórios, etc. De forma a manter a consistência técnica dos planos com a realidade operacional da instalação, é importante que os volumes sejam avaliados de forma a identificar duas variantes de pior caso: um primeiro, denominado pior caso possível, sustentado pela viabilidade física de ocorrência a partir de características intrínsecas de leiaute da instalação, e um segundo, denominado pior caso provável, analisado frente à atuação de diferentes níveis de salvaguarda, com redundâncias de diversas tipologias, cuja frequência de falha simultânea seja considerada suficientemente baixa pelo estudo de análise de riscos.

Desta maneira, é importante destacar que a regra vigente na resolução Conama 398/2008, de uso do maior volume possível como métrica básica para o dimensionamento da capacidade de resposta, pode levar a distorções importantes quando do planejamento de contingência da instalação.

De forma a exemplificar o conceito acima, pode-se citar a não necessidade de considerar, para fins de volume de pior caso, o inventário total de um tanque de estocagem de óleo que esteja localizado em bacia de contenção com capacidade de acumulação superior ao mesmo e que conte com diversas salvaguardas ao longo da sua propagação (canaletas) até o atingimento de corpos hídricos, como comportas, diques e bacias de acumulação temporária.

Adicionalmente, pode-se discutir também o caso específico de dutos submarinos e terrestres, para os quais não é fisicamente possível o vazamento da totalidade de seu inventário, em função de questões físicas. Para os primeiros, a diferença de densidades entre a água e o óleo limita o percentual máximo do inventário que pode ser vazado até que uma condição de equilíbrio hidrostático seja atingida. O mesmo conceito pode ser facilmente aplicado a vazamentos a partir de tanques de embarcações, muitas vezes dimensionados em sua totalidade no âmbito da legislação atual.

Não obstante, o vazamento a partir de dutos terrestres por vezes é também limitado não pelo inventário contido em um determinado trecho entre válvulas, mas sim pela condição topográfica na qual o seu traçado está inserido, ou seja, pelo inventário contido entre duas cotas máximas locais. Para os demais casos, as formulações apresentadas na atual Resolução CONAMA nº 398/2008 são suficientes.

2.3 Modelagem de deriva de mancha

A partir da definição dos volumes de pior caso, devem ser selecionados ao menos quatro volumes para fins de modelagem computacional e definição das áreas vulneráveis:

- Volume associado à uma alta frequência de ocorrência, usualmente adotado como 8m³;
- Volume associado à uma média frequência de ocorrência, usualmente adotado como 200m³;
- Volume associado ao pior caso provável;
- Volume associado ao pior caso possível.

O objetivo de tais simulações, a partir de abordagens probabilísticas e determinísticas, deve ser o de permitir a estimação dos seguintes parâmetros: probabilidades máximas de o óleo atingir determinados receptores, tempo mínimo para chegada do óleo em determinados receptores e identificação dos receptores vulneráveis. Para cada volume modelado, portanto, as simulações devem ser consolidadas, de forma a se apresentar os tempos mínimos e as probabilidades de toque do óleo em receptores sensíveis.

Para empreendimentos costeiros localizados nos limites de baías ou junto ao litoral, com possibilidade de vazamento diretamente para o mar, a modelagem deverá considerar minimamente:

- Parâmetros meteorológicos e oceanográficos condizentes com a área onde se encontra a instalação ou onde será desenvolvida a atividade, incluindo marés astronômicas e meteorológicas, campos de corrente e vento, temperaturas do ar e da superfície da água, observando séries históricas e variações sazonais;
- Parâmetros físico-químicos específicos para o tipo de óleo derramado, localização e regime do derramamento;
- Linha de costa e batimetria a partir de cartas náuticas, bem como grade-habitat, tais como manguezais, áreas alagáveis, praias, entre outros;
- Simulações probabilísticas, considerando as condições sazonais (verão e inverno, e enchente e vazante) das séries históricas dos dados meteoceanográficos.

As simulações devem ser interrompidas caso sejam satisfeitas pelo menos uma das seguintes condições:

- O tempo de simulação atinja 72 horas após o termino de derramamento do óleo;
- O modelo indique que não há mais óleo remanescente na superfície da água.

Para empreendimentos terrestres cujos derramamento de óleo possam impactar rios e outras águas interiores, a modelagem objetiva também identificar a rede fluvial afetada, com vistas à obtenção dos tempos de propagação do óleo, devendo considerar minimamente:

- Parâmetros hidrológicos condizentes com a área onde se encontra a instalação ou onde será desenvolvida a atividade, observando séries históricas e variações sazonais (períodos chuvoso e seco), caso disponíveis;
- Estimativa dos parâmetros físico-químicos específicos para o tipo de óleo derramado;
- Calhas e batimetria dos rios, caso disponíveis em bancos de dados oficiais ou mediante metodologia proposta pelo empreendedor;
- Estimativa da drenagem afetada, conforme bacia hidrográfica na qual a instalação está inserida. Para dutos, deve-se considerar os divisores topográficos ao longo do traçado, de forma a estimar as prováveis propagações dos derramamentos em função de diferentes bacias hidrográficas.
- Simulações probabilísticas, considerando as condições hidrológicas médias para os períodos seco e chuvosos;

Neste caso, as simulações devem ser interrompidas quando o tempo de simulação atingir 24h após o término do derramamento de óleo ou quando houver interrupções do fluxo hidrológico, como represas, lagos, etc.

2.4 Identificação de receptores vulneráveis e enquadramento de suas criticidades

A partir das modelagens de deriva de mancha, é possível, portanto, identificar os receptores vulneráveis a partir de diversos elementos ambiental ou socioeconomicamente sensíveis, conforme o caso:

- Pontos de captação de água;
- Áreas residenciais, de recreação e outras com populações humanas;
- Áreas ecologicamente sensíveis tais como manguezais, bancos de corais, áreas inundáveis, estuários, locais de desova, nidificação, reprodução, alimentação de espécies silvestres locais e migratórias, dentre outras;
- Fauna e flora locais;
- Áreas de importância socioeconômica, incluindo aquicultura e maricultura;
- Rotas de transporte aquaviário, rodoviário e ferroviário;
- Unidades de conservação, terras indígenas, sítios arqueológicos, áreas tombadas e comunidades tradicionais.

Uma vez identificados os receptores vulneráveis, deve-se buscar uma estimativa da sensibilidade dos mesmos aos impactos negativos de um vazamento de óleo em cinco categorias: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. Para tanto, devem ser utilizados os seguintes parâmetros a partir de uma gradação com base na magnitude e irreversibilidade do impacto ambiental:

- Índices de sensibilidade do litoral (ISL) dos ecossistemas potencialmente impactados, conforme informações disponíveis em Cartas de Sensibilidade ao Óleo – Cartas SAO;
- Unidades de conservação (UC) marinhas, costeiras e terrestres, especialmente de Proteção Integral, cadastradas e especializadas no Cadastro Nacional de Unidades de Conservação;
- Áreas com espécies de fauna ameaçadas de extinção, conforme relação oficial publicada pelo ICMBio, com presença expressiva e que utilizem as unidades de conservação potencialmente impactadas em alguma fase do seu ciclo biológico (descanso, reprodução ou alimentação).

Desta forma, buscou-se estruturar os receptores em quatro dimensões distintas (ISL, UC, Fauna e Socioeconomia) e ponderá-las a partir de aspectos de susceptibilidade e exequibilidade da resposta, notadamente o tempo mínimo e a probabilidade máxima de toque indicado no estudo de modelagem de deriva de mancha, conforme tabela 1.

Com base em aspectos operacionais, foram considerados duas faixas de tempo de toque: 06h (abaixo da qual se considera que a resposta requer agilidade em função do pouco tempo disponível para operacionalização das ações emergenciais) e 12h (acima da qual se considera que há tempo suficiente para

planejar e operacionalizar as ações emergenciais, considerando o estado de prontidão usualmente existente). Ademais, considerou-se o valor de 30% como balizador para estratificação de receptores com baixa e alta probabilidade de toque.

Os conceitos supracitados foram consolidados na tabela 1, a qual permite classificar a criticidade de cada receptor a partir do resultado da modelagem para cada volume vazado. Os receptores considerados críticos, portanto, são aqueles enquadrados com criticidades “Alta” e “Muito Alta”.

Tabela 1 – Matriz de enquadramento de criticidade de receptores.

Sensibilidade do receptor	ISL	UC	FAUNA	SOCIOECONÔMICO	CRITICIDADE DE RECEPTORES					
	8 – 10	Proteção Integral	Espécie listada como Vulnerável, Em Perigo ou Criticamente em Perigo, com presença expressiva em unidade de conservação impactada ou indicada em carta SAO e que o utilize em alguma fase do seu ciclo biológico	Ponto de captação de água, áreas residenciais, com comunidades tradicionais ou com populações indígenas, em que haja risco de incêndio ou explosão decorrente da volatilidade do produto	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Alta	Alta	Média
	4 – 7	Uso Sustentável	Espécie não listada como Vulnerável, Em Perigo ou Criticamente em Perigo, com presença expressiva em unidade de conservação impactada ou indicada em carta SAO e que o utilize em alguma fase do seu ciclo biológico	Áreas de reserva indígena, maricultura/aquacultura, sítios arqueológicos, áreas tombadas, e rotas de transporte aquaviário	Alta	Alta	Alta	Média	Média	Baixa
	1 – 3	-	Espécie não listada como Vulnerável, Em Perigo ou Criticamente em Perigo, sem presença expressiva em unidade de conservação impactada ou indicada em carta SAO ou que não o utilize em alguma fase do seu ciclo biológico	Áreas de recreação, outras concentrações humanas/empreendimentos e rotas de transporte rodoviário e ferroviário	Média	Média	Média	Baixa	Baixa	Muito Baixa
Susceptibilidade e exequibilidade da resposta				Tempo de Toque	TT < 06h		TT < 12h		TT ≥ 12h	
				Probabilidade de Toque	p ≥ 30%	p < 30%	p ≥ 30%	p < 30%	p ≥ 30%	p < 30%

2.5 Determinação do nível de exigência para a instalação

Com base no enquadramento da criticidade dos receptores para cada volume modelado, o nível de exigência para a instalação, ou seja, os requisitos mínimos de contingência a serem atendidos pelo plano, pode ser determinado conforme a tabela 2.

- Nível I = não é previsto que a instalação venha a impactar significativamente os receptores ambientais por eventual derrame de óleo, em função de baixa sensibilidade socioeconômica ou ambiental ou do alto tempo disponível para aplicação das técnicas de proteção;
- Nível II = é possível que a instalação venha a impactar significativamente os receptores ambientais por eventual derrame de óleo, em função da sensibilidade socioeconômica ou ambiental ou do tempo disponível para aplicação das técnicas de proteção;
- Nível III = é provável que a instalação venha a impactar significativamente os receptores ambientais por eventual derrame de óleo, em função da alta sensibilidade socioeconômica ou ambiental ou de baixo tempo disponível para aplicação das técnicas de proteção

São considerados receptores críticos aqueles que sejam enquadrados na área da tabela 2 associada ao nível III de exigência, ou seja, receptores com alta sensibilidade ambiental ou socioeconômica, que sejam afetados com alta probabilidade em um reduzido tempo de toque, mesmo para volumes pequenos.

Tabela 2 – Enquadramento dos níveis de exigência para dimensionamento e planeamento da capacidade de resposta de uma instalação.

		Criticidade dos Receptores				
		Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Volume potencial de derramamento	Vpc	Nível I				
	200m ³ (Vdm)			Nível II		
	8m ³ (Vdp)					Nível III

2.6 Cálculo da Capacidade Efetiva Diária de Resposta (CEDRE)

Define-se como CEDRE a capacidade efetiva diária de resposta a ser disponibilizada pela instalação no âmbito de seu PEI, ou seja, o volume de óleo diário que esta deve estar apta a responder quando da ocorrência de derramamento, contemplando para tanto uma ou mais técnicas de resposta. Esta capacidade deve ser assegurada por intermédio tanto de recursos próprios (dedicados ou não) como compartilhados (entre instalações distintas de um mesmo empreendedor ou entre empreendedores distintos).

A partir das formulações de CEDRO existentes na atual Resolução CONAMA nº 398/2008, e considerando o aprendizado operacional adquirido desde a sua implantação no Brasil, são propostas alterações e adaptações das mesmas, conforme apresentado na tabela 3, mantendo a lógica de escalonamento horário em função dos volumes de dimensionamento.

Em termos propositivos, entende-se adequado que cada instalação possua na forma de recursos próprios a capacidade necessária para a resposta inicial, ou seja, até as primeiras 6h, tempo a partir do qual considera-se usualmente viável o aporte de recursos compartilhados a partir de outras instalações. Contudo, existem exceções quando há concentração de instalações em um mesmo local, conforme será abordado e discutido subsequentemente neste artigo.

Tabela 3 – Regras para cálculo da CEDRE, em m³/d (em azul), e para o percentual máximo de recursos compartilhados, para cada faixa horária (em verde).

Tempo máximo de disponibilização dos recursos	Volume de referência		Percentual máximo de compartilhamento de recursos (%)					
			Nível I de Exigência		Nível II de Exigência		Nível III de Exigência	
02 horas	Vdp	Menor volume entre 8 m ³ e o Vpc	CEDRE = 0,75 x Vdp	0%	CEDRE = 1 x Vdp	0%	CEDRE = 1,25 x Vdp	0%
06 horas	Vdm	Menor volume entre 200 m ³ e 10% do Vpc	CEDRE = 0,75 x Vdm	0%	CEDRE = 1 x Vdm	0%	CEDRE = 1,25 x Vdm	0%
12 horas	Vpc		CEDRE = 0,75 x 0,15 x Vpc	100%	CEDRE = 1 x 0,15 x Vpc	50%	CEDRE = 1,25 x 0,15 x Vpc	25%
36 horas			CEDRE = 0,75 x 0,30 x Vpc	100%	CEDRE = 1 x 0,30 x Vpc	75%	CEDRE = 1,25 x 0,30 x Vpc	50%
60 horas			CEDRE = 0,75 x 0,55 x Vpc	100%	CEDRE = 1 x 0,55 x Vpc	100%	CEDRE = 1,25 x 0,55 x Vpc	100%

Para atendimento aos requisitos de CEDRE poderão ser utilizadas as técnicas de remoção mecânica e dispersão química (nos termos da Resolução CONAMA nº 472/2015). Por se tratar de metodologia aplicável a instalações costeiras ou situadas em águas interiores, o percentual mínimo da CEDRE a ser atendido por intermédio de contenção e recolhimento mecânico deve ser igual a 70%.

Contudo, em instalações onde for constatada inviabilidade, baixa eficiência ou baixa aplicabilidade desta técnica, em virtude de condições ambientais locais (corrente, vento, maré, etc.) ou de propriedades do óleo, propõe-se que este percentual mínimo possa ser reduzido mediante justificativa técnica.

2.7 Dimensionamento de recursos

Para fins desta metodologia, a técnica de remoção mecânica contempla as técnicas de contenção e recolhimento, dispersão mecânica, absorção mecânica e proteção de áreas sensíveis. Todos os recursos dimensionados devem ser escalonados no tempo, de forma a atender a capacidade de CEDRE associada a cada faixa temporal (2h, 6h, 12h, 36h e 60h).

As barreiras de contenção deverão ser dimensionadas em função dos cenários acidentais previstos e das estratégias de resposta estabelecidas, contemplando o controle de fonte, a limitação da propagação da mancha e a proteção das áreas vulneráveis, obedecidos os critérios estabelecidos na tabela 4 e considerando aspectos operacionais de cada tipologia de material e também dos ambientes onde serão utilizados [4]

Tabela 4 – Critérios de dimensionamento de barreiras de contenção.

Estratégia	Quantidade mínima
Cerco completo do navio ou da fonte de derramamento	3 x comprimento do navio ou fonte de derramamento.
Contenção da mancha de óleo	Quantidade calculada de acordo com a Capacidade Efetiva Diária de Resposta (CEDRE) ou minimamente 350 m.
Proteção de corpos hídricos	O maior valor, até o limite de 500 m, entre: - 3,5 x largura do corpo hídrico, em metros; - a quantidade calculada de acordo com a Capacidade Efetiva Diária de Resposta (CEDRE) - a quantidade estimada para proteção de até dois receptores críticos com tempos de toque inferior a 2h, conforme Anexo de Plano de Proteção de Áreas Vulneráveis - PPAV.

Para recolhedores, a formulação é a mesma da atual Resolução CONAMA nº 398/2008, apenas adaptada para o conceito de CEDRE, onde PRm é o percentual da CEDRE a ser atendida com remoção mecânica; feREC é o fator de eficácia para recolhedores, cujo valor de referência é 0,2, podendo ser alterado de acordo com as características específicas de cada equipamento e mediante justificativa técnica [5]; e CN é a capacidade nominal total de recolhimento, em m³/h.

$$CEDRE \times PRm = 24 \times feREC \times CN$$

Por sua vez, a capacidade de armazenamento temporário da mistura oleosa eventualmente recolhida deverá ser equivalente a 3h de operação da capacidade nominal de recolhimento dimensionada. Instalações que possuam tancagem fixa e que estejam localizadas próximas ao corpo hídrico impactado podem considerar esta capacidade para o dimensionamento dos recursos de armazenamento temporário. O uso de decantação da mistura oleosa e eventual retorno da água de fundo para o mar deve ser discutida com os órgãos ambientais conforme o caso específico de cada instalação.

Em relação à técnica de absorção mecânica, cada instalação deve prever, mediante justificativa técnica e em função das características do produto vazado e do material absorvente dimensionado conforme tabela 5, qual a fração da CEDRE a ser atendida por intermédio do uso destes recursos.

Tabela 5 – Critérios de dimensionamento de materiais absorventes.

Tipo de material absorvente	Quantidade mínima
Barreiras absorventes	Metragem igual ao mesmo comprimento total das barreiras de contenção utilizadas para cerco preventivo, para contenção da mancha e proteção de rios e canais
Mantas absorventes	Número de unidades igual ao comprimento total das barreiras de contenção utilizadas para proteção de rios e canais
Materiais absorventes a granel	Em quantidade variável, compatível com a estratégia de resposta apresentada.

Para instalações em que os cenários acidentais ou o volume de pior caso estiverem associados majoritariamente a produtos médios ou leves (diesel, querosene, condensado, dentre outros), a instalação pode prever o uso da técnica de dispersão mecânica para fins de atendimento a um percentual da CEDRE, seja a partir do uso de embarcações, jateamento com água a partir de canhões de combate a incêndio em embarcações ou outro método que seja operacionalmente viável, com apresentação da devida justificativa técnica.

Para instalações situadas junto ao mar (portos e terminais) e que possuam cenários que englobem instalações mar adentro, como por exemplo quadros de boias, monoboias e dutos submarinos que as conectem com terra, a técnica de dispersão química pode ser considerada para atendimento a um percentual da CEDRE, desde que os requisitos de uso estabelecidos na Resolução CONAMA nº 472/2015 sejam atendidos.

Nesta hipótese, o volume diário mínimo de dispersantes químicos a ser disponibilizado pela instalação deve ser estimado com base na formulação abaixo, onde VDq é o volume diário aplicado de dispersantes químicos, em m³; PDq é o percentual da CEDRE a ser atendida com a dispersão química; RDO é a razão dispersante/óleo, cujo valor de referência é igual a 0,05; e feDQ é o fator de eficácia para dispersão química, cujo valor de referência é igual a 0,3.

$$\text{CEDRE} \times \text{PDq} = \text{VDq} \times (1/\text{RDO}) \times \text{feDQ}$$

O valor de RDO pode ser alterado, a critério do empreendedor, conforme estratégia de dispersão química, plataforma de aplicação e características físico-químicas do óleo vazado. Por sua vez, o fator de eficácia para dispersão química é específico para cada tipo de óleo, em função de suas características físico-químicas e deve ser proposto pelo empreendedor, mediante justificativa técnica, preferencialmente com apresentação dos resultados de dispersabilidade obtidos em ensaios laboratoriais.

2.8 Elaboração de plano de proteção de áreas vulneráveis (PPAV)

Como anexo do plano de emergência, propõe-se que seja elaborado documento específico para fins de proteção dos receptores críticos, ou seja, aqueles enquadrados na área da tabela 2 associada ao nível III de exigência. Este plano deve possuir caráter essencialmente logístico (incluindo localizações das áreas de espera, rotas, acessos, etc.) e apresentar, para cada um destes receptores, indicativo de estratégias de referência para proteção dos mesmos, informando equipamentos e tempos de acionamento, de mobilização e de descolamento desde a origem dos recursos até cada receptor.

Para fins de elaboração do plano, deve-se buscar dimensionar e alocar recursos de forma que o tempo de resposta (TR) seja inferior ao tempo de toque (TT) para estes receptores críticos, garantindo a atuação dentro da janela ótima de oportunidade [6] conforme fórmulas abaixo, onde TA é o tempo de acionamento das equipes de contingência; TM é o tempo de mobilização para a saída dos recursos da base de contingência acionada; e TD é o tempo para deslocamento até o local de atuação, podendo contemplar modais rodoviários, aquaviários ou mesmo aeroaviários:

$$\text{TR} \leq 90\% \text{ TT}$$

$$\text{TR} = \text{TA} + \text{TM} + \text{TD}$$

Para empreendimentos terrestres e dutos, com cenários que atinjam rios, o PPAV deve possuir caráter essencialmente logístico, com identificação dos pontos de atuação ao longo da sua calha (incluindo localizações das áreas de espera, rotas, acessos, etc.), informando equipamentos e tempos de acionamento, de mobilização e de descolamento desde a origem dos recursos até cada receptor.

2.9 Dimensionamento de recursos próprios e compartilhados

Para fins de compartilhamento, a experiência brasileira e mundial em termos de planejamento de contingência demonstra que, desde que realizado de forma regrada e coerente, o mesmo permite a obtenção de efeitos sinérgicos positivos, decorrentes do ganho de escala, permitindo ampliar a capacidade de resposta de uma instalação ao mesmo tempo em que reduz os custos associados à manutenção do estado de prontidão dos recursos.

Para instalações não localizadas em áreas de concentração de empreendimentos (polos industriais, portos organizados, dentre outros), o compartilhamento mediante atendimento aos percentuais da CEDRE constantes da tabela 3 somente será possível para o quantitativo de recursos previsto para disponibilização entre 12h e 60h.

Contudo, uma vez que estes recursos são usualmente aportados por empresas prestadoras de serviços de contingência, que por sua vez, suportam operacionalmente os requisitos de vários planos de emergência de instalações distintas, propõe-se a partir da experiência internacional [7] que os seguintes requisitos sejam observados para permissão do compartilhamento:

- A empresa prestadora de serviço possua recursos para atendimento à resposta associada aos tempos de 12h e 60h (inclusive), considerando todos as instalações que são suportadas por uma determinada base de contingência, nos termos abaixo, onde CEDRE_PS é a CEDRE mínima que o prestador de serviço deve disponibilizar para atendimento às instalações contratantes; Máxima CEDRE_12h é o maior requisito de CEDRE para o tempo de 12h dentre as instalações contratantes; Máxima CEDRE_60h é maior requisito de CEDRE para o tempo de 60h dentre as instalações contratantes; e FS é o fator de simultaneidade e confiabilidade, cujo valor de referência é igual 1,1.

$$CEDRE_PS \geq [\text{Máxima CEDRE}_{60h} - \text{Máxima CEDRE}_{12h}] * FS$$

- Tanto a instalação contratante como a empresa prestadora de serviços possuam sistema de gerenciamento de emergências implantado.

Para instalações localizadas em áreas de concentração de empreendimentos, contudo, é comum que uma única ou poucas empresas prestadoras de serviço de contingência suportem operacionalmente toda a área, estando geograficamente próxima ou até mesmo no interior dos limites de tal área.

Considerando que tal proximidade espacial entre a base de contingência e as fontes de potenciais vazamentos usualmente viabilizam logisticamente o atendimento em caráter de primeira resposta (2h e 6h) e que haveria um acúmulo não racional no caso de cada instalação dimensionar recurso próprio nestas circunstâncias, propõe-se que o compartilhamento de recursos seja realizado desde o primeiro tempo (2h) para instalações localizadas em portos organizados, polos industriais e outras áreas de concentração, mediante o atendimento dos seguintes requisitos:

- A empresa prestadora de serviço possua recursos para atendimento à primeira resposta (Vdp e Vdm) até 12h (inclusive), das instalações contratantes, conforme o seguinte dimensionamento:

$$CEDRE_PS \geq \text{Máxima CEDRE}_{12h}$$

- A empresa prestadora de serviço possua base de recursos localizada próxima ao porto, de forma que o tempo de resposta seja inferior a 2h;
- A empresa prestadora de serviço possua base de recursos localizada próxima a acesso ou rampa para o mar ou águas interiores, de forma que o tempo de resposta com uso de embarcações seja inferior a 2h;
- Tanto a instalação contratante como a empresa prestadora de serviços possuam sistema de gerenciamento de emergências implantado.
- A empresa prestadora de serviços possua capacidade de realizar simultaneamente dois cercos preventivos a navios, considerando recursos materiais e humanos, para o caso de terminais e portos organizados.
- A base de contingência vinculada possua, no mínimo, três unidades de recolhimento, bombeio e armazenamento temporário, sempre que o número de instalações contratantes for superior a cinco;

3. DISCUSSÃO

Com base na metodologia apresentada no item anterior, simulou-se o dimensionamento da capacidade de resposta para um terminal aquaviário de óleo de grande porte localizado em uma baía do litoral brasileiro (figura 2), com a seguintes características:

- Possui dois píeres para atracação por navios;
- Realiza operações ship-to-ship fundeados;
- Capacidade de armazenamento de hidrocarbonetos superior a 100.000 m³;
- Possui dutos de exportação e linhas internas com diâmetro de até 38”;
- Movimenta e armazena petróleo cru, derivados, álcool e biodiesel.



Figura 2 – Terminal aquaviário de óleo de grande porte.

A partir dos dados constantes de seu estudo de análise de risco, foi identificado um volume de pior caso igual a 6.923 m³ de petróleo cru a partir do cenário de ruptura de linha interna entre o píer o parque de tancagem do terminal. Este volume foi modelado computacionalmente, para fins de determinação da deriva de mancha, conforme figura 3a. A partir destes resultados, foram identificados 116 receptores vulneráveis, conforme figura 3b.

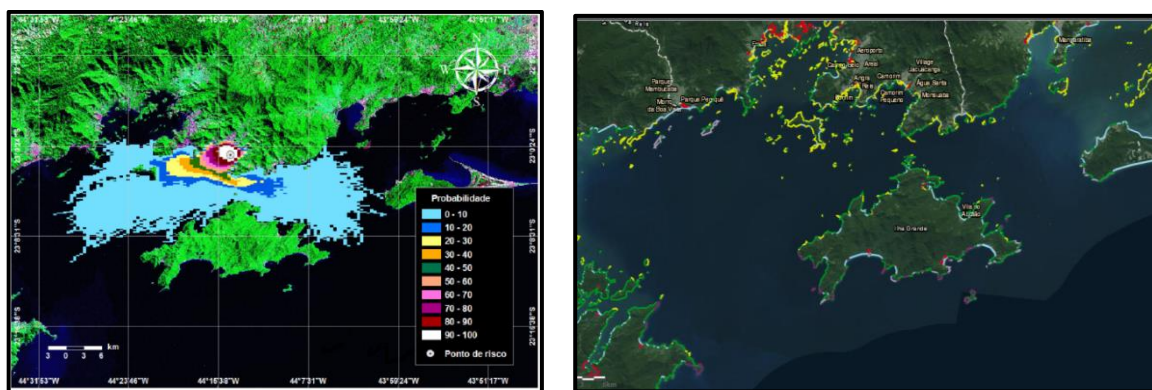


Figura 3 – Modelagem de deriva de mancha para o volume de pior caso até 72h após o início do vazamento (à esquerda, 3a) e receptores vulneráveis identificados em gradação conforme o ISL (à direita, 3b).

Em seguida, estes receptores vulneráveis foram enquadrados quanto à criticidade (figura 4), em função de suas sensibilidades e dos tempos e probabilidades de toque associados com cada um, de acordo com a seguinte distribuição: 43 associados à criticidade baixa; 57, à média; 14, à alta; e 02 a uma criticidade muito alta. Após esta categorização, foi identificado o nível de exigência proposto para a instalação. Na figura 5 é apresentado o enquadramento obtido por intermédio da avaliação apenas do volume de pior caso, suficiente para associação com o nível III.

Sensibilidade do receptor	ISL	UC	FAUNA	SOCIOECONÔMICO	CRITICIDADE DO RECEPTOR					
	8 - 10	Proteção Integral	Espécie listada como Vulnerável, Em Perigo ou Criticamente em Perigo, com presença expressiva em unidade de conservação impactada ou indicada em carta SAO e que o utilize em alguma fase do seu ciclo biológico	Ponto de captação de água, áreas residenciais, com comunidades tradicionais ou com populações indígenas, em que haja risco de incêndio ou explosão decorrente da volatilidade do produto	Muito Alta 02	Muito Alta	Muito Alta	Alta	Alta	Média
	4 - 7	Uso Sustentável	Espécie não listada como Vulnerável, Em Perigo ou Criticamente em Perigo, com presença expressiva em unidade de conservação impactada ou indicada em carta SAO e que o utilize em alguma fase do seu ciclo biológico	Áreas de reserva indígena, maricultura/aquacultura, sítios arqueológicos, áreas tombadas, e rotas de transporte aquaviário	Alta 07	Alta	Alta	Média	Média	Baixa
	1 - 3	-	Espécie não listada como Vulnerável, Em Perigo ou Criticamente em Perigo, sem presença expressiva em unidade de conservação impactada ou indicada em carta SAO ou que não o utilize em alguma fase do seu ciclo biológico	Áreas de recreação, outras concentrações humanas/empreendimentos e rotas de transporte rodoviário e ferroviário	Média	Média	Média	Baixa	Baixa	Muito Baixa
Susceptibilidade e exequibilidade da resposta				Tempo de Toque (TT)	TT < 06h		TT < 12h		TT ≥ 12h	
				Probabilidade de Toque (p)	p ≥ 30%	p < 30%	p ≥ 30%	p < 30%	p ≥ 30%	p < 30%

Figura 4 – Classificação da criticidade dos receptores vulneráveis em função dos resultados da modelagem de deriva de mancha para o volume de pior caso da instalação avaliada.

		Criticidade dos Receptores				
		Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Volume potencial de derramamento	Vpc	0	43	57	14	02
	200m³ (Vdm)	Nível I		Nível II		Nível III
	8m³ (Vdp)					

Figura 5 – Enquadramento do nível de exigência para a instalação a partir da criticidade dos receptores afetados pelo volume de pior caso – Nível III.

Uma vez identificado nível de exigência, os requisitos de CEDRE foram determinados a partir do uso das formulações existentes na tabela 03. A partir destes resultados, observou-se que houve aumento de 25% em relação aos requisitos de capacidade de resposta para o terminal, sendo condizente com o elevado grau de risco ambiental existente em decorrência da alta sensibilidade do entorno, o que foi bem refletido em um enquadramento no nível máximo de exigência.

Contudo, em virtude das regras de compartilhamento propostas, e considerando que a instalação avaliada não se insere no escopo de uma área de concentração de empreendimentos, apenas 44% da capacidade precisaria ser disponibilizada na forma de recursos próprios, alocados fisicamente no terminal. Constatou-se que os demais 66% dos recursos poderiam ser fornecidos a partir de uma base de contingência regional, a qual apresentava tempo de resposta inferior a 12h, já considerando os tempos de acionamento, mobilização e deslocamento, e atendia aos critérios de dimensionamento propostos. Os resultados de CEDRE obtidos por faixa de tempo de disponibilização de recursos, bem como sua distribuição em recursos próprios ou compartilhados, são apresentados na tabela 05.

Isto posto, conclui-se que houve aumento da capacidade de resposta da instalação sem que fosse necessário imobilizar equipamentos no terminal, ou seja, possibilitando concentrar parte dos mesmos em uma

base de contingência que pode vir a atender outros empreendimentos sem perda da segurança ambiental e proporcionando otimização dos custos operacionais associados.

Tabela 6 – Resultados de dimensionamento da capacidade de resposta do terminal, com recursos próprios e compartilhados.

Tempo de disponibilização de recursos (h)	CEDRE		Percentual máximo da CEDRE atendida com recursos compartilhados	Recursos Mobilizados		Recursos Compartilhados	
				Capacidade Nominal de Recolhimento (m³/h)	Capacidade de armazenamento temporário (m³)	Capacidade Nominal de Recolhimento (m³/h)	Capacidade de armazenamento temporário (m³)
2	Vdp	2,1	0	2,1	6,3	-	-
6	Vdm	41,7	0	41,7	125,1	-	-
12	Vdpc	270,4	25	202,8	608,4	67,6	202,8
36		540,8	50	270,4	811,2	270,4	811,2
60		991,6	100	0,00	-	721,1	2974,8

Por fim, foi elaborado o plano de proteção de áreas vulneráveis para um dos receptores críticos (rio com presença de manguezal – ISL 10), considerando não apenas o planejamento logístico da resposta, mas também o indicativo gráfico de um plano tático, para fins de uso como referência em treinamento e simulados das equipes de contingência (figura 6). Para o exemplo selecionado, uma vez que o tempo de toque é igual a 6h, a alocação dos recursos nas áreas de espera permanentes necessitou ser realizada de forma que o maior tempo de resposta, considerando acionamento, mobilização e deslocamento, fosse igual a 03h, ou seja, inferior ao primeiro.



TR (h)	LP	P1	P2	CR
TA	00:30			
TM	00:20	00:50	00:30	02:00
TD	00:20	00:40	00:30	00:30
Total	01:10	02:00	01:30	03:00

Figura 6 – Exemplo de esquemático tático para receptor crítico identificado a partir da modelagem de deriva de mancha e dos enquadramentos de criticidade e de nível de exigência (à esquerda) e tempos de resposta para cada uma das ações a serem desempenhadas, a saber: P1 = proteção de área vulnerável 1; P2 = proteção de área vulnerável 2; LP = limpeza de praia; e CR = contenção e recolhimento nearshore.

4. CONCLUSÕES

Este artigo buscou sintetizar o aprendizado operacional de contingência acumulado ao longo de uma década desde a promulgação da Resolução CONAMA nº 398/2008, a qual estabelece requisitos mínimos para o PEI de instalações que possam ocasionar vazamento de óleo com atingimento de corpos hídricos. Para tanto,

esta experiência foi utilizada para aperfeiçoar e ampliar os diversos requisitos estabelecidos na legislação, de forma a permitir um aumento do grau de segurança ambiental simultaneamente à otimização da estrutura de resposta dos empreendimentos, de forma a reduzir desperdícios e corrigir distorções relevantes.

Com este intuito, o presente estudo propôs uma nova metodologia para o planejamento e dimensionamento da capacidade de resposta de instalações costeiras, com base na utilização do conceito de risco ambiental e socioeconômico para permitir priorização de receptores vulneráveis e orientar a alocação de recursos humanos e materiais de forma a maximizar as oportunidades de atuação preventiva junto a estes. Adicionalmente, a proposta busca disciplinar e reger o conceito de compartilhamento de recursos entre diversas instalações, de forma a ampliar a capacidade individual das mesmas sem elevar os custos de manutenção do estado de prontidão. Por fim, buscou introduzir conceitos associados a outras técnicas de resposta além da remoção mecânica, como a dispersão química.

Para fins de prova do conceito apresentado, foi simulada a aplicação da metodologia em um terminal de óleo de grande porte, com aumento de 25% da capacidade de resposta em relação aos requisitos atuais, porém com redução de 66% dos recursos imobilizados em função do compartilhamento com estruturas regionais de contingência a partir de 12h.

Finalmente, espera-se que a aplicação e o desenvolvimento desta metodologia possam influenciar ou provocar o aperfeiçoamento da atual Resolução CONAMA nº 398/2008, de forma a permitir uma maior robustez dos planos de emergência individuais existentes no país. Futuramente, novos estudos poderão orientar a inclusão de conceitos e princípios associados a ferramentas para avaliação da mitigação dos impactos de vazamentos de óleo (SIMA – Spill Mitigation Impact Assessment) [8].

5. REFERÊNCIAS

- [1] FINGAS, M., Oil Spill Science and Technology, CANADA (2017).
- [2] USCG, On Scene Coordinator Report Deepwater Horizon Oil Spill, EUA (2011).
- [3] IPIECA, Oil Spill Risk Assessment and Response Planning for Offshore Installations, EUA (2013).
- [4] NOAA, Characteristics of Response Strategies: A Guide for Spill Response Planning in Marine Environments, EUA (2010).
- [5] ASTM, Standard Guide for Estimating Oil Spill Recovery System Effectiveness, EUA (2010).
- [6] CHAMP, M., Utilization of Technology Windows of Opportunity in Marine Oil Spill Contingency Planning, Response and Training, EUA (1997).
- [7] BSEE, Oil Spill Response Equipment Capabilities Analysis (Volume II), EUA (2016).
- [8] IPIECA, Guidelines on Implementing Spill Impact Mitigation Assessment (SIMA), EUA, 2010.