

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA BIOLÓGICA**

**EFEITOS DO PETRÓLEO SOBRE A
ASSOCIAÇÃO DE MACROINVERTEBRADOS
BENTÔNICOS DE PRAIAS ARENOSAS DO
EXTREMO SUL DO BRASIL**

MICHEL STEINMETZ GANDRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia Biológica da Fundação Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial à obtenção do título de MESTRE.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Emílio Bemvenuti

RIO GRANDE

Junho-2005

Para a minha avó Maria

(in memoriam)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar toda a minha gratidão ao Prof. Bemvenuti, pela orientação, apoio e incentivo na realização deste trabalho, além da amizade conquistada ao longo de todos esses anos.

Também agradeço ao técnico Niltão, pela ajuda no trabalho, pelo conhecimento passado e acima de tudo, pelas horas agradáveis de convivência no laboratório, apesar de ser um torcedor colorado sofredor. Ainda acredito que um dia ele irá ver quem é o melhor!

Ao amigo Prof. Gilberto Henrique Griep, por ter me ajudado muito durante o desenvolvimento deste trabalho. É por causa desse alemão, que a vida de muita gente, inclusive a minha, tomaram outros rumos, e para melhor.

A Profa. Dra., visitante, amiga, Isabel Machado, por estar sempre disposta a me ajudar, ouvindo as minhas lamentações numa época em que parecia que tudo ia dar errado eu sempre ouvia dela: “-Calma! Vai melhorar!”. E ela tinha razão.

À comissão de avaliação Prof. Dr. José Guilherme Bersano Filho e Dra. Taciana Kramer de Oliveira Pinto.

Ao Programa de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 27), financiadora deste trabalho.

À Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) pela autorização para a realização dos experimentos de campo.

A Refinaria de Petróleo Ipiranga, pela doação do óleo.

As amigas do Laboratório de Sedimentologia, pelas análises granulométricas.

A Lice Fronza e o Everton Pederzolli, fundamentais no trabalho de análise dos hidrocarbonetos. Sem vocês, tenho certeza, que estas análises não sairiam.

Ao Laboratório de Cromatografia do Departamento de Química Orgânica do Instituto de Química e Geociências da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) pelas análises dos hidrocarbonetos.

Ao Prof. Dr. Paulo Cunha Lana, pelas conversas sobre derrames de óleo, por ter me concedido total acesso a sua biblioteca particular sobre o assunto, além das inúmeras conversas por e-mails.

Ao Prof. Dr. Abílio Soares-Gomes pela paciência me enviar vários artigos por email.

Aos amigos do Laboratório de Ecologia de Invertebrados Bentônicos, tanto os atuais quanto os que já se foram, Luciano, André, Pedro, Luciana, Taciana, Lilica, Jacaré, Aline, Wa Ching, Leo, Fred.

Aos amigos André (feijão), Ramon e Cris, Jeison, Pedro (Patu), Seninha, Leonardo (canalha), Scooby, Migué (padeiro) e Lisiane, Carlos Japonês, André (Recife).

Ao pessoal do futebol!

Um agradecimento mais do que especial a Luciana, por estar sempre ao meu lado durante esses anos. Você foi, mais uma vez, fundamental nesta etapa da minha vida.

E aos meus pais (Carlos Alberto e Maria), meus irmãos (Aline, Beto e Carla), meu avô Alziro, por existirem.

Obrigado a todos....

ÍNDICE

RESUMO.....	08
ABSTRACT.....	10
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	12
1.1. TIPO DE ÓLEO UTILIZADO NOS EXPERIMENTOS.....	19
2. EXPERIMENTO DE ANÁLISE DE HIDROCARBONETOS ALIFÁTICOS.....	21
2.1. INTRODUÇÃO.....	21
2.1.1. Hidrocarbonetos do Petróleo.....	21
2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
2.2.1. Extração e Análise dos hidrocarbonetos.....	24
2.3. RESULTADOS.....	25
3. EXPERIMENTOS DE CAMPO.....	29
3.1. OBJETIVO.....	29
3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.2.1. Detecção da profundidade atingida pelo óleo.....	35
3.2.2. Análise dos Dados.....	36
3.3. RESULTADOS.....	37
3.3.1. Parâmetros Abióticos.....	37
3.3.1.1. Detecção da profundidade atingida pelo óleo.....	38
3.3.2. Parâmetros Bióticos.....	40
3.3.2.1. Experimento 1 (E1).....	40
3.3.2.2. Experimento 2 (E2).....	41

3.3.2.3. Experimento 3 (E3).....	43
3.3.2.4. Experimento 4 (E4).....	45
3.3.2.5. Análise da Distribuição Vertical da Macrofauna Bentônica.....	47
4. EXPERIMENTOS DE LABORATÓRIO: TESTE DE SOBREVIVÊNCIA DA MACROFAUNA.....	49
4.1. INTRODUÇÃO.....	49
4.2. Efeitos do Óleo sobre <i>Mesodesma mactroides</i>	50
4.2.1. MATERIAL E MÉTODOS.....	50
4.2.1.1. Parâmetros Bióticos.....	50
4.2.1.2 Parâmetros Abióticos.....	53
4.2.1.2.1. Granulometria.....	53
4.2.1.2.2. Análise dos Dados	53
4.2.2. RESULTADOS.....	54
4.2.2.1.Parâmetros Abióticos.....	54
4.2.2.2. Parâmetros Bióticos.....	55
4.2.2.2.1. Teste de Sobrevivência de <i>Mesodesma mactroides</i>	55
4.2.2.2.2. Tempo de Enterramento de <i>Mesodesma mactroides</i>	56
4.2.2.2.3. Relação Número de Indivíduos Debilitados X Número de Indivíduos Mortos.....	57
4.3. Efeitos do Óleo sobre <i>Euzonus furciferus</i> e <i>Excirolana armata</i>	60
4.3.1. MATERIAL E MÉTODOS.....	60
4.3.2. RESULTADOS.....	61
4.3.2.1. <i>Euzonus furciferus</i>	61
4.3.2.2. <i>Excirolana armata</i>	61

5. DISCUSSÃO GERAL.....	63
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

RESUMO

As associações de macroinvertebrados bentônicos de praias arenosas possuem uma grande complexidade ecológica, sendo o principal elo trófico entre o estoque composto pelo fitoplâncton e material detrítico, e os consumidores de níveis superiores. Qualquer distúrbio antrópico, como um derrame de petróleo, sobre estas associações pode desencadear alterações em todos os seus níveis tróficos. A sua natureza sedentária, seus longos ciclos de vida, tornam os organismos bênticos apropriados para trabalhos de avaliação de impactos e monitoramento de regiões costeiras. Devido a isso, o presente estudo tem como objetivo avaliar os efeitos do óleo sobre os macroinvertebrados bentônicos através da simulação de derrames de óleo na região costeira de duas praias arenosas do extremo sul do Rio Grande do Sul. Além das simulações de campo, também foram desenvolvidos, em laboratório, experimentos com aquários que analisaram a resposta da macrofauna quando expostas ao óleo, sendo escolhidas aquelas mais representativas nos experimentos de campo, no caso o bivalvo suspensívoro *Mesodesma mactroides*, o poliqueta comedor de depósito *Euzonus furciferus* e o isópode necrófago *Excirolana armata*. Os resultados do experimento de campo não mostraram efeitos estatisticamente significativos do óleo sobre a macrofauna bentônica. No entanto, houve uma evidência de maior mortalidade do molusco *Mesodesma mactroides* nos tratamentos com óleo, sendo confirmada essa sensibilidade em laboratório, em que a espécie atingiu mortalidade total em 7 dias nos aquários contendo óleo. As outras duas espécies analisadas em laboratório (*Euzonus furciferus* e *Excirolana armata*) não mostraram resposta negativa ao óleo. Sugere-se que os efeitos de um derrame de óleo, sobre as espécies estudadas, possam estar relacionadas as suas

distintas guildas. É importante ressaltar que poucas generalizações são válidas quando se trata dos efeitos ecológicos de um derrame de petróleo. A recuperação da comunidade macrobentônica depois de um derrame não só depende da persistência do óleo, mas também na confiança dos padrões de recrutamento das espécies afetadas, da história de vida, de sua tolerância aos compostos tóxicos no sedimento, além das condições ambientais do local.

PALAVRAS-CHAVE: macrofauna bentônica, derrame de óleo, petróleo, praias arenosas

ABSTRACT

The benthic marine organisms in the sand beach intertidal zone have a great ecological complexity, being a major trophic link among the phytoplankton, organic detritus and the higher trophic levels. Any anthropogenic disturbance that affects these organisms, such as an oil spill can cause changes in all trophic levels of coastal communities. Due to their sedentary nature and the long life cycle, the marine benthic invertebrates are considered good instruments for assessing environmental impacts and for coastal zone monitoring. Therefore, this study aims to evaluate the oil effects on marine macrobenthic invertebrates by means of an oil spill simulation in two coastal sandy beaches on the south of the Rio Grande do Sul state. Beyond field simulations, laboratorial experiments with aquariums were also developed to evaluate the benthic macrofauna responses under oil influence, being choosed those more representatives on the field experiments, on this case the suspensivore bivalve, *Mesodesma mactroides*; the deposit feeder polychaeta *Euzonus furciferus*; and the necrophago isopod *Exciorolana armata*. The field experiment results did not show statistically significant oil effects on the benthic macrofauna. However, there is an evidence of higher mortality of the pelecypod *Mesodesma mactroides* on the oil treatments, being confirmed by the laboratory experiment, on which the individuals were all dead on the aquariums with oil within 7 days. The other two species analyzed in laboratory (*Euzonus furciferus* e *Exciorolana armata*) did not show negative response regarding to the oil. It is suggested that oil spill effects on the evaluated species, seems to be related to their guilds. Is important to observe that a few generalizations are valid when dealing with an oil spill ecological effects. The macrobenthic community recovery after a spill depends not only

on the oil persistence, but also on the affected species recruitment patterns, their life history, their tolerance to the sediment toxic compounds and the local environmental conditions.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Derrames de óleo envolvem navios, oleodutos, reservatórios de óleo, caminhões combustível, poços de petróleo e fontes desconhecidas. Estes derrames são causados principalmente por negligência humana e efeitos de tempestade, no caso de acidentes com navios petroleiros, podendo ocorrer nos mais variados ambientes como rios, estuários, ilhas, praias e oceanos (Boesch *et al.*, 1974).

Apesar das severas restrições impostas pelas autoridades ambientais, segundo SCPMEU (1985) são lançados ao mar, entre petróleo e derivados, cerca de 3.2 milhões de toneladas por ano, onde cerca de 18% das perdas para o ambiente estão relacionadas ao uso, manuseio e transporte de combustíveis, sob as mais variadas situações, inclusive em operações de carga e descarga nos terminais.

A Tabela 1 mostra um resumo dos 20 principais derrames de óleo em volume ocorrido desde 1967 (ITOPF, 2004). Vários destes incidentes, apesar do grande volume derramado, causaram pouco dano ambiental nas regiões litorâneas. O acidente com o Petroleiro Exxon Valdez ocorrido no Alaska, USA em 1989 foi incluído na lista mesmo estando na 35ª posição, apesar não ter derramado uma grande quantidade de óleo comparando-se a outros eventos, ocorreu em uma área abrigada e muito sensível, com importantes recursos biológicos e atividades de importância sócio-econômica, tendo sido considerado como um dos piores eventos da história (CETESB, 2002).

No Brasil, não há registro histórico organizado em um banco de dados envolvendo derramamentos de óleo no litoral brasileiro, sendo que muitos vazamentos já ocorreram sem que houvesse registro oficial (CETESB, *op.cit.*). O levantamento dá-se, principalmente para derrames da região sudeste (Etkin, 1998), onde apresenta o maior número de acidentes com óleo que ocorrem no Brasil, principalmente em função

da presença do terminal marítimo Almirante Barroso (PETROBRÁS) em São Sebastião – SP, situado entre a Ilhabela e o continente, o qual recebe cerca de 55% de todo petróleo que chega ao país (Poffo *et al.*, 2001).

O Porto de Rio Grande, saída marítima mais importante de cargas do sul do Brasil, embora não se caracterize por um grande volume de operações no setor do petróleo, possui dentre os componentes de sua matriz industrial retro-portuária, algumas empresas específicas deste setor (Refinaria de Petróleo Ipiranga S.A. e Petrobrás) que operam com refino, armazenagem e transporte destes produtos. A estes agentes, deve-se somar os riscos naturais oriundos do trabalho de abastecimento dos navios atracados. Portanto, assim como os portos em geral, o Porto do Rio Grande representa um risco adicional para a contaminação ambiental da região (Griep *et al.*, 2001).

Não foram encontrados registros de acidentes com navios petroleiros que tivessem ocasionado derrames de óleo na região da Praia do Cassino. Mesmo assim, possíveis riscos devem ser avaliados. Tem-se, por exemplo, o volume médio de óleo cru que um navio petroleiro transporta para a Refinaria de Petróleo Ipiranga é aproximadamente de 60.000 m³ (Eng. J. L. Bulla, Gerente do depto. de Operações e Vendas da Ipiranga, com. pess.). Este número é seis vezes maior do que o volume derramado pelo navio petroleiro “Erika” (10.000 m³), que contaminou cerca de 500 km da costa francesa e algumas ilhas da Inglaterra (Baars, 2002).

A análise da estrutura e dinâmica das associações de macroinvertebrados bentônicos tem sido muito útil em programas de monitoramento do efeito de poluentes (Warwick, 1986). De acordo com Lana (1994), os organismos que vivem dentro ou sobre o substrato refletem, com maior precisão, as condições ambientais anteriores ao momento da amostragem, quando comparados às formas que vivem na coluna d’água.

A natureza relativamente sedentária, os longos ciclos de vida e a existência de espécies que podem ser consideradas como indicadores biológicos de ambientes impactados tornam os organismos bentônicos particularmente apropriados para trabalhos de avaliação de impactos e monitoramento de regiões costeiras, tanto a partir de abordagens descritivas como experimentais.

O petróleo pode causar diversos impactos sobre a fauna e flora, seja por ação física (abafamento, redução da luminosidade), ambiental (altera pH, diminui o oxigênio dissolvido, diminuição do alimento disponível) e tóxica (Kennish, 1997). Maiores alterações nas estruturas destas comunidades devido aos efeitos da poluição por petróleo podem persistir por períodos de dias a anos. Em geral, os efeitos agudos hidrocarbonetos sobre espécies macrobênticas podem ser evidenciados por mortalidade, causada por intoxicação ou asfíxia, ou ainda por manifestações subletais, com prejuízo das atividades metabólicas, mais dificilmente detectáveis no campo ou laboratório.

Os efeitos do petróleo nas comunidades marinhas podem ser agudos ou crônicos. A toxicidade aguda é definida como efeito de curto prazo imediato da simples exposição ao derrame. E a toxicidade crônica é definida como os efeitos a longo-prazo a uma exposição contínua de um contaminante (NRC, 2003).

Em geral, os efeitos agudos do óleo sobre o macrobentos, expressos por mortalidade ou fuga da área impactada, podem ser significativos, mas de curta duração (Faraco, 1999; Gesteira & Dauvin, 2000).

Tabela 1: Principais derrames de óleo ocorridos no mundo.

Posição	Navio	Ano	Local do Derrame	Volume (ton.)
1	Atlantic Empress	1979	Off Tobago, West Indies	287
2	ABT Summer	1991	700 nautical miles off Angola	260
3	Castillo de Bellver	1983	Off Saldanha Bay, South Africa	252
4	Amoco Cadiz	1978	Off Brittany, France	223
5	Haven	1991	Genoa, Italy	144
6	Odyssey	1988	700 nautical miles off Nova Scotia, Canada	132
7	Torrey Canyon	1967	Scilly Isles, UK	119
8	Sea Star	1972	Gulf of Oman	115
9	Irenes Serenade	1980	Navarino Bay, Greece	100
10	Urquiola	1976	La Coruna, Spain	100
11	Hawaiian Patriot	1977	300 nautical miles off Honolulu	95
12	Independenta	1979	Bosphorus, Turkey	95
13	Jakob Maersk	1975	Oporto, Portugal	88
14	Braer	1993	Shetland Islands, UK	85
15	Khark 5	1989	120 nautical miles off Atlantic coast of Morocco	80
16	Prestige	2002	Off the Spanish coast	63
17	Aegean Sea	1992	La Coruna, Spain	74
18	Sea Empress	1996	Milford Haven, UK	72
19	Katina P	1992	Off Maputo, Mozambique	72
35	Exxon Valdez	1989	Prince William Sound, Alaska, USA	37

A maioria das análises sobre o macrobentos são realizadas após os derrames acidentais, consistindo basicamente na descrição dos padrões biológicos observados após tais perturbações, sendo que os objetivos iniciais destes de monitoramento são identificar a curto prazo os efeitos dos hidrocarbonetos, através da estimação da mortalidade e resistência da comunidade (Dauvin, 1998; Gesteira & Dauvin, 2000). Tem-se, por exemplo, trabalhos desenvolvidos por Kingston *et al.* (1995) e Koutsoubas *et al.* (2000), onde os autores descrevem a resposta da macrofauna bentônica na região costeira a partir de acidentes com petroleiros, no caso, desastres com os navios Braer e

Iliad, respectivamente. Estes eventos são tipicamente imprevisíveis, o que inviabiliza o controle experimental e o estabelecimento de relações causais conclusivas entre o impacto e as respostas dos organismos afetados. Simulações de campo de pequena escala são uma alternativa a estudos descritivos desta natureza (Lana, 1994).

São escassos os estudos relacionados à contaminação do petróleo sobre a macrofauna bentônica no Rio Grande do Sul, sendo encontrados apenas trabalhos de Gandra *et al.* (2005) e Broedel (2003), onde descrevem os efeitos de um derrame de óleo sobre a associação de macroinvertebrados bentônicos na região estuarina da Lagoa dos Patos.

As praias de areia fina podem apresentar diferentes graus de sensibilidade ao óleo, de acordo com suas características ambientais. Gundlach & Hayes (1978) classificaram este ecossistema costeiro em um índice de vulnerabilidade crescente ao petróleo, em que, em uma escala de 1 a 10, indicam as praias como “vulneráveis” (índice 3), onde o óleo pode persistir nesta região por vários meses. Hyland *et al.* (1990) também consideram que as regiões costeiras são particularmente sensíveis a derramamentos por petróleo, por causa dos vazamentos acidentais causados pelo manejo inadequado de petroleiros, de óleo dutos durante operações de carga e descarga e transporte de óleo nas regiões portuárias ou seus arredores.

A fauna destas praias é composta por animais permanentes, normalmente com distribuição agregada que, conforme o modo de vida, compõe tanto as espécies da epifauna quanto infauna (Brown & McLachlan, 1990). Na epifauna, encontram-se organismos móveis como comedores de depósito de superfície, carnívoros e comedores de matéria morta, destacando-se entre estes, equinodermos (estrelas do mar e bolachas da praia) gastrópodes e crustáceos (sirís, caranguejos e camarões). Entre as espécies

dominantes da infauna, existem organismos comedores de depósitos e suspensívoros, destacando-se poliquetas, bivalves e anfípodes (Knox, 2000). Na zona entremarés, devido a forte dinâmica de ondas, existe uma comunidade macrozoobentônica com baixa diversidade, reduzida riqueza e elevada dominância numérica de poucas espécies quando comparada a outras regiões submersas (Nybakken, 2001). Na praia do Cassino (RS) Gianuca (1983, 1998) constatou que a maior biomassa e produção de invertebrados estão no mesolitoral.

Vários motivos justificam a importância da fauna de praias, onde estudos realizados por Gianuca (1983) e Santos (1990) revelaram que as praias do sul do Brasil estão entre as mais ricas e produtivas praias arenosas do mundo. Muitas espécies têm importância econômica direta, como é o caso de crustáceos decápodes e moluscos utilizados na alimentação humana e, juntamente com poliquetas, como isca para a pesca. Estes invertebrados, em conjunto com isópodes e anfípodes, constituem rica fonte de alimentos para peixes, crustáceos e aves (Amaral *et. al.*, 2005).

Em síntese, as interações ambientais e relações tróficas entre os diferentes componentes das comunidades, sugerem que as praias do sul do Brasil funcionam como um ecossistema semi-fechado e, em grande parte, auto-sustentável (Garcia & Gianuca, 1998).

Apesar das atividades com óleo gerarem numerosas formas de impacto nas comunidades biológicas, estudos destes efeitos na costa brasileira são raros (Silva *et al.*, 1997). Não foram encontrados trabalhos de avaliação experimental do impacto do óleo em praias arenosas. A maioria trata dos efeitos do óleo sobre os macroinvertebrados bentônicos em regiões de mangue. Destacam-se os trabalhos de: Faraco & Lana (2003), onde os autores verificaram os efeitos do óleo diesel sobre o macrobentos em

manguezal da Baía de Paranaguá (Paraná); Lana *et al.* (1997), que avaliaram os efeitos do diesel sobre a macrofauna na Baía de Perequê (Paraná) e Lana *et al.* (1996), realizaram um derrame experimental de óleo diesel para avaliar os efeitos do óleo sobre o macrobentos da Ilha Rasa da Cotinga (Paraná).

Tendo em vista que, no Brasil, se dispõe de poucos dados científicos relativos à resposta da macrofauna bentônica de praias arenosas quando sujeita a derrames de petróleo, o presente trabalho avaliou o impacto do óleo sobre a macrofauna bentônica de praias arenosas a partir de experimentos de campo e laboratório.

A fim de alcançar o objetivo do presente trabalho, foram realizados experimentos com as seguintes abordagens:

- a) Experimento de Análise de Hidrocarbonetos Alifáticos:** verificar se existe mudança nas concentrações de hidrocarbonetos alifáticos ao longo do tempo.
- b) Experimento de Campo:** verificar a resposta da macrofauna bentônica a partir de simulações de derrame de petróleo na região costeira;
- c) Experimento de Sobrevivência da Macrofauna em Aquários:** escolher as principais espécies encontradas no experimento de campo e avaliar a resposta das mesmas, ao longo do tempo, quando expostas ao óleo

1.1. Tipo de Óleo Utilizado nos Experimentos

Para a realização dos experimentos, foi utilizado óleo cru doado pela Refinaria de Petróleo Ipiranga S.A. Este óleo chegou à empresa através de navios petroleiros para ser refinado e apresentou as seguintes características principais:

Navio Tanque: Sea Music

Produto: Petróleo

Origem: Nigéria

Nome: HYDRA

Densidade relativa a 20/4°C: 0,778

API: 49,4

Viscosidade a 37,8° : 31,43

De acordo com a tabela de classificação de óleo (Tabela 2), este óleo é classificado como leve (ITOPF, 2005). São óleos altamente fluidos compostos predominantemente de hidrocarbonetos de baixo peso molecular, geralmente claros, que se espalham rapidamente sobre superfícies sólidas ou água. Eles têm um odor forte, uma taxa de evaporação alta, e são normalmente inflamáveis. Este tipo de óleo cru penetra em superfícies porosas, podendo ser persistentes em tal matriz, e tendem a aderir a superfícies, sendo removidos com enxágüe à água. Esta classe de óleo pode ser altamente tóxica aos seres humanos, peixes e outros tipos de organismos (USEPA, 2005).

Tabela 2: Classificação dos Tipos de Óleo

Classificação dos tipos de óleo					
Grupo	Densidade	API	Composição	Meia Vida	Persistência
I	< 0,8	> 45	Leve	~ 24 h	1 - 2 dias
II	0,80 à 0,85	35 à 45	Leve	~ 48 h	3 - 4 dias
III	0,85 à 0,95	17,5 à 35	Pesado	~ 72 h	5 - 7 dias
IV	> 0,95	< 17,5	Pesado	~ 168 h	> - 7 dias

Para manter sempre a mesma relação de volume de óleo utilizado em todos experimentos, foi fixado o volume de óleo do Experimento de Campo e a partir deste, foi mantida a mesma proporção para os outros experimentos, no caso, os experimentos de laboratório e de análise de hidrocarbonetos alifáticos.

2. EXPERIMENTO DE ANÁLISE DE HIDROCARBONETOS ALIFÁTICOS

2.1. INTRODUÇÃO

Este experimento foi desenvolvido com a finalidade de fazer uma análise do comportamento dos hidrocarbonetos alifáticos no sedimento quando da ocorrência de um derrame de petróleo, através da verificação da variação de suas concentrações. Para a realização deste trabalho, foi feita uma simulação de um derrame de petróleo em laboratório.

Estas informações serviram como subsídio aos experimentos de campo e laboratório desenvolvidos com a macrofauna bentônica. É fundamental conhecer quais os compostos de hidrocarbonetos que estão atuando sobre os macroinvertebrados bentônicos ao longo do tempo quando de um derrame de petróleo, e tentar relacionar com a resposta que o organismo está apresentando quando exposta a este derrame, seja por modificações no comportamento ou mesmo pela morte desta espécie (Kennish, 1998).

2.1.1. Hidrocarbonetos do Petróleo

O termo petróleo refere-se aos derivados de matéria orgânica de origem biológica, principalmente marinha transicional, que foram produzidos através da combinação de processos biológicos e geológicos resultando na produção e acumulação de milhares de diferentes tipos de moléculas orgânicas em sedimentos antigos. O óleo cru e o gás natural, juntos, são denominados petróleo (UNEP, 1991).

O petróleo é uma substância viscosa, mais leve que a água, composta predominantemente de hidrocarbonetos, ou seja, compostos de carbono e hidrogênio em

várias combinações moleculares (USEPA, 2005). Os hidrocarbonetos são compostos químicos apolares (hidrófobos), o que limita sua solubilidade na água do mar. Deste modo, eles apresentam uma tendência de associação às fases sólidas, como as partículas em suspensão, os tecidos biológicos e os sedimentos, ou de transferência para a atmosfera na fase gasosa.

O óleo cru extraído de diferentes partes do mundo varia largamente em composição, dependendo da idade do óleo, condições de formação e outros (Kennish, 1998). Alguns óleos contêm 98% de hidrocarbonetos, portanto, por serem os principais componentes, são utilizados como indicativos da poluição por petróleo (Laws, 1993).

Os óleos crus contêm, em média, cerca de 30% de alcanos, 50% de ciclo-alcanos e 15% de aromáticos (UNEP, 1991). De acordo com Kennish (1997), os hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos podem dizimar populações marinhas numa extensiva área devido a sua extrema toxicidade, rápida assimilação pela biota e sua persistência no ambiente marinho. O mesmo autor afirma que estas frações tendem a se bioconcentrar em organismos marinhos, pois são altamente solúveis em lipídios.

Uma vez derramado no mar, o óleo imediatamente sofre alterações da sua composição original, devido a uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos chamados conjuntamente de intemperismo. Este se inicia imediatamente após o derrame e se processa a taxas variáveis dependendo do tipo de óleo e condições ambientais. A taxa do processo não é constante, sendo mais efetiva nos períodos iniciais de um derrame, onde ocorrem os processos de espalhamento, evaporação, dispersão, emulsificação e dissolução, enquanto a longo-prazo ocorrem oxidação, sedimentação e biodegradação (CETESB, 2003). Kennish (1998), afirma que as moléculas de menor peso molecular sofrem, durante as primeiras 24 e 48 horas, um forte processo de

evaporação e dissolução e que esse fato produz uma importante mudança na composição do óleo, reduzindo o impacto na comunidade de organismos e no ambiente aquático.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o experimento foram utilizados 4 aquários com 28,5 cm de comprimento, 28,5 cm de largura e 25 cm de altura, com um volume de 20 litros (Fig. 18). Os aquários foram preenchidos com aproximadamente metade do volume com sedimento, proveniente da praia do Cassino e, em seguida, foi adicionada água marinha até 5 cm acima do nível de sedimento.

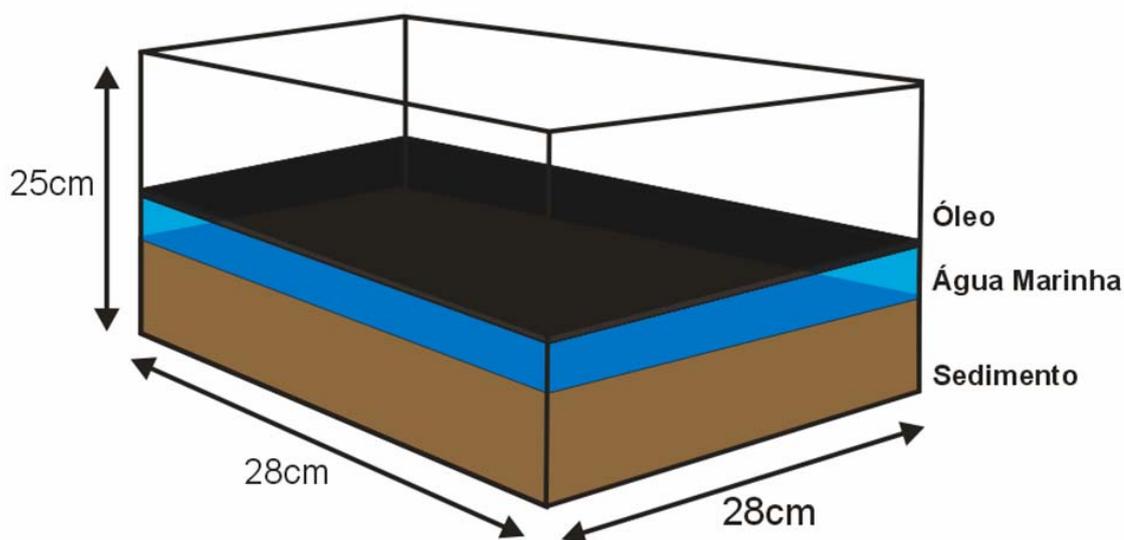


Figura 18: unidade experimental (aquário) com sedimento, água marinha e uma fina camada de óleo

Cada aquário recebeu 575mL de óleo, sendo que cada um foi submetido a diferentes tempos de exposição ao óleo: 5h, 24h e 48h, além do tempo zero, que serviu como referência, ou seja, o óleo foi colocado no aquário com sedimento e retirado no

mesmo momento. Para cada um destes tempos de exposição, foi obtida uma réplica para análise.

Para evitar contaminação por hidrocarbonetos de outras fontes, as amostras foram coletadas com colher de alumínio e acondicionadas em bandejas de alumínio, previamente limpas e calcinadas em forno mufla a 400°C durante 4 horas a fim de garantir a não contaminação por compostos orgânicos, sendo mantidas sob refrigeração até o momento da extração (Bento, 2005).

2.2.1. Extração e Análise dos hidrocarbonetos

Os resultados das concentrações de hidrocarbonetos alifáticos foram obtidas através de cromatografia gasosa. A cromatografia, em resumo, é um processo físico-químico de separação dos constituintes de uma amostra (Rocha, 2002).

Os hidrocarbonetos foram extraídos no Laboratório de Oceanografia Geológica da Fundação Universidade Federal do Rio Grande, e as leituras cromatográficas foram realizadas no Laboratório de Cromatografia do Departamento de Química Orgânica do Instituto de Química e Geociências da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).

As amostras foram extraídas durante 8 horas com ciclos de aproximadamente cinco refluxos por hora em um extrator do tipo Soxhlet, utilizando uma mistura de 50% Diclorometano e 50% n-Hexano juntamente com pequenas lâminas de cobre, a fim de eliminarem-se possíveis interferentes sulfonados. Como padrão de extração fez-se uso do hexadeceno. Os extratos foram concentrados em evaporador rotativo até um volume aproximado de 1 ml e então submetidos a um cleanup, com a finalidade de separar a fração de hidrocarbonetos alifáticos dos demais compostos (UNEP, 1991). O padrão

cromatográfico utilizado foi uma mistura contendo 23 compostos alifáticos (C8 a C40), com carbonos pares e ímpares de C8 a C20 e, a partir deste, somente os carbonos pares.

Os hidrocarbonetos foram posteriormente determinados por cromatografia gasosa com detector de ionização por chama (GC/FID), Shimadzu GC-17®, utilizando uma coluna cromatográfica DB-5 (5% fenil, 95% metilsiloxano, 25m x 0,25mm I.D., 0,25 m de espessura do filme). Os hidrocarbonetos foram identificados e quantificados por comparação com o tempo de retenção do padrão cromatográfico submetido à análise via GC/FID, nas mesmas condições das amostras.

Foram feitas injeções de 1mL, dos extratos, utilizando uma rampa de aquecimento de 40°C-1min →20°C/mim→ 60°C→ 5°C/mim→ 290°C-5min→ 10°C/mim→ 300°C-10min, com um split de 1:50.

2.3. RESULTADOS

A recuperação do padrão de extração obtido variou entre 30 a 47%. Estes valores foram utilizados para recalcular as áreas, proporcionando uma equivalência a 100% de extração, evitando-se assim a influência da diferença nas extrações sobre os resultados. Na análise do padrão cromatográfico não foram detectados os compostos com 38 e 40 carbonos.

Nos cromatogramas foram detectados compostos no intervalo entre C13 e C36, não detectando os compostos de cadeias menores provavelmente devido ao processo de intemperização prévia.

A Fig. 19 mostra a presença de compostos com número ímpar de carbonos entre os tempos de 35 e 60 minutos de retenção, os quais não puderam ser qualificados devido ao fato de estarem ausentes no padrão cromatográfico utilizado.

Através desta mesma figura pode-se observar que as alturas dos picos diminuíram com o tempo das amostragens, indicando que a concentração dos compostos também diminuiu, uma vez que a área do pico está diretamente relacionada a este fator. Este decaimento das concentrações também é confirmado através da variação do somatório dos hidrocarbonetos estudados. Considerou-se a concentração obtida no tempo zero equivalente a 100%. Em 5h de exposição ao óleo, houve uma redução de 61,52% dos hidrocarbonetos. Após 24 horas, esta redução atingiu 77,13%, chegando a uma diminuição de 89% destes compostos após 48 horas do início do experimento.

Utilizando-se o mesmo critério frente cada composto, observa-se que na Fig. 20 todos apresentaram o mesmo comportamento de redução na concentração ao longo do tempo. Esta redução mostrou-se mais efetiva nas primeiras cinco horas, com decaimento maior que 50%. Os compostos de C13 a C16, apresentaram as quedas mais bruscas, sendo que o C13 já não foi mais detectado a partir de 5 horas e o C14 mostrou-se ausente em 48 horas. Os compostos de cadeias mais longas (C17 a C24) apresentaram decaimento muito semelhante independente do número de carbonos, com exceção para o C18, apenas nas primeiras 5 horas, onde apresentou uma redução mais efetiva, acima de 70%. Já os compostos mais pesados como o C26 e C28 apresentam uma redução menos efetiva no tempo 24 horas, porém nas 48 horas eles chegam a atingir um decaimento equivalente aos outros compostos de cadeias grandes.

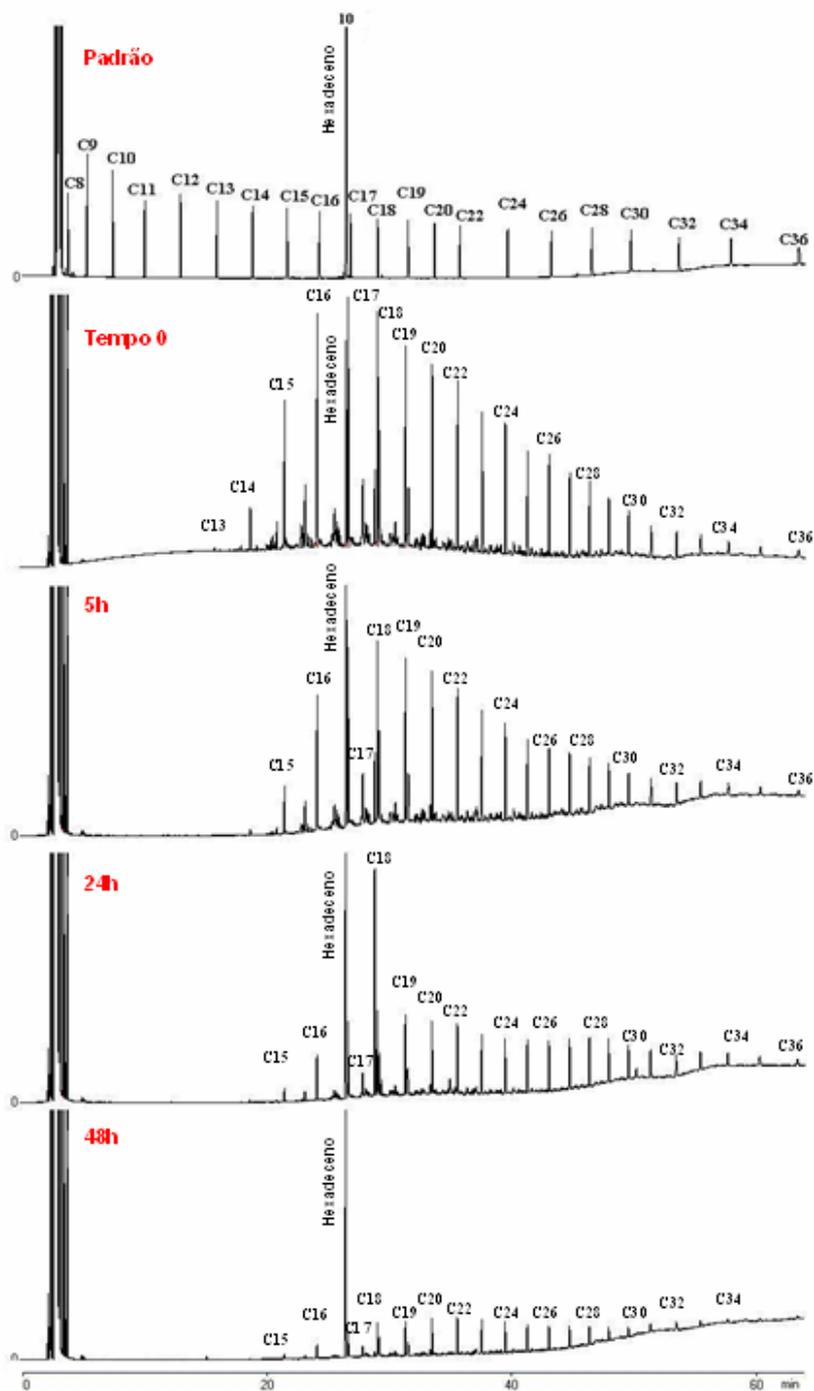
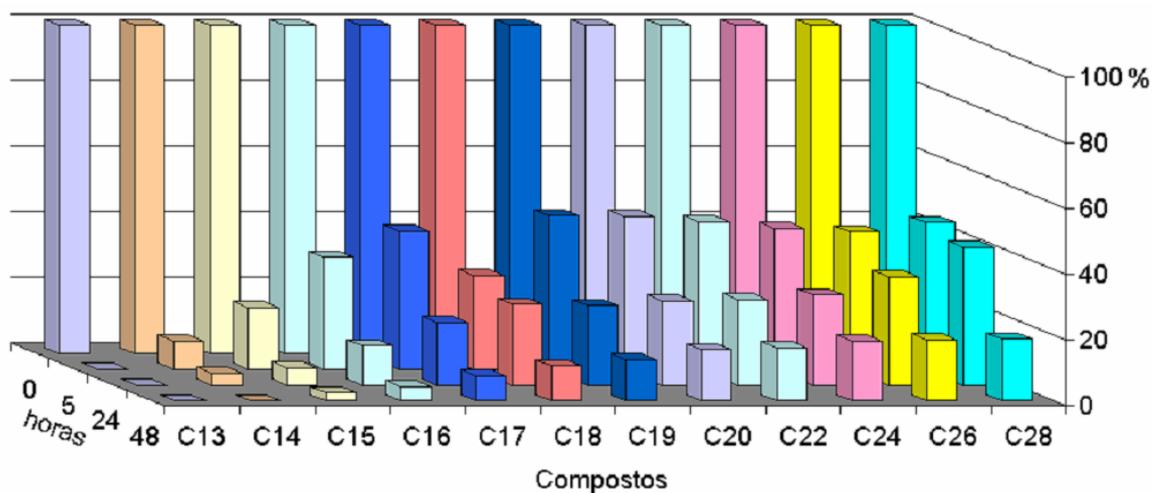


Figura 19: Cromatogramas dos hidrocarbonetos alifáticos presentes nas amostras dos tempos zero, 5h, 24h e 48h , além do padrão

Os compostos de menores cadeias de carbono (C8-C12) foram perdidos no período de intemperização prévia.

Observou-se um maior decaimento na concentração dos compostos de tamanho intermediário, de C13 a C16, demonstrando maior suscetibilidade aos processos de

intemperização. Com relação aos compostos de cadeias carbônicas maiores (C17 a C28) o decaimento apresentou-se muito semelhante e provavelmente eles respondam da mesma forma aos processos de intemperização sofridos, independente do seu tamanho.



← / ≡ →

Figura 20: Concentração dos hidrocarbonetos alifáticos observada nas primeiras 48 horas

3. EXPERIMENTOS DE CAMPO

Este trabalho teve por objetivo verificar a resposta da associação de macroinvertebrados bentônicos quando exposta a derrames de petróleo em praias arenosas expostas.

Objetivos específicos:

- a. Verificar os efeitos do óleo sobre a macrofauna como comportamento, atividade e mortalidade;
- b. Identificar as possíveis espécies sensíveis ou tolerantes ao impacto;
- c. Analisar a profundidade atingida pelo óleo nos estratos de sedimento.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos de campo foram realizados nas praias do Cassino (coordenadas 32° 15'642''S; 52°14'092''W), balneário do município de Rio Grande e Praia do Mar Grosso (coordenadas 040°84'56''S; 64°55'594''W), balneário do município de São José do Norte. Ambas as praias se localizam no extremo sul do Rio Grande do Sul (Fig. 1).

A costa do Rio Grande do Sul apresenta configuração praticamente retilínea, sem reentrâncias e irregularidades, o que lhe confere um caráter aberto, com praias expostas à ação de ondas de média e elevada energia. Esta exposição, associada à dominância de areias de granulação fina e uma amplitude de marés insignificante, faz com que as praias sejam caracterizadas, na maior parte do tempo, como dissipativas (Villwock, 1987).



Figura 1: Locais onde foram desenvolvidos os experimentos.
A: praia do Cassino. **B:** praia do Mar Grosso

Foram utilizados 12 litros de óleo para a realização deste trabalho. O estudo se baseou na simulação de um derrame de óleo, em pequena escala espacial. Foram adotados os procedimentos de segurança, conforme autorização emitida pela FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler/RS), documento número GRRG/030/2002.

O presente trabalho encaixa-se na categoria “abordagem experimental”, a qual pressupõe que a comunidade será sujeita a manipulação experimental. Neste caso, a área ocupada pela comunidade pode ser dividida em unidades amostrais replicadas, as quais receberão diferentes tratamentos (Milanelli, 1994).

Com o intuito de simular um derramamento real, o óleo foi colocado em recipientes contendo água do mar durante 24 h na proporção de 1 litro de óleo para 4 litros de água marinha, a fim de intemperizá-lo. Este procedimento visou reproduzir o tempo de permanência do óleo no mar (entre 2 e 24h) em eventos reais até atingir as praias (Milanelli, *op.cit.*). Durante as primeiras 24/48 horas do derrame de petróleo, a evaporação e dissolução produzem a maior mudança na composição do óleo causando uma perda rápida dos componentes mais leves, mais tóxicos e voláteis (Kennish, 1998).

Para cada um dos experimentos foram definidos três tratamentos: um impactado (TI), onde foi colocado óleo dentro de artefatos; um controle sem artefato (TC); e um controle com artefato (TA), sendo que este último teve a finalidade de verificar se existiu efeito do artefato sobre a macrofauna mesmo com a ausência do óleo. Cada tratamento teve 06 réplicas. Ao final de cada experimento foram obtidas 18 amostras da macrofauna bentônica. O óleo ficou retido em artefatos cilíndricos de PVC, devidamente alocados a fim de impedir o derrame do produto. Cada artefato possuía 29 cm de diâmetro e 1 m de altura (área 0,0660m²), os quais foram enterrados cerca de 30cm no sedimento (Fig. 2). Todos os tratamentos ficaram dispostos de modo aleatório e paralelamente à linha de costa. Em cada réplica do tratamento impactado (TI) foi acrescentado ½ litro de óleo intemperizado. Este volume é semelhante ao utilizado por Ewa-Oboho & Abby-Kalio (1994) onde os autores simularam um derrame de óleo num manguezal. Após 5 horas de exposição ao óleo, foi retirado todo o volume de sedimento

de cada um dos artefatos de pvc e em seguida foram peneiradas em malhas de ‘nylon’ de 0,5 mm de abertura. Na área controle as amostras foram coletadas com tubo de pvc do mesmo diâmetro dos tratamentos TA e TI. Após, estas amostras foram imediatamente encaminhadas “*in natura*” para o laboratório. Depois de identificados com microscópios estereoscópicos, os organismos foram separados em vivos e mortos, quantificados e suas densidades extrapoladas para número de indivíduos por m². Feito isso, foram conservados em potes plásticos em solução de etanol a 70%.

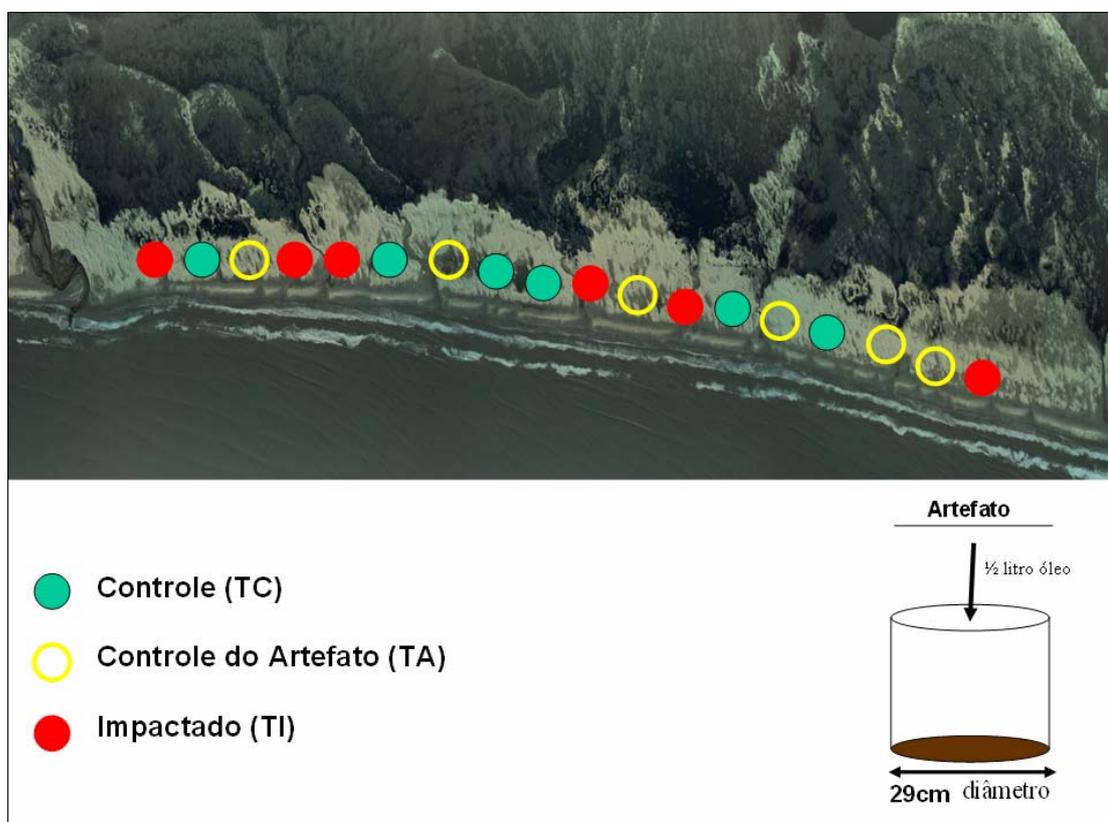


Figura 2: distribuição dos artefatos dos tratamentos TC, TA e TI

Foram efetuados 4 experimentos seguindo este desenho amostral, sendo dois na Praia do Mar Grosso, balneário do município de São José do Norte e dois na Praia do Cassino, balneário do município de Rio Grande.

Os experimentos foram desenvolvidos nas seguintes regiões da praia:

1º Experimento (12/02/2004): Praia do Mar Grosso - Mesolitoral Superior (E1)

2º Experimento (13/02/2004): Praia do Mar Grosso - Zona de Varrido (E2)

3º Experimento (27/04/2004): Praia do Cassino - Mesolitoral Superior (E3)

4º Experimento (19/05/2004): Praia do Cassino - Mesolitoral Superior (E4)

A zona de varrido ("swash zone") é definida como a região entre a máxima e a mínima excursão da onda sobre a face da praia (Hoefel, 1998) e o mesolitoral compreende a faixa com periódicas imersões e emersões devida as variações do nível do mar pelas marés ou pelas condições meteorológicas, podendo ou não incluir a zona de varrido (Borzzone, 1988) (Figura 3).

Pretendia-se desenvolver mais experimentos na zona de varrido, mas a dinâmica da praia dificultou o desenvolvimento do trabalho, principalmente no período da subida da maré. Fato este que acabou ocasionando a perda de três réplicas no tratamento artefato (TA). Por isso, todas as outras amostragens foram feitas no Mesolitoral Superior.

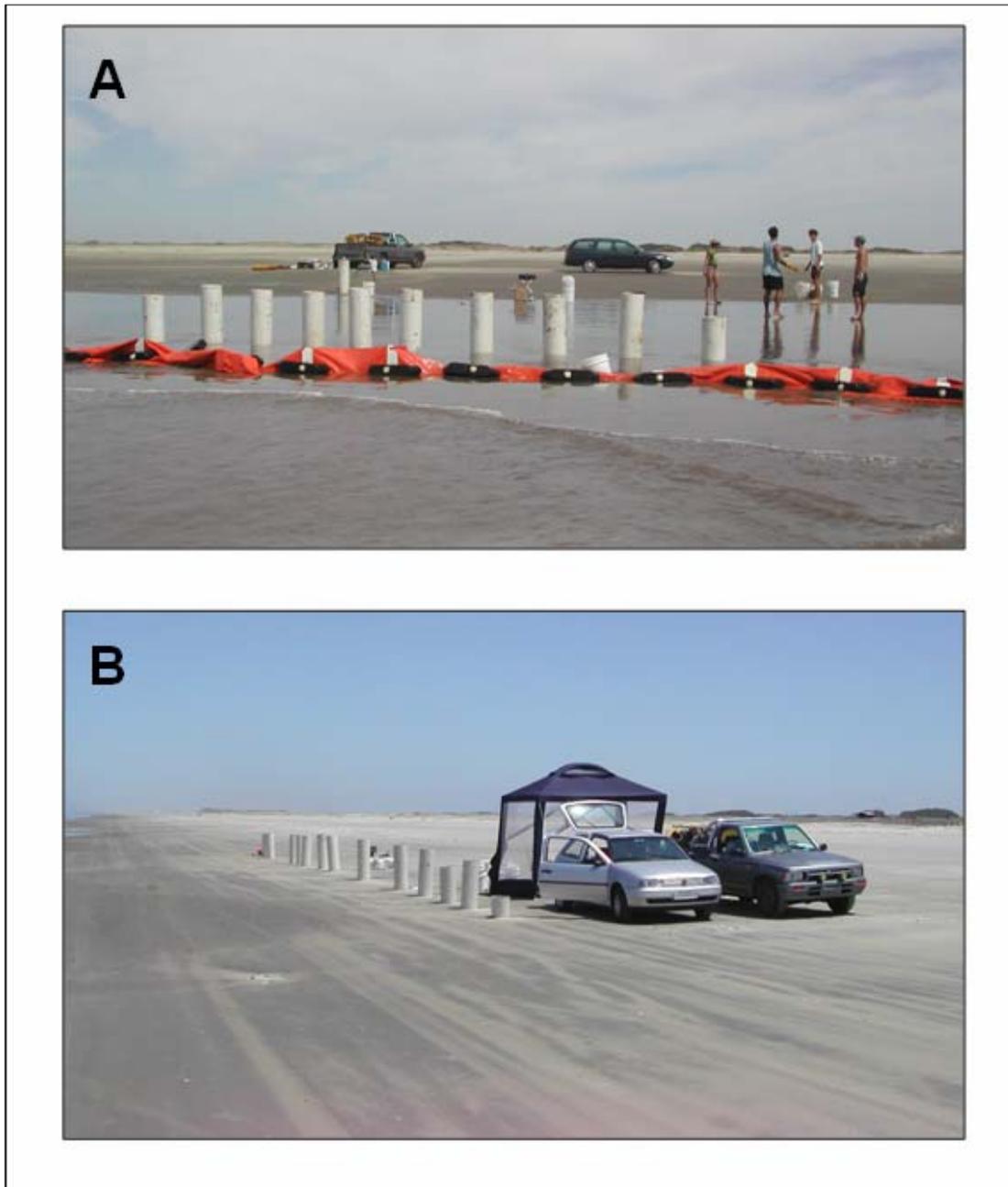


Figura 3: Regiões da praia onde foram desenvolvidos os experimentos.
A: zona de varrido; B: mesolitoral

No último experimento (E4), as amostras dos tratamentos foram divididas em três estratos: 0 a 2 cm, 2 a 5 cm e 5 a 10 cm. Esta divisão foi feita para verificar a distribuição vertical dos macroinvertebrados bentônicos e possibilitar uma relação com a profundidade atingida pelo óleo.

Em conjunto com as amostras biológicas, foram avaliados os seguintes parâmetros: Temperatura da água e do ar (°C), onde utilizou-se um termômetro de mercúrio graduado na escala Celsius; Salinidade da água: obtida com o auxílio de um refratômetro óptico; Granulometria: para cada uma das 4 saídas do experimento de campo foram coletadas 3 amostras de sedimento com o auxílio de um tubo extrator de PVC com 10cm de diâmetro, enterrado até 15cm de profundidade no substrato. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados e levados a laboratório, onde foram congeladas em freezer até o momento do processamento. A determinação das proporções de areia, silte e argila nos sedimentos foi feita por peneiramento de material grosseiro (diâmetro > 0,062), como proposto por Suguio (1973). As amostras foram analisadas no setor de Sedimentologia do Laboratório de Oceanografia Geológica da FURG; Teor de Matéria Orgânica no Sedimento: Para a determinação desta variável, foi utilizada a mesma amostra de sedimento retirada para granulometria.

3.2.1. Detecção da Profundidade Atingida pelo Óleo

Para verificar a profundidade atingida pelo óleo nos estratos de sedimento, foram obtidos, em cada um dos experimentos (E1, E2, E3 e E4) três amostras de sedimento no tratamento com óleo (tempo 5 h), com o auxílio de testemunhos de PVC com 25 cm de comprimento e 4,5 cm de diâmetro (área 0,00158 m²). Esses testemunhos foram enterrados dentro dos tubos utilizados no experimento de campo (Fig. 2), sendo que o volume de óleo foi o mesmo (½ litro). Depois de coletados, os testemunhos foram congelados até o momento de sua abertura. Após abertos, foram obtidas fotografias digitais dos mesmos, com o auxílio de uma câmera digital marca Sanyo Xacti VPC-S4

(8 megapixel). Estas imagens foram convertidas em negativo com o auxílio do software Adobe Photoshop[®]. Este procedimento facilitou observar mais claramente a profundidade atingida pelo óleo. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Oceanografia Geológica da FURG.

3.2.2. Análise dos Dados

O processamento dos dados granulométricos foi efetuado no *software* de análise estatística e textural Sysgran[®] 2.4 (Sistema de Análise Granulométrica). As amostras foram classificadas granulometricamente de acordo com o diagrama de Shepard (1954). O diagrama consiste em triângulos divididos em setores que representam classes distintas de uma classificação que é baseada na concentração de três variáveis, dispostas em cada vértice do triângulo. Este diagrama serve para caracterizar os sedimentos segundo os três componentes principais: areia, silte e argila.

Para identificar possíveis diferenças entre os três tratamentos (Impactado, Controle e Controle com Artefato) para cada espécie encontrada, os dados foram submetidos a testes de Análise de Variância (ANOVA, $p < 0,05$) realizados com o auxílio do programa Statistica[®]. Também foram verificados os pré-requisitos para a análise de variância (Normalidade, Homocedasticidade e Relação Média-Variância). Os dados foram transformados em $\text{Log}(X+1)$. A comparação das médias foi feita utilizando o Teste de Contraste de Tukey. As análises estatísticas foram feitas com os dados em percentagem. Para facilitar estas análises, somente foram incluídas as espécies registradas em, no mínimo, duas réplicas para cada tratamento. Em alguns casos, para verificar a comparação das médias entre tratamentos com diferentes números de

réplicas, devido a baixa densidade de algumas espécies, foi utilizado o Teste de Contraste de Tukey HSD for Unequal N.

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Parâmetros Abióticos

A salinidade variou de 26 no E4 a 30 no E2. Já a temperatura da água e do ar refletiram as condições estivais do momento da amostragem (verão) (Tabela 3).

Tabela 3: valores das variáveis ambientais encontrados nos experimentos E1, E2, E3 e E4 nos tratamentos controle (TC), controle do artefato (TA) e impactado (TI)

	Experimento			
	E1	E2	E3	E4
Salinidade	29	30	28	26
Temperatura da água	28°C	26°C	25°C	25°C
Temperatura do ar	30°C	27°C	27°C	26°C
Hora de colocada do óleo	11h	8h	8:30h	8:30h
Hora de retirada do óleo	16h	13h	13:30h	13:30h

As análises granulométricas mostraram que o tamanho de grão que o sedimento apresentou característica de areia fina a muito fina nos experimentos E1 e E2 (praia do Mar Grosso) e de areia fina a média nos experimentos E3 e E4 (praia do Cassino) (Tabela 4, Fig. 4). Os teores de matéria orgânica contidos no sedimento foram menos de 1% em todos os experimentos (Tabela 4).

Tabela 4: Granulometria e matéria orgânica do sedimento (Wentworth, 1922) obtida nos 4 experimentos (E1, E2, E3, e E4)

Tamanho do Grão (%)				
Areia				
Experimento	média	fina	muito fina	MO (%)
E1	2,227	50,94	46,709	0,467
E2	2,053	45,34	52,577	0,35
E3	13,997	77,907	7,847	0,920
E4	11,523	77,353	10,587	0,35

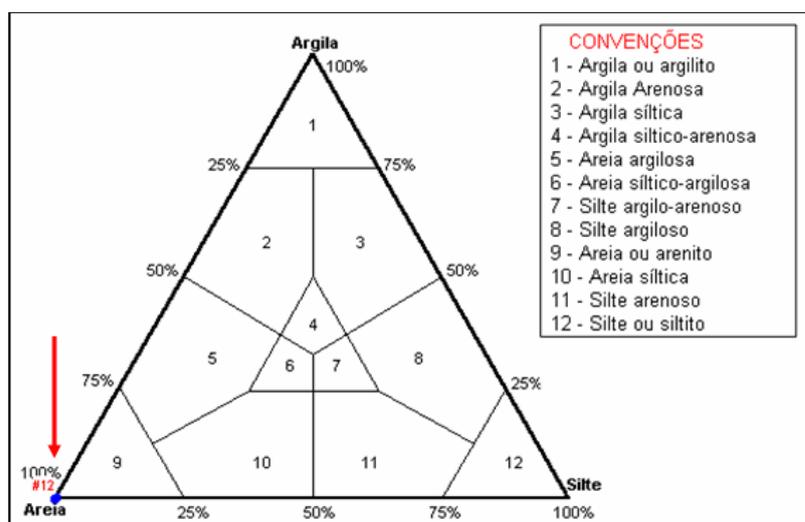


Figura 4: Diagrama de Shepard mostrando a classe de tamanho de grão que caracterizou os 4 experimentos de campo

3.3.1.1. Detecção da profundidade atingida pelo óleo

Com exceção do E2, em todos os outros experimentos (E1, E3 e E4) foi observada a penetração do óleo no sedimento. Esta penetração variou de 2cm (E1 e E3) a um máximo de 5cm de profundidade (E4).

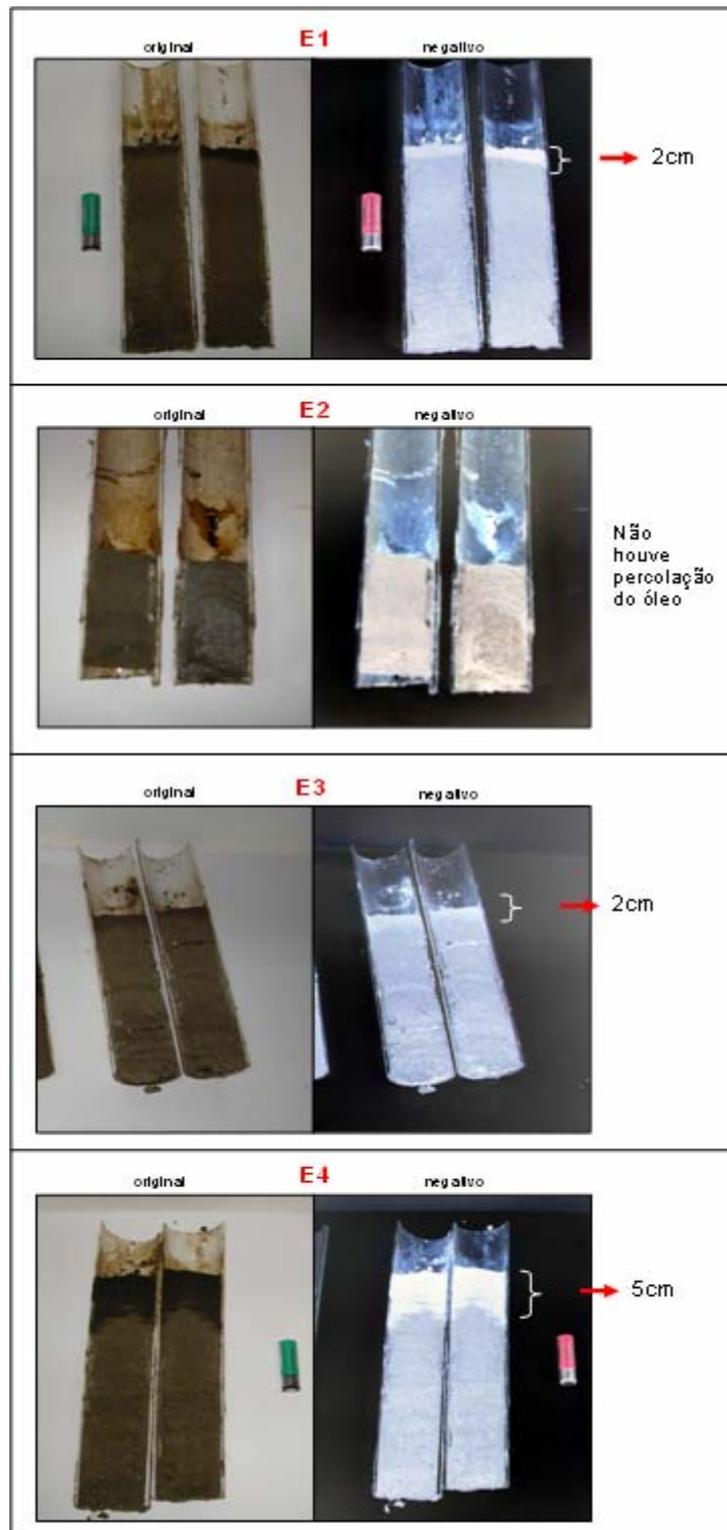


Figura 5: exemplos da penetração do óleo no sedimento, nos quatro experimentos (E1, E2, E3 e E4). À esquerda, a foto original e à direita a foto em negativo. Os valores, em centímetros, representam a profundidade atingida pelo óleo

3.3.2. Parâmetros Bióticos

Como os 4 experimentos desenvolvidos são independentes entre si, os resultados de cada um dos experimentos serão apresentados em separado.

3.3.2.1. Experimento 1 (Praia do Mar Grosso – Mesolitoral Superior)

Após 5h de exposição ao óleo foram encontradas 6 espécies da macrofauna bentônica, sendo 01 espécie de Amphipoda, 01 de Isopoda, 01 de Mollusca, 02 de Polychaeta, 01 de Nemertinea (Tabela 5).

Tabela 5: composição e densidade média da associação de macroinvertebrados bentônicos encontrados no E1 nos tratamentos controle (TC), controle do artefato (TA) e impactado (TI)

EXPERIMENTO 1													
Espécie	TC				TA				TI				
	Vivos		Mortos		Vivos		Mortos		Vivos		Mortos		
	Media	Dp	Media	Dp	Media	Dp	Media	Dp	Media	Dp	Media	Dp	
AMPHIPODA													
<i>Puelche orensanzi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6,12	0	0	
ISOPODA													
<i>Exciorolana armata</i>	202	248,16	80,67	109,05	66	116,89	17,67	36,42	48	44,42	10	12,25	
MOLLUSCA													
<i>Mesodesma mactroides</i>	3	6,12	0	0	0	0	0	0	0	7,74	10	18,17	
POLYCHAETA													
<i>Scolecopsis gaucha</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	5	12,55	0	0	
<i>Sigallium sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6,10	0	0	
NEMERTINEA													
	3	6,12	2,5	6,12	0	0	0	0	0	0	0	0	

O isópode *Exciorolana armata* representou 92 % do total de organismos, seguido pelo marisco branco *Mesodesma mactroides* (2,7 %).

Foi quantificado um total de 2.753 ind.m⁻². Destes, 1741 ind.m⁻² corresponderam ao tratamento TC, 499 ind.m⁻² ao tratamento TA e 513 ind.m⁻² ao tratamento TI.

Nos três tratamentos, houve a mortalidade do isópode *Exciorolana armata*. O percentual médio de organismos mortos de *E. armata* foi ligeiramente mais alto no TC (20,5%), do que no TI (19%) e no TA (11,2). Para os indivíduos de *M. mactroides* a

mortalidade só foi registrada no TI, com 38,24%. E Nemertinea somente apresentou mortalidade no TC (13,5%).

A única espécie que foi possível analisar estatisticamente foi o isópode *Excirolana armata*. Não foi encontrada diferença significativa para esta espécie entre os tratamentos TC, TA e TI (ANOVA, $p < 0,05$) (Fig. 6).

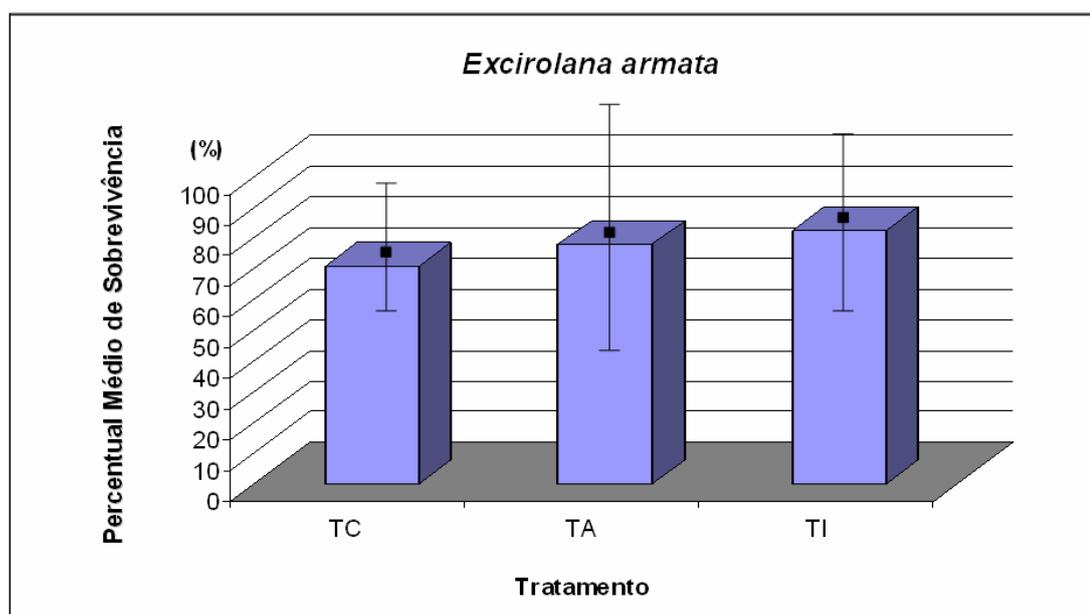


Figura 6: Percentual médio de organismos vivos de *Excirolana armata* encontrado nos tratamentos TC, TA, TI

3.3.2.2. Experimento 2 (Praia do Mar Grosso – Zona de Varrido)

No segundo experimento, foram amostradas 09 espécies de invertebrados bentônicos, que compreendem Amphipoda (01), Decapoda (02), Isopoda (01), Mollusca (03) e Polychaeta (03) (Tabela 6).

Tabela 6: composição e densidade média da associação de macroinvertebrados bentônicos encontrados no E2 nos tratamentos controle (TC), controle do artefato (TA) e impactado (TI)

EXPERIMENTO 2												
Espécie	TC				TA				TI			
	Vivos		Mortos		Vivos		Mortos		Vivos		Mortos	
	Media	Dp	Media	Dp	Media	Dp	Media	Dp	Media	Dp	Media	Dp
AMPHIPODA												
<i>Puelche orensanzi</i>	78	134,83	2,5	6,12	0	0	0	0	0	0	0	0
DECAPODA												
<i>Emerita brasiliensis</i>	3	6,12	0	0	131	155,61	106	114,24	240	269,11	113,55	194,47
<i>Pinixxa patagoniensis</i>	18	43,27	0	0	25	31,79	10	17,32	18	22,46	0	0
ISOPODA												
<i>Excirolana armata</i>	0	0	0	0	0	0	0	5	7,75	0	0	0
MOLLUSCA												
<i>Donax gemmula</i>	3	6,12	0	0	5	8,66	0	0	18	14,75	0	0
<i>Donax hanleyanus</i>	15	16,43	5	12,25	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mesodesma mactroides</i>	23	30,13	0	0	15	15	15	25,98	30	53,22	10,05	15,57
POLYCHAETA												
<i>Scoelepis gaucha</i>	3	6,12	0	0	0	0	0	0	5	7,75	0	0
<i>Sigallium sp.</i>	3	6,12	0	0	5	8,66	0	0	0	0	0	0

As espécies mais representativas foram o decapoda *Emerita brasiliensis* com 64% do total de indivíduos amostrados e o molusco *Mesodesma mactroides*, com 10 % do total.

Foi encontrado um total de 4.477 ind.m⁻², sendo 907 ind.m⁻² no tratamento TC, 937 ind.m⁻² no tratamento TA e 2.633 ind.m⁻² no tratamento TI.

O maior registro de mortalidade foi em TA (3 espécies), sendo que o mais elevado foi o crustáceo *Emerita brasiliensis* (43,28%).

Estatisticamente, não houve diferença entre os tratamentos TC, TA e TI para o molusco *Mesodesma mactroides* (ANOVA, p < 0,05), onde TC teve 100% de indivíduos vivos, TA apresentou 66% e TI teve 62% de sobrevivência (Fig. 7).

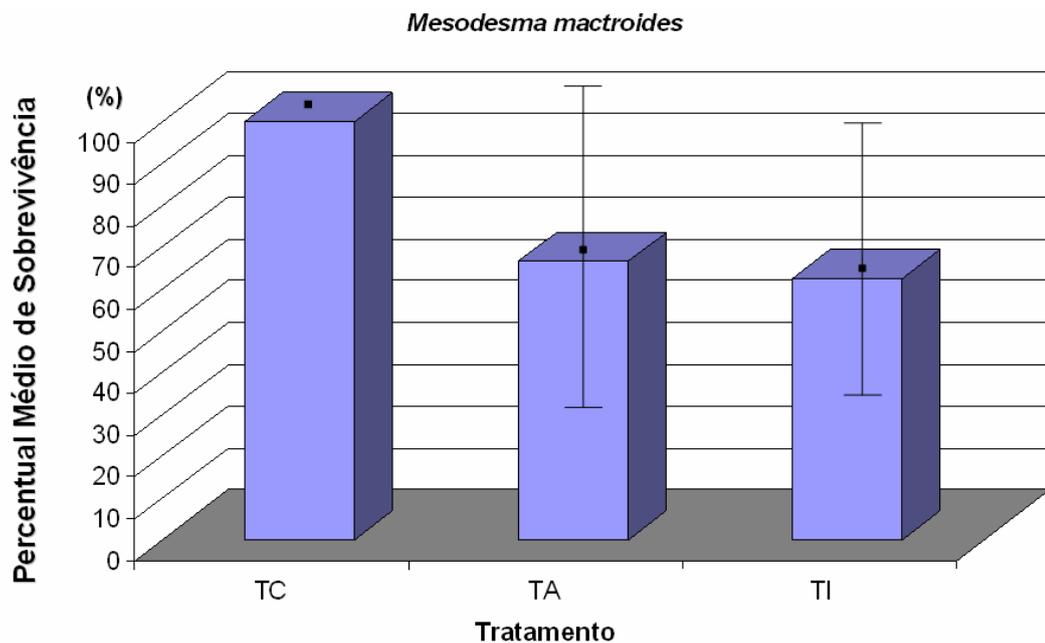


Figura 7: Percentual médio de organismos vivos de *Mesodesma mactroides* encontrados nos tratamentos TC, TA, TI

3.3.2.3. Experimento 3 (Praia do Cassino – Mesolitoral Superior)

O poliqueta *Euzonus furciferus* representou 44 % dos organismos encontrados, seguido pelo anfípode *Platyischnopidae* com 25 %. Foram amostradas 10 espécies da macrofauna, compostas por Amphipoda (04), Decapoda (01), Isopoda (01), Mollusca (02) e Polychaeta (02) (Tabela 7).

Tabela 7: composição e densidade média da associação de macroinvertebrados bentônicos encontrados no E3 nos tratamentos controle (TC), controle do artefato (TA) e impactado (TI)

EXPERIMENTO 3												
Espécie	TC				TA				TI			
	Vivos		Mortos		Vivos		Mortos		Vivos		Mortos	
	Media	Dp	Media	Dp	Media	Dp	Media	Dp	Media	Dp	Media	Dp
AMPHIPODA												
<i>Gamarídeo</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6,12	2,5	6,12
<i>Phoxocephalopsis sp.</i>	18	30,99	2,5	6,12	28	29,44	12,67	24,43	18	36,42	5	7,75
<i>Puelche orensanzi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	35	72,23	5	12,25
Platyschnopidae	93	118,66	17,67	36,42	262	258,12	35,17	44,54	76	156,64	12,67	24,43
DECAPODA												
<i>Emerita brasiliensis</i>	0	0	0	0	5	7,75	0	0	40	98,80	0	0
ISOPODA												
<i>Excirolana armata</i>	73	67,48	0	0	109	105,68	15,17	25,46	129	77,67	5	7,75
MOLLUSCA												
<i>Donax gemmula</i>	0	0	0	0	5	7,75	0	0	3	6,12	0	0
<i>Mesodesma mactroides</i>	89	85,07	7,5	12,55	10	18,17	2,5	6,12	28	22,38	7,5	12,55
POLYCHAETA												
<i>Euzonus furciferus</i>	121	176,98	15	18,97	159	157,57	17,5	19,94	462	424,24	45,5	36,00
<i>Sigalium sp.</i>	3	6,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Foi encontrado um total de 11.855 ind.m⁻², com 2.638 ind.m⁻² no tratamento TC, 3.964 ind.m⁻² no tratamento TA e 5.253 ind.m⁻² no tratamento TI. O tratamento impactado (TI) foi o que apresentou a mortalidade no maior número de espécies (7 espécies).

Não houve diferença estatística entre os tratamentos TC, TA, e TI para as espécies mais abundantes encontradas neste experimento (ANOVA, p < 0,05) (Fig. 8).

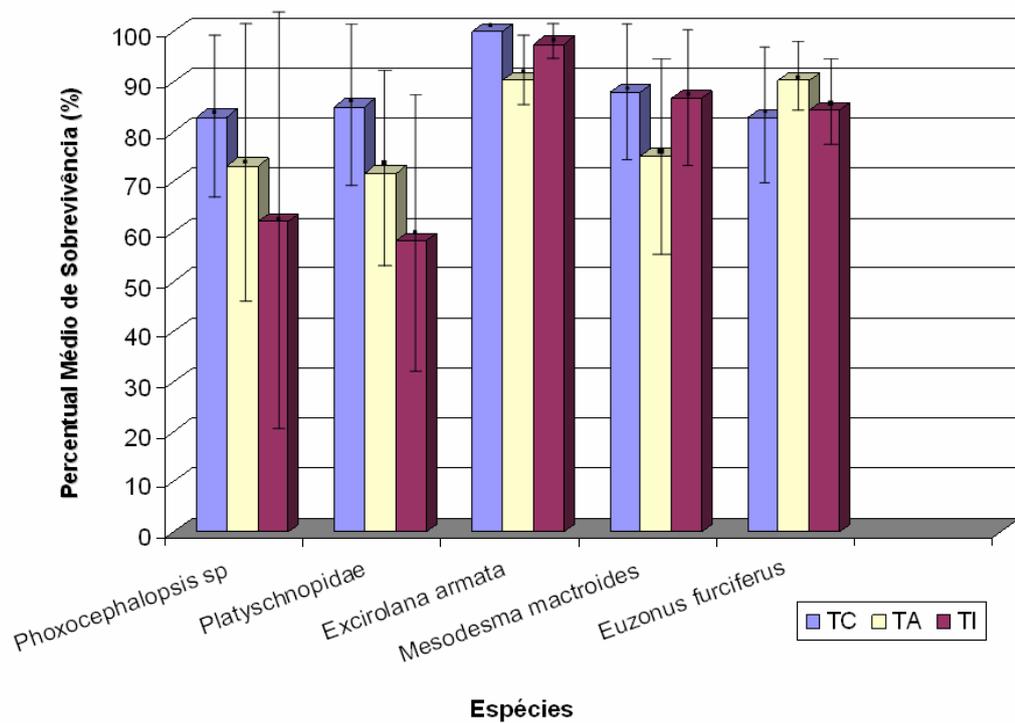


Figura 8: Percentual médio de organismos vivos das espécies mais abundantes no E3, encontrados nos tratamentos TC, TA e TI.

3.3.2.4. Experimento 4 (Praia do Cassino - Mesolitoral Superior)

O último experimento foi dominado pelo isópode *Excirolana armata* (52 %) e pelo poliqueta *Euzonus furciferus*, com 44 % do total de organismos (Tabela 8).

Tabela 8: composição e densidade média da associação de macroinvertebrados bentônicos encontrados no E4 nos tratamentos controle (TC), controle do artefato (TA) e impactado (TI)

EXPERIMENTO 4												
Espécie	TC				TA				TI			
	Vivos		Mortos		Vivos		Mortos		Vivos		Mortos	
	Media	Dp	Media	Dp	Media	Dp	Media	Dp	Media	Dp	Media	Dp
AMPHIPODA												
<i>Phoxocephalopsis sp.</i>	0	0	0	0	3	6,12	0	0	0	0	0	0
DECAPODA												
<i>Emerita brasiliensis</i>	3	6,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ISOPODA												
<i>Excireolana armata</i>	338	156,57	0	0	202	99,93	5	7,75	202	86,57	2,5	6,12
MOLLUSCA												
<i>Donax hanleyanus</i>	3	6,12	0	0	0	0	0	0	5	7,75	0	0
<i>Mesodesma mactroides</i>	0	0	0	0	10	15,49	0	0	25	48,46	0	0
POLYCHAETA												
<i>Euzonus furciferus</i>	338	118,40	2,5	6,12	225	91,51	0	0	56	24,99	10	18,17
<i>Scolecipis gaúcha</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	12,25

Foram encontradas 07 espécies da macrofauna, constituídas por 01 espécie de Amphipoda, 01 de Decapoda, 01 de Isopoda, 02 de Mollusca e 02 de Polychaeta. Somadas, todas estas espécies tiveram 8.602 ind.m⁻², com 4.105 ind.m⁻² no tratamento TC, 2.666 ind.m⁻² no tratamento TA e 1.831 ind.m⁻² no tratamento TI.

O maior grau de mortalidade foi observado em TI (3 espécies), representadas pelas espécies *Euzonus furciferus* (6,81 %), *Excireolana armata* (5,2 %) e *Scolecipis gaúcha* (1,17 %).

Não foi encontrada diferença significativa (ANOVA, p < 0,05) na sobrevivência, entre os tratamentos, para as duas espécies mais representativas deste experimento: *Excireolana armata* e *Euzonus furciferus* (Fig. 9).

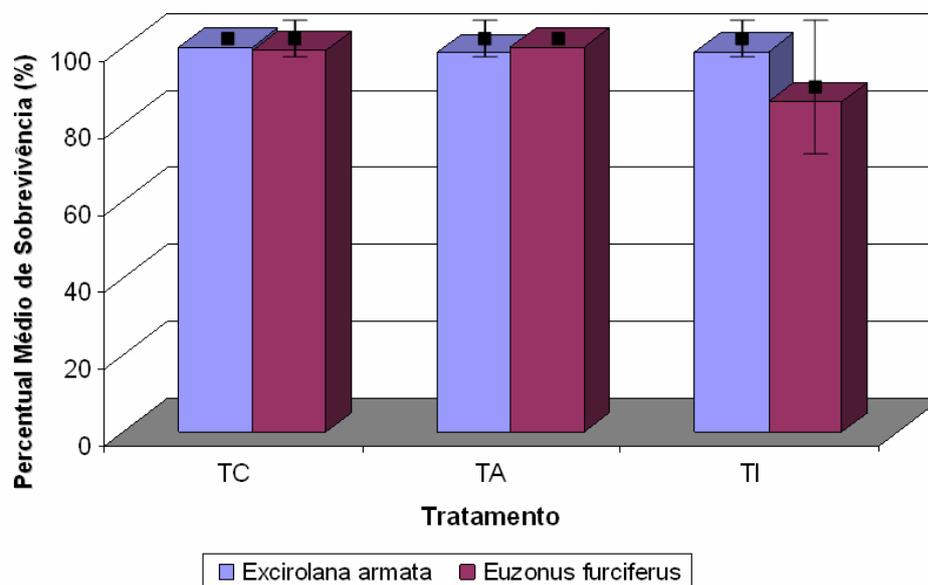


Figura 9: Percentual médio de organismos vivos das espécies de *Excirrolana armata* e *Euzonus furciferus* encontrados nos tratamentos TC, TA e TI

3.3.2.5. Análise da Distribuição Vertical da Macrofauna Bentônica

Na análise da distribuição da macrofauna bentônica nos estratos 0 - 2 cm, 2 - 5 cm e 5 - 10 cm somente foi possível verificar a distribuição do isópode *Excirrolana armata* e do poliqueta *Euzonus furciferus*, pois, juntos, eles representaram 96% do total de indivíduos amostrados. Caso fossem inseridas outras espécies nesta análise poderia haver superestimação, pois em alguns casos, ocorreu somente um indivíduo para cada espécie, num determinado estrato.

O isópode *E. armata* teve a sua maior concentração nos estratos superiores (0 - 2 cm com 38 % e 2 - 5 cm com 40 %) do que o estrato mais profundo (5 - 10 cm), sendo que esta evidência foi comprovada estatisticamente (ANOVA, $p < 0,05$). Já o poliqueta *E. furciferus* apresentou maior distribuição no estrato inferior (5 - 10 cm - 54,4 %) do

que os estratos superiores (0 – 2 cm e 2 – 5 cm). No entanto, esta diferença não foi significativa ($p < 0,05$) (Fig. 10).

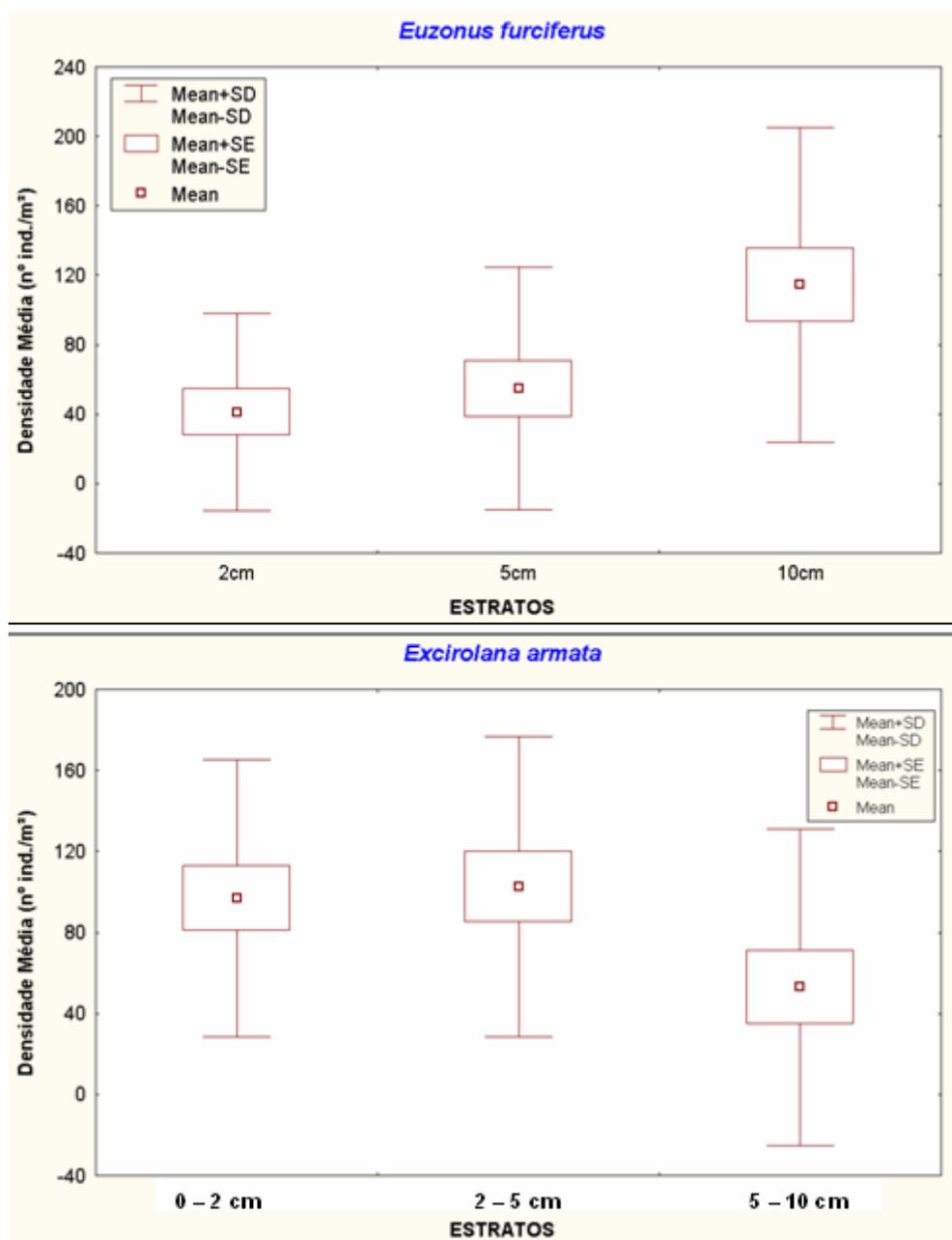


Figura 10: Distribuição das espécies *Euzonus furciferus* e *Excirolana armata* nos estratos 0 - 2 cm, 2 - 5 cm e 5 - 10 cm de sedimento

4. EXPERIMENTOS DE LABORATÓRIO: TESTE DE SOBREVIVÊNCIA DA MACROFAUNA

4.1. INTRODUÇÃO

A dinâmica da praia dificultou o desenvolvimento dos trabalhos de campo na zona costeira, sendo que o tempo máximo na realização dos experimentos de campo foi de 5 horas. Um tempo maior poderia ocasionar a perda das réplicas devido a subida da maré. No entanto, quando ocorrem derrames de petróleo reais, o tempo de permanência do óleo na praia é muito variável, podendo ficar horas, meses ou anos (Gundlach & Hayes, 1978; Kingston, 2002). Em função disto, foram propostos experimentos de laboratório com a finalidade de analisar a resposta das guildas mais representativas no experimento de campo, ao longo do tempo, quando expostas ao óleo.

Centenas de espécies marinhas têm sido utilizadas em testes de toxicidade, no entanto, somente alguns testes têm sido considerados padrões para incorporar os requerimentos das várias legislações ambientais (Lopes, 1997). Os experimentos de laboratório visaram complementar os experimentos de campo desenvolvidos nas praias do Cassino e Mar Grosso. A intenção não foi definir quais seriam as espécies ideais para estudos de testes de toxicidade, uma vez que não utilizamos padrões laboratoriais para tal, mas sim observar quais seriam aquelas espécies, dentre as mais representativas nas praias amostradas, mais sensíveis ou tolerantes a um derrame de óleo, a fim de servirem de referência para futuros estudos de diagnóstico e avaliação de áreas impactadas por derrames de óleo.

De acordo com Moore & McLaughlin (1978) para programas de monitoramento, a atenção deve ser voltada nas espécies mais abundantes e abrangentes, por isso estes

experimentos de laboratório foram focados nestas três espécies: no bivalvo suspensívoro, migrador mareal, cavador profundo *Mesodesma mactroides*; no poliqueta cavador profundo comedor de depósito *Euzonus furciferus*; e no isópode necrófago *Excirolana armata*, que se desloca no mesolitoral em busca do alimento. Estas espécies foram escolhidas porque, além de abundantes e características das praias arenosas do Atlântico Sul Ocidental, integram três guildas tróficas nas quais utilizam o espaço e obtém seu alimento de forma distinta no intermareal de praias arenosas.

4.2. Efeitos do Óleo sobre *Mesodesma mactroides*

Mesodesma mactroides é um bivalvo pertencente à família Mesodesmatidae. Estes organismos são característicos no mesolitoral de praias arenosas de regimes subtropicais e temperados onde, geralmente, são os organismos dominantes (Marins, 1993). Este organismo possui hábito alimentar suspensívoro-filtrador, ou seja, alimentam-se de partículas orgânicas (fitoplâncton, detritos, e outros elementos) presentes na água do mar, a qual é inalada através de uma estrutura tubular (sifão) e exalada por outra estrutura semelhante, denominada sifão exalante (Dame, 1996).

4.2.1. MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1.1. Parâmetros Bióticos

Para este trabalho, foram definidos dois tratamentos: um impactado (I) e um controle (C), com 4 réplicas cada. Para isto, foram confeccionados 8 aquários de vidro,

cada um com as seguintes dimensões: 28,5cm (comprimento), 28,5cm (largura) e 25cm (altura), com volume estimado de 20 litros (Fig. 11).

Em ambos os tratamentos foram colocados sedimento defaunado oriundo da praia do Cassino preenchendo aproximadamente 1/3 do volume do aquário. Depois foi adicionada água marinha até o nível de 5cm acima do sedimento. Todos os aquários foram oxigenados através de compressores de ar. Em cada aquário foram colocados 10 indivíduos de *Mesodesma mactroides* coletados na praia do Cassino. Logo em seguida, no tratamento impactado, foi acrescentado 575 mL de óleo intemperizado, formando uma fina película de óleo de 0,5 cm acima da linha da água. Esta espécie foi submetida a diferentes tempos de exposição ao óleo (5 h, 24 h, 48 h, 120 h (5dias) e 168 h (7dias)), sendo que estes tempos foram independentes. Após cada período de exposição, todo conteúdo do aquário foi retirado para a quantificação dos organismos vivos e mortos.

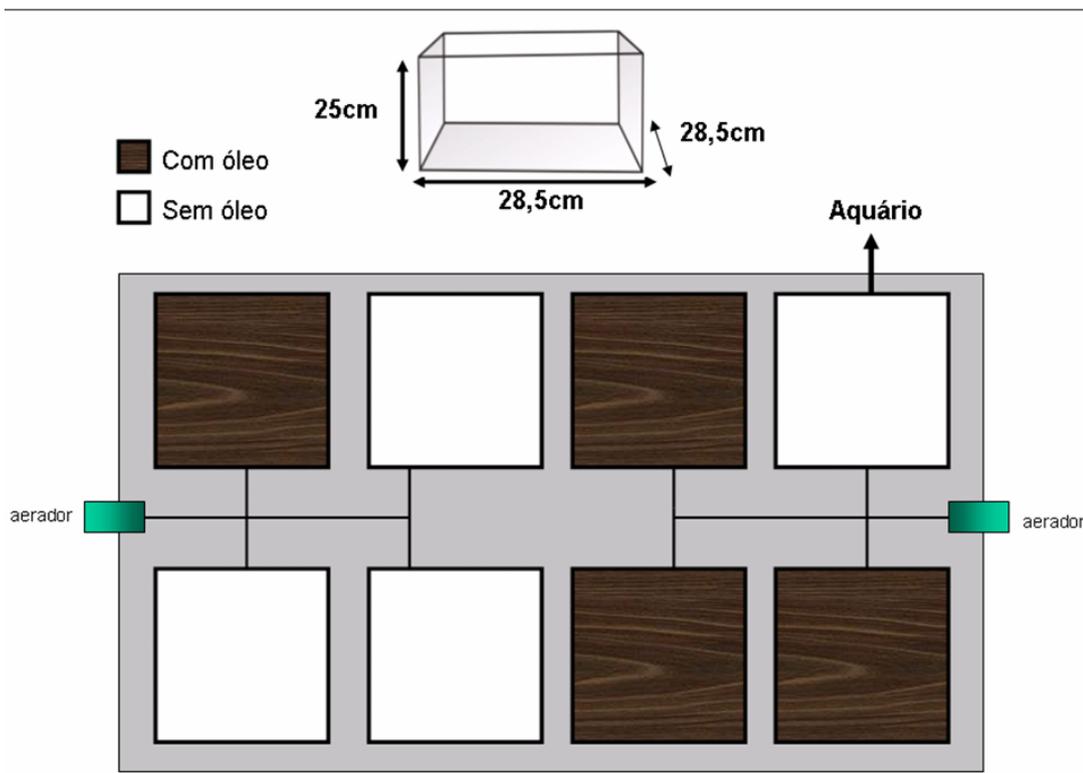


Figura 11: desenho experimental do experimento de laboratório para o molusco *Mesodesma mactroides*

Após estas observações, para cada período de exposição ao óleo, os indivíduos de *M. mactroides* de ambos os tratamentos foram recolocados no sedimento (sem óleo) para verificar o tempo de enterramento de cada organismo. Este procedimento visou analisar a possibilidade se o óleo afeta na atividade de locomoção da espécie. Os organismos que levaram >5 min para se enterrarem, foram definidos como “debilitados”.

Com a finalidade de verificar a presença ou não de óleo dentro dos sifões de *M. mactroides*, foram separados 4 exemplares deste molusco nos tempos de exposição ao óleo 5h e 120h, do tratamento impactado. Para isso, primeiramente as valvas dos indivíduos foram abertas com auxílio de estilete e, em seguida, os exemplares foram

colocados em microscópio estereoscópico, onde foi feito corte longitudinal nos sifões dos indivíduos para averiguar se apresentavam resquícios de óleo dentro dos sifões.

4.2.1.2 Parâmetros Abióticos

4.2.1.2.1. Granulometria

Para cada um dos 5 tempos de exposição do óleo foram coletadas, em uma mesma região da praia, 2 amostras de sedimento com o auxílio de um tubo extrator de PVC com 10cm de diâmetro, enterrado até 15 cm de profundidade no substrato. Em seguida, foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados e levados ao laboratório, onde foram congeladas em freezer até o momento da análise. A determinação das proporções de areia, silte e argila nos sedimentos foram feitas por peneiramento de material grosseiro (diâmetro > 0,062), como proposto por Suguio (1973), sendo classificadas de acordo com a escala de Wentworth (1922).

4.2.1.2.2. Análise dos Dados

Para verificar possíveis diferenças entre os tratamentos Impactado e Controle, os dados foram submetidos a testes de Análise de Variância (ANOVA - $p < 0,05$) realizados com o auxílio do programa Statistica[®], sendo previamente verificados os pré-requisitos para a análise de variância (Normalidade, Homocedasticidade e Relação Média-Variância). A comparação das médias foi feita utilizando o Teste de Contraste de Tukey.

4.2.2. RESULTADOS

4.2.2.1. Parâmetros Abióticos

As análises granulométricas mostraram o predomínio de areia fina a média (Tabela 9, Fig. 12). Os teores de matéria orgânica do sedimento também foram semelhantes e menores que 1% (Tabela 9).

Tabela 9: Granulometria e matéria orgânica do sedimento (Wentworth, 1922) obtida nos 5 tempos de exposição ao óleo no molusco *Mesodesma mactroides*

Tamanho do Grão (%)				
Tempo	Areia			MO (%)
	média	fina	muito fina	
5h	14,400	74,835	10,69	0,300
24h	15,756	73,21	10,790	0,06
48h	12,940	74,580	11,970	0,400
120h	13,820	74,120	11,660	0,15
168h	13,4	73,89	12,47	0,35

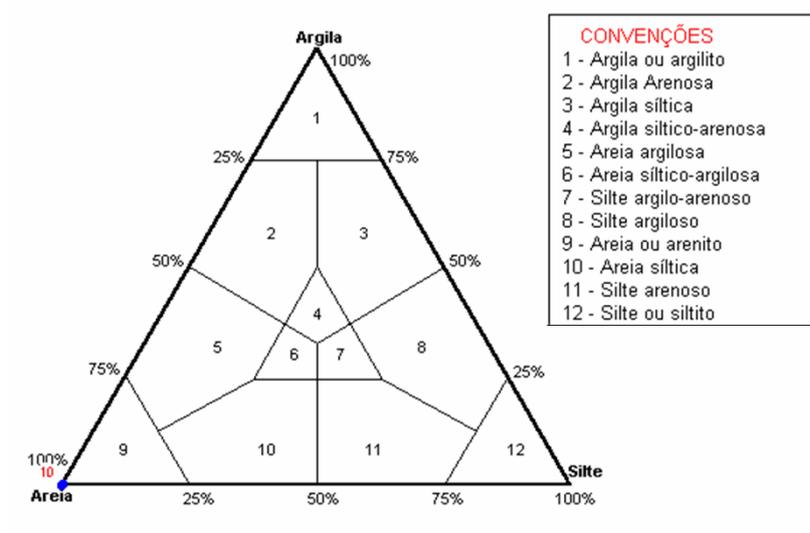


Figura 12: Diagrama de Shepard mostrando a classe de tamanho de grão que mais caracterizou os 5 tempos de exposição do óleo

4.2.2.2. Parâmetros Bióticos

4.2.2.2.1. Teste de Sobrevivência de *Mesodesma mactroides*

Em 5 h de exposição ao óleo, não foi encontrada mortalidade do molusco *Mesodesma mactroides* tanto no tratamento controle quanto no impactado (Fig. 13). A partir de 24 h houve mortalidade apenas no tratamento impactado (5 %). Em 48 h de exposição do óleo, 10 % dos organismos no tratamento impactado apresentaram mortalidade e no controle 2,5 %. Já em 120 h, houve a mortalidade de 47 % dos organismos no tratamento impactado e nenhuma no controle. Em 168 h e último dia de exposição do óleo, 100 % dos organismos foram registrados mortos no tratamento impacto e apenas 5 % no controle. Interessante observar que neste último dia todos os organismos mortos não apresentavam tecidos e órgãos, restando somente a valvas.

A mortalidade no tratamento impacto em 168 h foi significativamente diferente (ANOVA, $p < 0,05$) tanto em comparação com o tratamento controle deste mesmo dia, quanto em comparação com os tratamentos controle e impactada dos tempos anteriores (5 h, 24 h, 48 h e 120 h). No tempo 120 h, no tratamento impactado, também apresentou mortalidade estatisticamente significativa ($p < 0,05$), na comparação entre os tratamentos deste dia e também em comparação aos outros tratamentos de tempos diferentes (5 h, 24 h, 48 h e 168 h). Já os tempos 5 h, 24 h e 48 h apresentaram uma baixa mortalidade nos tratamentos com óleo, não sendo significativa.

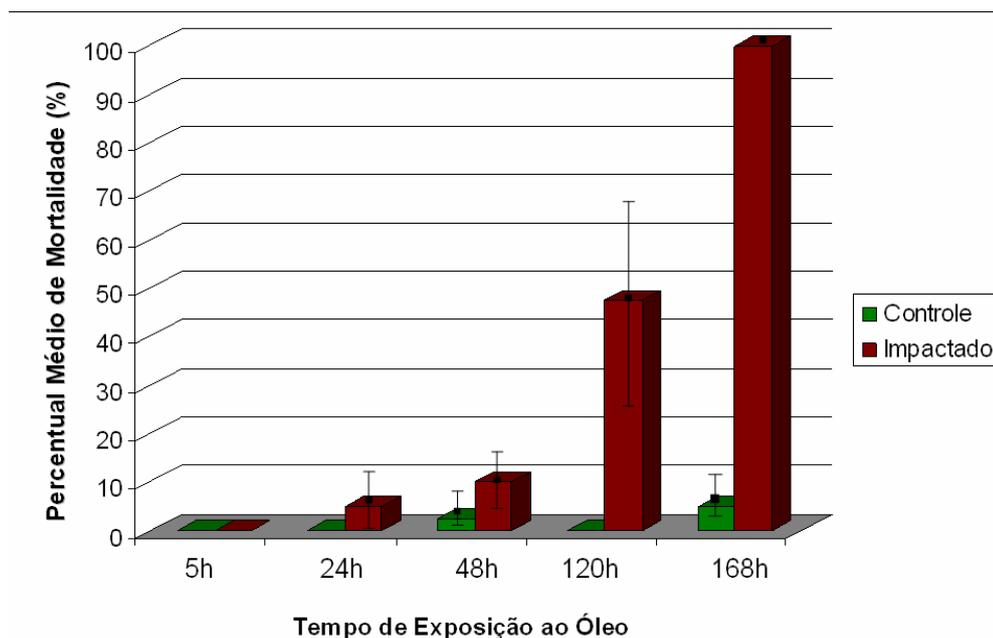


Figura 13: Percentual médio de organismos mortos de *Mesodesma mactroides* encontrados nos tratamentos controle e impactado ao longo do experimento

4.2.2.2.2. Tempo de Enterramento de *Mesodesma mactroides*

Em 5h de exposição ao óleo, os tempos médios de enterramento de *M. mactroides*, tanto no tratamento controle, quanto no impactado, foram iguais (1min 5s). Já em 24 h esta diferença foi maior. Neste, o tempo médio que o marisco levou para se enterrar no tratamento controle foi de 1 min, e no tratamento impactado 1min 37s. Esta diferença manteve-se no tempo seguinte (48 h) com 1min 29s na área controle e 1min 47s no tratamento impactado. Em 120 h, o tempo que o marisco levou para se enterrar no tratamento impactado (2min 22s) foi bem superior ao do tratamento controle (1min 21s). No último dia de amostragem (168 h) não foi possível comparar os tempos de enterramento, uma vez que não foi encontrado indivíduo vivo na área impactada (Fig. 14).

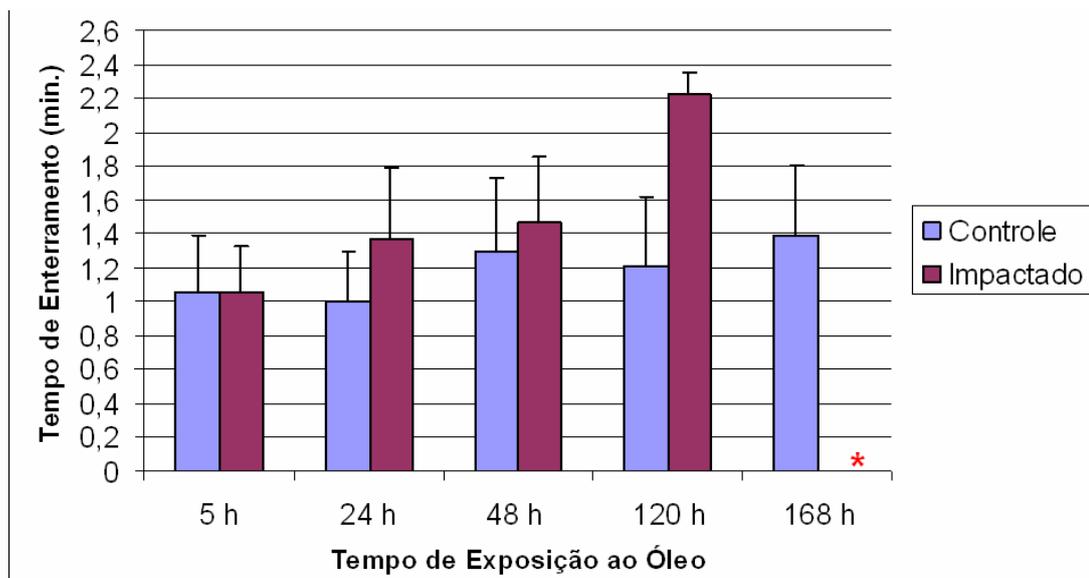


Figura 14: Tempo de Enterramento (min) do molusco *Mesodesma mactroides* entre os tratamentos em todos os tempos de exposição ao óleo. * 100 % de mortalidade

4.2.2.2.3. Relação Número de Indivíduos Debilitados X Número de Indivíduos Mortos

Na área controle, não foram encontrados organismos debilitados, ou seja, aqueles indivíduos que não conseguiram se enterrar no sedimento em, no mínimo, 5 minutos. No tratamento impactado, a partir do 48h de exposição ao óleo, apesar da mortalidade ter sido considerada pequena (4 indivíduos), o número de organismos debilitados aumentou consideravelmente, chegando a 50 % do número total de organismos amostrados (Fig. 15). No tempo 120 h, o número de debilitados diminuiu (15 indivíduos), e ocorreu um aumento da mortalidade (21) que, somados, representaram 90 % do número total de organismos amostrados. No último dia de exposição do óleo (168 h) todos os organismos estavam mortos.

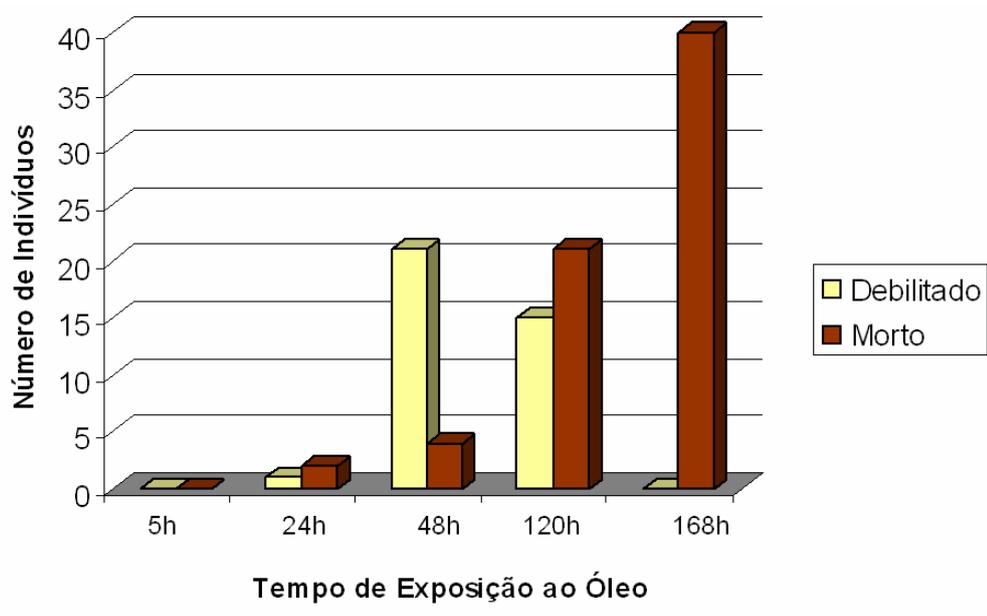


Figura 15: Número de indivíduos de *M. mactroides* mortos e debilitados no tratamento impactado em todos os tempos de exposição ao óleo

Não foi evidenciada a presença de óleo dentro dos sífões de *Mesodesma. mactroides* nos dois tempos analisados (5h e 120h) (Fig. 16).

IMPACTADO



CONTROLE



Figura 16 . Exemplares de *Mesodesma mactroides* no tempo 120 h nos dois tratamentos. A coloração mais escura são as glândulas digestivas (Ribeiro-Costa & Rocha, 2002)

4.3. Efeitos do Óleo sobre *Euzonus furciferus* e *Excirolana armata*

O poliqueta *Euzonus furciferus* faz parte da ordem Opheliida (Rupert & Barnes, 1996). São cavadores errantes, típicos da região do mesolitoral (Gianuca, 1983).

Já a espécie *Excirolana armata* faz parte da ordem Isopoda, sendo considerada a segunda maior ordem dos Crustáceos. São organismos dorsoventralmente achatados, tendo olhos compostos sésseis e sem carapaça (Rupert & Barnes, 1996).

4.3.1. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização destes experimentos, foram utilizados 8 recipientes de 15 cm de altura, 10 cm de diâmetro, com volume de 1 litro, sendo 4 réplicas para cada tratamento (impactado e controle). Nestes, foi colocado sedimento defaunado coletado na praia do Cassino preenchendo aproximadamente 10 cm de altura do recipiente. Depois foi adicionada água marinha até o nível de 5 cm acima do sedimento. Todos os recipientes foram oxigenados através de compressores de ar. Em cada recipiente foram colocados 10 indivíduos de *Euzonus furciferus* coletados na praia do Cassino, na região do mesolitoral. Após o enterramento dos indivíduos, na área impactada, foi acrescentado 59mL de óleo intemperizado. Esta espécie foi submetida a diferentes períodos de exposição ao óleo (5 h, 24 h, 48 h, 120 h e 168 h). Após cada tempo de exposição, todos os organismos do aquário foram retirados para a quantificação dos vivos e mortos.

Foi utilizada a mesma metodologia na realização do experimento com o isópode *Excirolana armata*.

Os dados de granulometria são os mesmos do experimento com *M. mactroides*. Além dos dados granulométricos, foram obtidos dados de temperatura da água e do ar (°C) e também salinidade.

4.3.2. RESULTADOS

4.3.2.1. *Euzonus furciferus*

A salinidade foi de 27. Não houve grande variação na temperatura da água e do ar ao longo do experimento. A temperatura da água variou entre 25°C no tempo 24h e 27°C no tempo 168h. Já a temperatura do ar ficou com um mínimo de 26°C no tempo 48h e um máximo de 29°C no tempo 168h.

Praticamente não houve mortalidade de *Euzonus furciferus* ao longo do experimento. Somente foi encontrado 1 indivíduo morto na área controle e 1 na área impactada no tempo 168h, não sendo significativa (ANOVA, $p < 0,05$).

4.3.2.2. *Excirolana armata*

A temperatura da água oscilou entre 28°C no tempo 24h e 23°C no tempo 120h e a temperatura do ar apresentou o menor valor no tempo 120h (25°C) e um máximo de 29°C em 24h. A salinidade foi de 28.

Ao longo de todo o experimento, não foi encontrado diferença estatística entre os tratamentos controle e impactado (ANOVA, $p < 0,05$). Apesar de não ter tido diferença, houve uma tendência de ter mais indivíduos mortos no tratamento impactado

do que na controle, a partir do tempo de exposição do óleo 48h. Além disso, também foi observado um aumento no número de indivíduos mortos ao longo de todo o experimento em ambos os tratamentos (Fig. 17).

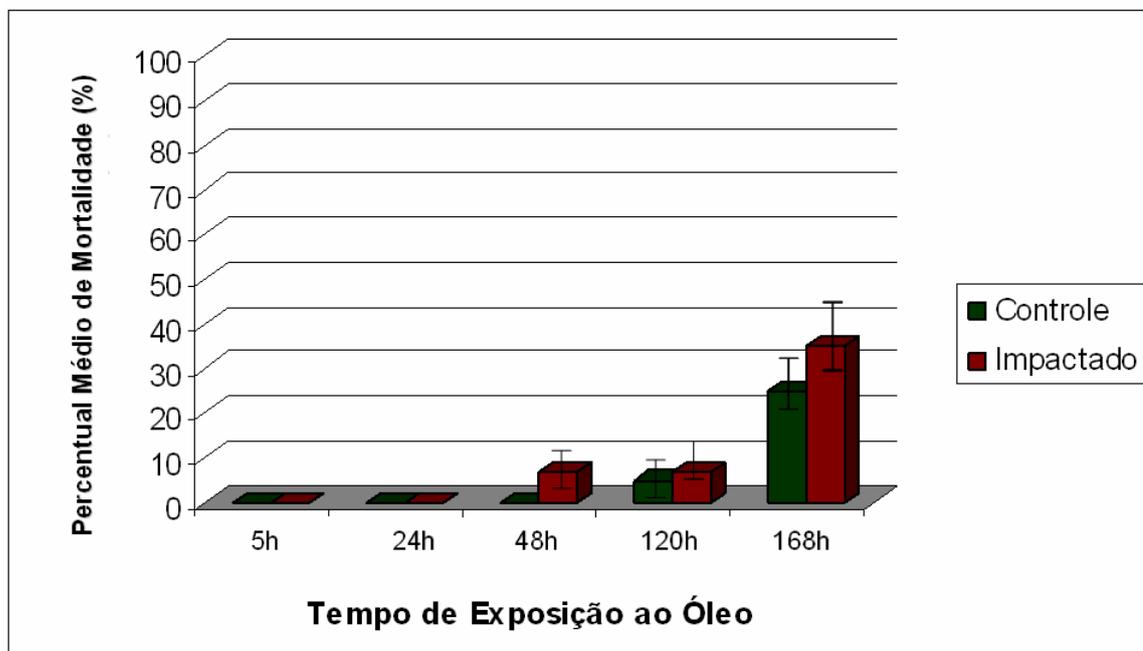


Figura 17: Percentual médio de organismos mortos de *Excirolana armata* encontrados nos tratamentos controle e impactado ao longo do experimento

5. DISCUSSÃO GERAL

Com base nos resultados verificou-se que, no experimento de campo a macrofauna bentônica apresentou resistência ao óleo nas escalas experimentais adotadas, enquanto que em laboratório das três espécies analisadas (o poliqueta *Euzonus furciferus*, o isópodo *Excirolana armata* e o bivalvo *Mesodesma mactroides*), somente o molusco suspensívoro apresentou mortalidade significativa na presença do óleo.

No experimento de campo, as amostras apresentaram uma grande variabilidade. Esta variabilidade na distribuição e abundância do macrozoobentos deve-se provavelmente a sua distribuição em manchas, que é resultado principalmente da seleção passiva pelas ondas e da concentração do alimento e, em praias dissipativas, como é o caso da área de estudo, a escala das manchas pode variar em até 100 m (McLachlan & Hesp, 1984). Mesmo tendo sido considerável o número de réplicas (6), a distribuição em manchas do macrozoobentos dificultou a comparação entre os tratamentos TC, TA e TI, uma vez que determinadas espécies só foram registradas em um destes tratamentos. As análises estatísticas só puderam ser utilizadas para aquelas espécies que foram amostradas em todos os tratamentos, ou seja, o fato de uma determinada espécie não ter sido incluída como sensível ao óleo, não significa que a mesma não possui uma resposta negativa quando da ocorrência de um derrame de óleo, mas sim que não houve a possibilidade de analisar esta espécie devido a sua baixa densidade no ambiente.

Dentre as espécies da macrofauna que puderam ser incluídas nas análises (o isópode *Excirolana armata*; o bivalvo *Mesodesma mactroides*, os anfípodes *Phoxocephalopsis sp.* e *Platyischnopidae* e o poliqueta *Euzonus furciferus*) o que se

pode observar, é que não houve diferença significativa entre os tratamentos TC, TA, e TI (ANOVA - $p < 0,05$). Apesar de não ter sido detectada influência significativa do óleo sobre os organismos, foi possível identificar uma pequena tendência de um maior percentual de anfípodes mortos na área impactada (TI), particularmente de espécies pertencentes a família Platyischnopidae e do gênero *Phoxocephalopsis sp.* No Experimento 3 (E3), estas espécies apresentaram quase 30% a mais de indivíduos mortos em TI do que em TA. Diversos autores já registraram efeitos negativos em anfípodes. Nikitik & Robinson (2003) consideram este grupo como bons indicadores da poluição por óleo. Já Jewett *et al.* (1999) e Gesteira & Dauvin (2000) verificaram impactos negativos evidentes, especialmente em Phoxocephalidae e *Ampelisca*. Mortalidade significativa de anfípodes também foi relatada por Sanders *et al.* (1980) e em um experimento no estuário de Elbe, Alemanha, exemplares de *Corophium volutator* apresentaram 100% de mortalidade em 6 horas de exposição direta ao óleo cru (Van Bernem, 1982).

Outra espécie que também apresentou tendência de uma maior mortalidade nos experimentos de campo no TI foi o bivalvo *Mesodesma mactroides*. Além disso, os experimentos de laboratório desenvolvidos com esta espécie confirmaram essa evidência, onde o molusco teve um aumento na mortalidade ao longo do tempo quando exposta ao óleo, chegando a 100% de organismos mortos em uma semana. Dentre os indivíduos que ainda estavam vivos foi verificado que os organismos, oriundos dos aquários com óleo, levaram até o dobro do tempo para se enterrarem comparados àqueles provenientes dos aquários sem óleo. Também foi observado, somente nos aquários com óleo, indivíduos que, apesar de não estarem mortos, não conseguiam mais se enterrar. Alguns até mesmo conseguiam se posicionar verticalmente no substrato,

mantendo-se ancorados com o pé distendido para o interior do sedimento, mas não o suficiente para se enterrarem por completo. No ambiente, a velocidade que esse bivalvo demora a se enterrar no sedimento é crucial para a sobrevivência do mesmo, uma vez que, expostas, tornam-se presas fáceis para predadores, como as aves (Vooren, 1998), gastrópodes como *Olivancillaria auricularia* que ingressa no intermareal para predação os migradores mareais (Garcia & Gianuca, 1998) e decápodos como o siri chita *Arenaeus cribarius*, que tem sido encontrado em abundância entre o final do verão e o início do outono no intermareal das praias arenosas da região (C.E. Bemvenuti, Depto. Oceanografia, FURG, com. Pessoal).

Animais que se alimentam por filtração, como é o caso do bivalvo *M. mactroides*, podem acumular grandes quantidades de contaminantes nos seus tecidos. A acumulação de sedimentos pode ocorrer via fase aquosa, ou através da ingestão de sedimentos particulados contaminados (Kukkonen & Landrum, 1995). Os bivalvos podem filtrar, através das brânquias, cerca de 19 a 50L/h, com pouca ou nenhuma capacidade seletiva, acumulando na massa visceral, no intestino e hepatopâncreas, todos os agentes biológicos e abióticos que se encontram na água onde vivem (Galvão, 2004). De acordo com Kennish (1997) o óleo pode ocasionar efeito físico nos animais impedindo que façam as trocas necessárias com o ambiente, recobrando as brânquias e o tecido cutâneo (que em muitos invertebrados é utilizado na respiração) reduzindo, ou mesmo interrompendo, as trocas gasosas entre a água e o ar (Milanelli, 2003). Um exemplo semelhante foi um evento ocorrido na costa do Rio Grande do Sul em 1993, onde houve a mortalidade massiva de *M. mactroides*, alcançando cerca de 350 Km de praia (Odebrecht *et al.*, 1995). Estes autores sugerem que a expressiva mortandade foi devido à presença de dinoflagelados potencialmente tóxicos na zona de arrebentação,

que produziu uma obstrução mecânica nos sifões do molusco, o que impediria uma oxigenação adequada causando a morte por asfixia.

No presente estudo, apesar de não ter sido verificada evidência de óleo dentro dos sifões de *M. mactroides*, pode-se sugerir que houve influência negativa do óleo sobre o molusco, uma vez que, quando sob estresse natural ou antrópico, este organismo fecha suas valvas, quando normalmente mantêm as mesmas abertas para alimentação e respiração, sendo que podem manter fechadas por um longo período de tempo levando a morte por asfixia (Dame, 1996).

Estas espécies que vivem em bancos podem atingir altas densidades e uma elevada produção de biomassa em praias arenosas (Gianuca, 1998), além da sua importância na trama trófica também são exploradas comercialmente. Nas praias arenosas do sul do Brasil e do Uruguai *Mesodesma mactroides* é extraído tanto para consumo humano como para ser utilizado como isca na pesca desportiva (Fiori *et al.*, 2004). De modo que derrames de óleo de grandes proporções, ao dizimar populações destes bivalvos suspensívoros irão ocasionar sérios prejuízos no papel das praias arenosas como hábitat de recursos naturais. Esse prejuízo também pode ser extrapolado para o molusco *Donax hanleyanus* e o decapoda *Emerita brasiliensis*, registrados neste trabalho pois, junto com *M. mactroides*, representam cerca de 95% da biomassa macrobentônica encontrada na praia do Cassino (Garcia & Gianuca, 1998). Vários aspectos do comportamento ecológico destes organismos têm sugerido a sua utilização como monitores ambientais (Barron *et al.*, 1999; Fishelson *et al.*, 1999). Estas espécies se distribuem em zonas paralelas à linha de costa, mudam de posição de acordo com o ciclo da maré, são altamente móveis, emergindo do sedimento quando a maré sobe, e usando a subida e descida da maré para alimentarem-se e manter longe de predadores,

no caso os peixes (McLachlan, 1983; Yannicelli *et al.*, 2002). São comumente chamados de “migradores mareais”. Em função disso, estão mais sujeitos aos efeitos negativos de um derrame de petróleo, por estarem em contato direto com o contaminante. Além disso, caso ocorra um derrame de óleo e *Emerita brasiliensis* permaneça exposta no ambiente por muito tempo, esta espécie pode morrer rapidamente, pois são mais sensíveis ao ressecamento do que os bivalvos (C.E. Bemvenuti, Depto. Oceanografia, FURG, com. pess.).

O isópode *Excirrolana armata* apresentou ter resistência a níveis de hidrocarbonetos, tanto no experimento de campo, quanto no de laboratório, onde não foi encontrado efeito significativo do óleo ao longo de 7 dias. Cabe salientar que os efeitos do óleo sobre *E. armata* no experimento de laboratório podem ter sido minimizados devido à metodologia desenvolvida. Para conseguir realizar este experimento durante 7 dias, era fundamental a utilização de compressores de ar nos aquários, a fim de manter os organismos vivos. Para isto, foi colocada água marinha a uma altura de 5cm acima do sedimento. Ou seja, o óleo não ficou em contato direto com sedimento, o que pode ter reduzido o impacto do óleo sobre esta espécie.

O poliqueta *Euzonus furciferos* apresentou resistência aos efeitos do óleo tanto em nos experimentos de campo, quanto de laboratório, onde não foi registrada mortalidade nos aquários com óleo ao longo de 7 dias. Os poliquetas, de uma maneira em geral, parecem ter resistência a altos níveis de hidrocarbonetos no sedimento (Gesteira & Dauvin, 2000), sendo que algumas espécies podem até se beneficiar com a presença do contaminante, como é o caso do oportunista do gênero *Capitella* (Hutchings, 1998). Investigações próximas ao terminal de óleo em Port Valdez,

(Alaska) mostraram aumento na abundância de poliquetas oportunistas (capitelídeos, espionídeos) em associação com sedimentos contaminados (Blanchard *et al.*, 2002).

Uma das hipóteses para a ausência de efeito do óleo sobre *E. furciferus* seria a profundidade que a mesma se encontra no interior do sedimento. Nossos estudos mostraram que esta espécie prefere estratos mais profundos, em torno de 10cm (Fig. 10). Nesta profundidade, não houve a penetração do óleo. Os experimentos que verificaram a profundidade atingida pelo óleo no sedimento mostraram que o máximo que o óleo atingiu foi de 5cm (E4), sendo que em E2 (experimento desenvolvido na zona de varrido) não houve percolação do óleo (Fig. 5). Harty & McLachlan (1982) também verificaram a baixa penetração do óleo em praias de areia fina, não ultrapassando 5cm no sedimento. A baixa permeabilidade também foi observada por Vandermeulen *et al.* (1988), onde os autores encontraram 96% do óleo concentrado nos primeiros 2cm no sedimento. Sedimentos de areia fina, característicos das duas praias amostradas (Calliari & Klein, 1993; Figueredo 2005), possuem uma capacidade de retenção do óleo na superfície do sedimento maior do que em praias com granulometria grosseira, ou seja, quanto mais fino o sedimento, maior será a capacidade de reter os contaminantes (Yen, 1977). Defeo *et al.* (1997) verificaram que as praias de areia fina possuem baixa penetrabilidade. Zanardi (1996) também encontrou relações diretas entre granulometria e concentrações de hidrocarbonetos para o canal de São Sebastião, onde baixas concentrações de hidrocarbonetos do petróleo foram encontradas em sedimentos com mais de 80% de areia.

Noernberg & Lana (2002) descrevendo o comportamento do óleo, verificaram que, na qualidade de fluido, pode ter sua migração no solo descrita por modelos de fluxo bifásicos. A equação de fluxo de Darcy é válida para explicar essa migração,

desde que a permeabilidade relativa seja também levada em consideração. A permeabilidade relativa é, por sua vez, uma função da saturação de fase. Graças à diluição de fase, a dispersão de um óleo no solo acaba levando a uma gradual e progressiva “imobilização” ou restrição espacial do impacto. Processos de degradação natural levam a uma redução adicional do processo de migração. Como o óleo e a água são fluidos que não se misturam, uma elevação do lençol freático levará necessariamente a uma restrição e concentração da fase óleo nos estratos superficiais. Um abaixamento do lençol freático acarretará resultados inversos. Isto foi verificado no experimento desenvolvido na zona de varrido na Praia do Mar Grosso (E2), onde o lençol freático raso não possibilitou a penetração do óleo no sedimento. Isto também foi observado por Demore (2001) num experimento desenvolvido na região de marismas. Com base nestas informações, podemos sugerir que estes dois fatores: granulometria fina e variação do lençol freático possuem um papel importante no grau de percolação do óleo no sedimento, diminuindo consideravelmente os efeitos do contaminante sobre os macroinvertebrados bentônicos que se encontram a maiores profundidades no interior do substrato.

Outro fator que pode dificultar a penetração do óleo no ambiente natural é a compactação do sedimento ocasionado pela presença de veículos, principalmente na praia do Cassino. A compactação de uma camada de areia reduz o índice de espaços vazios no sedimento, aumentando a resistência aos deslocamentos de líquidos e gases no meio (Vieira *et al.*, 2004).

A variação da concentração na composição original dos hidrocarbonetos alifáticos desenvolvida em laboratório foi semelhante àquela que ocorrem em derrames de petróleo reais. Assim que o óleo é derramado, inicia-se o processo de intemperismo

do mesmo, ocasionado pela combinação de processos físicos, químicos e biológicos, como espalhamento, evaporação, dispersão, emulsificação e dissolução. A velocidade deste processo não é constante, sendo mais efetiva nos períodos iniciais de um derrame (CETESB, 2003). Isto foi observado também no laboratório, onde em 5h houve o decaimento de 61,52% na concentração de hidrocarbonetos, atingindo 77,13% em 24 horas, chegando a ter uma redução de 89% em apenas 48 horas após o início do experimento. NRC (2003) verificaram que o óleo cru perdeu cerca de 75% dos seus compostos em poucos dias seguintes ao derrame. Já Kingston (2002) observou que os componentes voláteis de óleo cru rapidamente evaporam depois de um derrame, que incluiu a maioria dos compostos tóxicos, tendo, por exemplo, a perda de 30% do óleo derramado pelo navio Exxon Valdez.

A rápida perda dos compostos tóxicos para o ambiente junto com a pouca capacidade de retenção de óleo pode ser considerado como característico de praias arenosas. Este tipo de ambiente, de um modo geral, deve apresentar uma recuperação mais rápida e um menor impacto após um derrame do que, por exemplo, praias abrigadas, que se caracteriza pela menor hidrodinâmica. A respeito desta, Kingston (2002) observa que a ação das ondas determina que as praias arenosas expostas sejam ambientes dinâmicos por natureza, onde além de uma maior remoção dos contaminantes ocorre também uma fauna e flora bastante variável no tempo e no espaço, o que determinaria uma maior velocidade de recolonização após um derramamento de petróleo.

No geral, a fauna bentônica parece ser, com poucas exceções, tolerante a impactos por óleo nas escalas experimentais usualmente adotadas, que procuram simular pequenos vazamentos de óleo. O que podemos observar, é que a resposta da

macrofauna bentônica a derrames de óleo parece ser bastante variável. Por exemplo, muitas espécies da macrofauna numa marisma foram dizimadas em um em derrame de óleo em Massachusets (Hampton & Moul, 1978). No mais recente derrame de óleo de grandes proporções que ocorreu na costa da Espanha, com o rompimento do casco do navio Prestige, houve somente um decaimento na abundância da macrofauna (Junoy *et al.*, 2004) e Kingston *et al.* (1995) não verificaram mudanças na estrutura da comunidade bentônica depois do derrame do navio Braer. Deste modo, podemos verificar que poucas generalizações são válidas quando se trata dos efeitos ecológicos de um derrame de petróleo. A recuperação da comunidade macrobentônica depois de um derrame não só depende da persistência do óleo, mas também na confiança dos padrões de recrutamento das espécies afetadas, da história de vida, de sua tolerância aos compostos tóxicos no sedimento, além das condições ambientais do local que podem acelerar ou retardar o processo de limpeza (Kingston, 2002; Schratzberger, 2003).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, C. Z.; MORGADO, E. H.; PEREIRA, F. P. & GIANUCA, N. M. 2005. **Avaliação e Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade da Zona Costeira e Marinha**. BASE DE DADOS TROPICAL. Coordenadores: Amaral, C. Z.; Morgado, E. H.; Pereira, F. P. & Gianuca, N. M. <http://www.bdt.fat.org.br/workshop/costa/praias/>
- BAARS, B. 2002. The wreckage of the oil tanker 'Erika' - human health risk assessment of beach cleaning, sunbathing and swimming. **Toxicology Letters**, 128, 55-68.
- BARRON M. G.; PODRABSKY, T.; OGLE, R. S.; DUGAN, J. E. & FLICKER, R. W. 1999. Sensitivity of the Sand Crab *Emerita analoga* to a Weathered Oil. **Bull. Environ. Contam. Toxicol.** 62, 469-475.
- Bento, D. M. **Análise Química da Degradação dos Hidrocarbonetos de Óleo Diesel no Estuário da Lagoa os Patos – Rio Grande/RS**. Dissertação de Mestrado. FURG.
- BLANCHARD, A. L.; FEDER H. M. & SHAW, D. G. 2002. Long-term investigation of benthic fauna and the influence of treated ballast water disposal in Port Valdez, Alaska. **Marine Pollution Bulletin**. 44 (5): 367-382
- BOESCH, D. F.; HERSHNER, C. H. & MILGRAM, J. H. 1974. **Oil Spill and the marine environment**. Ballinger Publishing Company. Cambridge, Mass. 114 p.

- BORZONE, C. A. 1988. **Estudo da macrofauna bentônica infralitoral da região costeira adjacente a barra do Rio Grande, RS, Brasil.** Dissertação de Mestrado. FURG. 113p.
- BROEDEL, H. A. 2003. **Efeito do petróleo na comunidade bentônica das marismas do estuário da Lagoa dos Patos.** Monografia de Graduação. FURG. 51p.
- BROWN, A.C. & MCLACHLAN, A. 1990. **Ecology of Sandy Shores.** Amsterdam, Elsevier. 327p.
- CALLIARI, L. J.; KLEIN, A. H. F. 1993. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. **Pesquisas.** 20, 48-56.
- CETESB. 2002. **Curso Derrames de Óleo e os Ecossistemas Costeiros. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.** CETESB. SP. 270p.
- CETESB. 2003. **Derrames de óleo no mar: aspectos preventivos e corretivos.** São Paulo-SP. 299p.
- CLARK, R. B. 1997. **Marine pollution.** Oxford, Clarendon Press. 161p.

- DAME, R. F. 1996. **Ecology of marine bivalves: an ecosystem approach**. CRC Press, Inc. 254p.
- DAUVIN, J.C. 1998. The fine sand *Abra alba* community of the Bay of Morlaix twenty years after the Amoco Cadiz oil spill. **Marine Pollution Bulletin**. 36, 669–676.
- DEFEO, O.; BRAZEIRO, A. A. & Riestra, G. 1997. Is Sandy beach macrofauna only physically controlled? Role of substrate and competition in isopod. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. 45, 453–462
- DEMORE, J. P. 2001. **Aspectos Sedimentares do Estuário da Lagoa dos Patos e sua Interação com a Poluição por Petróleo: Subsídios para um Plano de Contingência**. Monografia de Graduação. FURG
- ETKIN, D. S. 1998. **International Oil Spill Statistics**. Cutter Information Corporation, USA. USA. 22p
- EWA-OBOWO, I. T. ABBY-KALIO, N. J. 1994. Effects of simulated oil exposure on two intertidal macrozoo benthos: *Tympanotonus fuscata* (L.) and *Uca tangeri* (Eydoux, 1935) in a tropical estuarine ecosystem. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 28, 232-243.

- FARACO, L. F. D. 1999. **Efeitos do derrame experimental de óleo diesel sobre o macrobentos de uma área de manguezal da Baía de Paranaguá (Paraná).** Monografia de Graduação Universidade Federal do Paraná. 40p.
- FARACO L. F. D. & LANA P. C. 2003. Response of polychaetes to oil spills in natural and defaunated subtropical mangrove sediments from Paranaguá bay (SE Brazil) **Hydrobiologia.** 496, 321–328.
- FIGUEREDO, S. A. 2005. **Sedimentologia e morfodinâmica nas adjacências das desembocaduras lagunares e fluviais da costa do RS.** Dissertação de Mestrado. FURG. 197p.
- FIORI, S. M.; CAZZANIGA, N. J. & ESTEBENE, A. L. 2004. Winter distribution, density and size of *Mesodesma mactroides* (bivalvia, mactracea) in Monte Hermoso beach (Argentina). **Brazilian Journal of Oceanography.** 52(1): 1-9
- FISHELSON, L.; BRESLER, V.; MANELIS, R.; ZUK-RIMON, Z.; DOTAN, A.; HORNUNG, H. & YAWETZ, A. 1999. Toxicological aspects associated with the ecology of *Donax trunculus* (Bivalvia, Mollusca) in a polluted environment. **The Science of the Total Environment** 226, 121-131.
- GALVÃO, J. A. 2004. **Qualidade microbiológica da água de cultivo e de mexilhões *Perna perna* (Linnaeus, 1758) comercializados em Ubatuba, SP.** Dissertação de Mestrado. USP. 128p.

- GANDRA, M. S.; ANGONESI, L. G. & BEMVENUTI, C.E. 2005. Experimental study of oil impact and consequences upon benthic macrofauna in the Estuary of Patos Lagoon (RS- Brazil). **Journal of Coastal Research**. No prelo.
- GARCIA, V. M. T. & GIANUCA, N. M. 1998. **A Praia e a Zona de Arrebentação**. In: Seeliger, U.; Odebrecht, C., and Castello, J.P., (eds.). Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. Rio Grande: Editora Ecoscientia. 184 -189.
- GESTEIRA, J.L. & DAUVIN, J.C. 2000. Amphipods are good bioindicators of the impact of oil spills on soft-bottom macrobenthic communities. **Marine Pollution Bulletin**. 40, 1017-1027.
- GIANUCA, N. M. 1983. A preliminary account of the ecology of sandy beaches in southern Brazil. In: McLachlan, A. & T. Erasmus (eds.). Sandy beaches as ecosystems. **The Hague, JUNK**. 413-420.
- GIANUCA, N. M. 1998. Invertebrados Bentônicos da Praia. In: Seeliger, U.; Odebrecht, C., and Castello, J.P., (eds.). Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. Rio Grande: Editora Ecoscientia. 127-130.
- GRIEP, G. H.; CALLIARI, L. J. & KRUG, L. C. 2001. Programa de recursos humanos da ANP para o setor petróleo e gás PRH-ANP/MME/MCT. **XIV Semana Nacional de Oceanografia**. FURG. Rio Grande-RS. CD-ROM.

- GUNDLACH, E. R. AND HAYES, M. O. 1978. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. **Marine Technology Society Journal**. 12 (4): 18-27.
- HAMPTON, G. & MOUL, E. T. 1978. No. 2 oil spill in Bourne, Massachusetts: immediate assessment of the effects on marine invertebrates and a 3-year study of growth and recovery of a salt marsh. **Journal Fish Research Bd. Canada**. 35, 731-744.
- HARTY, B. & MCLACHLAN A. 1982. Effects of Water-soluble Fractions of Crude Oil and Dispersants on Nitrate Generation by Sandy Beach Microfauna. **Marine Pollution Bulletin**. 13 (8): 287-291.
- HOEFEL, F. G. 1998. **Morfodinâmica de Praias Arenosas Oceânicas: Uma Revisão Bibliográfica**. Itajaí. Editora da Univali. 92p.
- HUTCHINGS, P. 1998. Biodiversity and functioning of poychaetes in benthic sediments. **Biodiversity and Conservation**. 7, 1133 -1145.
- HYLAND, J., HARDIN, D., CRECELIUS, E., DRAKE, D., MONTAGNA, P. & STEINHAEUER, M. 1990. Monitoring long-term effects of offshore oil and gas development along the Southern California outer continental shelf and slope: Background environmental conditions in the Santa Maria Basin. **Oil & Chemical Pollution**. Amsterdam. 6, 195-240.

ITOPF. 2004. **The International Tanker Owners Pollution Federation Limited**. ITOPF 2004/2005. 50p. United Kingdom. www.itopf.com/itopfhandbook2004.pdf. Acessado em dez. de 2004.

ITOPF, 2005. **Historical Data** – Statistics. <http://www.itopf.com/stats.html>. Acessado em Jan. de 2005.

JEWETT, S. C.; DEAN, T. A.; SMITH, R. O.; BLANCHARD, A. 1999. 'Exxon Valdez' oil spill: impacts and recovery in the soft-bottom benthic community in and adjacent to eelgrass beds. **Marine Ecology Progress Series**. 185, 59-83.

JUNOY, J.; CASTELLANOS, C.; VIEITEZ, J.M.; HUZ, M.R. & M. LASTRA, M. The macroinfauna of the Galician sandy beaches (NW Spain) affected by the Prestige oil-spill. **Marine Pollution Buletin**. No prelo.

KENNISH, M. J. 1997. **Practical handbook of estuarine and marine pollution**. Boca Raton. CRC Press. 524p

KENNISH, M. J. 1998. **Pollution impacts on marine biotic communities**. CRC Press LLC, Boca Raton, FL. 310p.

KINGSTON, P. F. 2002. Long-term Environmental Impact of Oil Spills. **Spill Science & Technology Bulletin**. 7, 53-61

KINGSTON, P. F.; DIXON, M. T.; HAMILTON, S. & MOORE, D. C. 1995. The impact of the Braer oil spill on the macrobenthic infauna of the sediments off the Shetland Islands. **Marine Pollution Bulletin**. 30 (7), 445-459

KOUTSOUBAS, D.; DOUNAS, C.; ARVANITIDIS, C; KORNILIOS, S.; G. PETIHAKIS, TRIANTAFYLLOU, G. & ELEFThERIOU, A. 2000. Macrobenthic community structure and disturbance assessment in Gialova Lagoon, Ionian Sea. **Journal of Marine Science**. 57, 1472-1480.

KNOX, G. A. 2000. **The Ecology of Sea Shores**. CRC Press, New York, pp 555.

KUKKONEN, J. & LANDRUM, P. F. 1995. Measuring assimilation efficiencies for sediment-bound PAH and PCB congeners by benthic organisms. **Aquat. Toxicol.** 32, 75-92.

LANA, P. C. 1994. **Organismos Bênticos e Atividades de Monitoramento**. In: Oceanografia Biológica Bentos, Diagnóstico Ambiental Oceânico e Costeiro das Regiões Sul e Sudeste do Brasil, Convênio PETROBRÁSFUNDESPA. Coordenador: Dr. Ioshimine Ikeda, 6, 10-21.

LANA, P. C.; BROGIM, R. A.; SANTOS, C. S. G. & PAGLIOSA, P. R. 1996. Efeitos do derrame experimental de óleo diesel sobre o macrobentos da Ilha Rasa da Cotinga (Baía de Paranaguá). **3a Reunião Especial da SPBC, Ecossistemas Costeiros**. Florianópolis, SC. 3, 462-463.

LANA, P. C.; CIM, R. V.; CAMARGO, M. G. 1997. Efeitos do derrame experimental de óleo diesel sobre o bentos da Gamboa Perequê (Baía de Paranaguá, Paraná). **VII Congresso Latino-Americano sobre Ciências do Mar**. Santos, São Paulo. 2, 62-64.

LAWS, E. A. 1993. **Aquatic pollution: an introductory text**. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., Inc. U. S. A. 611p

LOPES, F. 1997. **Efeitos do Cobre e do Zinco na sobrevivência de *Excirrolana armata* Dana 1852 (Isopoda: Cirolanidae)**. Monografia de Graduação. FURG. 45p.

MARINS, L. F. 1993. **Estudo genético bioquímico do marisco branco, *Mesodesma mactroides* (Deshayes, 1854), na zona costeira adjacente à desembocadura do estuário da Lagoa dos Patos (Rio grande-RS)**. Dissertação de Mestrado. FURG. 85p.

MCLACHLAN, A. 1983. Sandy Beach Ecology. In McLachlan, A. and Erasmus, T. (eds), **Sandy Beaches as Ecosystems**. **Junk, The Hague**. 413-419.

- MCLACHLAN, A & HESP, P. 1984. Faunal response to morphology and water circulation a sandy beach with cusps. **Marine Ecology Progress Series**. 19, 133-144.
- MILANELLI, J. C. C. 1994. **Efeitos do petróleo e da limpeza por jateamento em um costão rochoso da Praia de Barequeçaba, São Sebastião/SP**. Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo, 103p.
- MILANELLI, J. C. C. 2003. **Biomonitoramento de Costões Rochosos - instrumento para avaliação de impactos gerados por vazamentos de óleo na região do Canal de São Sebastião, São Paulo**. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. 293p.
- MOORE, S. F. AND MCLAUGHLIN, D. B. 1978. Design of field experiments to determine the ecological effects of petroleum in intertidal ecosystems. **Water Research**. 12, 1091-1099.
- NIKITIK, C. C. S & ROBINSON, A. W. 2003. Patterns in benthic populations in the Milford Haven waterway following the Sea Empress oil spill with special reference to amphipods. **Marine Pollution Bulletin**. 46, 1125–1141
- NOERNBERG, M. A.; LANA, P. C. 2003. A sensibilidade de manguezais e marismas a impactos por óleo: fato ou mito? Uma ferramenta para a avaliação da

vulnerabilidade de sistemas costeiros a derrames de óleo. **Geografares**, Vitória, 3. 109-122.

NRC 2003. **Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects**. Committee on Oil in the Sea: Inputs, Fates, and Effects. National Research Council. 280p.

NYBAKKEN, J. W. 2001. **Marine Biology. An Ecological approach**. Harper Collins College Publishers. 462p.

ODEBRECHT, C., RÖRIG, L., GARCIA, V.M.T. & ABREU, P.C. 1995. Shelfish mortality and red tide event in southern Brazil. Harmful marine algal blooms (ed. by P. Lassus, G. Arzul, E. Erard, P. Gentien and C. Marcaillou), **Lavoisier**. p.213.

POFFO, I.R.F.; XAVIER, J.C.M.; SERPA, R.R. 2001. A História dos 27 anos de Vazamento de Óleo no Litoral Norte do Estado de São Paulo (1974-2000). **Revista Meio Ambiente Industrial**. 30, 98-104.

RIBEIRO-COSTA, C. S. & ROCHA, R. H. 2002. **Invertebrados. Manual de aulas práticas**. Série manuais práticos em Biologia – 3. Ribeirão Preto. Holos. 226p.

ROCHA, A. C. 2002. **Caracterização dos hidrocarbonetos e estudo de um derrame de Petróleo Controlado no Estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande/RS**. Monografia de Graduação – FURG. 63p.

RUPERT, E. E. & BARNES, R. D. 1996. **Zoologia de Invertebrados**. 6ed. São Paulo. Roca. 1029p.

SANDERS, H. L., J.F. GRASSLE, G. R. HAMPSON, L. S. MORSE, S. GARNER-PRICE, AND C. C. JONES. 1980. Anatomy of an oil spill: long term effects from the grounding of the barge Florida off West Falmouth, Massachusetts. **Journal Marine Research**. 38, 265-380.

SANTOS, P. J. P. 1990. **Ecologia de *Scolelepis gaucha* (Polychaeta: Spionidae) nas praias do Rio Grande do Sul: Uma abordagem dinâmica da interação população-ambiente**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Rio Grande, 167p.

SCPMEU 1985. **Oil in the Sea. Inputs, Fates, and Effects**. Steering Committee for the Petroleum in the Marine Environment Update. National Academy Press. 601p.

SILVA, E.M.; PESO-AGUIAR, M.C.; NAVARRO, M.F.T. & CHASTINET, C.B.A. 1997. Impact of petroleum pollution on aquatic coastal ecosystem in Brazil. **Environmental Toxicology and Chemistry**. 16 (1): 112-118.

SCHRATZBERGER, M.; DANIEL. B F.; WALLC, C. M.; KILBRIDEC, R.; MACNAUGHTOND, S. J.; BOYDC, S. E. ; REESC, H. L.; LEE, K. & SWANNELLD, R. P. J. 2003. Response of estuarine meio- and macrofauna to in

situ bioremediation of oil-contaminated sediment. **Marine Pollution Bulletin**. 46, 430-443.

SHEPARD, F. P. 1954. Nomenclature based on sand– silt –clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**. 24 (3): 151-158.

SUGUIO, K. 1973. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo, Edgard Blücher, Universidade de São Paulo, 317p.

UNEP. 1991. **Determinations of petroleum hydrocarbons in sediments**. United Nations Environment Programme. Reference methods for marine pollution studies. 20, 97p.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2005. **EPA Oil Spill Program Overview**. Disponível em: <http://www.epa.gov/oilspill/index.htm>. Acessado em jan. 2005.

VAN BERNEM, K. V. 1982. Effect of experimental crude oil contamination on abundance, mortality and resettlement of representative mud flat organisms in the mesohaline area of the Elbe estuary. **Netherlands Journal of Sea Research**. 16, 538-546.

- VANDERMEULEN, J.H., J.R. HARPER & B. HUMPHREY, 1988. Environmental factors influencing oil penetration and persistence in fine sediment tidal flats. **Oil and Chemical Pollution**. 4, 155-177.
- VIEIRA, H.; CALLIARI, L. J.; OLIVEIRA, G. P. 2004. O estudo do impacto da circulação de veículos em praias arenosas através de parâmetros físicos: um estudo de caso. **Engevista**, 6 (3): 54-63
- VILLWOCK, J.A. 1987. Os paleoambientes da Província Costeira do Rio Grande do Sul e a possível ocorrência de antigos manguezais na costa sul do Brasil. **Anais I Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira - Síntese dos Conhecimentos**. Publ. ACIESP, São Paulo, 1(54): 132-137.
- VOOREN, C. M. 1998. **Aves marinhas e Costeiras**. In: Seeliger, U.; Odebrecht, C., and Castello, J.P., (eds.). Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. Rio Grande: Editora Ecoscientia. 170-175.
- WARWICK, R. M. 1986. A new method for detecting pollution effects macrobenthic communities. **Marine Biology**. 92, 557-562.
- WENTWORTH, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal Geology**. 30, 377-392.

- YANNICELLI B. A; PALACIOS R. B & GIMENEZ, L. 2002. Swimming ability and burrowing time of two cirolanid isopods from different levels of exposed sandy beaches. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. 273, 73–88
- YEN, T. F. 1977. **Chemistry of marine sediments**. Ann Arbor Science Publishers. 265p.
- ZANARDI, E., 1996. Hidrocarbonetos no Canal de São Sebastião e na plataforma interna adjacente - Influência no derrame de maio de 1994. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 112p.