



IMPACTOS AMBIENTAIS DA EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO EM ÁREAS OFFSHORE

Jacqueline B. Mariano¹ e Emilio Lèbre La Rovere²

Copyright 2006, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*, realizada no período de 11 a 14 de setembro de 2006, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*.

Resumo

O presente artigo tem por objetivo apresentar um breve panorama dos principais impactos e riscos ambientais das atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural em áreas offshore. Assim sendo, é empreendida uma discussão sobre seus respectivos impactos ambientais, que inclui os impactos sobre os meios físico, biótico e socioeconômico, decorrentes das atividades que compõem o segmento *upstream*, a saber: a poluição hídrica, a poluição atmosférica, a disposição dos resíduos sólidos, as interferências com a biota e com outras atividades antrópicas, a perda de biodiversidade, entre outros. Além dos impactos, são também apresentados os principais riscos de acidentes associados às atividades do *upstream* com potenciais consequências para o meio ambiente.

Abstract

This paper aims to present a brief overview of the main impacts and risks from the oil and gas exploration and production activities in offshore regions. So as to do that, we discuss the environmental impacts and aspects of which one of the upstream activities: exploration (seismic surveys), drilling, development and production, transportation of the fluids produced and, finally, the decommissioning, removal and abandonment of the offshore oil and gas transportation and production facilities. The environmental impacts addressed include the effects on the physical, biotic, social and economic environment due to the interaction between them and the upstream activities: water and air pollution, generation of solid wastes, interference with the biota and with other human activities, etc. Besides the environmental impacts, we also present the main environmental risks associated to the E&P activities.

1. Introdução

As atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural em áreas offshore têm, particularmente, quando considerada toda a sua cadeia produtiva, o potencial de causar uma grande variedade de impactos sobre o meio ambiente. Tais “impactos”, dependem basicamente do estágio de desenvolvimento dos processos, do tamanho e da complexidade dos projetos, da natureza e da sensibilidade do ambiente no qual serão desenvolvidas as atividades e da eficácia do planejamento, assim como das técnicas de prevenção, controle e mitigação da poluição e dos outros efeitos adversos sobre o meio ambiente. Além disso, o contínuo aumento das complicações e dos custos dos processos de localização de jazidas de óleo em regiões remotas e inóspitas, de sua produção e de seu transporte até os mercados têm significativos impactos sobre o meio ambiente, físico, biótico e antrópico.

Cabe ressaltar, que os impactos abordados no presente artigo são impactos potenciais, que, com cuidados e atenção apropriados, podem ser evitados, minimizados e/ou mitigados. Nesse sentido, a indústria mundial de petróleo tem sido pró-ativa no desenvolvimento de sistemas de gerenciamento, práticas operacionais e tecnologias de engenharia, que objetivam a minimização dos impactos das atividades sobre o meio ambiente, e tal fato contribuiu significativamente para a redução do número de acidentes ambientais.

¹ Mestre em Ciências do Planejamento Energético, Engenheira Química – Agência Nacional do Petróleo

² D.Sc.em Economia, Engenheiro Eletricista – Programa de Planejamento Energético/COPPE/UFRJ

As atividades de exploração, perfuração e produção são inerentemente invasivas ao meio ambiente, podendo afetar negativamente os ecossistemas, a cultura local e a saúde humana, e as alterações físicas do meio ambiente podem, muitas vezes, ser maiores do que aquelas decorrentes de um grande derramamento de óleo. Os principais impactos potenciais são a destruição de ecossistemas, a contaminação química da atmosfera e da água, os danos de longo prazo a populações animais (particularmente a pássaros migratórios e mamíferos marinhos), os riscos para a saúde e para a segurança de trabalhadores e o deslocamento de comunidades locais e/ou indígenas. A Tabela 1. apresenta um sumário dos impactos potenciais sobre o meio ambiente, desde a etapa de exploração até o descomissionamento das instalações de produção em mar.

Tabela 1. Impactos ambientais potenciais da exploração e produção de petróleo offshore.

Atividade	Fonte	Impacto Potencial	Componente Afetado	Comentários
Operações de Sísmica	Equipamentos Sísmicos	Ruídos	B	Fontes acústicas, perturbação de organismos marinhos (talvez seja necessário evitar áreas sensíveis e considerar sazonalidade). Transiente e de curto prazo.
	Operação dos Navios	Emissões Efluentes	At/Aq/T	Emissões atmosféricas dos motores dos navios; descargas para o oceano: águas de lastro, esgotos; derramamentos, resíduos e lixo dispostos na orla. Pequena importância, curto prazo, transiente.
		Interferência	H	Interação com outros usuários dos recursos (por exemplo, pescadores). Transiente e de curto prazo.
Perfuração Exploratória e de Avaliação	Seleção do local	Interações	H/B/Aq	Sensibilidade considerável em relação à biota, uso de recursos, importância cultural, sazonalidade. Impactos secundários relacionados à oferta de equipamentos e a requisitos de suprimentos e impactos potenciais sobre portos e infra-estrutura locais.
	Operações	Emissões Efluentes Resíduos	A/At/B/Aq/T	Descargas para os oceanos – lamas, cascalhos, esgotos, resíduos domésticos, derramamentos e vazamentos. Emissões dos equipamentos das plantas; ruídos e luz; disposição de resíduos sólidos onshore e impactos sobre a infra-estrutura locais. Perturbação de organismos bênticos e pelágicos e de aves marinhas. Mudanças na qualidade da água, do ar e dos sedimentos. Perda de acesso e perturbação dos outros usuários dos recursos. Emissões e descargas de operações de teste nos poços, descarte de água de produção, combustão e queima em tochas, ruídos e iluminação. Curto prazo e transientes. Efeitos do tráfego de navios e helicópteros na vida humana e selvagem.
	Descomissionamento	Rastros	B/Aq	Controles apropriados durante as operações e cuidados no descomissionamento podem, efetivamente, remover riscos de impactos de longo prazo. Controle não apropriado resulta na contaminação de água e sedimentos, danos aos habitats dos organismos pelágicos e bênticos e à biodiversidade. Impactos onshore devido à disposição de resíduos sólidos, infraestrutura e conflito no uso dos recursos
Desenvolvimento	Seleção do local	Interações	H/B/Aq	Seleção de longo prazo de local baseada em sensibilidade biológica e socioeconômica e em mínima perturbação possível. Risco de impacto sobre espécies sensíveis, espécies de importância comercial, conflitos no acesso e uso de recursos. Impactos sobre a infra-estrutura portuária local e requisito de infra-estrutura logística.
	Operações e Produção	Emissões Efluentes Resíduos Socioeconômico e Cultural	H/At/B/Aq/T H	Efeitos crônicos e de longo prazo dos efluentes sobre a fauna bêntica e pelágica, sobre os sedimentos e a qualidade da água. Impacto dos cascalhos e lamas de perfuração, água de produção, águas de drenagem, esgotos sanitários, vazamentos e derramamento. Emissões atmosféricas de plantas de processo e geração de energia com impactos sobre a qualidade do ar. Ruído, iluminação e impacto visual da presença das plataformas. Disposição de resíduos sólidos e impactos na infra-estrutura onshore. Aumento do tráfego de embarcações e helicópteros.

LEGENDA
H – humano

B – biosfera Aq – aquático T – terrestre At – atmosf.	Descomissionamento	Rastros	B/Aq	Controles apropriados durante as operações e cuidados no descomissionamento podem, efetivamente, remover riscos de impactos de longo prazo. Controle não apropriado resulta na contaminação de água e sedimentos, danos aos habitats dos organismos pelágicos e bênticos e à biodiversidade. Impactos <i>onshore</i> devido à disposição de resíduos sólidos, infra-estrutura e conflito no uso dos recursos
--	--------------------	---------	------	--

Fonte: a partir de UNEP, 1999.

A seguir são apresentados os impactos potenciais específicos de cada uma das etapas do segmento *upstream*.

2. Impactos Ambientais da Etapa de Exploração – Pesquisa Sísmica

Já durante o primeiro estágio das atividades da indústria de petróleo e gás *offshore*, a exploração, verificam-se impactos negativos sobre os organismos marinhos e sobre os ecossistemas. A pesquisa geológica inclui amostragem do leito marinho e testes estratigráficos profundos, que causam elevação na turbidez local e suspensão de sedimentos. A perfuração estratigráfica gera o descarte de lamas de perfuração e de cascalhos, de forma similar ao que ocorre quando da perfuração de poços exploratórios e de desenvolvimento.

A exploração geofísica utiliza-se de métodos sísmicos, elétricos, gravitacionais e magnéticos. As consequências ecológicas de grande escala das atividades geofísicas não são tão óbvias quanto as de, por exemplo, os efeitos de um derramamento acidental de óleo, mas também foram muito menos estudadas. Entretanto, os impactos gerados são intensos e específicos, e afetam a coluna d'água e o leito marinho. Os métodos gravitacionais e magnéticos de busca representam uma menor ameaça para os organismos marinhos em relação aos métodos de exploração sísmica e elétrica.

Com relação à pesquisa sísmica, as áreas cobertas são significativas, e mesmo as mais modernas tecnologias de geração de ondas sísmicas são potencialmente prejudiciais à biota marinha, inclusive para as espécies comerciais. Os impulsos podem gerar pressões sonoras de mais de 150 atmosferas. Durante cerca de 2-3 semanas, o navio de pesquisa cobre distâncias de 500 a 1.000 km, e o número de impulsos sísmicos executados durante a exploração de uma área de 100 km² não é menor que 5-8 milhões. Quando a rota da embarcação ultrapassa áreas de pesca com rede, os cabos sísmicos arrastados pelo navio podem interferir com as atividades de pesca comercial.

As informações disponíveis sobre os efeitos biológicos das ondas altamente energéticas dos sinais sísmicos sobre os organismos marinhos são limitadas e contraditórias (Patin, 1999). Algumas pesquisas sugerem a possibilidade de efeitos nocivos, e até mesmo letais, na maior parte da fauna aquática. Entretanto, ainda não há avaliações quantitativas a esse respeito.

Por outro lado, ambientalistas e pescadores de diversos países tais como Grã Bretanha, Noruega e Canadá, consideram a exploração geofísica das plataformas continentais um sério fator que causador de efeitos danosos em organismos comerciais (especialmente durante os períodos de desova e crescimento). Particularmente, pesquisas conduzidas por especialistas noruegueses indicam que determinados pelágicos são afetados pelas ondas sísmicas estando a até 100 km da fonte emissora dos sinais. Outro estudo norueguês demonstrou os efeitos danosos de pesquisas sísmicas exploratórias intensivas na Noruega, que resultaram numa queda de 70% nos recursos pesqueiros da região.

É por esta razão que alguns países regulam de forma severa as pesquisas sísmicas e exigem a presença de um representante das comunidades pesqueiras a bordo dos navios sísmicos. No Mar do Norte, não são permitidas atividades de pesquisa sísmica no período de Julho a Setembro nas áreas de desova dos arenques. Na zona econômica da Noruega, com o objetivo de limitar as áreas e os períodos das atividades sísmicas, foram conduzidos estudos especiais sobre as regiões de interesse. Como resultado disso, a região foi mapeada e foram demarcadas as áreas mais ambientalmente sensíveis a tais ameaças. Essas áreas incluem rotas de migração, locais de desova e desenvolvimento de larvas e ovos e de desova de peixes comerciais.

Os mecanismos e a manifestação dos efeitos biológicos das ondas dos sinais sísmicos sobre os organismos vivos podem diferir. Eles vão desde danos sobre a capacidade de orientação e de busca de alimento (efeitos indiretos) até danos em órgãos e tecidos, perturbações nas atividades motoras e morte (efeitos diretos). Nos primeiros estágios, os peixes – ovas, larvas e provavelmente ovos em desenvolvimento – são especialmente vulneráveis.

Um estudo recente fornece os raios de segurança e de efeitos letais dos sinais sísmicos gerados por diferentes fontes (sistemas pneumáticos, sistemas de detonação de gás, e outros). Os raios são de, respectivamente, 1-2,5 e 0,5-1,0 m. Para efeito de comparação, os raios de segurança e de efeitos letais de pequenas cargas explosivas (25 g ou menos), dados neste mesmo estudo, são de 2-18 e 1-10 m, respectivamente. Os autores desta publicação assinalam que, em alguns casos, dependendo da profundidade da lâmina d'água e da intensidade das pesquisas sísmicas, os impactos sobre a mortalidade dos ovos de peixes podem ser comparados a fatores hidrológicos e climáticos naturais. A Tabela 2. detalha os efeitos das ondas sísmicas sobre a biota.

Tabela 2. Efeitos das ondas sísmicas sobre a biota

Tipo de Efeito	Danos Observados
Físicos	- Danos a tecidos corporais e órgãos (e.g. pulmões e bexiga natatória) - Danos aos tecidos e estruturas relacionadas à audição - Alterações permanentes e temporárias no limiar auditivo (redução da capacidade auditiva)
Sensoriais	Mascaramento de sons essenciais à sobrevivência do animal (e.g. sinais de comunicação, ecolocalização, busca de presas, e percepção da aproximação de ameaças como predadores e navios)
Comportamentais	Interferência no padrão comportamental (o animal passa a evitar certas áreas, ou tem os padrões de mergulho e respiração alterados)
Crônicos	Estresse que pode levar à diminuição da viabilidade de sobrevivência do animal ou ao aparecimento de doenças
Indiretos	Diminuição da disponibilidade de presas, reduzindo a alimentação, restrição a áreas de desova, alimentação e reprodução

Fonte: MMA, 2003.

3. Impactos Ambientais da Etapa de Perfuração

Conforme visto no item 2., muitos dos impactos das pesquisas geofísicas sobre os ecossistemas marinhos e sobre os recursos biológicos não foram estudados e permanecem ainda desconhecidos. Por outro lado, as consequências óbvias e visíveis da perfuração e das operações de produção foram amplamente pesquisadas, desde o início de grandes projetos de desenvolvimento de campos *offshore* de petróleo e gás natural, especialmente no Golfo do México e no Mar do Norte.

Com relação às atividades de perfuração, todos os tipos de perfuração são associados à geração de resíduos tais como lamas e cascalhos de perfuração. Os cascalhos são separados das lamas e limpos em separadores especiais. A quantidade de óleo residual presente nos cascalhos é bastante maior quando são utilizadas lamas a base de óleo. As lamas separadas e os fluidos de limpeza dos cascalhos são parcialmente reciclados para o sistema. Os cascalhos e a lama restante são descarregados no mar ou transportados para terra para serem corretamente dispostos, a depender da situação e das exigências ambientais concernentes, sendo mais comum a primeira forma de descarte. Os cascalhos cobertos por óleo e, freqüentemente, por fluidos de perfuração tóxicos, são a maior fonte de poluição das operações de perfuração. Por outro lado, sabe-se hoje que a disposição dos cascalhos próximos ao leito marinho, ao invés de seu lançamento na superfície da água, pode limitar a dispersão dos poluentes suspensos, e, conseqüentemente, reduzir a magnitude de seu impacto potencial sobre o meio ambiente.

Muitos países e companhias de petróleo estão buscando formas efetivas de limpar e reduzir a toxidade dos cascalhos de perfuração contaminados por óleo. Recentemente, foi desenvolvida nos Estados Unidos uma tecnologia de remoção dos resíduos de perfuração, especialmente dos cascalhos, a partir de sua reinjeção na formação geológica. Esta técnica oferece uma possibilidade de se obter a descarga-zero para este tipo de resíduo.

O perigo para o meio ambiente das lamas de perfuração está relacionado, particularmente, à presença de materiais lubrificantes na sua composição. Estas substâncias lubrificantes possuem, normalmente, uma base de hidrocarbonetos, e são necessárias para assegurar a eficácia da perfuração, especialmente no caso de perfuração direcional ou de perfuração de rochas sólidas. Os lubrificantes são adicionados nos fluidos de perfuração desde o início, como parte das formulações originais ou no decorrer do processo, quando as necessidades operacionais aparecem. Em ambos os casos, as lamas utilizadas e os cascalhos cobertos por esses fluidos contêm consideráveis quantidades de hidrocarbonetos estáveis e tóxicos, assim como de um grande espectro de muitas outras substâncias.

Uma outra fonte de poluição por óleo é a areia extraída junto com os hidrocarbonetos. A quantidade de areia produzida pode variar bastante, em função das regiões, e mesmo durante a produção numa mesma área. Em alguns casos, a areia constitui parte considerável do produto extraído. Mais freqüentemente, a areia é limpa e despejada no mar, no mesmo local do poço. Algumas vezes é calcinada e transportada para terra.

A seguir, a Tabela 3. resume os impactos ambientais potenciais das atividades de perfuração de poços de petróleo e gás natural *offshore*.

Tabela 3. Impactos específicos da etapa de perfuração sobre os meios físico, biótico e antrópico

Atividade	Impacto Ambiental	Categoria	Tipo	Área de Abrangência	Duração	Reversibilidade	Importância
Ancoragem da Plataforma	Interferência com a biota marinha	NEGATIVO	Direto	Local	Temporário	Reversível	Fraca
Presença Física da Plataforma	Desenvolvimento de comunidades biológicas	POSITIVO	Direto	Local	Permanente	Reversível	Forte
	Atração de Peixes	POSITIVO	Indireto	Local	Permanente	Reversível	Forte
Descarte de Cascalhos e Fluidos de Perfuração	Interferência com a biota marinha	NEGATIVO	Direto	Local	Temporário	Irreversível	Fraca

	Interferência com o meio físico submarino	NEGATIVO	Direto	Local	Temporário	Irreversível	Fraca
Descarte de Esgoto Sanitário	Enriquecimento da água marinha com nutrientes	POSITIVO	Direto	Local	Temporário	Reversível	Fraca
Descarte de Água Aquecida no Mar	Alteração das propriedades físico-químicas da água	NEGATIVO	Direto	Local	Temporário	Reversível	Fraca
Descarte de Resíduos Oleosos no Mar	Alteração das propriedades físico-químicas da água	NEGATIVO	Direto	Local	Temporário	Reversível	Fraca
Descarte de Resíduos de Alimentos	Enriquecimento da água marinha com nutrientes	POSITIVO	Direto	Local	Temporário	Reversível	Fraca
Ruído e Vibração provocados pela Broca	Interferência com a biota marinha	NEGATIVO	Direto	Local	Temporário	Reversível	Fraca
Emissões Atmosféricas	Degradação da qualidade do ar	NEGATIVO	Direto	Local	Temporário	Reversível	Fraca
Vazamento de óleo da plataforma ou das embarcações de apoio	Interferência com a biota marinha	NEGATIVO	Direto	De Local a Regional	Temporário	Irreversível	Fraca a Forte
	Interferência com a atividade de pesca	NEGATIVO	Direto	De Local a Regional	Temporário	Irreversível	Fraca a Forte
	Interferência com o turismo	NEGATIVO	Direto	De Local a Regional	Temporário	Irreversível	Fraca a Forte
Erupção do Poço (Blow-Out)	Risco de incêndio e/ou explosão	NEGATIVO	Direto	De Local a Regional	Temporário	Irreversível	Fraca a Forte
	Risco de lesão e morte de trabalhadores	NEGATIVO	Direto	Local	Temporário	Reversível	Fraca a Forte
	Interferência com a biota marinha	NEGATIVO	Direto	De Local a Regional	Temporário	Irreversível	Fraca a Forte
	Interferência com a atividade de pesca	NEGATIVO	Direto	De Local a Regional	Temporário	Irreversível	Fraca a Forte
	Interferência com o turismo	NEGATIVO	Direto	De Local a Regional	Temporário	Irreversível	Fraca a Forte
Acidentes na Plataforma ou nas Embarcações de Apoio	Risco de lesão e morte de trabalhadores	NEGATIVO	Direto	Regional	Permanente	Irreversível	Fraca a Forte
Contratação de Mão-de-Obra	Geração de empregos diretos e indiretos	POSITIVO	Direto	Regional	Temporário	Reversível	Fraca
Arrecadação Tributária	Geração de tributos	POSITIVO	Direto	Regional	Temporário	Reversível	Média

Fonte: Schaffel, 2002.

4. Impactos Ambientais da Etapa de Desenvolvimento e Produção de Petróleo e Gás Natural

Praticamente todos os estágios e operações das atividades de produção em áreas *offshore* são acompanhados pela geração de efluentes líquidos e gasosos, assim como de resíduos sólidos indesejáveis. Especialmente o comissionamento (partida) das instalações pode resultar em mudanças de desempenho temporárias dos processos, o que pode originar emissões atmosféricas incomuns (tais como aquelas decorrentes de ventilação e queima de gás em *flares* e da queima de combustíveis para geração de energia), descarte de efluentes no mar, tais como o descarte de produtos químicos, e geração de águas de produção de pior qualidade. A Tabela 4., a seguir, apresenta os efluentes mais comuns associados a cada uma das atividades da etapa de E&P, e a Tabela 5. apresenta as saídas materiais potenciais (emissões atmosféricas, efluentes hídricos e resíduos sólidos) de alguns dos processos de E&P.

Tabela 4. Efluentes Típicos das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo

Fonte, Atividade	Efluente
Perfuração Exploratória	Lamas de perfuração (em sua maioria, a base de água), cascalhos de perfuração
Perfuração de Desenvolvimento	Lamas de perfuração (em sua maioria, a base de água), cascalhos de perfuração, fluidos de tratamento de poços
Completação do Poço	Fluidos de completção de poços
Workover do Poço	Fluidos de <i>workover</i>
Operações de Produção	Água de produção (incluindo água das formações dos reservatórios e água de injeção), água de lastro, água de drenagem de convés, lamas de perfuração, cascalhos de perfuração, areias de produção, resíduos de cimento, fluido dos BOP's, esgotos sanitários e domésticos, efluentes de processamento do óleo e do gás, águas de refrigeração, água de testes dos sistemas de combate a incêndios, emissões atmosféricas
Descargas Acidentais	Derramamentos de óleo, explosões de gás e derramamentos de produtos químicos

Fonte: Patin, 1999.

Tabela 5. Saídas Materiais Potenciais de Alguns Processos de E&P

Processo	Emissões Atmosféricas	Efluente	Resíduos
Desenvolvimento do Poço	Emissões fugitivas de gás natural, compostos orgânicos voláteis (VOCs), hidrocarbonetos poliaromáticos (PAHs), CO ₂ , CO e H ₂ S.	Lamas de perfuração, ácidos orgânicos, óleo diesel, fluidos ácidos de estimulação (HCl e HF)	Cascalhos de perfuração (alguns cobertos de óleo), sólidos da lama de perfuração, agentes espessantes, dispersantes, dispersantes, inibidores de corrosão, surfactantes, agentes de floculação, concreto e parafinas.
Produção	Emissões fugitivas de gás natural e de VOC's, hidrocarbonetos poliaromáticos (PAH's), CO ₂ , CO e H ₂ S, emissões fugitivas de BTX decorrentes do condicionamento do gás natural.	Água de produção provavelmente contaminada por metais pesados, radionuclídeos, sólidos dissolvidos, compostos orgânicos consumidores de oxigênio, sais. Também podem conter biocidas, lubrificantes e inibidores de corrosão. Efluentes contendo glicol, aminas, sais e emulsões.	Areia de produção, enxofre elementar, catalisadores gastos, lama dos separadores, sedimentos dos tanques, filtros usados, resíduos sanitários.
Manutenção	Agentes de limpeza voláteis, VOC's e gás clorídrico (HCl).	Fluidos de completção de poços e efluentes contendo solventes para a limpeza dos poços (detergentes e desengraxantes), tintas e agentes de estimulação.	Resíduos de tintas, parafinas, cimento e areia. Crostas dos dutos.
Abandono de Poços, Vazamentos e Blow-Outs	Emissões fugitivas de gás natural e de VOC's, material particulado, hidrocarbonetos poliaromáticos (PAH's), CO ₂ , CO e compostos de enxofre.	Vazamentos de óleo e salmoura.	Solo contaminado e materiais absorventes.

Fonte: EPA, 2000.

As quantidades e proporções dos efluentes gerados podem variar consideravelmente durante a produção. Por exemplo, a quantidade de cascalhos de perfuração, normalmente, decresce na medida que o poço se torna mais profundo e, correspondentemente, seu diâmetro diminui. O volume de água de produção aumenta proporcionalmente à depleção dos recursos de hidrocarbonetos, e a medida que a produção caminha do início para o final da vida útil do poço. A perfuração das camadas superiores dos sedimentos de fundo (acima de, aproximadamente 100 m) pode ser feita sem a utilização de fluidos de perfuração muito complexos. Em alguns casos, água do mar com aditivos de suspensões de argilas podem ser utilizados com tal finalidade (Patin, 1999).

Tabela 6. Quantidades Típicas de Efluentes Gerados durante Atividades de E&P de Óleo e Gás Natural Offshore

Efluentes	Quantidade Aproximada (t)
Locais de exploração (Faixas para um Poço Único)	
Lama de perfuração (periodicamente)	15-30
Lama de perfuração (do início ao fim)	150-400
Cascalhos (massa seca)	200-1.000
Base de óleo sobre os cascalhos	30-120
Locais de produção (Múltiplos Poços)	
Lama de perfuração	45.000
Cascalhos	50.000
Água de produção	1.500/dia

Fonte: GESAMP, 1993.

Conforme pode ser visto na Tabela 4., o volume das águas de produção é consideravelmente maior do que o de outros efluentes. A água de produção inclui a água das formações rochosas do reservatório, as salmouras, as águas de produção e outras águas de processo. A água da formação e a salmoura são extraídas juntamente com o petróleo do

gás. A água de injeção é bombeada em grandes volumes nos poços de injeção com o objetivo de manter a pressão do reservatório e empurrar os hidrocarbonetos para os poços de produção. Estas águas são normalmente poluídas por óleo, por hidrocarbonetos de baixo peso molecular, sais inorgânicos e compostos químicos diversos, e precisam ser tratadas antes de serem lançadas no mar. Esta é uma tarefa tecnicamente difícil de ser executada sob as condições do mar. Existem unidades específicas para a separação do óleo nas plataformas, e dependendo da qualidade resultante após o tratamento, a água de produção poderá ser diretamente descartada no mar ou reinjetada em poços de disposição. Em alguns casos, as misturas água-petróleo são transportadas por dutos até unidades de separação em terra.

As águas de produção, incluindo águas de reinjeção e soluções de produtos químicos utilizados para aumentar a taxa de recuperação dos hidrocarbonetos e auxiliar na separação de misturas óleo-água, constituem uma das principais fontes de poluição por óleo nas áreas *offshore* de produção de petróleo e gás natural.

É interessante notar que quando o reservatório de petróleo é deplecionado, a razão entre a água e o óleo no produto extraído aumenta, e a fase aquosa se torna predominante. Ao mesmo tempo, o volume dos efluentes aumenta e a dificuldade de seu tratamento também..

Os outros efluentes hídricos, tais como esgotos sanitários e domésticos, e águas de drenagem não são prejudiciais ao ambiente marinho nas áreas de produção de petróleo e gás, sendo tratados e descartados de acordo com as normas e regulamentos das embarcações e instalações de produção e com a legislação ambiental de cada país.

4. Impactos Ambientais da Etapa de Transporte dos Hidrocarbonetos Produzidos

As fontes potenciais de efeitos sobre o meio ambiente, decorrentes da construção, instalação e pré-comissionamento das instalações de transporte são:

- o **As emissões atmosféricas**, basicamente decorrentes da queima de combustíveis fósseis nas embarcações e das emissões fugitivas decorrentes do combustível das embarcações e do armazenamento de produtos químicos;
- o **Descarte de Efluentes no Mar**, tais como a água dos testes hidrostáticos, as águas de drenagem e de lavagem das embarcações, os esgotos e restos de alimentos das embarcações e os efluentes de dissolução dos produtos de corrosão e da proteção anti-corrosão das embarcações;
- o **Perturbação física do leito marinho pela deposição dos dutos, pela escavação das trincheiras e pelo ancoramento dos dutos**;
- o **Presença física das embarcações, dos dutos e das instalações** devido à interferência com outras atividades;
- o **Ruídos, Ruídos submarinos e Luz** devido à perturbação dos organismos marinhos;
- o **Descarte de resíduos sólidos e líquidos em terra**, produzidos durante as etapas de construção e comissionamento das instalações de transporte;
- o **Risco de Acidentes**, tais como vazamentos de óleo e combustíveis, vazamentos de gás, vazamentos de produtos químicos e colisões.

5. Impactos Ambientais do Descomissionamento e Abandono das Instalações de E&P

O tempo de vida útil de um reservatório de petróleo pode variar bastante, mas geralmente é de cerca de 20-40 anos, período de tempo durante o qual o campo será deplecionado. Nesse momento, surgem questões que normalmente ficam encobertas nas primeiras fases de desenvolvimento, tais como o destino de imensas plataformas, dutos submarinos, e de outras instalações após seu descomissionamento¹. Se tais instalações forem deixadas no mar, inevitavelmente se degradarão e se dissiparão ao longo de grandes áreas. Desta forma, terão a possibilidade de interferir com as atividades de pesca e de navegação.

- **Opções de Abandono** – O abandono de instalações envolve grandes dificuldades técnicas e despesas de grande porte. Sob a perspectiva técnica e econômica, quanto maior for a estrutura, e maior for a profundidade do local onde está instalada, o mais apropriado é levá-la total ou parcialmente intacta. Contrariamente, quando localizada em águas rasas, a remoção parcial da estrutura é mais indicada. Os pedaços podem ser levados para terra, enterrados ou utilizados para outros propósitos. Da perspectiva dos pescadores, qualquer opção quando as estruturas ou seus fragmentos são deixados no mar, pode causar interferência física com as atividades de pesca. Nesses casos, a possibilidade de danos nas embarcações e equipamentos não termina com o término das atividades na área. Ao contrário, as estruturas abandonadas representam uma ameaça à pesca por muitas décadas após o fim das operações. Dutos obsoletos deixados no fundo do mar são especialmente perigosos nesse sentido. Sua degradação e dissipação descontrolada em grandes

¹ No Brasil, o descomissionamento das instalações de produção *offshore* obedece a critérios estabelecidos pela ANP.

áreas podem levar a situações inesperadas durante operações de pesca com redes. Ao mesmo tempo, os acordos internacionais sobre descomissionamento e abandono de instalações *offshore* se referem, em sua maioria, ao abandono de grandes estruturas, tais como plataformas de perfuração. O destino dos dutos não é afetado por regulamentações claras.

- **Uso Secundário de Plataformas Fixas Offshore** – As opções de reuso de plataformas abandonadas, de suas fundações e de outras estruturas fora de serviço têm sido amplamente discutidas pela indústria de petróleo nos últimos anos, e muitos estudos têm sido desenvolvidos neste sentido. Da perspectiva dos pescadores, os projetos mais interessantes são aqueles que têm por objetivo a conversão das estruturas fixas em recifes artificiais, que funcionam como atratores de vida marinha. Os recifes artificiais consistem num dos métodos mais eficazes de elevação da bioprodutividade em águas costeiras, a partir da adição de novos *habitats*. Têm sido ampla e eficazmente usados por diversos países.

As estruturas *offshore* podem atrair uma grande variedade de espécies de invertebrados e de peixes a procura de abrigo, alimento e locais seguros para reprodução. Também foi observado, em várias regiões, um aumento na oferta de peixes em consequência da presença das plataformas. Tal fato sugeriu haver um impacto positivo dos desenvolvimentos de petróleo e gás sobre o crescimento das populações de peixes.

- **Atividades com Explosivos** – A remoção completa ou parcial de plataformas fixas de concreto ou aço, cujo peso alcança milhares de toneladas, é praticamente impossível sem a utilização de materiais explosivos. As explosões causam um impacto muito grande, ainda que de curto prazo, sobre o ambiente marinho, no entanto, seus efeitos sobre os organismos aquáticos ainda foram pouco estudados.

5. Eventos Acidentais, Emergências Potenciais e Riscos Para o Meio Ambiente

As atividades geradoras dos impactos descritos ao longo do presente artigo podem ser divididas em dois grupos, a depender da intensidade e da duração do impacto correspondente. O primeiro grupo consiste numa grande variedade de atividades técnicas, de transporte e outras operações que ocasionam efeitos crônicos sobre o meio ambiente. Estas atividades incluem a emissão regular de resíduos sólidos e líquidos durante as etapas de perfuração e transporte dos hidrocarbonetos, emissões atmosféricas durante a queima de gás associado em *flares*, e outras atividades que ocasionam constantes e persistentes perturbações sobre o meio ambiente. O segundo grupo, também bastante amplo, consiste em eventos de curta duração, associados a fatores de impacto que causam consequências extremas. Exemplos deste segundo grupo incluem acidentes de *blow outs* durante as etapas de perfuração e/ou produção, perturbação física durante a fase de instalação das estruturas, derramamentos de óleo em acidentes com petroleiros, e outros.

Os principais tipos de eventos acidentais passíveis de ocorrer são:

- **Derramamento de óleo, de combustíveis, gás, materiais perigosos e substâncias químicas** – Os derramamentos de óleo (que usualmente consistem em petróleo cru ou condensado) podem ser originados por diversas fontes nos locais de produção (e, em alguns casos, nos locais de perfuração): vazamento de tanques, durante operações de transferência, vazamentos em linhas de transferência de fluidos, vazamentos em válvulas, medidores de pressão e/ou juntas e conexões. Vazamentos de óleo diesel podem ocorrer durante as operações de perfuração, descarga de lamas de perfuração a base de óleo. Os vazamentos são o tipo mais comum de acidente, mas as quantidades liberadas são frequentemente pequenas;
- **Blow Outs de poços de óleo e/ou gás** – Os *blow outs* são acidentes mais raros, mais podem ser muito graves. A probabilidade de sua ocorrência é maior as fases de perfuração e *workover*, porém, podem acontecer também durante as fases de desenvolvimento dos poços e de produção propriamente ditas. Tais eventos podem resultar na emissão de metano (gás natural) e, se o poço entrar em ignição, os produtos das reações de combustão dos hidrocarbonetos também serão liberados (CO, CO₂ e materiais particulados, entre outros). Outros poluentes que também podem ser liberados são os fluidos de perfuração e *workover*, além de água de produção misturada ao petróleo cru (os componentes mais preocupantes são sais, metais pesados e óleo).
- **Explosões;**
- **Incêndios nas instalações;**
- **Desligamento não planejado das plantas e/ou paradas;**
- **Desastres naturais e suas implicações nas operações;**
- **Guerras e sabotagens.**

6. Conclusões

Conforme pode ser visto ao longo do presente artigo, as atividades do *upstream* podem afetar o meio ambiente de forma severa, significativa e extensa, caso não sejam conduzidas de acordo com práticas consolidadas de gestão ambiental e em obediência à legislação ambiental vigente.

As etapas de exploração e perfuração são as mais problemáticas sob o ponto de vista ambiental, na medida em que interferem de forma direta com os ativos ambientais presentes nas áreas *offshore* (biota e feições geomorfológicas). Destacam-se na etapa de perfuração a geração de lamas e cascalhos e a interferência com a biota. Na etapa de produção se destaca a geração das águas de produção e a interferência com as atividades antrópicas conflitantes, como é o caso do turismo, da navegação e da pesca artesanal e comercial.

Com relação aos riscos de acidentes com conseqüências ambientais, as etapas de perfuração e de transporte dos hidrocarbonetos produzidos são as mais preocupantes, na medida em que caso ocorram acidentes, o potencial para que os danos sejam muito extensos é muito grande, destacando-se nesta categoria os *blow-outs* de poços e os derramamentos de óleo.

Entretanto, é importante lembrar que a indústria de petróleo, em todo o mundo, tem se esforçado muito nas últimas décadas com o objetivo de reduzir ao máximo os efeitos ambientais de suas atividades, investindo em programas de gestão ambiental, assim como em métodos e equipamentos de controle da poluição e também com o objetivo de aumentar a eficiência de seus processos, o que se traduz na utilização racional dos recursos naturais e na redução da geração de saídas indesejáveis, seja sob a forma de emissões, atmosféricas, efluentes hídricos e resíduos sólidos.

As atividades de E&P são fundamentais para a manutenção dos níveis de reservas e produção, no Brasil e em todo o mundo, e é muito pouco provável que o petróleo e o gás natural tenham sua importância reduzida como fonte de energia e matérias-primas num futuro próximo. Assim sendo, faz-se mister que sejam conduzidas em consonância com os princípios do desenvolvimento sustentável.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, no âmbito do PRH-21, pela bolsa de doutorado concedida ao Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ, e ao Professor Giovani Vitória Machado pelo apoio e incentivo quando da confecção deste artigo.

8. Referências

- EPA, *Profile of the Oil and Gas Extraction Industry – Sector Notebook Project*, Office of Compliance – EPA, Washington, 2000.
- GOUVEA, Maira Teixeira, *Gerenciamento dos Impactos Ambientais da Produção de Petróleo: O Caso da Bacia de Campos*, Tese de M.Sc., PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1994.
- GRANT/ENSR-BR, *Relatório de Impacto Ambiental para a Atividade de Levantamento de Dados Sísmicos Marítimos 3-D, não exclusivos na Bacia de Camamu-Almada*, Rio de Janeiro, 2003.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, *Impactos Ambientais da Atividade de Prospeção Sísmica Marítima – Informação ELPN/IBAMA nº012/03*, ELPN/IBAMA/MMA, Rio de Janeiro, 2003.
- MMS, *Gulf of Mexico – Deepwater Operations and Activities – Environmental Assessment*, MMS, 2001.
- O’ROURKE, Dana e CONNOLLY, Sarah, *Just Oil? The Distribution of the Environmental and Social Impacts of Oil Production and Consumption*, Annual Review of Environmental Resources, 2003.
- PATIN, Stanislav, *Environmental Impact of the Offshore Oil and Gas Industry*, 1 Ed., New York, 1999.
- SANTOS, Marcio Oliveira dos, *Indústria de Petróleo Offshore e seus Impactos Ambientais: O Caso da Bacia de Campos*, Tese de M.Sc., PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1995.
- SCHAFFEL, Sílvia Blajberg, *A Questão Ambiental na Etapa de Perfuração de Poços Marítimos de Óleo e Gás no Brasil*, Tese de M.Sc., PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Março de 2002.
- SILVA, Priscila Reis da, *Transporte Marítimo de Petróleo e derivados na Costa Brasileira: Estrutura e Implicações Ambientais*, Tese de M.Sc., PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.
- UNEP, *Environmental Management in Oil and Gas Exploration and Production*, Joint E&P Forum/UNEP, Technical Publication, 1997.