

O sistema de ancoragem da P-38, em lâmina d'água de 1020 metros, será através de um sistema denominado "turret", que é composto de oito âncoras, que lançadas no solo marinho constituem os pontos fixos do sistema, e oito linhas de ancoragem compostas de amarras metálicas e cabos de poliéster, que ligam as âncoras à embarcação. Possui ainda uma estrutura metálica, denominada "turret", instalada na proa da embarcação e ligada a esta por mancais e em cuja extremidade inferior são presas às linhas de ancoragem.

Desse modo, o "turret" se encontra fixo para movimentos de rotação preso pelas linhas de ancoragem, enquanto que a embarcação gira em seu entorno, alinhando-se com a resultante das componentes correntes marítimas e ventos. A P-38 não é dotada de propulsão e os navios aliviadores ficarão ancorados "in tandem" para as operações de transferência de petróleo.

A Tabela 1.5.2.2-1 a seguir apresenta de forma resumida as principais características da P-38.

Tabela 1.5.2.2-1: Características da P-38

Comprimento total	338,1 metros
Boca moldada	51,8 metros
Pontal moldado do projeto	26,7 metros
Porte bruto	261.785 toneladas
Calado máximo de verão	20,9 metros
Porto de registro	Panamá
Sistema de ancoragem	Turret

Para a conversão das duas unidades foi contratada em 19 de agosto de 1997 a empresa Mitsubishi Corporation do Brasil S/A, tendo como coordenadora do empreendimento a empresa Marítima Petróleo e Engenharia Ltda, além da IESA (Internacional Engenharia S/A) como responsável pelo processo e instalação de facilidades. A parte de engenharia naval do projeto foi contratada a empresa PROJEMAR. Os valores dos contratos dos equipamentos foram de US\$ 151.173.789,41, para a P-38 e US\$ 332.397.932,18 para a P-40.

#### ***Principais Equipamentos da P-38***

- Turret da Blue-water
- Geradores principais da Wartsila
- VAC colocado com a ABB
- Ecos /pacote elétrico colocado com o consórcio AC/GE/ORTENG
- Compressores de serviço colocado com a Ingersoll Rand
- Bombas principais Sulzer

## 1.5.2 - EMPREENDIMENTOS ASSOCIADOS E DECORRENTES

Como empreendimento similar ao módulo 1 do campo de Marlim Sul, compreendido pelo conjunto Plataforma P-40 e Embarcação P-38, podem ser destacados diversos módulos distribuídos nas Bacias de Campos e Santos. Na Bacia de Campos tem-se o conjunto P-36 + P-47, atuando no campo de Roncador, e já licenciados pelo IBAMA, enquanto na Bacia de Santos pode ser destacado o módulo representado pelo conjunto da Plataforma P-XIV e o Navio Tanque Aracaju.

Como empreendimentos associados a este módulo merecem ser destacadas as atividades desenvolvidas no píer de Imbetiba em Macaé e na própria sede do E&P-BC, aonde vem sendo avaliadas a existência de outros reservatórios de hidrocarbonetos na Bacia de Campos e a exploração dos campos já descobertos, bem como no Centro de Pesquisa da empresa, aonde vêm sendo desenvolvidas tecnologias para a melhor forma de exploração do óleo viscoso de Marlim Sul.

Podem também ser citados como associados ao empreendimento, as diversas outras empresas que atuarão nas atividades a serem desenvolvidas na P-40 e P-38, tanto aquelas envolvidas na atividade de produção, como outras envolvidas nas atividades de fornecimento de equipamentos, serviços e bens de consumo, ambas representando situações em que se demandará a manutenção de estruturas fixas na cidade de Macaé.

Como exemplos podem ser citadas as empresas prestadoras de serviços com instalações em Macaé: Líder Táxi Aéreo, Aeróleo, Maersk, Nutrimar, OSCO, e Valservice.

Como empreendimentos decorrentes das atividades de produção nas unidades componentes do módulo 1, podem ser destacados diversos segmentos, desde as embarcações que transportam o óleo produzido, passando pelos terminais de recebimento do petróleo em terra e encerrando-se nas refinarias da própria PETROBRAS que recebem o petróleo e geram os produtos finais.

Finalmente, também merece destaque como empreendimento decorrente, a linha de escoamento de gás natural, a ser lançada entre as plataformas P-40 e PNA-1, visando o aproveitamento do gás natural produzido pela primeira, além do sistema de escoamento para este produto já existente, que interliga a PNA-1 ao continente, passando por PGP-1.

## 1.5.3 - ESTIMATIVA QUALITATIVA DAS EMISSÕES, DOS EFLUENTES E DOS RESÍDUOS GERADOS NA OPERAÇÃO DAS UNIDADES DE PRODUÇÃO

### 1.5.4.1 - Emissões Decorrentes da Queima dos Gases

Durante a operação do empreendimento através das unidades P-40 e P-38 encontram-se previstas emissões gasosas a partir de fontes diversas, conforme especificado a seguir.

***Emissões do Sistema de Gás Inerte*** - Este sistema gera gases para inertização dos tanques de armazenamento de petróleo, sendo obtido através da queima de combustível (gás natural ou óleo diesel) com ar, produzindo principalmente dióxido de carbono e água, sendo esta última condensada. Desta forma, o gás liberado consiste basicamente de CO<sub>2</sub>, sendo liberado para a atmosfera a medida que se dá o enchimento dos tanques com petróleo. O volume máximo a ser liberado é da ordem de 24.000N m<sup>3</sup>/dia.

**Emissões de Descarga de Motores de Combustão Interna** - Serão emitidos gases provenientes do funcionamento dos motores de combustão interna, que utilizarão como combustível óleo diesel e gás combustível. As emissões resultantes destes equipamentos serão decorrentes da combinação da utilização, em plena carga de 95% de gás natural e 5% de óleo diesel, e de aproximadamente 90% de gás natural e 10% de diesel em 70% do tempo de operação dos equipamentos. As emissões características para estes tipos de mistura são CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, hidrocarbonetos parcialmente oxidados, traços de SO<sub>2</sub> e alguns carbonilados minoritários como aldeídos e cetonas.

**Emissão do Sistema de Gás Combustível** - O sistema de gás combustível poderá liberar gás natural em reduzidos volumes, por ocasião de despressurizações em emergências ou mesmo para manutenção. A liberação em operação normal para purga do sistema pode ser considerada irrelevante. Quanto à qualidade, estas emissões se caracterizam por serem hidrocarbonetos, cujo componente principal é o metano.

**Emissão do Sistema de Queima no Flare** - O gás produzido pela P-40 será em grande parte comprimido e escoado, enquanto outra parte será consumida internamente, através de gás “lift” e de gás combustível. Em operação normal é apenas mantida uma vazão de 720 Nm<sup>3</sup>/d, para manter os pilotos do flare acesos, e em caso de parada da planta de processo, o gás existente nas linhas será despressurizado para ser queimado na tocha do flare, consistindo este procedimento em segurança do processo. Basicamente CO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub> serão emitidos pelo sistema de chamas piloto devido às características de queima completa e com excesso de ar.

#### 1.5.4.2 - Efluentes Sanitários

A P-38 possuirá capacidade para alojar 80 pessoas a bordo, devendo, no entanto, manter em operação normal uma lotação inferior a 40 pessoas, distribuídas em alojamentos individuais, duplos ou quádruplos, todos com banheiro, contendo chuveiro, vaso sanitário e pia. Os efluentes sanitários gerados na P-38, juntamente com os efluentes de cozinha, serão coletados em tanque específico e tratados em unidade de tratamento por oxidação, sendo posteriormente descartados no mar.

Quanto aos efluentes sanitários da P-40, onde se prevê uma população embarcada de 55 pessoas, também serão coletados em tanque específico, tratados em unidade de tratamento por oxidação e descartados para o mar a uma profundidade de 20 m. Os restos de comida, tratando-se de matéria orgânica putrefaciente, serão triturados em partes menores de 25mm e lançados ao mar.

Quanto aos volumes diários a serem gerados, considerou-se para o cálculo a população embarcada nas duas unidades, de 37 e 55 pessoas, respectivamente para a P-38 e P-40, e uma taxa de geração de esgoto de 200 l/pessoa/dia. Desta forma os volumes esperados são de 7,4 m<sup>3</sup>/dia para a P-38 e 11m<sup>3</sup>/dia para a P-40.

#### 1.5.4.3 - Água de Produção

A água efluente dos separadores de primeiro estágio e dessalgadoras, contendo um teor de óleo de até 700 ppm, será enviada para as respectivas baterias de hidrociclones, onde se promoverá a separação água/óleo.

A partir dos hidrociclones, o fluxo de água e de rejeito de óleo será enviado para o vaso flutuador, onde ocorrerá a separação de óleo e água através de flotação. A água efluente será enviada através de bombas para permutadores, onde trocará calor com o óleo oriundo dos poços, garantindo o descarte para o mar com temperatura abaixo de 40° C e o óleo segue para o *Slop* juntamente com a drenagem fechada, de onde será bombeado novamente para o processo visando o seu reaproveitamento. Haverá monitoramento da água descartada, garantindo um TOG de no máximo 20 ppm.

Com relação à composição físico-química da água de produção, a mesma ainda não foi caracterizada, uma vez que ainda não vem sendo separada do óleo. A previsão para sua caracterização será quando do início da operação da P-40, que irá separá-la e descartá-la.

É interessante ressaltar que a vazão de geração de água de produção evolui ao longo do tempo, conforme pode ser observado na Tabela 1.6-1 e na Figura 1.6-1 apresentadas posteriormente no presente documento. Nos primeiros 3 anos o descarte de água de produção é insignificante, começando a aumentar a partir do 4º ano de produção, vindo a ultrapassar a faixa de 1.000 m<sup>3</sup>/dia somente a partir de 2006. Prevê-se que o pico do descarte de água de produção ocorrerá em 2022 quando está prevista a geração de 13.850 m<sup>3</sup>/dia.

#### **1.5.4.4 - Água do Sistema de Drenagem e Lavagem de Tanques**

As águas servidas que serão geradas nas duas unidades, P-40 e P-38, correspondem às águas de lavagem da planta industrial, da área de armazenamento de insumos combustíveis e do setor de lavagem de peças e equipamentos, associadas ainda às águas pluviais que incidem sobre estas áreas e carregam resíduos oleosos.

Toda a água que vier a ser contaminada por óleos e graxas serão coletadas por drenos e sistemas de bandejamento, projetados para as duas unidades e, posteriormente estocadas em tanques para água oleosa, sendo em seguida tratadas no sistema de filtros e hidrociclones existente na P-40 e na P-38, para em seguida serem descartadas no mar. Da mesma forma, toda a água utilizada na lavagem dos tanques de petróleo receberá o mesmo tratamento antes do descarte final.

#### **1.5.4.5 - Resíduos Sólidos**

O E&P/BC possui um Plano de Gerenciamento para os resíduos gerados nas plataformas que operam em sua jurisdição, onde se encontram descritos todos os procedimentos e orientações a serem adotados para a classificação, coleta, armazenamento temporário, disposição final, quantificação, registro e desembarque dos resíduos para o Porto de Macaé. Este Plano de Gerenciamento de Resíduos do E&P/BC já foi encaminhado ao IBAMA quando do licenciamento de outras unidades sob responsabilidade do E&P/BC.

Tanto nas plataformas da região como no Porto de Macaé, é promovida a coleta seletiva de resíduos, sendo em seguida encaminhados para suas áreas de armazenamento temporário, já segregados e identificados, facilitando a disposição final, tratamento ou o encaminhamento para reciclagem.

Todo tipo de resíduo gerado nestas plataformas é desembarcado acompanhado de uma Ficha de Controle e Disposição de Resíduo (FCDR) preenchida em quatro vias, sendo duas encaminhadas para a Assessoria de Meio Ambiente da empresa, onde são arquivadas, uma é destinada ao porto e a última sendo retida na plataforma de origem.

O gerenciamento de resíduos nas plataformas atende, tanto o preconizado na Resolução CONAMA 06/88, como os princípios estabelecidos nas atuais NORMAM's, que substituíram a Portomarinst 32-02, especificamente a NORMAM 07, Capítulo 2, Seção III, que trata da poluição no mar.

Os resíduos que saem do porto de Macaé, para serem desalienados, reciclados por terceiros ou dispostos no aterro sanitário, também seguem acompanhados de uma Ficha de Registro de Transporte de Resíduos, onde além da caracterização e volume do resíduo consta o gerador, o transportador e o receptor do resíduo.

O aterro sanitário para onde são encaminhados uma parte dos resíduos gerados nas plataformas da Bacia de Campos, encontra-se localizado no município de Macaé, tem sua administração sob responsabilidade da Prefeitura de Macaé, e possui Licença Ambiental do órgão estadual de controle ambiental (FEEMA).

Na Tabela 1.5.4.5-1 a seguir são apresentados os principais tipos de resíduos gerados nestas plataformas, bem como o tipo de armazenamento temporário aplicado aos mesmos e a sua destinação final. Para as unidades P-40 e P-38 prevê-se os mesmos tipos de resíduos a serem gerados, bem como as mesmas formas de armazenamento temporário e disposição final.

Tabela 1.5.4.5-1: Tipos de resíduos gerados nas plataformas da região do E&P/BC

TIPO DE RESÍDUO	ARMAZENAMENTO INTERMEDIÁRIO	DESTINAÇÃO
1. Água oleosa da plataforma P-38	Tratada em <i>slop</i> , hidrociclones e filtros na plataforma	Descartada no mar
2. Água oleosa da plataforma P-40	Tratada em <i>slop</i> e caisson da plataforma	Descartada no mar
3. Água salgada de produção da P-40	Tratada em hidrociclone e flutuador na plataforma	Descartada no mar
4. Baterias lítio-níquel	Armazenadas adequadamente no almoxarfado	Vendido para reciclagem
5. Bombonas plásticas de produtos químicos	Lavadas nas plataformas e enviadas para armazenamento em <i>big bags</i> no parque de tubos da empresa.	Vendido para reciclagem
6. Borras oleosas	Encaminhadas junto ao petróleo para o navio cisterna	Tratada por Coprocessamento em Cimenteira, Empresa Ambiência
7. Capacetes danificados	Coletados em saco plástico identificado nas plataformas e encaminhados ao Pier de serviços de Macaé	Alienadas em leilão da Petrobras
8. Cartuchos de impressora	Coletados em caixa de papelão identificada nas plataformas e desembarque para a sede da empresa	Alienadas em leilão da Petrobras
9. Copos plásticos	Armazenados em sacos plásticos identificados nas plataformas despachados em <i>big bags</i> para o Pier de serviços em Macaé	Encaminhadas para o aterro sanitário de Macaé
10. Cordas de sisal	Despachadas para o Pier de serviços em Macaé	Encaminhadas para o aterro sanitário de Macaé
11. Luvas de couro	Armazenadas em sacos plásticos identificados nas plataformas e despachados em <i>big bags</i> para o Pier de serviços em Macaé	Encaminhadas para o aterro sanitário de Macaé
12. Efluentes de lavanderia	-	Descartados no mar
13. Espumas de poliuretano	Armazenadas em sacos plásticos identificados nas plataformas e despachados em <i>big bags</i> para o Pier de serviços em Macaé	Alienadas em leilão da Petrobras.
14. Filtros de óleo	Ensacados e colocados em tambores nas plataformas de forma identificada como resíduo oleoso (perigoso) e desembarcado para o Pier de serviços de Macaé, onde se mantém estocados em tambores, cobertos por lona plástica	Encaminhados para incineração.
15. Lâmpadas fluorescentes	Dispostas temporariamente em caixas de papelão para desembarque no Pier de serviços de Macaé	Encaminhadas para a APLIQUIM em Campinas para recuperação do vapor de mercúrio
16. Lateria de cozinha	Lavadas nas plataformas e enviadas em <i>big bags</i> para armazenamento no pátio de sucatas da empresa	Alienadas em leilão da Petrobras
17. Lateria de graxa	Lavadas nas plataformas e enviadas em <i>big bags</i> para armazenamento no pátio de sucatas da empresa	Alienadas em leilão da Petrobras
18. Lateria de tinta	Lavadas nas plataformas e enviadas em <i>big bags</i> para armazenamento no pátio de sucatas da empresa	Vendido para reciclagem
19. Lateria de solvente	Lavadas nas plataformas e enviadas em <i>big bags</i> para armazenamento no pátio de sucatas da empresa	Vendido para reciclagem
20. Lateria de óleo desingripante	Lavadas nas plataformas e enviadas em <i>big bags</i> para armazenamento no pátio de sucatas da empresa	Vendido para reciclagem
21. Resíduo hospitalar	Armazenados em caixas específicas na enfermaria das plataformas	Encaminhado para o aterro sanitário de Macaé para ser disposto em célula específica.
22. Resíduo orgânico de alimentação	Recolhidos em latões e trituradas em partículas com tamanho inferior a 25mm	Lançadas ao mar
23. Luvas e botas de PVC	Armazenadas em sacos plásticos identificados nas plataformas e despachados em <i>big bags</i> para o Pier de serviços em Macaé	Encaminhadas para o aterro sanitário de Macaé ou para incineração, quando contaminadas.
24. Óleo lubrificante usado	-	Reaproveitado no processo, sendo incorporado ao óleo

Tabela 1.5.4.5-1: Tipos de resíduos gerados nas plataformas da região do E&amp;P/BC. Continuação.

TIPO DE RESÍDUO	ARMAZENAMENTO INTERMEDIÁRIO	DESTINAÇÃO
25. Papel e papelão não contaminados	Armazenados em sacos plásticos identificados nas plataformas e despachados em <i>big bags</i> para a sede da empresa	Doados a instituições que reciclam papel em Macaé
26. Papel e papelão contaminados com óleo	Entamborados nas plataformas, de forma identificada como resíduo oleoso (perigoso) e desembarcado para o Pier de serviços de Macaé, onde se mantém estocados em tambores, cobertos por lona plástica	Encaminhados para unidade de tratamento de resíduos oleosos (UTROC)
27. Resíduos de madeira	Armazenados e despachados em <i>big bags</i> para o Pier de serviços em Macaé	Vendido para reciclagem
28. Sucata de metais ferrosos	Enviadas para armazenamento no pátio de sucatas da empresa	Vendido para reciclagem (área de siderurgia)
29. Sucata de metais não ferrosos	Enviadas para armazenamento no pátio de sucatas da empresa	Vendido para reciclagem (área de siderurgia)
30. Sucata de alumínio	Enviadas para armazenamento no pátio de sucatas da empresa	Alienadas em leilão da Petrobras
31. Vidros	Armazenados em sacos plásticos identificados nas plataformas e despachados em <i>big bags</i> para o Pier de serviços em Macaé	Alienadas em leilão da Petrobras

## 1.5.5 - CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E AMBIENTAIS DOS HIDROCARBONETOS

### 1.5.5.1 - Propriedades Físico-Químicas

Os hidrocarbonetos a serem produzidos na Plataforma P-40, representados por óleo cru e gás natural, têm sua caracterização e composição apresentadas, respectivamente, nas Tabelas 1.5.5.1-1 e 1.5.5.1-2, a seguir.

Tabela 1.5.5.1-1: Características/propriedades do petróleo de Marlim Sul

PARÂMETROS	VALORES
PESO MOLECULAR	Variável
PONTO DE EBULIÇÃO	32 a 400°
DENSIDADE DO LÍQUIDO	0,75 a 0,80
LIMITES DE INFLAMABILIDADE	Inferior: 2% ; superior: 15%
REATIVIDADE	Pode reagir com produtos oxidantes
GRAU API	23,4°
TAXA DE QUEIMA	4 mm/min
VISCOSIDADE	2,25 cP
CALOR LATENTE DE VAPORIZAÇÃO	60 cal/g
CALOR DE COMBUSTÃO	- 10.300 cal/g
PRESSÃO DE VAPOR	Dado não disponível
PONTO DE FULGOR	- 6,7 a 32°C
SOLUBILIDADE NA ÁGUA	Insolúvel

Tabela 1.5.5.1-2: Características/propriedades do gás natural de Marlim Sul

PARÂMETROS	VALORES
DENSIDADE DO VAPOR (AR=1)	0,56 a 0,63
CALOR DE COMBUSTÃO	- 12.000 a - 13.000 cal/g
CALOR LATENTE DE VAPORIZAÇÃO	120 cal/g
TEMPERATURA DE AUTO IGNIÇÃO	482,0 a 632,0 °C
TEMPERATURA DE EBULIÇÃO	32 a 400 °C
VISCOSIDADE	4,29 a 5,62 c St a 25 °C
LIMITE DE INFLAMABILIDADE	inferior: 4,9 % superior: 14,6 %
TAXA DE QUEIMA	12,5 mm/min
PESO MOLECULAR	16,37 a 18,12
PONTO DE EBULIÇÃO	- 161,4 °C a 760 mm Hg (metano puro)
PONTO DE FUSÃO	- 182,6 °C (para o metano puro)
TEMPERATURA CRÍTICA	- 82,2 °C
REATIVIDADE QUÍMICA COM:	
▪ Água	não reage
▪ Materiais comuns	não reage
▪ Polimerização	não ocorre
▪ Outros	incompatibilidade com o cloro, dióxido de cloro e oxigênio líquido produto volátil

O petróleo é um líquido oleoso, de coloração marrom a preto e com odor característico, que na temperatura ambiente pode emitir vapores inflamáveis. Não reage com a água, sendo ainda insolúvel nesta.

Composições variadas são encontradas para o petróleo em virtude deste ser uma mistura complexa de vários hidrocarbonetos. Esta composição variada é o fator que determina as diferentes propriedades e características para os diversos tipos de petróleo conhecidos.

A Tabela 1.5.5.1-3 a seguir, apresenta a composição molar percentual dos hidrocarbonetos do campo Marlim Sul.

Tabela 1.5.5.1-3: Composição molar percentual dos hidrocarbonetos de Marlim Sul.

PARÂMETRO	COMPOSIÇÃO PERCENTUAL
H <sub>2</sub> O	0,00
N <sub>2</sub>	0,00
CO <sub>2</sub>	1,81
C1	56,67
C2	1,77
C3	1,65
IC4	0,27
NC4	0,72
IC5	0,28
NC5	0,51
C6	0,71
C7	1,92
C8	2,87
C9	2,71
C10	2,55
C11	1,32
C12+	24,22

### 1.5.5.2 - Comportamento Ambiental dos Hidrocarbonetos de Petróleo

#### **FONTES DE HIDROCARBONETOS PARA OS OCEANOS**

Os hidrocarbonetos são compostos químicos formados unicamente por átomos de carbono e hidrogênio, que estão presentes na natureza como constituintes da matéria orgânica de origem animal e vegetal e como principais componentes dos combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão).

Inúmeras fontes naturais e antrópicas contribuem para a introdução, direta ou indireta, de hidrocarbonetos de origem biogênica e fóssil no ambiente marinho.

#### **Fontes Naturais**

As fontes naturais de hidrocarbonetos para os oceanos compreendem: a biosíntese por organismos vegetais e animais marinhos; a produção via transformação microbiana e química de precursores naturais, como compostos esteróides e hopanóides; e a exudação de petróleo a partir do assoalho oceânico (NAS, 1985).

O transporte fluvial ou via atmosfera de hidrocarbonetos naturais de origem continental, produtos de biosíntese, diagênese, erosão de sedimentos ou combustão de biomassa, complementa os aportes possíveis (UNEP/IOC/IAEA, 1992).

#### **Hidrocarbonetos Biogênicos**

A maioria dos vegetais e animais marinhos sintetiza hidrocarbonetos não aromáticos (HNA), os quais compreendem uma gama limitada de compostos, onde se destacam as séries homólogas de alcanos e alcenos lineares (*n*-alcanos e *n*-alcenos), alcenos cíclicos, compostos isoprenóides saturados e insaturados e hidrocarbonetos pentacíclicos triterpenóides (hopanos e hopenos) (Blumer *et al.*, 1971; Youngblood e Blumer, 1973; Volkman *et al.*, 1980; Bouloubassi, 1990; Saliot, 1981; Summons *et al.*, 1993; Volkman *et al.*, 1994; Melges-Figueiredo, 1999).

As fontes continentais de HNA biogênicos para os oceanos concentram-se nas plantas terrestres vasculares, especialmente em suas ceras cuticulares, onde predominam séries homólogas de alcanos lineares (*n*-alcanos) e mono-olefinas lineares (*n*-alcenos), cujas vias de acesso aos oceanos são o arraste fluvial e pluvial e o transporte atmosférico (Eglinton e Hamilton, 1967; Giger *et al.*, 1980).

Os hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA) foram, inicialmente, listados dentre aqueles biosintetizados, por exemplo, por algas, plantas terrestres e bactérias; contudo, estudos mais recentes indicam ser improvável tal origem (Hase e Hites, 1976; Laflame e Hites, 1978; Wakeham *et al.*, 1980 a,b; Law e Biscaya, 1994; Wakeham, 1996).

Atualmente, considera-se como fontes biogênicas de HPA - Hidrocarbonetos Poliaromáticos - a combustão de biomassa vegetal, especialmente em incêndios florestais (Youngblood e Blumer, 1975; Killops e Massoud, 1992), e a diagênese recente de precursores biogênicos, como pigmentos vegetais de microalgas e compostos diterpenóides e triterpenóides de plantas vasculares, que pode ser mediada pela ação bacteriana (Wakeham *et al.*, 1980a; Bouloubassi e Saliot, 1993a; Law e Biscaya, 1994).

A diversidade e complexidade das inúmeras fontes de hidrocarbonetos biogênicos dificultam, sobremaneira, os esforços científicos no sentido de estimar o aporte natural destes compostos nos oceanos em escala global.

### Hidrocarbonetos Fósseis

Com respeito aos hidrocarbonetos de origem fóssil, as principais fontes naturais de introdução nos oceanos são a exudação de petróleo a partir do assoalho oceânico e a erosão de sedimentos continentais contendo hidrocarbonetos em sua constituição, sendo suas composições muito variadas, tanto de compostos aromáticos como não aromáticos.

Atualmente, 190 pontos de exudação natural de óleo são conhecidos nos oceanos, dos quais 5% se localizam em áreas de plataforma continental, perfazendo uma contribuição de cerca de  $0,2 \times 10^6$  ton.ano<sup>-1</sup> de hidrocarbonetos petrogênicos para os oceanos (Tabela 1.5.5.2-1).

A erosão de sedimentos continentais, por sua vez, responde por aproximadamente  $0,05 \times 10^6$  ton.ano<sup>-1</sup> de hidrocarbonetos para o ambiente marinho, especialmente através da lixiviação dos solos e carreamento pelos rios.

Tabela 1.5.5.2-1: Aporte anual de hidrocarbonetos petrogênicos nos oceanos ( $10^6$  ton.ano<sup>-1</sup>).

FONTE	NAS*	GESAMP**
<b>FONTES NATURAIS</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>
- Exudação submarina	0,20	0,20
- Erosão de sedimentos continentais	0,05	0,05
<b>FONTES ANTRÓPICAS</b>	<b>3,00</b>	<b>2,10</b>
- Produção de petróleo <i>off-shore</i>	0,05	0,05
- Descargas operacionais de navios tanque	0,70	0,159
- Docagem a seco de navios	0,03	0,004
- Terminais marítimos	0,02	0,030
- Descarte de resíduos oleosos	0,30	0,253
- Acidentes com navios tanque	0,40	0,114
- Acidentes com outros navios	0,02	0,007
- Sucateamento de navios	nd	0,003
- Introdução via atmosfera	0,30	0,30
- Efluentes Domésticos	0,70	0,70
- Efluentes de refinarias	0,10	0,10
- Efluentes de outras indústrias	0,20	0,20
- Arraste pluvial urbano	0,12	0,12
- Aporte fluvial	0,04	0,04
- Despejo oceânico	0,02	0,02
<b>FONTES TOTAIS</b>	<b>3,25</b>	<b>2,35</b>

Fonte: \*NAS - Academia Nacional de Ciências (EUA), 1985;

\*\*GESAMP - Grupos de Especialistas em Aspectos Científicos da Poluição Marinha, 1993.

### **Fontes Antrópicas**

As principais fontes antrópicas de hidrocarbonetos para os oceanos estão associadas às seguintes atividades (Melges-Figueiredo, 1999):

- Produção, transporte, estocagem e refino de petróleo;
- Queima de gás natural, carvão, derivados de petróleo e madeira para geração de energia e aquecimento;

- Combustão de derivados de petróleo para a movimentação de embarcações, veículos terrestres e aeronaves;
- Atividades industriais que utilizam derivados de petróleo como matéria-prima, especialmente os processos pirolíticos; e
- Queimadas intencionais em áreas de cobertura vegetal.

O petróleo e seus derivados representam os principais agentes de contaminação e poluição dos ecossistemas marinhos por hidrocarbonetos, notadamente em áreas costeiras.

A Tabela 1.5.5.2-1, apresentada anteriormente, apresenta os dados relativos às fontes de introdução de hidrocarbonetos petrogênicos nos oceanos e suas taxas anuais de contribuição, segundo estimativas da Academia Nacional de Ciências dos EUA (NAS, 1985) e do Grupo de Especialistas em Aspectos Científicos da Poluição Marinha-GESAMP, Comissão Oceanográfica Intergovernamental - COI/UNESCO (GESAMP, 1993).

As estimativas apresentadas na referida Tabela devem ser consideradas com algumas reservas, visto terem sido baseadas em informações disponíveis para determinadas regiões do hemisfério norte e extrapoladas a nível global, especialmente os dados referentes à determinadas fontes, como a atmosfera, a exudação marinha e a erosão de sedimentos, que são de difícil aferição.

A partir dos dados apresentados na citada Tabela 1.5.5.2-1, pode-se concluir que as principais vias de introdução de hidrocarbonetos petrogênicos de origem antrópica nos oceanos são as descargas de efluentes urbanos e industriais, o transporte marítimo de petróleo e a deposição atmosférica.

### Petróleo Bruto

A composição específica dos diversos tipos de petróleo é muito variada e depende do material biológico que originou o petróleo, predominantemente formado por vegetais e animais planctônicos marinhos; do ambiente deposicional e da ação da temperatura e pressão sobre este material, após seu soterramento e sob condições anóxicas, ao longo de milhões de anos.

Os principais componentes do petróleo são os hidrocarbonetos, presentes no óleo na forma de uma mistura complexa, a qual contém, no mínimo, 200 a 300 compostos que perfazem 50% a 98% do volume total do óleo bruto (Rullkötter, 1993).

As duas principais classes de hidrocarbonetos presentes no petróleo são os hidrocarbonetos saturados (*n*-alcanos, alcanos ramificados e ciclanos) e os hidrocarbonetos aromáticos (1 a 6 anéis aromáticos). Os *n*-alcanos (C<sub>5</sub> a C<sub>40</sub>) e os alcanos ramificados (isoalcanos, ante-isoalcanos e alcanos isoprenóides) representam, geralmente, entre 20% e 70% da composição total do óleo. Os cicloalcanos, compostos cíclicos derivados do pentano ou do hexano, perfazem 10% a 20% do petróleo e os hidrocarbonetos aromáticos constituem 10% a 30% do óleo (Rullkötter, 1993).

Diversos hidrocarbonetos saturados de estrutura cíclica condensada, presentes em pequenas concentrações no petróleo, como esteranos, diterpanos e triterpanos, são derivados de precursores específicos de origem biológica, permitindo seu emprego como indicadores do tipo de material biológico que originou o petróleo (Bouloubassi, 1990).

Os hidrocarbonetos aromáticos constituem uma mistura de compostos com 1 a 6 ciclos benzênicos condensados, com o predomínio de homólogos alquilados. Tal substituição é mais efetiva nas famílias com 1 a 3 anéis aromáticos (Bouloubassi, 1990).

Os demais constituintes do petróleo são a fração asfáltica, composta por asfaltenos e resinas, hidrocarbonetos complexos de cadeia carbônica longa (5% a 20% do óleo); componentes em menores concentrações, como compostos heteroatômicos (contendo enxofre, oxigênio e/ou nitrogênio) e substâncias complexas e metais pesados a nível traço (Poulicek, 1994).

### Derivados de Petróleo

Dentre os produtos derivados do refino do petróleo, os combustíveis, como a gasolina e o óleo diesel, e os óleos lubrificantes são os principais contaminantes introduzidos no ambiente marinho.

A composição e as propriedades químicas destes produtos são muito variáveis, devendo-se destacar a presença de séries de hidrocarbonetos compreendidas numa faixa de variação de pressão de vapor mais restrita, se comparados ao óleo bruto, devido à sua produção via destilação fracionada.

Outro aspecto importante é a presença mais abundante de olefinas, como resultado do processo de craqueamento empregado nas refinarias. A gasolina, por exemplo, apresenta cerca de 30% de olefinas em sua composição (Bouloubassi, 1990).

### Produtos de Combustão Parcial e Pirólise de Combustíveis Fósseis

O emprego de derivados de petróleo para geração de energia, aquecimento e movimentação de veículos produz inúmeros hidrocarbonetos em sua combustão incompleta, com destaque para os hidrocarbonetos aromáticos. As emissões destes compostos para a atmosfera são mais expressivas em áreas urbanas de regiões de clima frio (aquecimento residencial) e em zonas de intenso tráfego rodoviário (Broddin *et al.*, 1980).

Os processos pirolíticos e pirosintéticos também contribuem para a emissão de inúmeros hidrocarbonetos na atmosfera. A pirólise é um processo industrial baseado na queima de combustíveis fósseis a altas temperaturas (500 a 800°C) e na ausência de oxigênio, conhecido também como destilação seca. A matéria-prima fóssil pirolisada, como a hulha e alguns derivados de petróleo, gera subprodutos essenciais à indústria petroquímica (Neff, 1979).

Os fatores que determinam a quantidade e a composição dos hidrocarbonetos emitidos por estas fontes são a composição da matéria-prima utilizada como combustível, a duração das condições pirolíticas, a temperatura e o oxigênio disponível (Neff, 1979).

A introdução global de hidrocarbonetos de origem antrópica nos oceanos, via atmosfera, é estimada em  $0,30 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ . Apesar deste aporte estar concentrado em áreas costeiras e próximas de grandes centros urbanos e industriais, a presença de hidrocarbonetos oriundos de combustão parcial e pirólise é verificada em áreas bastante remotas, confirmando a ampla distribuição geográfica propiciada pelo transporte atmosférico (Hites *et al.*, 1977; Prah, 1985; NAS, 1985; MacVeety e Hites, 1988; GESAMP, 1993).