

Efeitos Ecológicos da Implantação de um Porto Marítimo; com especial referência à poluição por petróleo

SAMUEL MURGEL BRANCO

1. INTRODUÇÃO

O presente estudo tem por objetivo específico, avaliar à luz de dados bibliográficos internacionais as possíveis influências da construção de um porto marítimo na baía de Suape, em Pernambuco. Devido a inexistência de dados locais, experimentais, o trabalho assume, naturalmente, características genéricas. A especificidade a que aludimos diz respeito, exclusivamente, a três circunstâncias que constituem maiores preocupações com respeito a Suape, a saber:

a) Pretende-se construir, naquele porto, um terminal de petróleo. Por conseguinte, será dada ênfase especial à influência exercida pelos óleos minerais sobre os ecossistemas marinhos.

b) Trata-se de região caracterizada por grande produção de crustáceos marinhos — especialmente lagostas.

c) Trata-se, também, de um dos mais belos e aprazíveis recantos da costa pernambucana.

É evidente que a conveniência ou não da construção de um porto naquela ou em outra qualquer região da costa de Pernambuco tem que ser

examinada sobre vários outros aspectos além do enfoque ecológico. Esses outros aspectos escapam, evidentemente à nossa competência, não sendo abordados na presente análise.

É nosso intuito, apenas, salientar que o aspecto ecológico possui reflexos pelo menos sobre uma atividade econômica — a pesca da lagosta — além de suas implicações sociais — o uso recreacional, paisagístico e de lazer — não devendo, portanto, ser colocado em uma posição de baixa prioridade mesmo por aqueles que não reconheçam a necessidade básica da preservação de ecossistemas naturais, cada vez mais combatidos em conseqüência da agressão do homem civilizado.

2. GENERALIDADES SOBRE A POLUIÇÃO MARINHA

O mar constitui o imenso repositório final dos resíduos líquidos (e mesmo sólidos) gerados pela atividade humana. Situado em cota inferior aos continentes e a seus cursos d'água, está ele destinado, por imposição gravitacional, a receber to-

dos os produtos da erosão contínua e milenar dos solos, contendo toda sorte de produtos geológicos, agrícolas, inorgânicos e orgânicos, fertilizantes ou tóxicos procedentes da superfície bem como dos relevos continentais. O transporte desses materiais (aos quais se acrescentam os esgotos domésticos e resíduos industriais lançados diretamente aos rios ou ao próprio mar) pelas águas de chuvas é, em sua maior parte, unidirecional, uma vez que muito pouco das reservas marinhas orgânicas e minerais, são novamente retiradas pelos homens e por animais. A pesca continua sendo, até nossos dias, um processo precário de coleta, realizado mais ou menos ao acaso (mesmo com o emprego dos métodos modernos de localização dos cardumes) se considerarmos a enorme extensão e volume do oceano. A extração de mineirais resume-se na exploração do sal de cozinha, calcários (para a produção de álcalis) e alguns outros elementos em pequenas quantidades.

Quanto à reciclagem natural, por meio de animais, esta resume-se praticamente, à produção de guano

por aves marinhas que se alimentam de peixes e de plâncton, depositando a grande parte de seus excretos em ilhas não cultiváveis.

Tendo-se em vista a unidirecionalidade desse transporte de materiais, poder-se-ia supor que o oceano constituisse, pelo menos com relação à abundância de nutrientes, uma região de incrível fertilidade e produtividade. Realmente, porém, não é assim.

A zona produtiva, no oceano, reduz-se a uma faixa superficial de espessura não superior a 100 ou 200 metros, que é a região mais intensamente iluminada pelas radiações solares fotossintetizantes. Esse fato não deve ser surpreendente se lembrarmos que, no ambiente terrestre, também a faixa produtiva raramente excede 50 metros de espessura, dada pela altura das copas mais altas das grandes florestas, face à inexistência de um "fitoplâncton aéreo", em suspensão na atmosfera, a qual não conteria os elementos nutrientes necessários. Do mar, porém, a maior parte dos nutrientes que provêm dos continentes, é sedimentada em regiões profundas, não acessíveis à luz solar, necessária à realização da fotossíntese e consequente produção primária. Permanecem aí, na forma de depósitos inertes.

De certa forma esta situação é comparável à das florestas muito densas, em que as espessas copas das grandes árvores impedem o acesso da luz, em quantidade suficiente, até ao solo onde existem os

nutrientes resultantes da decomposição de rochas e outros restos vegetais e animais. Nessas florestas, a grande atividade fotossintética se realiza nos altos ramos e nas plantas epífitas que aí se localizam. Por essa razão, a fauna é representada principalmente por animais arborícolas, inexistindo, praticamente, os grandes mamíferos adaptados às condições de solo.

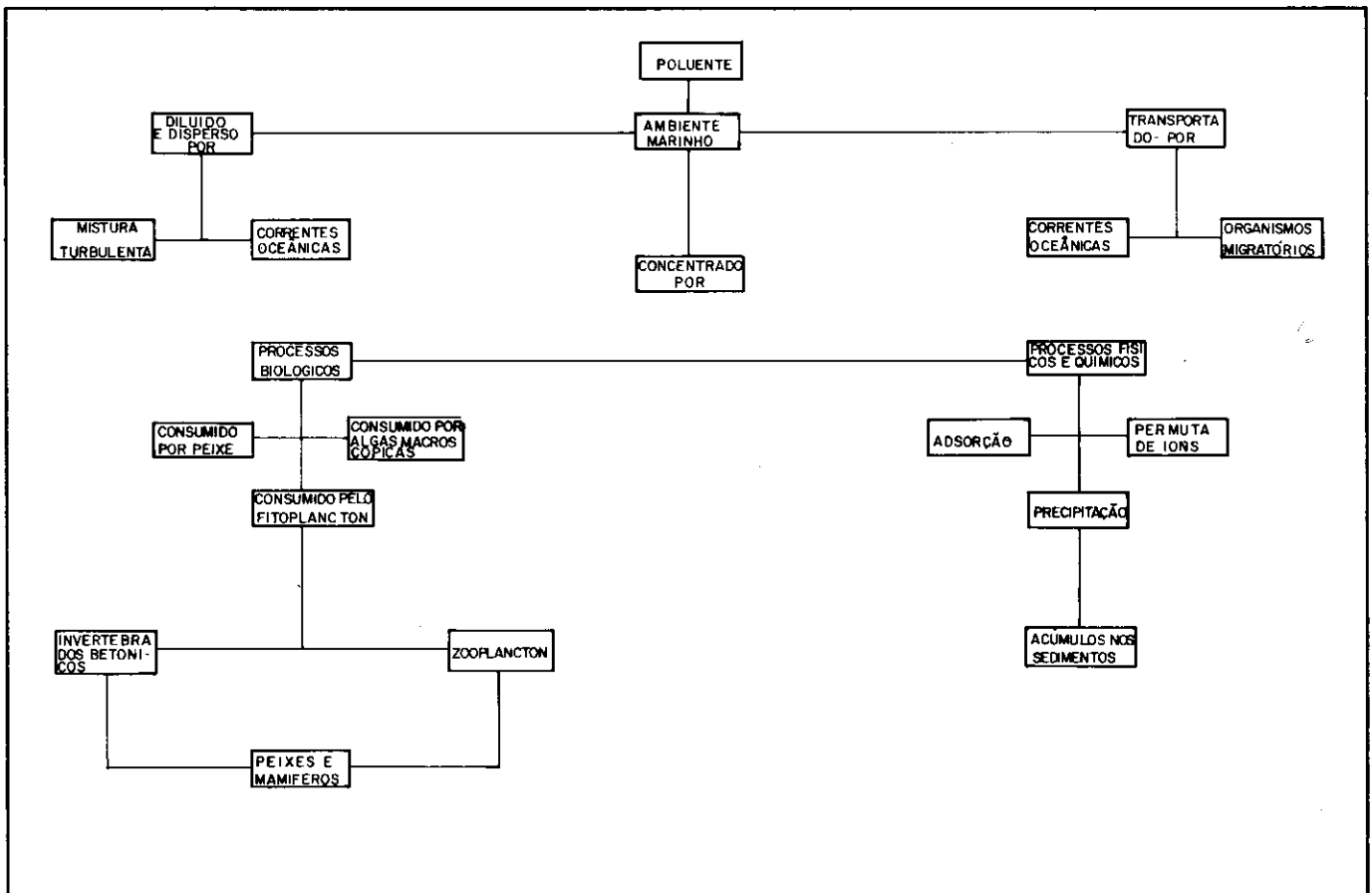
Há, porém, uma grande diferença entre estes dois ambientes: é que nas florestas, as grandes árvores, embora realizem a fotossíntese exclusivamente em suas partes altas, estão ligadas ao solo, através de seus troncos e raízes. No oceano, ao contrário (a não ser junto à costa, em regiões mais rasas) essas ligações são bastante raras e de natureza totalmente diversa. Em certos locais, em virtude de movimentos ascensionais de água denominadas ressurgências, (por sua vez causadas por correntes descendentes devido à ação dos ventos dominantes) águas frias, provenientes de grandes profundidades e transportando sais nutrientes em solução, vêm ter à superfície, proporcionando condições de alta produtividade fotossintética, a qual é seguida de grande produção de zooplâncton, crustáceos, moluscos, peixes e, finalmente, aves aquáticas e guano. O mais fantástico exemplo desse fenômeno é representado pela corrente peruana que tornou o Peru o maior produtor mundial de farinha de peixe (antes

já fora o maior produtor de guano do mundo).

Como ficou dito acima, além de grande receptor de substâncias fertilizantes (de origem geológica ou "humana") o mar constitui, também, o enorme destino final de substâncias tóxicas, inibidoras, ou, de qualquer forma, nocivas. Além de alguns produtos naturais, do solo ou da vegetação terrestre, incluem-se aí produtos de atividades humana, industrial, doméstica e agrícola. Bactérias patogênicas dos esgotos; inseticidas e outros biocidas; metais pesados; óleos minerais; elementos radiativos e um sem número de outras substâncias nocivas, biodegradáveis ou não, são carregadas, em enormes e crescentes quantidades, a partir dos esgotos, resíduos industriais e da lixiviação do solo, tendo como veículo os rios ou, diretamente, os sistemas de lançamento de esgotos particulares, municipais, metropolitanos ou de navios e portos.

A imensa massa d'água representada pelo oceano possui, é lógico, uma capacidade quase infinita de dissolver, diluir e biodegradar alguns desses compostos. Entretanto, algumas dificuldades devem ser consideradas, a saber:

a) Nem sempre esses materiais sofrem uma rápida e homogênea dissipação no ambiente marítimo. Assim, os efluentes industriais e urbanos lançados junto à costa, principalmente os que atingem enseadas de circulação precária, tendem a



acumular-se, concentrados, criando condições locais nocivas. Aqui se inclui o caso particular dos portos.

b) Muitas dessas substâncias não são facilmente miscíveis na água. É o caso dos óleos e graxas e, também, despejos que, por possuírem temperatura diferente (geralmente mais alta) da água tendem a formar extensas manchas superficiais.

c) Compostos tóxicos de baixa biodegradabilidade tendem a acumular-se, principalmente nos sedimentos marinhos.

d) Muitos desses compostos tendem a concentrar-se ao longo das cadeias biológicas, potencializando os seus efeitos nocivos, ao invés de diluir-se.

B. H. Ketchum ("Man's resources in the marine environment", in *Pollution and Marine Ecology*, 1967) resume no quadro da página anterior os vários processos que determinam a distribuição dos poluentes no ambiente marinho.

3. A INFLUÊNCIA DOS PORTOS

De que maneira pode, a presença de um porto, provocar alterações ecológicas no ambiente marinho? Podem ser previstos vários tipos de interferências, algumas das quais já constatadas através da observação:

a) Interferências devidas à construção do porto. É evidente que as várias ações desenvolvidas durante a fase de construção de um porto marítimo podem provocar profundas alterações de caráter ecológico. Entre essas ações, destacam-se os trabalhos de dragagem, abertura de canais (eventualmente com auxílio de explosivos) e a construção de diques e quebra-mar.

b) Interferências devidas a alterações das condições de circulação da água no interior das enseadas. D. Reish, através de pesquisas realizadas em 1961 ("A study of benthic fauna in a recently constructed boat harbor in Southern California" — *Ecology*, 42 (i): 84-9) e em 1962 ("A study of succession in recently constructed marine harbors in Southern California" — *Coastal and Shallow Water Research Conference*, pg. 570-572) observou uma redução da população de animais bentônicos (especialmente poliquetos) causada principalmente pela presença do quebra-mar, com uma única saída, afetando a circulação da água no interior do porto. Segundo esse pesquisador, a redução do oxigênio circulante teria afetado a composição dos sedimentos, dando origem a um lodo negro de odor sulfídrico. Essa conclusão foi confirmada, mais tarde, em pesquisa realizada pelo mesmo autor em 1963 ("Further studies on the benthic fauna in a

recently constructed boat harbor in Southern California" — *Bulletin of California Academy of Sciences*, 62 Pt 1: 23-32) na qual foram comparados os dados sobre redução da população faunística do porto com os de uma área idêntica em que as condições de circulação da água não foram alteradas. A conclusão principal desses trabalhos foi a de que, em consequência da redução de circulação, a água do porto teve o seu oxigênio sensivelmente reduzido e os sedimentos que originalmente eram acinzentados e sem odor, tornaram-se negros despreendendo forte odor de gás sulfídrico, o que tem causado uma grande redução na quantidade de animais bentônicos, enquanto que no canal onde a movimentação de água não fora obstruída não houve alteração marcante na população animal. Além da circulação de oxigênio é de se admitir, também, que a redução de turbulência provocada pela ausência de circulação favoreça uma maior sedimentação de materiais orgânicos elevando a demanda bentônica de oxigênio. Esse aumento de demanda pode ser favorecido, ainda, pelo aumento de matéria orgânica sedimentável proporcionado pelas atividades do porto.

c) Presença de poluentes — as atividades desenvolvidas no porto e nas instalações que fatalmente se localizam nas suas proximidades, tais como armazéns, silos, depósitos de combustível, terminais de petróleo e outros produtos exportáveis, indústrias, mercado, etc., constituem uma fonte permanente de resíduos os mais diversos, contribuindo para a alteração das características físicas, químicas e biológicas das águas e dos sedimentos bentônicos em uma área bastante extensa. Esses poluentes são introduzidos na forma de:

A) Resíduos sólidos — o lixo dos navios, armazéns, etc., sendo lançados à água podem provocar demanda bioquímica de oxigênio ou sedimentar, construindo lodo em decomposição anaeróbica.

B) Esgotos — a descarga de sistemas sanitários das embarcações e de toda a zona portuária, além de provocar a contaminação da água por bactérias, vírus e outros seres patogênicos, constitui, também, importante fonte de demanda de oxigênio e matérias sólidas que formam lodo anaeróbico. Em consequência dessas descargas bem como do lixo, a água, na região do porto passa a sofrer grandes oscilações de conteúdo de oxigênio dissolvido, afetando a vida de peixes, crustáceos e animais bentônicos.

C) Resíduos industriais — no caso particular do porto de Suape este estará situado junto a um centro in-

dustrial. Resíduos industriais, além de contribuir com cargas elevadas de Demanda Bioquímica de Oxigênio, podem conter as mais variadas substâncias nocivas à vida aquática, tais como metais pesados e outros produtos tóxicos e resistentes à biodegradação.

D) Atividades ligadas ao porto — armazéns, silos e outras instalações portuárias podem, também, constituir fontes importantes de detritos nocivos, inseticidas, etc.

E) Óleo — o projetado terminal de petróleo constituirá, provavelmente, o mais sério risco para a ecologia local. O embarque do petróleo, os eventuais vazamentos acidentais e a lavagem dos tanques dos grandes navios petroleiros que, segundo se prevê atracarão no porto de Suape, constituirão, mesmo que controlados, fontes permanentes de resíduos oleaginosos e altamente nocivos à flora e fauna marinhas. Além disso, os próprios resíduos de combustão dos motores de grandes navios são caracterizados pela presença de hidrocarbonetos e outros produtos que, além de tóxicos, alteram sensivelmente o sabor da carne dos peixes e outros pescados da região.

4. EFEITOS NOCIVOS DO ÓLEO, SOBRE OS ECOSISTEMAS MARINHOS

4.1. Causas da presença de óleo no oceano

Segundo F. Ramade (*Éléments d'Écologie Appliquée*, 1974) "a poluição das águas continentais e oceânicas pelos hidrocarbonetos constitui a principal causa de contaminação da hidrosfera pela civilização moderna". "O problema constitui fonte atual de preocupação, principalmente nas regiões de estuários muito piscosas, onde o produto da pesca não pode ser consumido por causa do sabor *sui generis* que o petróleo confere aos peixes. Além disso, o equilíbrio ecológico dos mares fechados vem sendo cada vez mais comprometido por esse poluente". Ainda de acordo com esse autor, a principal fonte de contaminação do oceano é resultante do transporte de petróleo e, em menor proporção, de acidentes ocorridos com os poços submarinos.

Mais de um bilhão de toneladas de petróleo são, anualmente, transportados por navios petroleiros e cerca de 1 por cento dessa quantidade é lançada ao mar, de várias formas. Porém, segundo estatísticas referidas por L. M. Katz, (1973 - *The effects of water soluble fraction of crude oil on larvae of crude oil on larval*

of the decapod crustacean **Neopane texana**. **Environmental Pollution**, 5 (3): 199-204) as estimativas mais recentes avaliam essas perdas em 5 a 10 milhões de toneladas métricas anuais, o que excede à quantidade de hidrocarbonetos produzidos naturalmente nos oceanos. Além disso, essas descargas ocorrem principalmente nas regiões costeiras que são as mais produtivas, biologicamente. Considerando-se, ainda, que uma tonelada de petróleo se espalha sobre uma superfície de 12 Km² do oceano, compreende-se bem a razão do alarme dos ecólogos.

Algumas das operações de carga e descarga de petroleiros são grandes responsáveis por essas perdas junto à costa. Entre elas, a lavagem de tanques ou a descarga de água do mar com que são enchidos os mesmos tanques para efeito de lastreamento. Além disso, vazamentos nos sistemas de armazenamento no porto ou no transporte do petróleo destes para os navios. Essas perdas consideradas "normais" no processo de transporte **representam 96 por cento** das perdas totais acima indicadas, enquanto que as perdas acidentais correspondem aos restantes 4 por cento, segundo R. M. Atlas e R. Bartha (1973 — Abundance, distribution and oil biodegradation potential of microorganisms in Raritan bay. **Environmental Pollution**, 4 (4): 291-300).

Segundo B. F. Morris (1971 — Petroleum: tar quantities floating in the Northwestern Atlantic taken with a new quantitative neuston net. **Science**, 173: 430-432) as regiões pelágicas do mar do Mediterrâneo se acham literalmente cobertos de glóbulos de graxa, em uma concentração média de 20 mg por metro quadrado. No Atlântico Norte estima-se em 86.000 toneladas métricas a quantidade dessa graxa sedimentada, das 66.000 toneladas se acham no mar dos Sargassos (B. F. Morris, J. N. Butler, 1973 — Petroleum residues in the Sargasso Sea and Bermuda beaches. **Prevention and Control of Oil Spills**: 521-529. American Petroleum Inst.).

Alguns derrames acidentais de óleo no mar, embora representando uma reduzida proporção em relação às quantidades totais acima aludidas, causam, entretanto, efeitos catastróficos, resultantes da rapidez e intensidade locais do processo. Um dos eventos mais detalhadamente estudados, desse tipo, foi o vazamento de um poço submarino, ocorrido em janeiro de 1969, na costa de Santa Bárbara, Califórnia, afetando uma extensão de 161 Km da costa (M. Foster; A. C. Charters; Neushul, 1971. The Santa Barbara oil spill, part. 1: initial quantities and distribution of pollutant crude oil. **Environmental Pollution**, 2 (2): 97-113).

Calcula-se em 726 toneladas métricas diárias o fluxo de petróleo que vazou, continuamente para o mar, durante vários dias, sendo 4.500 toneladas de óleo cru haviam sido depositadas 11 dias após o rompimento, em uma extensão de 90 Km de costa.

Os estudos aí realizados, na ocasião, constituem importante trabalho de referência, graças ao conhecimento prévio detalhado que se possuía da flora aquática da região, através de pesquisas sucessivas realizadas entre 1956 e 1967, o que possibilitou uma avaliação quantitativa e qualitativa.

4.2. Dispersão, volatilização e biodegradação dos óleos no oceano

O óleo, uma vez derramado no mar, passa a sofrer uma série de ações físicas, químicas e biológicas que contribuem para a sua decomposição, diluição ou precipitação. A velocidade e a extensão desses fenômenos dependem, em parte, da natureza química específica de cada óleo e, em parte, das condições físicas do ambiente poluído. O óleo derramado em Santa Bárbara, por exemplo, era relativamente insolúvel e tendia a flutuar, enquanto que o lançado pelo barco "Florida" se espalhava e diluía perfeitamente na água (R. Nuzzi — 1973. Effects of water soluble extracts of oil on phytoplankton. **Prevention and Control of Oil Spills**: 809-813. American Petroleum Inst.).

Em uma experiência em larga escala, realizada no Atlântico Norte com a finalidade de estudar o "padrão de espalhamento" do óleo cru, (P. G. Jeffery, 1973. Large-scale experiments on the spreading of oil at sea and its disappearance by natural factors. **Prevention and Control of Oil Spills**: 469-474 — American Petroleum Inst.) foi verificado que 4 dias após o lançamento de 120 toneladas de "Iranian Light Crude Oil" a maior parte do óleo havia desaparecido deixando apenas algumas manchas de óleo mais grosso, principalmente na forma de emulsão com água, mas que também desapareceram rapidamente.

H. O. Sivadier e P. G. Mikolaj, em 1973 (Measurement of evaporation rates from oil slicks on the open sea. **Prevention and Control of Oil Spills**: 475-484. American Petroleum Inst.), interessados em descobrir de que maneira os óleos que desprendem, naturalmente, do leito do oceano são estabilizados realizaram pesquisa demonstrando que a evaporação de substâncias voláteis desempenha um papel preponderante de eliminação desses hidrocarbonetos. Afir-

mam eles que, se não fosse esse fenômeno, o canal de Santa Bárbara, onde há séculos ocorre um "vazamento natural" de petróleo estaria totalmente asfaltado pela graxa que se forma a partir desses óleos. Segundo esses mesmos autores, os principais fenômenos que ocorrem são: espalhamento, evaporação, emulsificação, dissolução, auto-oxidação e degradação biológica. Mas a evaporação é o fenômeno mais importante e depende sobretudo do grau de agitação (roughness) da água.

Já J. W. Frankenfeld (1973) — Factors governing the fate of oil at sea; variations in the amounts and types of dissolved or dispersed materials during the weathering process. **Prevention and Control of Oil Spills**: 485-495. American Petroleum Inst.) dá uma grande importância aos fenômenos de dissolução e oxidação e também aos efeitos das radiações ultra-violeta. Trabalhando com um aparelho simulador de condições ambientais, com água do mar, verificou também que embora alguns componentes como o benzeno e o tolueno sejam bastante solúveis, eles tendem a desaparecer rapidamente quando a fase aquosa é deixada equilibrar com a atmosfera.

Bastante elucidativos sobre a distribuição dos óleos nas águas costeiras, são os dados obtidos dos estudos realizados sobre o grande derrame de Santa Barbara (M. Foster; A. C. Charters; M. Neushul, op. cit.). Embora uma experiência anterior, com o desastre do petroleiro Torrey Canyon indicasse que o óleo derramado se deslocava na água com um vetor de velocidade de 3,3 a 3,4 por cento em relação ao vetor de velocidade do vento, em Santa Bárbara esse deslocamento se verificou segundo um vetor de 10 a 20 por cento do vetor relativo de vento. A situação na praia de Santa Bárbara foi agravada pela coincidência com uma tempestade com ventos fortes em direção à costa, fazendo a mancha de óleo aproximar-se rapidamente desta. Normalmente, os ventos dominantes na região teriam provocado o afastamento da mancha. Assim mesmo, grande parte da massa de óleo foi, em vários pontos, retida antes de chegar à praia, pela densa vegetação de algas gigantes, **Macrocystis angustifolia**. Essa obstrução, entretanto, foi apenas temporária, pois a alga tem a sua superfície coberta por espessa camada de mucilagem a qual impede a firme aderência do óleo. Dessa forma, a barreira de algas passou a funcionar como um reservatório de óleo, liberando-o sempre que a água era movimentada por ação de ventos ou de marés.

O óleo passou a invadir a costa por efeito das marés a cada onda

sucessiva o levava a regiões mais e mais altas, das praias, cobrindo toda a zona de marés. O óleo assim depositado formava poças ou crostas mais ou menos secas, sobre as rochas mais salientes. Dessa forma foram atingidas concentrações máximas de até 10,59 Kg de óleo por metro quadrado.

Um dos efeitos mais frequentemente observados, inclusive ao longo de quase toda a costa brasileira, é o da formação de uma espécie de "graxa", pela mistura do óleo flutuante com areia levantada do fundo por efeito de turbulência. Esse fenômeno, embora cause rápido desaparecimento do óleo flutuante, nas regiões mais rasas e sujeitas à formação de ondas, leva, entretanto, à formação de uma verdadeira camada de asfalto no fundo dos oceanos, ou sobre os arrecifes, danificando seriamente toda a vida bentônica. Além disso, "placas" desse material são frequentemente lançadas às praias, constituindo o flagelo dos banhistas.

S. P. Murray (1972 — Turbulent diffusion of oil in the ocean. *Limnology and Oceanography*, 17 (5): 651-660) analisou detalhadamente o fenômeno físico do espalhamento do óleo na água do mar no golfo do México. Partindo principalmente das teorias de Taylor sobre a difusão turbulenta e das equações Fickianas de difusão, bem como dos efeitos de retardamento da difusão causados pela teoria da ação de superfície desenvolvida por Fay, esse autor chega à conclusão de que as taxas de expansão da película de óleo obedecem de perto a teoria de Taylor. A forma e extensão da película de óleo podem ser previstas pela teoria Fickiana de difusão baseadas no conhecimento das velocidades de correnteza, difusibilidade horizontal e taxa de descarga de óleo. Sob as mesmas condições, o papel da tensão superficial parece ser significativa apenas com relação aos primeiros 100 metros abaixo da superfície, com velocidades de correnteza não maiores que 5 cm por segundo.

P. G. Jeffry (op. cit) assinala que embora a relação entre as forças hidrostáticas derivadas das diferenças de densidade e as forças devidas à tensão inter-facial leve a um conceito de configuração final para uma determinada quantidade de óleo na água, essas considerações não são válidas para o mar aberto e para óleo de composição complexa como é o caso do petróleo pois, além dos efeitos de vento, correntes e ondas, já mencionados acima, a capacidade do óleo se fracionar de acordo com os diferentes graus de solubilidade dos seus componentes conduz a um quadro muito mais complexo que não pode ser abrangido por simples modelo hidrostático.

Alguns tipos de microrganismos são capazes de assimilar componentes do petróleo. Segundo C. R. Gattellier e Cols. (1973 — Experimental ecosystems do measure fate of oil spills dispersed by surface active products. **Prevention and Control of Oil Spills**: 497-504. American Petroleum Inst.) todas as moléculas presentes no petróleo cru podem sofrer a ação de enzimas dos microrganismos, inclusive os hidrocarbonetos carcinogênicos, como o 3-4 benzo-pireno. Esse processo, entretanto, pode ser muito lento em condições normais e por isso, incapaz de destruir grandes quantidades de óleo antes que causem dano à vida marinha e costeira. Vários fatores influem na velocidade de decomposição microbiológica, segundo esses autores; entre estes, destacam-se a temperatura, o oxigênio dissolvido, a dispersão e a presença de nutrientes.

Temperatura — constitui fator dos mais importantes, relacionados com a velocidade do metabolismo dos microrganismos. Abaixo de 5° C, as reações são muito lentas, fazendo com que a estabilização biológica nas regiões situadas em latitudes superiores a 75° N e inferiores a 75° S seja muito dificultada. No Equador a taxa de oxidação biológica pode, entretanto, atingir algumas centenas de gramas de óleo por metro cúbico de água por ano, o que é considerado um alto valor de biodegradabilidade do petróleo.

Oxigênio — a Demanda Bioquímica de Oxigênio desses compostos é elevada. Para haver oxidação de 1 mg desses hidrocarbonetos são necessários 3 a 4 mg de oxigênio (a glicose necessita apenas 1,07 e as proteínas 1,18 mg). Um litro de petróleo necessita 3.300 g de oxigênio para sua completa estabilização. Portanto, se a temperatura for de 15° C, todo o oxigênio contido em 400.000 litros de água do mar será consumido por cada litro de óleo.

Dispersão — a dispersão dos hidrocarbonetos na água é essencial para assegurar aos microrganismos condições de rápido metabolismo. Por essa razão o uso de dispersantes é considerado útil, por alguns autores, no processo de destruição do óleo. O dispersante, entretanto, não deve ser tóxico por si mesmo. Por outro lado, o emprego de dispersante biodegradável contribui para elevar a DBO e esse efeito deve ser contrabalançado por uma ativa fotossíntese fornecendo oxigênio em abundância. Além disso, os dispersantes "forçam" ativamente o óleo para dentro do ambiente marinho, fazendo com que as frações tóxicas se dissolvam mais rapidamente atingindo elevadas concentrações, causando assim mais dano aos ecossistemas do que o próprio óleo.

Nutrientes — o nitrogênio e o fósforo que no mar existem nas proporções de 500 e 70 mg por metro cúbico respectivamente são elementos essenciais, assim como alguns oligoelementos e fatores de crescimento que, geralmente, são fornecidos por metabolismo de organismos simbiotes.

Análises realizadas na água e em sedimentos coletados em 2 locais da Baía de Chesapeake (J. D. Walker; R. R. Colwell, 1973 — Microbial ecology of petroleum utilization in Chesapeake Bay. **Prevention and Control of Oil Spills**: 685-690. American Petroleum Inst.) demonstraram existir concentração de petróleo, em um local de Baltimore Harbor, cerca de 4 a 5 vezes maiores que em Eastern Bay, usada como controle. Essa diferença pode ser relacionada com o número de microrganismos capazes de biodegradar petróleo. Dos microrganismos isolados, o fungo *Cladosporium resinae* e alguns actinomicetos foram predominantes.

Estudos conduzidos por R. M. Atlas e R. Bartha (op. cit) na Baía de Raritan confirmam alguns desses resultados, demonstrando que as concentrações de microrganismos decompositores de óleo, que são extremamente baixas em águas não poluídas, aumentam muito nas águas que recebem óleo, embora sejam independentes das concentrações totais de outros microrganismos. Dessa forma, as contagens de microrganismos decompositores de óleo, através de técnicas simples de NMP em meio apropriado podem constituir bom elemento indicador da presença de óleo quando este se acha presente em concentrações tão baixas que não possam ser avaliadas visualmente ou por processos químicos.

Segundo J. D. Walker, L. Coforre Jr. e J. J. Cooney (1973) — Microbial petroleum degradation: the role of *Cladosporium resinae*. **Prevention and Control of Oil Spills**: 821-825. American Petroleum Inst.) o *Cladosporium resinae* é, provavelmente, o fungo que mais eficientemente estabiliza hidrocarbonetos, tendo sido isolado em água doce e marinha contaminadas com petróleo. Ele é capaz de decompor hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, assim como álcoois e ácidos orgânicos. O seu crescimento em meio contendo hidrocarbonetos alifáticos é lento e mais ainda em ácidos. Entretanto, a biodegradação dos hidrocarbonetos não é lenta, uma vez que a maior parte destes é convertida em gás carbônico e não assimilada ao carbono celular.

T. B. O'Neill, da Marinha dos Estados Unidos, isolou do oceano bactérias do gênero *Pseudomonas* que estabilizam petróleo (Veja, 23 de fevereiro de 1972). Essas bactérias,

entretanto, ao contrário do que acontece com os fungos em geral, não dispensam o fornecimento de sais nutrientes de fósforo e nitrogênio em quantidades relativamente elevadas.

4.3. Efeitos gerais do petróleo sobre os ecossistemas marinhos

Os prejuízos que podem ser causados pela presença de óleo aos organismos marinhos depende, em grande parte, de toxicidade dos componentes químicos do óleo, bem como da sua solubilidade na água. Efeitos adicionais podem, entretanto, ser causadas fisicamente, pela presença do óleo, como no caso da formação de crostas de graxa aderentes às plantas ou animais aquáticos, ou sobre os substratos por estes ocupados, seja o fundo arenoso, seja as rochas da zona litorânea. Além disso, a formação de uma película oleosa sobre a superfície da água pode alterar as condições de equilíbrio de oxigênio entre o meio líquido e o ar atmosférico.

J. M. Baker, em trabalho publicado sobre os efeitos do óleo sobre plantas terrestres (1970 — *The effects of oils on plants. Environmental Pollution*, 1 (1): 27-44) afirma que, de modo geral, a toxicidade dos óleos é tanto mais alta quanto maior for a riqueza em compostos de baixo ponto de ebulição, compostos insaturados, aromáticos e ácidos. Os principais tipos de compostos presentes nos óleos crus são: **alcanas** (parafinas) que são compostos de cadeia saturada, como por exemplo a hexana; **cicloalcanas** (naftenos) ou compostos cíclicos saturados, como a ciclohexana; **aromáticos**, ou compostos cuja estrutura contém anéis benzênicos. Além destes, podem ser encontrados em menores quantidades: **alquenas** (olefinas), compostos de cadeia não saturada, geralmente presentes apenas em produtos de refinaria e não no óleo cru; ácidos naftênicos, ou compostos alicídicos contendo grupos ácidos carboxílicos; **enxofre**, na forma livre ou como ácido sulfídrico, e vários compostos orgânicos sulfurosos, como as mercaptanas; **compostos nitrogenados ou oxigenados**, que são constituintes menores presentes nos compostos básicos; **metais**, principalmente vanádio, em quantidades muito pequenas. Os diferentes tipos de petróleo variam quanto à proporção relativa de hidrocarbonetos parafínicos e naftênicos, o conteúdo de enxofre e vanádio e a viscosidade. Alguns desses compostos podem ser eliminados à razão de 90% em 24 horas por simples aeração do meio, como acontece com as n-alcanas (W. Anderson e cols, 1974, *Characteristics of dispersions and water-soluble ex-*

tracts of crude and refined oils and their toxicity to estuarine crustaceans and fish. *Marine Biology*).

As pesquisas sobre o efeito tóxico do óleo sobre organismos marinhos envolve, geralmente, os seguintes aspectos: (J. W. Anderson e Cols, 1974: *The effects of oil on estuarine animals: toxicity, uptake and depuration, respiration. Pollution and Physiology of Marine Organisms: 285-310 — Academic Press*):

a) Estudos de toxicidade aguda — para determinar a variação de tolerância ao poluente, os níveis de exposição a serem utilizados em estudos subletais e para avaliar o significado das concentrações encontradas no ambiente;

b) Estudos de transferência ambiente-organismo — para determinar as taxas de acumulação e liberação do poluente pelo organismo;

c) Estudos fisiológicos — para determinar a extensão e natureza das modificações dos parâmetros metabólicos em resposta à exposição a concentração sub letais do poluente;

d) Estudos de campo — para comparar as respostas dos organismos marinhos às exposições naturais e eventualmente crônicas aos poluentes, com as respostas obtidas em laboratório bem como determinar os efeitos de poluentes sobre o metabolismo e a estrutura das comunidades marinhas.

Segundo R. Nuzzi (op. cit.) a capacidade dos componentes hidrossolúveis do óleo afetarem o desenvolvimento do fitoplâncton foi verificada pela primeira vez por Scage que observou uma redução de 10 por cento na multiplicação da diatomea *Phaeodactylum tricornutum*, quando em meio contendo extratos hidrossolúveis de petróleo cru do Kuwait. Observou ainda esse autor que a toxicidade diminui se os extratos forem aerados e aumenta se o petróleo for aquecido ou autoclavado antes de extração. Afirma, entretanto, Nuzzi, que isso ocorre com todos os óleos, por causa de variação da proporção de certos hidrocarbonetos nos mesmos.

Pesquisa realizada por J. E. Kottogiannis e C. J. Barnett, com um pequeno crustáceo que cresce em poços de água do mar na zona litorânea da Califórnia (1973 — *The effect of oil pollution on survival of the tidal pool copepod, Tigriopus californicus. Environmental Pollution*, 4 (1): 69-79), revelaram que uma camada de petróleo cru de 1,5 mm de espessura, sob a superfície da água causa a morte de todos os animais em três dias, enquanto que uma película semelhante de óleo mineral causa mortalidade total em 5 dias. Quando é adicionado oxigênio à água que contém petróleo a mortalidade total é retardada por 2 dias.

Quando o petróleo cru é colocado em um saquinho de membrana dializadora e mergulhado na água à qual é fornecida simultaneamente oxigênio ocorre também mortalidade total em um prazo de sete dias, enquanto que, se na membrana dializadora for colocado óleo mineral, em lugar de petróleo, os animais sobrevivem tão bem como os organismos usados como controle. Esses dados levam, pois, a conclusão de que o efeito do óleo é devido não só ao fato de constituir uma barreira física à transferência de oxigênio, mas também à presença de componentes tóxicos.

L. M. Katz (op. cit.) observou também efeitos tóxicos do petróleo cru sobre as larvas de caranguejos, fazendo a observação, no mesmo trabalho, de que esse efeito tóxico se exerce não apenas sobre as espécies diretamente atingidas (eventualmente de interesse econômico, como é o caso do caranguejo estudado) mas, indiretamente, sobre outras espécies mais resistentes, pois essas larvas (assim como inúmeros outros pequenos crustáceos e também o fitoplâncton) fazem parte de cadeias alimentares responsáveis pela nutrição e desenvolvimento das populações de peixes e outros animais comercialmente importantes. Observações semelhantes foram feitas sobre as "lepas", ou crustáceos providos de conchas (*Patella vulgata*) que vivem sobre os costões rochosos e que constituem seres de considerável importância no balanço ecológico desses ambientes (B. Dicks, 1973 — *Some effects of Kuwait crude oil on the limpet, Patella vulgata. Environmental Pollution*, 5 (3): 219-229. Esses animais parecem ser, além disso, particularmente sensíveis à presença de emulsificantes utilizados para a remoção de óleo no mar.

Experiências realizadas por D. W. Kinsey sobre o efeito das películas de óleo sobre a respiração e intercâmbios gasosos em recifes de coral (1973 — *Small-scal experiments to determine the effects of crude oil films on gas exchange over the coral back-nef at Heron Island. Environmental Pollution*, 4 (3): 167-182) levaram esse autor à conclusão de que nem sempre os efeitos prejudiciais sobre esse intercâmbio são devidos ao bloqueio direto da transferência de gases, mas também a um outro fenômeno que consiste na redução da agitação e formação de ondas superficiais.

4.4. Efeitos sobre peixes e outros animais de interesse econômico

Devido ao aumento da poluição por petróleo afetando os recursos

marinhos do Alaska, várias pesquisas foram realizadas no Duke Bay Fisheries Laboratory do National Marine Fisheries Service, visando sobretudo determinar as concentrações de óleo bruto que são letais para o salmão (S. D. Rice, 1973 — Toxicity and avoidance tests with Prudhoe Bay oil and pink salmon frj. **Prevention and Control of Oil Spills**: 667-670. American Petroleum Inst.) Os limites de tolerância média encontrados foram de 88 mg de óleo por litro de água doce e 110 a 213 mg de óleo por litro de água do mar. Entretanto, foi verificado que efeitos menos evidentes mas possivelmente mais prejudiciais a longo prazo são os decorrentes da alteração do comportamento dos peixes e outros efeitos nocivos decorrentes do acúmulo de hidrocarbonetos nos órgãos e tecidos dos peixes.

Peixes expostos a concentração de 10 mg por litro de benzeno por períodos mais ou menos longos apresentaram sintomas de narcose que se traduziam em redução sensível da taxa respiratória (R. W. Brocksen, H. T. Bailey, 1973. Respiratory response of juvenile chinook salmon and striped bass exposed to benzene, a water soluble component of crude oil. **Prevention and Control of Oil Spills**, 783-791. American Petroleum Inc.). Esse estado de narcose induzido pelo benzeno (que é um componente normal do petróleo) revelou-se irreversível quando o peixe era novamente colocado em água não contaminada durante 6 dias. O benzeno absorvido pela superfície das branquias, além de reagir com as lipoproteínas do sangue, sofre bio-oxidação no fígado e outros órgãos, transformando-se em fenol.

Pesquisas realizadas no Japão (M. Ogata e cols — 1974. Transfer of Ingredients in crude oil to fish. **Kos-hueiseischi**, 2 (10): 581-585) revelaram que:

a) os hidrocarbonetos aromáticos do petróleo cru se transferem aos peixes, na seguinte ordem decrescente: tolueno, m — ou p — xileno, oxileno e benzeno. Não ficou claro se os hidrocarbonetos alifáticos também passam aos peixes.

b) o acúmulo de hidrocarbonetos na carne, em relação às concentrações existentes na água se deu na seguinte ordem: tolueno, m ou p — xileno e benzeno.

c) a carne dos peixes passa a apresentar desagradável cheiro durante 1 a 7 dias, quando estes são colocados em água misturada com petróleo cru em concentração não letal. Peixes com cheiro e sabor desagradável são freqüentes na Baía de Iwakumi, em consequência da presença de óleo.

É possível que a presença do mau cheiro seja devido à formação de fenois, pelo processo descrito no trabalho anterior. O mesmo fenômeno tem sido observado em peixes de lagos onde existe grande atividade náutica, por causa da presença de fenois nos gases e no óleo queimado desprendidos pelos motores de embarcações. (T. P. Jackivicz Jr. Kuzminski, 1973, A review of out-board effects on the aquatic environment. **Journal of water Pollution Control Fed**, 45 (8): 1759-1770).

E. S. Gilfillan (1973 — Effects of seawater extracts of crude oil on carbon budgets in two species of mussels. **Prevention and Control of Oil spills**: 691-695. American Petroleum Inst.) estudou os efeitos do petróleo bruto sobre o metabolismo de mexilhões (*Mytilus edulis*) verificando que há uma diminuição do balanço líquido do carbono.

J. W. Anderson e Cols (op. cit.) relata uma série de trabalhos, de vários autores, sobre os efeitos nocivos do petróleo sobre ostras, mexilhões e outros organismos marinhos, comparando-os com os resultados que obtiveram em relação aos camarões (gen. *Penaeus e Palaemonetes*). Concluem, entre outras coisas, que o principal responsável pela toxicidade do petróleo sobre esses animais são os naftalenos. Em experiência de laboratório, verificaram que a maioria das mortes por efeito tóxico do petróleo ocorre nas primeiras 12 a 24 horas de contato. Análises cromatográficas, revelaram haver uma redução da ordem de 90 por cento da concentração total de hidrocarbonetos durante as primeiras 24 horas do experimento, sendo que as n-parafinas desaparecem mais rapidamente que os hidrocarbonetos aromáticos, Ostras (*Crassostrea virginica*) — segundo autores relatados nesse mesmo trabalho — expostas a misturas de óleo e água acumulam uma larga variedade de hidrocarbonetos em seus tecidos, em proporção direta às concentrações presentes no meio e ao que parece, esses hidrocarbonetos (particularmente os aromáticos) ficam retidos indefinidamente no corpo dos animais. Esta última conclusão não tem sido confirmada, entretanto, por outros autores. Mexilhões (*Mytilus edulis*) entretanto, liberam novamente ao meio mais de 90 por cento dos hidrocarbonetos acumulados, em 2 semanas de contato com água limpa. Os camarões estudados acumulam muito rapidamente hidrocarbonetos do petróleo, porém, retêm-nos apenas por breve período de tempo, liberando-os quase totalmente em 1 a 7 dias, enquanto que a "depuração" completa em ostras não se faz em menos de 2 meses.

M. Ehrhardt (1972. Petroleum hydrocarbons in oysters from Galveston Bay. **Environmental Pollution**, 3 (4): 257-271) investigando o teor de hidrocarbonetos encontrados em ostras colhidas na Baía de Galveston, Texas, verificou que, nelas, a distribuição de hidrocarbonetos alifáticos é semelhante à encontrada no petróleo bruto, enquanto que os aromáticos se encontram em concentração relativas mais altas nos animais que no petróleo. Várias hipóteses são sugeridas para explicar essa maior concentração, entre as quais se destacam: maior solubilidade dos hidrocarbonetos aromáticos em relação aos demais componentes do óleo; modificações químicas ocorridas no próprio corpo dos animais. Seja qual for a razão, considerando que os hidrocarbonetos aromáticos são os mais tóxicos, o autor é levado à conclusão de que o óleo nas ostras é mais tóxico do que o óleo original lançado ao mar. Esses animais são comidos pelo homem ou entram em cadeias biológicas que levam, também, indiretamente, ao homem (esses hidrocarbonetos tem sido encontrados em forma concentrada, no fígado de tubarões, por exemplo). Vários destes hidrocarbonetos aromáticos têm sido apontados como causadores de câncer no homem.

Finalmente, uma interessante pesquisa de autoria de J. Atema e L. S. Stein (1974. Effects of crude oil the feeding behaviour of the lobster *Homarus americanus*. **Environmental Pollution**, 6 (2): 77-86) é dedicada ao conhecimento dos efeitos da contaminação por petróleo sobre o comportamento alimentar da lagosta. Verificam, esses autores, que o petróleo cru, misturado em pequenas proporções com água do mar (10 mg por litro) interfere no comportamento específico, químico-sensorial desses crustáceos, aumentando até ao dobro o período de tempo entre duas tomadas de alimento, isto é, reduzindo-lhes o apetite bem como a excitabilidade química, o que lhes torna mais difícil encontrar alimento. É curioso observar que as frações de petróleo solúveis em água — que são as mais tóxicas — não produzem esse mesmo efeito, quando utilizadas isoladamente, no experimento. Dessa forma, o petróleo presente na água do mar, além de destruir os animais aquáticos, (quando em altas concentrações) ou acumular-se em seus tecidos alterando-lhes o sabor ou tornando-os transmissores de tóxicos e carcinogênicos, exerce, também (mesmo em quantidades diminutas) um importante papel ecológico por ser nocivo à percepção químico-sensorial, indispensável à busca de alimentos e a outros tipos de relacionamentos de defesa ou de reprodução no ecossistema marinho.