



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
Área de Concentração: Geologia Marinha Costeira e Sedimentar

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SEDIMENTOS DE MANGUEZAIS DA BAÍA DE CAMAMU - BAHIA/BRASIL

por

JOANA FIDELIS DA PAIXÃO

TESE DE DOUTORADO SOB A FORMA DE INTEGRAÇÃO DE ARTIGOS

Integração de artigos como documento alternativo à Tese de Doutorado, submetido ao Curso de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, em satisfação parcial dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor (a) em Geologia Marinha, Costeira e Sedimentar.

José Maria Landim Dominguez (orientador)
Olívia Maria Cordeiro de Oliveira (co-orientadora)

Aprovado:

Comissão Examinadora:

.....
.....
.....
.....
.....

Antônio Fernando de Souza Queiroz
Edson Valmir Cordova da Rosa
Francisco Carlos Rocha de Barros Junior
José Maria Landim Dominguez (orientador)
Manoel Jerônimo Moreira Cruz

Data da Aprovação:/...../.....

Grau conferido em:/...../.....

Salvador
2010

RESUMO

A Baía de Camamu (Bahia, Brasil) é uma Área de Proteção Ambiental com manguezais de importância econômica e ecológica, que vem sendo afetada por pressões relacionadas ao turismo e exploração de óleo e gás na plataforma continental adjacente. Considerando que os sedimentos de manguezais formam habitats e que diversas atividades desenvolvidas no litoral da baía têm potencial para causar alterações na distribuição das espécies bentônicas, o objetivo desse estudo foi elucidar se a atual qualidade dos sedimentos da Baía de Camamu é aceitável para a proteção da vida aquática, através: 1) da análise da distribuição da macrofauna bentônica; 2) de testes de toxicidade com embriões de *Crassostrea rhizophorae* em água intersticial, e 3) das análises de compostos orgânicos e de metais traço e sua disponibilidade, em sedimentos. Sete estações de amostragem foram selecionadas como representativas da região de mesolitoral da Baía de Camamu. 581 organismos foram encontrados, distribuídos em 38 espécies, sendo que poliquetas dominaram as amostras. A toxicidade da água intersticial variou de baixa a moderada para a maioria das amostras. Os mais altos valores de Ba, Ni, Cu e Pb ocorreram na estação localizada em área influenciada pela extração de barita, enquanto as menores concentrações de metais foram encontradas em regiões com influência antrópica relativamente mais baixa. Análises de Sulfetos Voláteis em Ácido (SVA) e Metais Extraídos Simultaneamente (MES) mostraram a ocorrência da razão $MES/SVA > 1$, indicativa de possível biodisponibilidade de metais, em somente uma estação (Estação 1). A estação de amostragem da Ilha Grande (Estação 1) apresentou sedimentos mais arenosos, assembléias macrobentônicas diferenciadas e as mais altas concentrações de metais, em relação às outras estações e aos valores de referência utilizados. A origem dos metais (principalmente bário e, sobretudo na Estação 1) é provavelmente associada ao minério de barita localizado e explorado a muitos anos nas ilhas Grande e Pequena. Os resultados sugerem que a Baía de Camamu é uma área relativamente pouco impactada e podem ser úteis à futura avaliação dos impactos da exploração petrolífera nessa região costeira.

ABSTRACT

Camamu Bay (Bahia, Brazil) is an Environmental Protected Area with mangroves of economic and ecological importance. This Bay could be further be affected by the pressures of tourism and petroleum exploration in the adjacent continental platform. Considering that the sediments of mangroves form habitats for species and that diverse activities developed in the littoral of the Bay have high potential to cause alterations in this distribution, the objective of this study was to elucidate if the current quality of the mangrove sediments of Camamu Bay is acceptable for the protection of aquatic life, through the: 1) Distribution of the benthic macrofauna; 2) Porewater bioassays using embryos of the *Crassostrea rhizophorae*, and 3) Organic compounds and trace metals and its bioavailability analysis, at sediments. Seven sampling stations were selected as representative of the meso-littoral region of Camamu Bay. It was found 581 macrobenthic organisms distributed in 38 species, being that polychaetes dominated the sediments. Porewater toxicity varied from low to moderate for the majority of the samples. The highest values of Ba, Ni, Cu and Pb occurred at station located in areas that have been influenced by barite extraction, while the lowest concentrations of metals were found in areas with relatively lower anthropogenic influence. Analysis of Acid Volatile Sulphide (AVS) and Simultaneously Extracted Metals (SEM) showed the occurrence of the ratio $SEM/AVS > 1$, indicative of possible bioavailability of metals, in only one station (Station 1). Grande Island sampling station (Station 1) presented more sandy sediments, differentiated macrobenthic assemblages and the highest metal concentrations, in relation to other stations and guideline values. The origin of the metals (mainly barium at Station 1) is most probably associated with the barite ore deposits located and explored for many years in the Grande and Pequena islands. The results suggest that Camamu Bay is an area of relatively low impact and may be useful for future assessment of the impact of petroliferous exploration in the coastal region.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores, José Maria Landim Dominguez e Olívia Maria Cordeiro de Oliveira, pelo voto de confiança e por todo o apoio prestado ao longo do curso, em especial na realização das campanhas de campo.

Agradeço a minha família, em especial ao meu filho Pedro, meu marido Cláudio e minha mãe Maria da Glória pelo apoio e paciência.

Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pela concessão de bolsa de Inovação Tecnológica (jan a dez/2007) para a execução do seguinte projeto no Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial / Unidade CETIND: “Desenvolvimento de um modelo de biomonitoramento para subsidiar a inovação de serviços tecnológicos: Baía de Camamu como estudo de caso”.

Agradeço a minha gerente, Arlinda Coelho (Gerente da Área de Meio Ambiente do SENAI/CETIND) pela flexibilização para o cumprimento dos créditos necessários ao curso de Doutorado em Geologia, pelo auxílio na viabilização do projeto no SENAI, incluindo a articulação para que as análises químicas fossem realizadas nos laboratórios do CETIND e pela contratação do revisor do artigo em inglês.

Agradeço ao gerente da Unidade CETIND do SENAI, Carlos Roberto Oliveira de Sousa, pelo auxílio na defesa da solicitação da bolsa ITEC junto à FAPESB.

Agradeço a Olga Maria F. Otero, Alan Castro, Cláudio S. Pereira, Isis G. Moraes e Leonardo Chacón pelo apoio nas campanhas de campo.

Agradeço a Karina Garcia, Wagner Magalhães, Edna Almeida e Gilson Carvalho pelo apoio prestado, respectivamente, na realização das análises de Sulfetos Ácidos Voláteis, na análise das amostras de bentos, na execução dos testes de toxicidade e na realização das análises estatísticas.

Agradeço aos meus colegas de trabalho da Área de Meio Ambiente do SENAI/CETIND (em especial à equipe do Programa Monitora), bem como agradeço a Lucas Nascimento e aos demais colegas integrantes do grupo de pesquisa do Laboratório de Estudos Costeiros, pelo companheirismo.

Agradeço à Nilthon Silva e ao Sr. Gilzélío Reis (*in memoriam*) pela presteza no atendimento das minhas solicitações à secretaria do Programa de Pós Graduação em Geologia.

Agradeço também aos pesquisadores doutores que participaram do meu exame de qualificação, aos consultores Ad Hoc que avaliaram meu projeto enviado à FAPESB e aos revisores das revistas para as quais submeti artigo. A visão crítica desses profissionais auxiliou na melhoria do conteúdo técnico-científico do meu trabalho.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	2
ABSTRACT	3
AGRADECIMENTOS	4
1. INTRODUÇÃO	6
1.1. Objetivo Geral	12
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
2.1. Métodos de Campo.....	13
2.1.1 <i>Métodos de coleta e amostragem</i>	13
2.2. Métodos de Laboratório	13
2.2.1 <i>Análises químicas</i>	13
2.3. Interpretação e Integração dos Resultados	15
2.4. Elaboração dos Artigos	16
3. CONCLUSÃO	17
REFERÊNCIAS.....	18
ANEXO A - Métodos e Técnicas Aplicáveis à Avaliação da Qualidade dos Sedimentos: Vantagens e Limitações Individuais	26
ANEXO B - Métodos de Coleta e Análises de Sedimentos em Campo	31
ANEXO C - Métodos de Laboratório e Interpretação dos Dados	34
ANEXO D – Interpretação dos Dados, Avaliações Estatísticas e Integração dos Resultados	38
ANEXO E – Artigos	41

1. INTRODUÇÃO

A Baía de Camamu é a quarta maior baía do Brasil¹, considerada Área de Proteção Ambiental² e está inserida em uma região conhecida como Costa do Dendê, no litoral sul baiano³. Com uma área superficial de aproximadamente 384 km², abriga em seu interior um rico ecossistema estuarino, com manguezais de grande potencial pesqueiro, restingas na borda litorânea, remanescentes da mata atlântica e inúmeras ilhas, dentre as quais as mais importantes são as ilhas Grande, Pequena e Âmbar (OLIVEIRA, 2000; AMORIM, 2005) (Figura 1).

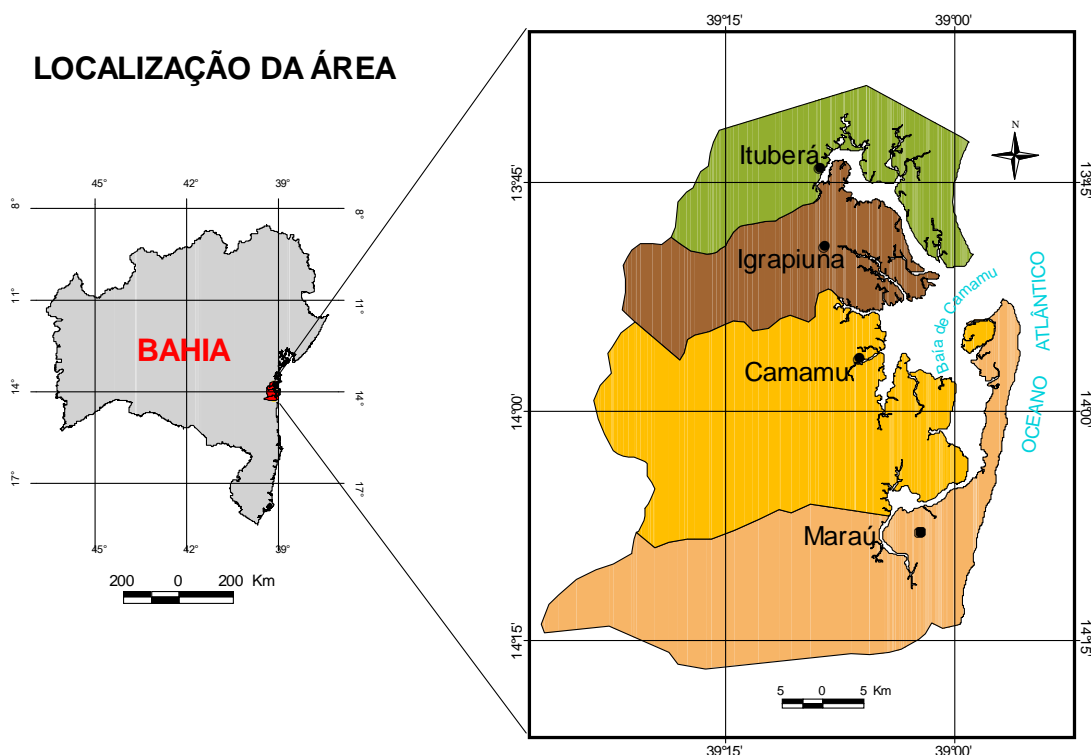


Figura 1: Mapa de localização da Baía de Camamu. Adaptado da base IBGE, SUDENE/SEI, 2000. Os pontos no mapa representam as sedes municipais.

O ecossistema de manguezal fornece produtos naturais que são utilizados nas atividades socioeconômicas da população local. Na Baía de Camamu, a exploração dos recursos pesqueiros ainda é a atividade que mais distribui renda e que mobiliza o maior número de famílias na região litorânea. Uma dimensão disso é o fato de que Salvador foi o maior produtor de pescado (10.118,66 toneladas, representando 21,35% da produção estadual) do Estado da Bahia no ano de 2002, seguido por Camamu (com 11,5% da produção estadual) (SEMARH/HYDROS, 2005).

Diante da relevância dos ecossistemas costeiros da Baía de Camamu para as populações do entorno, é preocupante o potencial que diversas atividades desenvolvidas na região

¹ Depois da baía de São Marcos (Maranhão), de Todos os Santos (Bahia) e da Guanabara (Rio de Janeiro).

² De acordo com o Decreto Estadual nº 8.175 de 27 de fevereiro de 2002, que cria a Área de Proteção Ambiental – APA da Baía de Camamu.

³ Localizada entre os paralelos 13°47'51" e 13°54'51" S, e entre os meridianos 38°45'33" e 38°55'11" W.

litorânea da baía tem para causar a degradação desses ambientes. Essas atividades incluem o lançamento de efluentes domésticos, a maricultura, a mineração, o turismo, as embarcações, as atividades agropecuárias, extrativistas e empresariais, entre outras (PAIXÃO et al., 2007).

Desde a década de 1980, o acréscimo da população urbana do município de Camamu tem causado problemas para suprir a demanda habitacional crescente, principalmente em áreas de manguezais, nos limites da sede municipal. Atualmente Camamu é a cidade de maior densidade demográfica (37,89 hab/km²) e o maior índice de urbanização (36% da população) da região da baía, enquanto Marauá e Igrapiúna apresentam, respectivamente, 85,5% e 84,1% de sua população em áreas rurais, localizadas nas áreas interioranas e costeiras (SEMARH/ HYDROS, 2005). O crescimento populacional tem causado aumento na disposição de efluentes domésticos nas águas superficiais, o que é agravado pela ampliação da atividade turística canalizada para os municípios de Marauá⁴ e Camamu, e pelo crescimento urbano desordenado.

Com relação às atividades de mineração, na Baía de Camamu, destaca-se a exploração de baritina (sulfato de bário) nas ilhas Grande e Pequena; e a extração de brita, areia e argila realizadas no entorno da baía, responsável pela produção de resíduos, pela liberação de nutrientes e de substâncias tóxicas (SEMARH/ HYDROS, 2005). Especificamente quanto à mineração de petróleo, a El Paso, empresa do setor energético, iniciou em 2007 a exploração de petróleo na plataforma continental adjacente à Baía de Camamu (Campo de Pinaúna e de Sardinha) atuando em águas rasas, com cerca de 20 m de profundidade, tendo como objetivo a produção marítima de óleo com alto teor parafínico, com pretensão de explorar 9,9 mil barris de petróleo e 110 mil m³ de gás por dia. O campo de Pinaúna, localizado no bloco BM-CAL-4, tem reservas de 73,6 milhões de barris de petróleo e 800 milhões de m³ de gás natural e está a 13,5km da costa (O Estado de São Paulo, 2007).

A Petrobras iniciou a partir de 2005 a atividade exploratória no campo de gás de Manati, localizado ao norte da Baía de Camamu, pertencente ao Bloco BCAM-40, em uma lâmina d'água média de 40 m, a 10 km da costa de Tinharé (consórcio formado pela Petrobras (35 %), Queiroz Galvão (55 %) e Norse Energy (10 %), sendo a Petrobras a operadora) (RIMA BCAM, 2003). O campo engloba a produção, escoamento e tratamento do gás natural. Com a colocação em produção dos seis poços de desenvolvimento perfurados em Manati, a Bahia teve um incremento na sua produção diária de 6 milhões de m³ de gás, sendo que a atual capacidade máxima de processamento da estação Vademir Ferreira localizada no município de São Francisco do Conde é de 8 milhões de m³/dia. Com isso a Bahia conseguiu mais que dobrar a sua oferta de gás no mercado. A capacidade de produção para cada poço perfurado ficou acima de 1 milhão de m³/dia (A TARDE, 2007).

Os principais acidentes ambientais que poderiam ocorrer durante os trabalhos de exploração desse gás, estavam mais ligados à fase de perfuração e completação dos poços, com a utilização de duas plataformas autoelevatórias de perfuração (PA-29 e PA-13), por esta área ser considerada ambientalmente sensível. De acordo com o Relatório de Impacto Ambiental do BCAM, os principais acidentes ambientais seriam vazamentos de óleo diesel em tanques de estanqueidade, ruptura do duto *offshore* e principalmente, a contaminação da água por condensados (*blow out*) (RIMA BCAM, 2003).

Nos processos de licenciamento para as operações de perfuração marítima em lâmina d'água inferior a 60 m e em zonas ambientalmente sensíveis, o órgão ambiental exige que não haja descarte *in loco* de qualquer tipo de efluente gerado. Nesse sentido, faz-se

⁴ A península de Marauá é o principal destino turístico da baía de Camamu, com destaque para a vila de Barra Grande.

necessário o recolhimento de todos os efluentes gerados no processo de perfuração e completação dos poços do campo de Manati, bem como o seu descarte em áreas pré-determinadas e georreferenciadas de lâmina d'água > 1.000 m.

Durante a perfuração, um dos maiores problemas ambientais, seria a ocorrência de influxo descontrolado de fluido da formação (hidrocarbonetos) para o interior do poço/superfície, fenômeno conhecido como *blow out* (RIMA BCAM, 2003). Este problema seria minimizado neste caso, por se tratar de um campo de gás, com um pequeno percentual de condensado (0,0057 %) associado à produção de gás (0,9943 %), mas mesmo assim, a modelagem foi realizada para o pior cenário estudado: poço produzindo 100% de condensado de forma descontrolada.

Embora a Baía de Camamu não seja área de influência direta desse empreendimento, de acordo com o Relatório de Impacto Ambiental do Projeto Manati (RIMA BCAM, 2003), o blow-out é um grande vazamento de condensado na plataforma, de abrangência regional e, segundo a modelagem realizada, seria o pior cenário estudado, com a probabilidade de 80% de atingir a costa de Tinharé, situada geograficamente acima da baía. As áreas de risco ambiental da Baía de Camamu foram mapeadas através dos modelos de circulação marinha e atmosférica, e de trajetória do óleo, que determinaram a região central e sul da baía como de risco no período de seca, enquanto no período chuvoso seriam atingidas as regiões central e norte (AMORIM, 2005).

Entretanto, são diversas as possíveis fontes não acidentais de contaminação por óleo na região da Baía de Camamu, que incluem troca de óleo de motor (de embarcações que transportam passageiros, que fornecem apoio logístico na prevenção de acidentes ambientais, que navegam para o atendimento a emergências etc), operações de lavagem de tanques, vazamentos de descargas operacionais *offshore*. Na Baía da Camamu, esse tipo de contaminação tende a aumentar como consequência do crescente fluxo náutico e principalmente pelo crescimento da atividade *offshore* exploratória⁵ desenvolvida pela Petrobras e parceiros. Do mesmo modo, a possível reativação do porto de Campinho, representaria mais uma fonte de contaminação dos ecossistemas da baía, por hidrocarbonetos de petróleo e outros compostos.

No que tange aos constituintes do petróleo, no óleo dos reservatórios de águas rasas da bacia de Camamu, predominam os alcanos, hidrocarbonetos de cadeias carbônicas pesadas, que têm baixo °API⁶ (*The American Petroleum Institute Gravity Scale*) (ITOPF, 2004) e são mais persistentes, devido a sua menor proporção de voláteis e alta viscosidade. Embora os alcanos possam causar efeitos deletérios aos organismos aquáticos, a exemplo de efeitos anestésicos e narcotizantes, a toxicidade desse grupo de hidrocarbonetos é relativamente baixa.

Com relação a outras atividades com potencial para causar alterações nos ecossistemas da Baía de Camamu, a aqüicultura⁷ é uma atividade incipiente na baía a qual está sendo estimulada pela Bahia Pesca e por outras iniciativas⁸ (BAHIA PESCA, 2001).

⁵ Os hidrocarbonetos poliaromáticos e outros componentes do óleo, uma vez absorvidos nos sedimentos são liberados lentamente durante anos, podendo exceder mil vezes ou mais a concentração inicial encontrada na água, que é menor que 1 µg/L em áreas não sujeitas à poluição (CRAPEZ, 2001). Este fenômeno pode causar às assembléias bentônicas, alterações comportamentais imediatas, seguidas por respostas bioquímicas e fisiológicas que podem alterar processos como os de crescimento e reprodução, com reflexos na biodiversidade e sobre os estoques pesqueiros.

⁶ °API (*American Petroleum Institute*) – é uma escala para a medição da densidade relativa de líquidos.

⁷ O principal impacto dos sistemas intensivos de cultura sobre o sedimento deriva da deposição de altas cargas de conteúdo orgânico. A magnitude deste impacto é variável e pode ter como resultado uma série de alterações geoquímicas e biológicas no substrato (JAMBRINA LEAL, 1995).

A implantação do trecho Camamu-Itacaré da rodovia BA 001 (cuja obra foi iniciada com a implantação de 34,3 km de ligação do município de Camamu ao entroncamento com a BR-030 (inaugurado em abril/09) e finalizada com o trecho de 13,5 km de extensão, entre a BR-030 e Itacaré (inaugurado em novembro/09), reduzindo o tempo de deslocamento de duas horas para 40 minutos) é outro empreendimento que, embora possa contribuir para a redução do fluxo náutico da travessia Camamu-Barra Grande, contribuirá também com a melhoria do acesso à região e para o aumento da demanda pelo consumo de peixes e mariscos. A previsão é que mais de 1.200 veículos trafeguem diariamente na rodovia. A superexploração do pescado pode ainda aumentar a viabilidade econômica dos empreendimentos de aqüicultura (SEMARH/ HYDROS, 2005).

Considerando os sistemas hidrográficos que deságuam na Baía de Camamu, associados aos municípios de Ituberá, Igrapiúna, Camamu e Marau (respectivamente os sistemas de: [I] Ituberá, que tem como principal representante o rio Serinhaém, cujo estuário possui uma área de 106 km², com 48% deste total constituído de manguezal; [II] Igrapiúna, que apresenta como principal canal o rio Igrapiúna; [III] Sorojó, composto pelos rios Pinaré, Acaraí e Conduru; e [IV] Marau, constituído por pequenos rios e pelo rio Marau), um conjunto de indicadores de pressões antrópicas⁹ relativos a esses municípios foi utilizado por Paixão et al. (2007) para elucidar quais são os sistemas mais comprometidos em termos ambientais. Os resultados indicam o sistema de Sorojó-Camamu como o mais pressionado, seguido pelos de Ituberá, Igrapiúna e Marau¹⁰.

Diante da importância ecológica e econômica dos ecossistemas costeiros da baía e a influência de diversas atividades antrópicas que atuam na região, a Baía de Camamu foi escolhida como área de estudo. Essa pesquisa foi focada nos manguezais, em virtude das características que tornam esse ecossistema especial. Os manguezais são ambientes complexos de transição entre o meio terrestre e o marinho, considerado ecossistema-chave devido à sua riqueza em recursos naturais e aos serviços ambientais que oferece. Exporta matéria orgânica e contribui para a produtividade primária da zona costeira. Destaca-se como um dos ambientes mais férteis do planeta, sendo propício à reprodução de inúmeras espécies e rico em biodiversidade.

Levando-se em conta a valoração de bens e serviços desse ecossistema, já realizada em outras partes do mundo, os manguezais chegam a apresentar valor três vezes superior àquele da mesma área coberta por florestas tropicais (PRIMAVERA, 1995).

Os manguezais da Baía de Camamu estão entre os mais importantes do Estado da Bahia, em termos de extensão e de significância ecológica juntamente com os manguezais localizados no extremo sul da Bahia¹¹, além de serem considerados como ainda bem preservados (OLIVEIRA, 2000; BARROS, 2007).

⁸ Está em andamento um projeto da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), intitulado "Bioecologia, Enfermidades e Implantação de Cultivos de Ostras e Sururus na Baía de Camamu, BA", financiado pela FINEP através de Ação Transversal Chamada Pública MCT/FINEP – Aqüicultura 12/05, que engloba o cultivo de ostras e sururus na península de Marau.

⁹ Dados do IBGE da estimativa populacional ($n^{\circ} hab$), densidade demográfica (hab/km^2), lavoura permanente e temporária (ha), empresas (n°), extração madeira (m^3) e pecuária ($cabeça$).

¹⁰ Estudos mais detalhados que investiguem um universo maior de indicadores relacionados à influência humana e de fatores como o clima, a litologia, as características dos ecossistemas aquáticos e a vegetação circundante, são necessários para corroborar esses resultados preliminares.

¹¹ De Valença a Mucuri, a área estimada de cobertura de manguezais é de 70.000 hectares, com destaque para os bosques existentes na baía de Camamu, Canavieiras, Caravelas e Nova Viçosa, em virtude do estado de conservação apresentado.

Com relação à pesca, atividade principal das populações costeiras da Baía de Camamu, os manguezais produzem mais de 95% do alimento que o homem captura no mar. Considerando o fato da superfície costeira da Baía de Camamu ser 44% coberta por esse ecossistema, a qualidade desses ambientes está relacionada à produtividade marinha regional e é vital à subsistência das comunidades pesqueiras que vivem em seu entorno.

Devido à sua importância, os manguezais são protegidos de corte pelo Código Florestal (Lei nº 4771/65) (BRASIL, 1965) e são reconhecidos como Áreas de Preservação Permanente (Resolução CONAMA nº. 303/02) (BRASIL, 2002). Embora tenham seu valor reconhecido, aproximadamente 50% desse ecossistema tem sido transformado ou destruído pela atividade humana (KENNISH, 2002).

Essa estimativa é preocupante ao considerar que o Brasil possui cerca de 25.000 km² de manguezais distribuídos ao longo de uma costa com mais de 8.000 km, sendo que a área correspondente ao Estado da Bahia deve aproximar-se de 100.000 hectares, distribuídos ao longo de aproximadamente 1.100 km de costa, e uma população humana diretamente envolvida com esse ecossistema em torno de 95.000 habitantes (RAMOS, 2002).

Os resultados de estudos científicos realizados nesses ambientes podem fornecer subsídios à preservação e a gestão sustentável desse ecossistema. Contudo, ainda que os bosques sejam mais extensos na Baía de Camamu e no extremo-sul do Estado, os manguezais da região norte da Bahia, e especialmente, os do Recôncavo, são mais estudados.

Em função da presença da Refinaria Landulpho Alves¹² e de outros empreendimentos industriais situados na Baía de Todos os Santos (BTS), os manguezais dessa região têm sido mais estudados, com destaque para as investigações geoquímicas e ecológicas (PESO-AGUIAR e ALMEIDA, 1996; NASCIMENTO et al., 2000; VEIGA et al., 2005; QUEIROZ et al.; 2006; ARGOLO et al., 2006; CELINO et al., 2006; CELINO e QUEIROZ, 2006).

Entre os compartimentos dos manguezais que podem ser alvo de estudo, os sedimentos se destacam por formar habitats para uma série de espécies, muitas das quais são diretamente utilizadas para o consumo humano e que também servem como alimento para camarões e peixes.

Devido à granulometria fina, os sedimentos de manguezais são eficientes na absorção de compostos de carbono, no suprimento de nutrientes, e também no acúmulo de contaminantes, funcionando como um indicador histórico de contaminação e desempenhando um papel fundamental na biodisponibilidade de vários compostos químicos. Dessa maneira, a preservação da qualidade dos sedimentos de manguezais é vista como uma extensão necessária à proteção da vida aquática.

Os métodos e técnicas aplicáveis à avaliação da qualidade dos sedimentos que incluem análises físico-químicas para gerar informações ambientais e sobre o grau de contaminação, e análises biológicas para avaliar efeitos à biota (CHAPMAN, 1989; MacDONALD, 1993) apresentam limitações quando aplicados isoladamente. Uma discussão sobre esses métodos está apresentada no **ANEXO A**.

Devido aos limites para a interpretação das respostas aos métodos isolados e à complexidade dos processos ecológicos que ocorrem nos sedimentos, a avaliação da sua

¹² A Refinaria Landulpho Alves (RLAM) da Petrobrás está há mais de 40 anos instalada na região norte da Baía de Todos os Santos, e processa cerca de 1.125.000 m³ de petróleo/dia.

qualidade conduzida por meio da análise integrada de parâmetros biogeoquímicos é mais apropriada, porque reduz o grau de incerteza das avaliações individuais, garantindo respostas mais confiáveis.

Ainda que estudos nos sedimentos de manguezais tanto do extremo-sul do Estado (MENEZES et al., 1991; CUZZUOL e CAMPOS, 2001; SOARES et al., 2006), como da região da Baía de Camamu (MELO JÚNIOR et al., 2005) venham sendo realizados, ainda são poucos os trabalhos que integram parâmetros biogeoquímicos.

Oliveira (2000) realizou um estudo biogeoquímico nos manguezais da baía através da investigação dos compartimentos sedimentos, água e vegetação. Os resultados apontaram para alterações ambientais significativas nos manguezais da região das ilhas Grande e Pequena influenciados pela atividade de mineração.

Posteriormente, a geoquímica dos sedimentos de manguezais da baía foi analisada em um estudo envolvendo 5 estações de coleta entre a ilha de Tinharé e a península de Marau¹³. A comparação dos resultados obtidos a valores de referência e a outros trabalhos realizados no mesmo período indicou que as concentrações dos sedimentos da Baía de Camamu foram geralmente superiores. Em relação aos valores PEL¹⁴, 12 entre os elementos determinados não atingiram as concentrações de referência, sendo que o conteúdo de fósforo apresentou-se muito mais baixo que em outras regiões (NANO et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2005b).

Os resultados desse estudo indicaram que as concentrações de metais aumentaram em proporção ao acréscimo de argila e da matéria orgânica, como o esperado. O bário, especificamente, apresentou concentrações mais altas em duas estações, sugerindo que a barita explorada na região das ilhas Grande e Pequena pode ter elevado as concentrações desse elemento nos sedimentos de manguezais do entorno (NANO et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2005b).

Outro estudo envolvendo a caracterização química dos sedimentos de três estações amostrais no interior da Baía de Camamu através da determinação de HPA, alifáticos e HTP, demonstrou que, para a maioria dos parâmetros, os valores apresentaram-se abaixo do limite de detecção da análise U.S.EPA 8270, SW-846 (com exceção dos HTP, cujos valores médios foram de 934,36 µg/kg) (OLIVEIRA et al., 2005a).

Entretanto, um trabalho ainda mais recente, de investigação da distribuição espacial de metais e da macrofauna bentônica em sedimentos superficiais da Baía de Camamu e de seus tributários indicou que os teores mais altos de metais foram encontrados na porção superior do rio Serinhaém, na entrada de Marau e ao redor das ilhas Grande e Pequena. E em apenas poucas estações que apresentaram concentrações relativamente elevadas de metais foram encontrados valores altos de abundância e diversidade da macrofauna. A baía foi considerada como pouco impactada, embora algumas concentrações de metais tenham excedido os limites NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) (HATJE et al., 2008).

No entanto, entre os estudos biogeoquímicos realizados, não há registro da avaliação dos sedimentos de manguezais da Baía de Camamu através da aplicação de análises físico-químicas e bentônicas, em relação às respostas ecotoxicológicas. Da mesma maneira que não há evidências da investigação do comportamento da fração de metais biodisponíveis.

¹³ Através da determinação de metais (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, Al, Ba, Fe, Mn e V), nitrogênio, fósforo, matéria orgânica, HPAs, alifáticos, mistura complexa não resolvida, hidrocarbonetos resolvidos do petróleo e hidrocarbonetos totais do petróleo.

¹⁴ Nível provável de efeito adverso às comunidades biológicas (NOAA, 1999).

Diante disso, o projeto “Avaliação da Qualidade dos Sedimentos de Manguezais da Baía de Camamu” foi desenvolvido a partir da integração do método da Tríade de Qualidade de Sedimentos (TQS) à técnica dos Sulfetos Volatilizáveis por Acidificação e Metais Extraídos Simultaneamente (SV/MES).

O método da TQS foi originalmente descrito por Long e Chapman, em 1985, mas somente introduzido no Brasil pela CETESB, em 1996. Esse método correlaciona os indicadores tradicionais de poluição, “estrutura de comunidades bentônicas” e “análises químicas”, a respostas de “ensaios ecotoxicológicos”. É comprovadamente eficaz para a compreensão dos efeitos das pressões antropogênicas sobre os ecossistemas aquáticos e, em particular sobre os sedimentos (ZAMBONI, 2000; ZAMBONI e ABESSA, 2002).

Entretanto, ferramentas devem ser desenvolvidas e adicionadas a cada um dos componentes da TQS para oferecer, por exemplo, aumento da relevância ecológica do método. Uma vez que a Tríade da Qualidade dos Sedimentos originalmente não prevê a análise do aspecto da biodisponibilidade de metais (LONG e CHAPMAN, 1985), levando em conta apenas a fração total de metais, quantificada quimicamente, nesta pesquisa foi incorporada à TQS, a técnica dos MES/SVA, aplicável à determinação da fração de metais biodisponíveis.

A inclusão da análise de MES/SVA, bem como a proposição de teste de toxicidade subletal (fase embrio-larval) com espécie representativa dos manguezais em estudo, visou à utilização de ferramentas relevantes ao ecossistema em questão para fortalecer o desempenho da TQS na avaliação da qualidade dos sedimentos.

Dessa maneira, esta pesquisa produziu informações científicas de *baseline* sobre a avaliação integrada (ecotoxicológica, química e bentônica) da qualidade dos sedimentos de manguezais da Baía de Camamu que poderão vir a subsidiar as políticas de intervenção, controle e segurança ambiental.

A relação entre esta pesquisa (na qual a Ecologia está fortemente inserida) e a Geologia (área do conhecimento em que a proposta deste trabalho foi aprovada na forma de Projeto de Tese e na qual o produto final está sendo agora submetido à avaliação para a obtenção da Titulação de Doutor(a) em Geologia) consiste na finalidade comum de ambas as ciências, em investigar o meio natural. Compreender processos físico-químicos e químicos que levaram determinada região a ser tal como a observamos e gerar informações que possam contribuir para a resolução/prevenção de problemas ambientais é objetivo da Geologia e, em relação aos manguezais da Baía de Camamu, é objetivo também do presente trabalho. Este estudo é adequado, sobretudo, à área de concentração selecionada, no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Geologia da UFBA, para o desenvolvimento da pesquisa: Geologia Marinha, Costeira e Sedimentar. A opção por essa linha de estudo está atrelada à natureza do projeto proposto: a área de estudo do Projeto - baía/manguezal – está inserida em região costeira; e a matriz de estudo – sedimento - corrobora essa relação.

1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral da pesquisa foi avaliar se a atual qualidade dos sedimentos de manguezais da Baía de Camamu é aceitável para a proteção da vida aquática, considerando os principais indicadores da influência antrópica na região, o que foi realizado através de métodos analíticos, avaliação ecotoxicológica e análise da distribuição das comunidades bentônicas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Métodos de Campo

2.1.1 Métodos de coleta e amostragem

A amostragem foi realizada em outubro e dezembro de 2007. Os sedimentos foram coletados na região de entre-marés dos manguezais da baía, nos períodos de baixa-mar. A coleta foi realizada em sete estações amostrais nas regiões norte e central da Baía de Camamu (**Figura 2**). O número e a localização das estações foram estabelecidos em função da representatividade espacial e dos recursos financeiros disponíveis. As coordenadas geográficas dos pontos foram determinadas com auxílio de receptor GPS (*Global Positioning System*) da marca Garmin.

As amostras destinadas às análises químicas (incluindo as amostras para análises de SVA), testes de toxicidade e estudo das comunidades bentônicas foram coletadas simultaneamente. Em cada estação foram coletadas seis sub-amostras destinadas à composição de uma única amostra composta por estação de coleta, para as análises químicas. Para a obtenção das amostras compostas, as sub-amostras foram misturadas, homogeneizadas, fracionadas e acondicionadas em recipientes adequados aos tipos de análise (orgânicas e inorgânicas) a que foram submetidas.

Para os ensaios ecotoxicológicos foi coletada uma amostra de sedimento por estação de amostragem, para a extração da água intersticial. Em cada estação foram coletadas seis amostras para as análises de bentos. O detalhamento dos procedimentos de coleta está apresentado no **ANEXO B**.

2.2. Métodos de Laboratório

2.2.1 Análises químicas

As variáveis para avaliar a qualidade dos sedimentos de manguezal da Baía de Camamu foram selecionadas considerando-se os parâmetros mais relevantes à preservação da vida aquática e também as informações levantadas sobre a área de estudo (OLIVEIRA, 2000; SEMARH/HYDROS, 2005; OLIVEIRA et al., 2005a), seu histórico de contaminação e suas atuais fontes contribuintes.

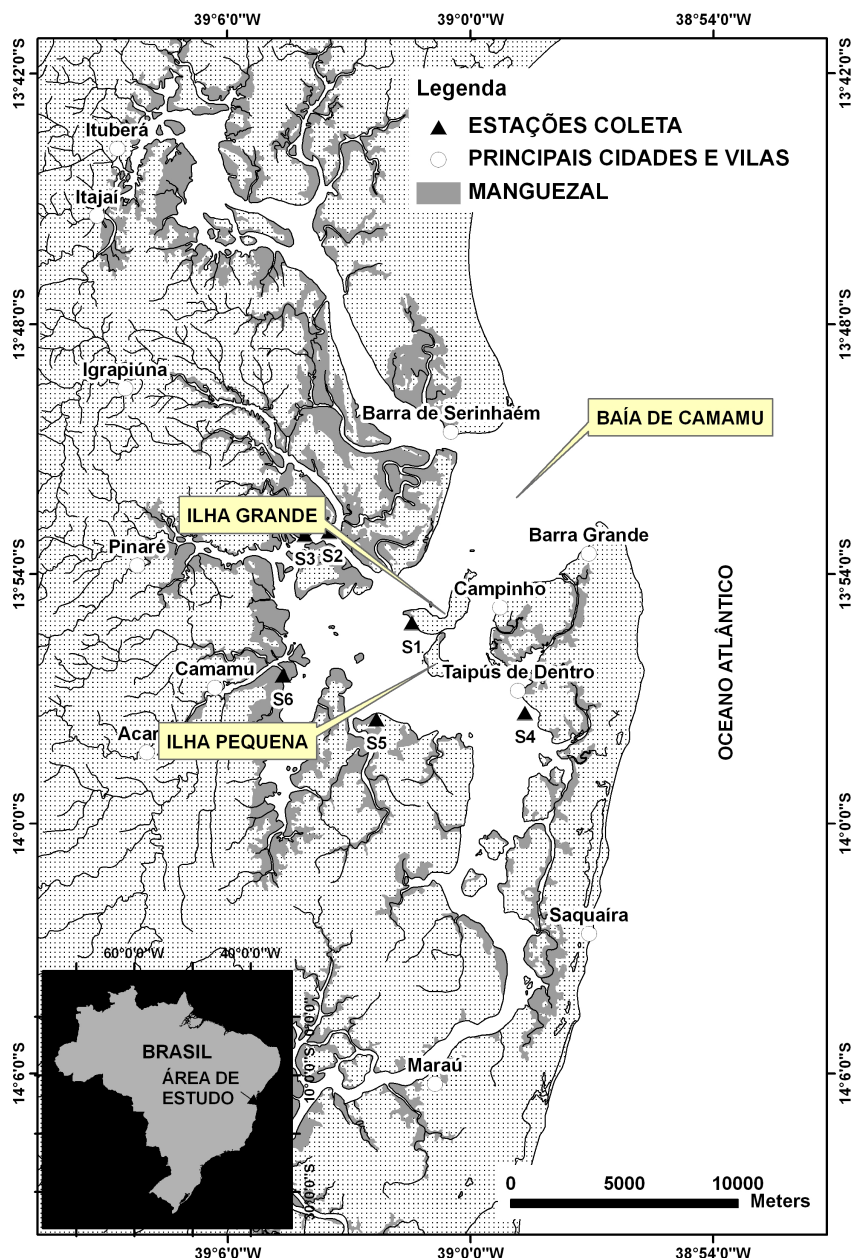


Figura 2: Distribuição das estações de coleta na Baía de Camamu. Os triângulos representam os pontos de amostragem.

Uma vez que os metais podem ser encontrados de várias formas em ecossistemas aquáticos (incluindo as formas livre, dissolvida, complexados à matéria orgânica da água intersticial, adsorvidos às partículas dos sedimentos e insolubilizada), o conhecimento dessas diferentes formas auxilia na identificação e estimativa da magnitude dos efeitos dos metais à biota aquática. A partição, biodisponibilização e toxicidade de metais são processos complexos e influenciados por diversas variáveis.

Em ecossistemas de manguezais os sedimentos são predominantemente pobres em oxigênio e ricos em matéria orgânica. Por ação microbiológica, a matéria orgânica sofre desnitrificação com redução do sulfato relacionada a esse processo. Como consequência forma-se o sulfeto de hidrogênio. Nesse tipo de sedimento (de manguezal – anóxico) os sulfetos controlam a assimilação de íons de metais. Por afinidade química, os sulfetos reagem com os íons metálicos bivalentes, a exemplo dos íons de Cd, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn,

formando precipitados insolúveis. Os metais insolúveis estarão indisponíveis para causar toxicidade à biota aquática – pelo menos enquanto se mantiverem as condições ambientais favoráveis à ligação sulfetos-metais. E isso é um importante indicador para a determinação da qualidade dos sedimentos, do ponto de vista ecológico.

Dessa forma, os metais Ni, Cu, Pb, Zn, Cd, Ba, Fe e Al foram selecionados nesta pesquisa porque:

- Os metais Ni, Cu, Pb, Zn e Cd são bivalentes, e portanto podem estar indisponíveis no meio e combinados com sulfetos – o que foi investigado;
- O metal Ba foi selecionado porque a geologia da região aponta para a presença de minério de barita (OLIVEIRA, 2000);
- Os metais Pb, Zn e Cu, de acordo com estudo pretérito desenvolvido na Baía de Camamu (CAMPOS, 1984), são expressivos no minério de barita;
- Al e Fe são elementos importantes em sedimentos de manguezais (e encontrados em concentrações naturalmente elevadas). Em manguezais, compostos de Fe são reduzidos e os íons podem reagir com o sulfeto de hidrogênio (que confere o odor característico dos sedimentos de manguezais) formando minerais de Fe (e.g.: pirita – FeS_2). Metais também podem estar associados a óxidos amorfos de Fe e Al.

Desta forma, foram realizadas análises dos seguintes parâmetros no sedimento: granulometria¹⁵, matéria orgânica¹⁶; carbonatos¹⁷, nitrogênio total (EMBRAPA, 1997); metais (alumínio, bário, cádmio, chumbo, cobre, ferro, níquel e zinco¹⁸) (ASTM, 2002); Sulfetos voláteis em ácido (USEPA, 1991); hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) (EPA, 1990), hidrocarbonetos totais de petróleo (*Department of Energy – Pacific Northwest National Laboratory, USA, 1999*); distribuição das assembléias bentônicas e ensaios ecotoxicológicos com embriões da ostra *Crassostrea rhizophorae*. Os métodos estão apresentados de maneira mais detalhada no **ANEXO C**.

2.3. Interpretação e Integração dos Resultados

Considerando que “qualidade” não se refere a um grau de pureza absoluto, mas a um padrão tão próximo quanto possível do “natural”, e considerando ainda que na maioria das situações, as concentrações elevadas de substâncias no sedimento devem-se às atividades antropogênicas (mas que níveis elevados também podem ocorrer naturalmente como resultado, por exemplo, de processos erosivos), até que nível os sedimentos podem ser considerados aceitáveis para a proteção da vida aquática?

Critérios e padrões de qualidade, em sua maioria baseados em investigações ecotoxicológicas (ZAGATTO e BERTOLLETTI, 2006) estão disponíveis para auxiliar na resposta a essa questão. Critérios internacionais de qualidade dos sedimentos foram estabelecidos a fim de determinar os limites recomendáveis para garantir o grau de pureza desejável em função do uso, com base em resultados de avaliações científicas.

Os padrões de qualidade, que são baseados nos critérios, em adição aos dados científicos, também levam em consideração os fatores políticos, econômicos, sociais, além de aspectos

¹⁵ Permite caracterizar as propriedades físicas dos sedimentos em acumular poluentes (menor ou maior presença de finos). O tamanho do grão influencia também na distribuição das espécies bentônicas.

¹⁶ Identifica nos sedimentos, os possíveis efeitos relacionados especialmente ao lançamento de esgotos e cargas orgânicas. O conteúdo de matéria orgânica interfere na disponibilidade dos contaminantes.

¹⁷ São sais e minerais que contém o íon CO_3^{2-} . Os carbonatos podem se associar a metais e a metalóides (o radical carbonato combina com cátions bivalentes).

¹⁸ A determinação de metais permite conhecer os possíveis efeitos da acumulação dessas espécies químicas nos sedimentos, associados a fatores antrópicos de atividade industrial ou de manutenção de embarcações.

relativos ao uso e manejo dos sedimentos (NAS/NAE, 1973; ENVIRONMENT CANADA, 1979; CHAPMAN, 1986; 1989; FÖRSTNER et al., 1993). Dessa maneira, os resultados obtidos foram interpretados em comparação aos critérios apresentados no **ANEXO D**.

Uma vez definidos os métodos de análise, torna-se necessário integrar os resultados (CHAPMAN et al., 1990; ARAÚJO et al., 2006). Um dos métodos disponíveis de avaliação integrada dos componentes da Triade propõe que todas as medidas sejam transformadas em valores relativos (RTR – *ratio to reference*) aos dados do ponto de referência, expressando o número de vezes que esta medida excede em tamanho àquela esperada sob condições ambientais consideradas satisfatórias (CHAPMAN, 1986).

Considerando que a Baía de Camamu é uma área relativamente bem conservada, torna-se difícil estabelecer um ponto totalmente isento de contaminação para o qual se espera que os resultados analíticos difiram daqueles obtidos para as estações de amostragem estabelecidas na área de estudo. Por esse mesmo motivo, outra dificuldade da aplicação desse procedimento é que antes de efetuar o cálculo RTF é necessário verificar se todas as medidas a serem usadas na análise respondem diretamente ao grau de degradação ambiental; caso contrário é necessário que se processem transformações matemáticas, para que este pré-requisito do método seja respeitado.

Uma alternativa para contornar algumas dificuldades no uso da TQS, foi apresentada pela CETESB¹⁹ (2005a) que aplica as seguintes variáveis no monitoramento de sedimentos das bacias hidrográficas do Estado de São Paulo: análises químicas (cujo critério utilizado são os valores-guia estabelecidos pelo CCME²⁰, 1999), a toxicidade ao anfípodo *Hyalella azteca*, (varia desde o “não tóxico” ao efeito agudo superior a 50%, permitindo classificar os sedimentos como de qualidade ótima a péssima), e o estudo das comunidades bentônicas (resultados expressos pelo Índice de Comunidade Bentônica, que varia de 1 a 5, classificado como de ótimo a péssimo).

Contudo, entre os métodos de integração aplicáveis à TQS, as análises multivariadas constituem-se no procedimento que menos leva à perda de informações, e que oferecem a interpretação mais próxima da realidade. Assim, na avaliação da qualidade dos sedimentos de manguezal da Baía de Camamu, os dados bióticos e abióticos foram avaliados isoladamente, de acordo com os procedimentos descritos no **ANEXO C**, e de maneira integrada, através de diferentes métodos estatísticos (**ANEXO D**).

2.4. Elaboração dos Artigos

Após o tratamento integrado das informações alcançadas nesta pesquisa foi iniciada a etapa de elaboração dos artigos, cuja integração aqui apresentada, substitui a Tese de Doutorado, conforme as diretrizes apresentadas no Regimento Interno do Curso de Pós-Graduação em Geologia da UFBA, disponível em <http://www.pggeologia.ufba.br/site/>.

A elaboração dos artigos envolveu o tratamento, interpretação dos dados, a geração de gráficos e tabelas, a pesquisa de artigos científicos relacionados aos temas abordados no projeto de tese e disponíveis na base dos periódicos da CAPES²¹.

Este trabalho de conclusão de doutoramento foi elaborado de acordo com as “Recomendações de Tese na forma de artigos (2008-09-29)” e também, no que foi aplicável, respeitando-se o “Modelo Geral para apresentação do trabalho final de Dissertação de Mestrado e Tese de Doutorado” apresentado como anexo dos “Procedimentos” do Curso de Pós-Graduação em Geologia (2006). Ambos os documentos estão disponíveis em <http://www.pggeologia.ufba.br/site/>.

¹⁹ Companhia de Tecnologia de Saneamento do Estado de São Paulo.

²⁰ *Canadian Council of Ministers of the Environment*.

²¹ Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

Foram elaborados 2 artigos, descritos a seguir:

Artigo 1: O artigo intitulado “**Relationship of metal content and bioavailability with benthic macrofauna in Camamu Bay (Bahia, Brazil)**” foi aceito para publicação na revista *Marine Pollution Bulletin*, em 2 de dezembro de 2009.

Artigo 2: O artigo intitulado “**Integrated assessment of mangrove sediments in the Camamu Bay (Bahia, Brazil)**” foi submetido ao periódico *Ecotoxicology and Environmental Safety*, em 26 de janeiro de 2009.

O Artigo 1 e sua respectiva carta de aceite, assim como o Artigo 2 e sua respectiva carta de submissão estão apresentados no **ANEXO E**.

O material bibliográfico utilizado na elaboração deste documento e de seus anexos estão apresentados no item Referências. Os trabalhos utilizados na elaboração dos artigos estão apresentados nas Referências (*References*) dos próprios manuscritos.

3. CONCLUSÃO

O presente estudo produziu informações de linha de base a respeito da qualidade dos sedimentos de manguezais da Baía de Camamu (Brasil), através dos resultados das análises de compostos orgânicos, de metais traço e sua disponibilidade, da análise da distribuição da macrofauna bentônica e das respostas de embriões da ostra *Crassostrea rhizophorae* à toxicidade da água intersticial, sendo a primeira pesquisa conduzida nesta área, para este fim, com base no pressuposto do “peso-das-evidências”.

De acordo com os resultados das análises de compostos orgânicos, os sedimentos não estão contaminados em termos de hidrocarbonetos poliaromáticos. É possível que as concentrações de n-alcenos - compostos de baixa toxicidade encontrados em concentrações relativamente altas nos sedimentos de todas as estações - sejam de origem biogênica²², tendo em vista as evidências de que os níveis de alcanos são mais altos em sedimentos de ecossistemas com influência fluvio-marinha, ricos em matéria orgânica; e que são biosintetizados por vegetais. No entanto não foi possível excluir a contribuição por fonte petrogênica, através da verificação do peso molecular de alcanos, uma vez que foram encontrados alcanos de todos os comprimentos de cadeia analisados e as jazidas dessa região são constituídas por óleo de elevado teor parafínico.

Os resultados de alguns metais (Ni, Cu e Ba) foram ligeiramente elevados em comparação aos valores de referência (AET e ERL), aos níveis relatados em estudos recentes para os mesmos manguezais e para a região de infralitoral da Baía de Camamu, e em relação às concentrações registradas para outras áreas costeiras consideradas preservadas²³. Por outro lado, os teores dos metais analisados (Ni, Cu, Ba e Pb) foram, em geral, mais baixos em relação às concentrações encontradas em ecossistemas reconhecidamente impactados.

Os resultados de metais evidenciaram diferenças entre as estações de amostragem, sendo que os teores mais elevados foram, em geral, encontrados na Estação 1 (E1). O minério de barita, onde está localizada a E1, deve ser a principal fonte das concentrações de metais (principalmente bário) nos sedimentos da Baía de Camamu, mas não é possível atribuir a

²² N-alcenos de baixo peso molecular ($C < 20$) estão mais associados à matéria orgânica de origem marinha, enquanto os de alto peso molecular ($C > 20$) são mais relacionados à matéria orgânica de origem terrestre. A razão entre o somatório de n-alcenos pela concentração de alcanos com 16 átomos de carbono, se inferior a 15 pode ser indicativa de contaminação por petróleo, e se superior a 15 deve estar mais relacionada à presença de matéria orgânica recente. No entanto essa interpretação deve ser feita considerando-se outras informações geoquímicas.

²³ As áreas costeiras utilizadas como fonte de comparação estão descritas nos artigos apresentados no Anexo E.

contaminação por metais à mineralização de barita e/ou à mineração desativada deste minério, uma vez que, embora as mais altas concentrações de metais tenham sido encontradas nas proximidades da área industrial, dados pré-mineração não estão disponíveis para elucidar essa questão.

As assembléias bentônicas apresentaram 38 espécies, foram dominadas em algumas estações por espécies aparentemente oportunistas²⁴ (principalmente na E1) e foram influenciadas pela distribuição do tamanho do grão e pelo teor de nitrogênio total. Em comparação com as outras estações, a macrofauna bentônica da E1 apresentou-se associada a sedimentos arenosos, sendo que ocorreu uma clara relação multivariada entre as amostras dessa estação (E1) e as concentrações de metais.

Ainda que algumas concentrações de metais estejam sendo encontradas em níveis acima do ERL nos sedimentos de manguezais da Baía de Camamu, em geral as amostras apresentaram de baixo a moderado efeito tóxico aos embriões de *Crassostrea rhizophorae*.

Analisados de maneira integrada esses resultados fornecem um panorama da atual qualidade dos sedimentos de manguezais para a proteção da vida aquática e indicam que a Baía de Camamu ainda pode ser considerada uma área relativamente bem conservada. De uma perspectiva ambiental, este estudo produziu informações de linha de base para a avaliação futura dos impactos da exploração de petróleo (iniciada recentemente na plataforma continental adjacente à baía) e do aumento do fluxo de embarcações relacionado ao turismo regional, uma vez que hidrocarbonetos e, em menor extensão, metais estão associados à contaminação por vazamento de óleo e seus derivados.

Adicionalmente, os resultados deste estudo podem ser utilizados com subsídio à tomada de decisões por medidas preventivas e/ou mitigadoras de impacto nessa região costeira e podem ser utilizados para comparação com outros estudos que avaliem a contaminação de manguezais por metais e/ou hidrocarbonetos.

No Artigo 1 foram apresentados os resultados das análises da macrofauna bentônica e de metais-traço. No Artigo 2 esses resultados também foram apresentados, mas explorados de maneira diferente, juntamente com os resultados dos testes de toxicidade com embriões de ostra e os resultados das análises dos compostos orgânicos (**Anexo E**).

REFERÊNCIAS

- A TARDE. Especial Manati. Salvador. 2007. Disponível em: <http://www3.atarde.com.br/especiais/manati>. Acesso em 16 de outubro de 2009.
- ALLEN, H.E.; FU, G.; DENG, B. Analysis of acid-volatile sulfide (AVS) and simultaneously extracted metals (SEM) for the estimation of potencial toxicity in aquatic sediments. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.13, n. 4, p. 612-626. 1993.
- AMORIM, F.N. **Caracterização Oceanográfica da Baía de Camamu e Adjacências e Mapeamento das Áreas de Risco a Derrames de Óleo**. 2005. 170p. Dissertação de Mestrado. Pós Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- ARAÚJO, R.P.A.; SHIMIZU, G.Y.; BOHRER, M.B.C.; JARDIM, W. Avaliação da qualidade de sedimentos. In: ZAGATTO, P.A.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia Aquática – princípios e aplicações**. São Carlos: Rima, 2006. 478p. ISBN – 85-7656-090-9.
- ARGOLO, J. L.; FREIRE, G. S. S.; CELINO, J. J.; BECKER, H.; QUEIROZ, A. F. S.; HADLICH, G. M. Variação espacial e correlação geoquímica dos metais pesados em sedimentos de manguezais da Baía de Todos os Santos - Bahia. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2006, Sergipe. **Anais...** Sergipe : SBG - Núcleo Bahia-Sergipe, 2006. v. 1. p. 336-336.

²⁴ 103 indivíduos de *Anomalocardia brasiliiana* estavam presentes nas amostras da Estação 1, enquanto um número muito menor de indivíduos das outras espécies foi encontrado.

- ARMITAGE, P. D. Behaviour and ecology of adults. In: The Chironomidae: Biology and Ecology of Non-Biting Midges (P. D. Armitage, P. S. Cranston & L. C. V. Pinder, ed.). **Chapman & Hall**. London. pp. 194-224. 1995.
- ARAMBARRI I, GARCIA R, MILLAN E. Assessment of tin and butyltin species in estuarine superficial sediments from Gipuzkoa, Spain. **Chemosphere** 51, 643-9. 2003.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Practice for Acid-Extraction of Elements from Sediments Using Closed Vessel Microwave Heating. ASTM D5258. 2002.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D 3978-80. Standard practice for algal growth potential testing with *Selenastrum capricornutum*. In: Annual Book of ASTM Standards, v. 11.04, p. 32-36. 1988.
- BAHIA PESCA. Macrodiagnóstico do Potencial da Bahia para a Carcinicultura Marinha. Governo do Estado da Bahia/Secretaria de Agricultura, 2001. CD-Room.
- BARBOUR, M. T.; GERRITSEN, J.; SNYDER, B. D.; STRIBLING, J. B. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. 2 ed. **Environmental Protection Agency**. Washington, DC. 1999.
- BARROS, F.; MAGALHÃES, W.F.; HATJE, V.; SPANÓ, S.; SILVA, M.B.F.; CIRANO, M. Assembléias bentônicas da Baía de Camamu, Bahia, Brasil. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR, 12., 2007, Florianópolis. CD Room. 2007.
- BAT, L.; RAFFAELLI, D.; MARR, I.L. . The accumulation of copper, zinc and cadmium by the amphipod *Corophium volutator* (Pallas). **J. exp. Mar. Biol. Ecol.**, v. 223, p. 167-184. 1998.
- BRASIL. Leis, decretos, etc. 1965. Lei Federal nº. 4771, de 15 de setembro de 1965. Código Florestal Brasileiro. 1965.
- BRASIL. Leis, decretos, etc. 2002. Resolução CONAMA nº 303 de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.
- BRASIL. Leis, decretos, etc. 2004. Resolução CONAMA nº 344, de 25/03/2004. Brasília/DF. Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial da União de 07/05/2004, retificada em 28/05/2004.
- BURGESS, R.M.; ROGERS, B.A.; REGO, S.A.; CORBIN, J.M.; MORRISON, G.E. Sand spiked with copper as a reference toxicant material for sediment toxicity testing: a preliminary evaluation. **Arch. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 26, p. 163-168. 1994.
- BURTON, Jr, G.A. 1991. Assessing the toxicity of freshwater sediments. **Environmental Toxicology and Chemistry**, vol. 10, p. 1585-1627.
- BURTON, Jr, G.A.; NELSON, M.K.; INGERSOLL, C.G. 1992. Freshwater benthic toxicity tests. In: BURTON, Jr., G.A. (Ed) Sediment toxicity assessment. Boca Raton: Lewis Publishers, Cap. 10, p. 213-240. 1992.
- CAIRNS JÚNIOR, J.; PRATT, J. R. A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. In: **Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates** (D. M. Rosenberg & V. H. Resh, ed.). Chapman & Hall. New York. pp. 10-27. 1993.
- CCME- CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: summary tables. In: **Canadian environmental quality guidelines**. Winnipeg: CCME, 1999. Disponível em: <http://www.ec.gc.ca/ceqg-cqe/English/Pdf/sediment_summary_table.htm>. Acesso em 28 set. 2001.
- CCME- CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: summary tables. CCME, 2001. Disponível em: <http://www.ec.gc.ca/ceqg-rcqe/English/Pdf/sediment_summary_table.htm>. Acesso em: 15/01/2006.
- CELINO, J. J.; QUEIROZ, A. F. S. Fonte e Grau da Contaminação por Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) de baixa massa molecular em sedimentos da Baía de Todos os Santos, Bahia. **Revista da Escola de Minas**, v. 59, p. 265-270, 2006.
- CELINO, J. J.; QUEIROZ, A. F. S.; OLIVEIRA, O. M. C. Adverse Levels of Heavy Metals and Petroleum Hydrocarbons in Sediments of the Mangrove from São Francisco do Conde Region, Todos os Santos Bay, Bahia, Brazil. In: XLIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2006, Aracaju. **Anais...** Salvador: Talismã Gráfica e Editora Ltda., 2006. v. 1. p. 235-235.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo. CETESB. São Paulo: CETESB. 2005a.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. 2005b.

CHAPMAN, P.M. Current approaches to developing sediment quality criteria. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 8. p. 589-599. 1989.

CHAPMAN, P.M. Sediment quality criteria from the sediment quality triad: an example. **Environmental Toxicology and Chemistry**, vol. 5, p. 957-964. 1986.

CHAPMAN, P.M.; POWER, E.A.; DEXTER, R.N.; ANDERSEN, H.B. Evaluation of effects associated with an oil platform, using the sediment quality triad. **Environmental Toxicology and Chemistry**, vol. 10, n. 3, p 407-424, 1990.

CLARKE, K. R. Non-Parametric Multivariate Analyses of Change in Community Structure. **Australian Journal of Ecology**, v. 18, p. 117-143. 1993.

CLARKE, K.R., WARWICK, R.M. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation, 2a ed. PRIMER-E Plymouth, UK. p. 172. 2001.

CRAPEZ, M.A.C. 2001. Efeitos dos hidrocarbonetos de petróleo na biota marinha. In: Efeitos de poluentes em organismos marinhos. R. MORAES et al. São Paulo: Arte & Ciência Villipress. 2001. 288 p. il.

CUZZUOL, G. R. F.; CAMPOS, A. Aspectos nutricionais na vegetação de manguezal do estuário do Rio Mucuri, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 227-234, 2001.

DAUVIN, J. C.; GOMEZ GESTEIRA, J.L.; SALVANDE FRAGA, M. Taxonomic Sufficiency: An Overview of Its Use in the Monitoring of Sublittoral Benthic Communities After Oil Spills. **Marine Pollution Bulletin**, v. 46, p. 552-555. 2003.

DELVALLS, T.A., FORJA, J.M., GONZALEZ-MAZO, E., GOMEZ-PARRA, A., 1998. Determining contamination sources in marine sediments using multivariate analysis. **Trends Anal. Chem.**17, 181–192.

DI TORO, D.M.; MAHONY, J.D.; HANSEN, D.J., et al. Toxicity of cadmium in sediments: the role of acid volatile sulfide. **Environmental Toxicology and Chemistry**., v.9, p.1487-1502. 1990.

ELEFThERIOU, A., MCINTYRE, A. Methods for the study of Marine Benthos. 2005. Third edition. Blackwelle Science Ltd 417p.

EMMERSON, R.H.C., O'REILLY-WIESE, S.B., MACLEOD, C.L., LESTER, J.N., 1997. A multivariate assessment of metal distribution in inter-tidal sediments of the Blackwater Estuary, UK. **Mar. Pollut. Bull.** 34, 960–968.

ENVIRONMENT CANADA. 1979. Water Quality Sourcebook. A guide to water quality parameters. Eds. MCNEELY, R.N.; NEIMANS, U.P.; DWYER, L. Cat. n/ 37-54/1979.

ENVIRONMENT CANADA. 1990. "Guidance Document on the Control of Toxicity Test Precision Using Reference Toxicants", Conservation and Protection, Environmental Protection, Ottawa, ON, Report EPS 1/RM/12: 85p.

EMBRAPA. 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2ª edição. Rio de Janeiro. 1997. 212. el. (EMBRAPA – CNPS. Documentos) ISBN 85-858604-03-6. Manual de Método de Análise de Solo – 2ª Edição, 1997 – Embrapa.

EPA. **Method 8270** - Semi-volatile Organic Compounds by GC/MS, Rev. 02, Nov. 1990.

EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1991. ALLEN, H.E.; FU,G.; BOOTHMAN, W.; DI TORO, D.M.; MAHONY, J.D. Determination of Acid Volatile Sulfide and Selected Simultaneously Extractable Metals in Sediment. Draft Method. Washington. D.C.

EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Equilibrium partitioning sediment guidelines (ESGs) for protection of benthic organisms: metal mixtures (Cadmium, Copper,

Lead, Nickel, Silver and Zinc). Office of Science and Technology. Office of Research and Development. Washington/CD 20160. EPA-822-R-00-005. 2000.

EPA - Environmental Protection Agency, 1996. **Method 8015 B**. Nonhalogenated Organics using GC/FID.

EPS - ENVIRONMENTAL PROTECTION SERVICE. 1973. Guidelines on the Use and Acceptability of Oil Spill Dispersants, Report EPS 1-EE-73-1. Environment Canada. Environmental Protection Service. Ottawa, Canada: p. 1-5.

FINNEY, D. J. Probit Analysis, 3rd ed. University of Cambridge. Cambridge, England. 328p. 1971.

FÖRSTNER, U. 1990. Inorganic sediment chemistry and elemental speciation. In: BAUDO, R.; GIESY, J.P.; MUNTAL, H. (Ed.) Sediments: chemistry and toxicity of in-place pollutants. Boca Raton: Lewis Publishers, p. 61-105.

FÖRSTNER, U.; AHLF, W.; CALMANO, W. Sediment quality objectives and criteria development in Germany. **Water Science and Technology**, 28:8/9, p. 307-316. 1993.

GANDRA, M. S.; BEMVENUTI, C. E.; ANGONESI, L.G.; COLLING, L. E.; PEDERZOLLI, E.; FRONZA, L. Efeitos do petróleo sobre a associação de macroinvertebrados bentônicos na praia do Cassino, extremo sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3., 2005. **Anais...** Salvador, 2005.

GOLDBERG, A. M.; FRAZIER, J. M. Alternatives to animals in toxicity testing. **Sci. Amer.**, vol. 261, n. 2, p. 24-30. 1989.

HAMILTON, M.A.; RUSSO, R.C.; THURSTON, R.V. Trimmed Spearman-Kärber Method for Estimating Median Lethal Concentrations in Toxicity Bioassays. **Environmental Science & Technology**, v. 11, n.7: p. 714-719. 1977.

HATJE, V.; BARROS, F., MAGALHÃES, W.; RIATTO, V.B.; AMORIM, F.N.; FIGUEIREDO, M.B.; SPANÓC, S.; CIRANO, M. Trace metals and benthic macrofauna distributions in Camamu Bay, Brazil: sediment quality prior oil and gas exploration. **Marine Pollution Bulletin**, v. 56, 363-370. 2008.

HOUGAZ, P. 1993. Padronização de Testes de Ecotoxicidade com a microalga *Selenastrum capricornutum* (PRINTZ) Chlorophyceae. Salvador. Monografia. Bacharelado do Curso de Ciências Biológicas do Instituto de Biologia da UFBA. 30p.

IBGE/SUDENE/SEI. Mapeamento topográfico sistemático do projeto SEI. IBGE - Diretoria de Ciências, Departamento de Cartografia. 2000.

INGERSOLL, C.G. 1995. Sediment toxicity tests. In: RAND, G.M. (Ed) **Fundamentals of aquatic toxicology**. Washington/DC: Taylor & Francis, 2ed.p. 231-255. 1995.

ITOPF - International Tanker Owners Pollution Federation Limited – “Technical Information Paper – Fate of Marine Oil Spills”. Disponível em: <http://www.itopf.com/fate.html>, atualizada em 2004, acesso em novembro de 2006.

JAMBRINA LEAL, M.C., Problemática meio ambiental da aqüicultura marinha: propostas de medidas corretivas. In: Aulas del Mar, Contaminación Marina : Bases ecológicas, evaluación de impactos y medidas correctoras. Lucena, J.; Perez, A. Ruzafa (Eds. Universidad de Murcia. Vicerrectorado de Extensión Universitária. Servicio de promoción educativa, 1995. p. 335-389.

KENNISH, M. J. Environmental Threats and Environmental Future of Estuaries. **Environmental Conservation. Cambridge University Press**, v. 29, p. 78-107. 2002.

KUPPUSAMY, M.R., GIRIDHAR, V.V. Factor analysis of water quality characteristics including trace metal speciation in the coastal environmental system of Chennai Ennore. **Environ. Int.** 32, 174-9. 2006.

LAMBERSON, J.O.; DEWITT, T.H.; SWARTZ, R.C. 1992. Assessment of sediment toxicity to marine benthos. In: BURTON JR, G.A. (Ed.). Sediment Toxicity Assessment. Lewis Publishers Inc., Chelsea, p. 183-211. 1992.

LEDAUPHIN, S., HANAFI, M., QANNARI, E.M. Simplification and signification of principal components. **Chemom. Intell. Lab. Syst.** 74, 277-281. 2004.

- LONG, E.; CHAPMAN, P.M. A sediment quality triad: measures of sediment contamination , toxicity and infaunal community composition in Puget Sound. **Marine Pollution Bulletin**, vol. 16, n. 10, p. 405-415. 1985.
- LONG, E.R.; MORGAN, L.G., 1990. **The Potential for Biological Effects of Sediment-Sorbed Contaminants Tested in the National Status and Trends Program**. NOAA Tech. Memo. NOS OMA 52, NOAA, Silver Spring, MD.
- MacDONALD, D.D. 1993. Development of an approach to the assessment of sediment quality in Florida coastal waters. British Columbia: Mac Donald Environmental Sciences, 133 p.
- MELO JUNIOR, G.; OLIVEIRA, O. M. C.; MAIA, D.; CARVALHO, R. M. W. N.; GARCIA, K. S.; MARTINS, P. Hidrocarbonetos em Sedimentos Marinhos da Plataforma Continental Adjacente à Baía de Camamu (Ba). In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 2005, Vitória. CD II Congresso Brasileiro de Oceanografia. Vitória : Tec Art, 2005.
- MELO, S.L.R. ; ABESSA, D.M.S. Testes de toxicidade com sedimentos marinhos utilizando anfípodos. In: NASCIMENTO, I. A; SOUSA, E. C. P. M.; NIPPER, M. 2002. **Métodos em Ecotoxicologia Marinha: Aplicações no Brasil**. São Paulo: Editora Artes Gráficas e Indústria Ltda. 262p. 2002.
- MENEZES, G. V.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; PERIA, L. C. S.; SOARES, M. L. G.; TOGNELLA, M. M. P.; GRASSO, M. Manguezais de Caravelas (17 44´S 39 15´W), Bahia, Brasil. In: 2 SIMPÓSIO SOBRE OCEANOGRAFIA - IOUSP, 1991, São Paulo. 1991. p. 106-106.
- MOULTON, T. P. Saúde e integridade do ecossistema e o papel dos insetos aquáticos. In: Ecologia de Insetos Aquáticos (J. L. Nessimian, J.L; Carvalho, A.L. org.), **Serie Oecologia Brasiliensis**, vol. 6, p. 281-298, Rio de Janeiro: Editora UFRJ. 1998.
- MUCHA, A.P.; VASCONCELOS, T.S.D.; BORDALO, A. A. Vertical Distribution of the Macrobenthic Community And Its Relationships to Trace Metals and Natural Sediment Characteristics in the Lower Douro Estuary, Portugal. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, vol. 59 p. 663-673. 2004.
- MUNAWAR., M. ; MUNAWAR, I. F. Phytoplankton bioassays for evaluating toxicity of *in situ* sediment contaminants. **Hydrobiol.**, v.149, p. 87- 105. 1987.
- NANAMI, A.; SAITOA, H.; AKITAB, T.; MOTOMATSUC, K-I.; KUWAHARA, H. Spatial Distribution and Assemblage Structure of Macrobenthic Invertebrates in a Brackish Lake in Relation to Environmental Variables - **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, vol. 63, p.167–176. 2005.
- NANO, R. M. W. ; MELO JR., G ; OLIVEIRA, O. M. C. de ; MAIA, D. ; GARCIA, K. S. ; MARTINS, P. M. R. . Determinação de Hidrocarbonetos em Sedimento dos Manguezal do Sul do Estado da Bahia: Trecho entre a Ilha de Tinharé e a Península de Maraú. In: X Congresso Brasileiro de Geoquímica e II Simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul, 2005, Porto de Galinhas-PE. Resumos do X Congresso Brasileiro de Geoquímica e II Simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul, 2005.
- NAS/NAE. 1973. Water Quality Criteria 1972. Res. Series. USEPA (EPA-R3-73-033). Washington, DC. 549p.
- NASCIMENTO, I. A. ; PEREIRA, S. A.; LEITE, M. B. N. L. et al. Standardization, application and validation of bioassay method with embryos of *Crassostrea rhizophorae*, the mangrove oyster, for evaluation of tropical estuarine and marine waters. Proceedings of the Workshop on Biomonitoring MARC/UFBA, Salvador/ Brasil, 15p. 1989.
- NASCIMENTO, I. A. ; SMITH, D. H.; GOMES, M. G. S. *et al.* 2000. Ecotoxicological diagnosis of Aratu Bay, Bahia, Brazil: a new approach to validate a reactive short-term toxicity end-point by comparison with intertidal benthic activity. **J. Aquat. Ecosyst. Hlth. Mgmt. Spec**, v.3 (4): p. 449-458.
- NASCIMENTO, I. A. ; SOUSA, E. C. P. M.; NIPPER, M. 2002. Métodos em Ecotoxicologia Marinha: Aplicações no Brasil. São Paulo: Editora Artes Gráficas e Indústria Ltda. 262p.
- NASCIMENTO, I. A. 2002. Técnicas de coleta, preservação e preparo de amostras líquidas e de sedimento para testes de toxicidade. In: NASCIMENTO, I. A. ; SOUSA, E. C. P. M.; NIPPER, M. 2002. Métodos em Ecotoxicologia Marinha: Aplicações no Brasil. São Paulo: Editora Artes Gráficas e Indústria Ltda. 262p.

- NASCIMENTO, I. A.; RAMOS, M. I. S.; SANTOS, A. E. Sex-ratio e ocorrências de hermafroditismo em *Crassostrea rhizophorae* Guilding, 1828. In: Simpósio Brasileiro de Aqüicultura, v.1. **Anais...** Recife. ACIESP, p.385-395. 1980.
- NIPPER, M., CARR, R.S., BIEDENBACK, J.M., HOOTEN, R.L., MILLER, K. Toxicological and chemical assessment of ordnance compounds in marine sediments and porewaters. **Mar. Pollut. Bull.** 44, 789–806, 2002.
- NOAA, 1999. **Screening Quick Reference Tables**. NOAA HAZMAT Report 99-1, Coastal Protection and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle, WA.
- O Estado de São Paulo, 2007. El Paso inicia a produção de petróleo no Brasil. <<http://txt.estado.com.br/editorias/2007/03/10/eco-1.93.4.20070310.11.1.xml>>.
- PESO-AGUIAR, M.C.; ALMEIDA, V.G. Relatório Gerencial final do “Programa de Monitoramento dos Ecossistemas ao Norte da Baía de Todos os Santos”. Convênio PETROBRÁS/UFBA/FAPEX. Salvador, BA, 30 p. 1996.
- OLIVEIRA, O. M. C.; MELO JUNIOR, G.; MAIA, D.; CARVALHO, R. M. W. N. ; GARCIA, K. S. ; MARTINS, P. Metais Pesados em Águas Marinhas da Plataforma Continental Adjacente à Baía de Camamu (Ba). In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 2005, Vitória. CD II Congresso Brasileiro de Oceanografia. Vitória: Tec Art, 2005a.
- OLIVEIRA, O. M. C. de; NANO, R. M. W.; MELO JR., G ; MAIA, D. ; GARCIA, K. S. ; MARTINS, P. M. R. . Avaliação Geoquímica em Sedimento de Manguezal do Sul do Estado da Bahia: Trecho entre a Ilha de Tinharé e a Península de Maraú. In: X Congresso Brasileiro de Geoquímica e II Simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul, 2005. Resumos do X Congresso Brasileiro de Geoquímica e II Simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul, 2005b.
- OLIVEIRA, O.M.C. de. **Diagnóstico Geoambiental em Zonas de Manguezal da Baía de Camamu – BA**. Niterói. 2000. 249f. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental) – Instituto de Química. Universidade Federal Fluminense.
- PAIXÃO, J. F.; NASCIMENTO, I. A.; PEREIRA, S A . Implicações ambientais de diferentes formulações de gasolina no desenvolvimento embrionário da ostra *Crassostrea rhizophorae*. . In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS AMBIENTAIS E SAÚDE, 5., 2005, São Paulo. P. 379-384.
- PAIXÃO, J.F.; NASCIMENTO, L.; DOMINGUEZ, J.M.L. Aplicação de Sistema de Informações Geográficas na Determinação do Nível de Pressões Antrópicas sobre os Recursos Hídricos do Entorno da Baía de Camamu (Bahia-Brasil). In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 59, 2007. Universidade Federal do Pará. Belém. 2007.
- PRATT, J. M.; COLER, R. A. A procedure for the routine biological evaluation of urban runoff in small rivers. **Water Research**, vol. 10, p. 1019-1025. 1976.
- PRIMAVERA, J.H.A. Critical review on shrimp Pound culture in the Philippines. **Reviews in Fisheries Sciences**, vol 1, nº2, p. 151-210. 1995.
- QUEIROZ, A. F. S.; CELINO, J. J.; VEIGA, I. G.; TRIGUIS, J. A.; OLIVEIRA, O. M. C. ; SANTIAGO, J. S. A Última Década do Impacto Ambiental da Indústria Petrolífera em Manguezais da Região Norte da Baía de Todos os Santos, Bahia.. In: XLIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2006, Aracaju. **Anais...** Salvador : Talisma Gráfica e Editora Ltda., 2006. v. 1. p. 234-234.
- QUIJÓN, P A.; SNELGROVE, P.V.R. The Use of Coarser Taxonomic Resolution In Studies of Predation on Marine Sedimentary Fauna. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 330, p. 159–168. 2006.
- RAMOS, Sérgio. Manguezais da Bahia: breves considerações. Ilhéus: Editus, 2002.
- RIMA BCAM. Relatório de Impacto Ambiental do Bloco BCAM-40. PETROBRAS/GMA Soluções Ambientais/BIODINÂMICA. 2003.
- RIOS, E.C. Coastal Brazilian Seashells. Fundação cidade do Rio de Janeiro. Museu Oceanográfico do Rio Grande, Rio Grande/RS n. 11, p. 255. 1970.
- ROACH, AC.; JONES, A. R.; MURRAY, R. Using benthic recruitment to assess the significance of contaminated sediments: the influence of taxonomic resolution. **Environmental Pollution**, v. 112, p. 131-143. 2001.

- SCOTT, K.J.; REDMOND, M.S. The effects of a contaminated dredged material on laboratory populations of the tubicolous amphipod *Ampelisca abdita*. In U.M. COWGILL e L.R. WILLIAMS (Ed.) **Aquatic Toxicology and Hazard Assessment**, STP 1027. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, vol. 12 p. 289-303. 1989.
- SEMARH/HYDROS. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Hydros Engenharia e Planejamento Ltda. Diagnóstico Ambiental da APA da Baía de Camamu. 2005. Contrato nº001/2005.
- SHANNON, C.E., WEAVER, W. The Mathematical Theory of Communications. University of Illinois Press, Urbana, 125 pp. 1963.
- SILVA, M.B.F. **Avaliação do nível de contaminação nos sedimentos e estrutura das assembléias bentônicas da porção estuarina do Rio Paraguaçu, Bahia, Brasil**. 2006. 115f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Biomonitoramento)- Universidade Federal da Bahia. Salvador. 2006.
- SILVÉRIO, P.F.; MOZETO, A.A.; ARAÚJO, R.P.A. RODRIGUES, P.F.; UMBUZEIRO, G.A. Bases técnico-científicas para a derivação de critérios de qualidade de sedimentos lacustres para metais pesados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXICOLOGIA, 7., 2002, Vitória.
Resumo...Vitória: Sociedade Brasileira de Ecotoxicologia – SETAC-Brasil, 2002. p. 242.
- SOARES, M. L. G.; ARAÚJO, D. S. D.; PORTUGAL, A. M. M.; CHAVES, F. O.; DIAS, H. M.; OLIVEIRA, V. F.; BARBOSA, B.; ESTRADA, G. C. D. Laudo biológico do sistema Caravelas-Nova Viçosa com vistas à criação da Reserva Extrativista do Cassurubá. 2006.
- SPRAGUE, J. B. Factors that modify toxicity. In: Rand, G. M., Petrocelli, S. R. (Eds). **Fundamentals of Aquatic Toxicology**. Washington. **Hemisphere Publ**, p.124-163. 1985.
- STARK, J. S.; MARTIN, J. R.; SIMPSON, R. D. Human Impacts in Soft-Sediment Assemblages at Casey Station, East Antarctica: Spatial Variation, Taxonomic Resolution and Data Transformation. **Austral Ecology**, v. 28, p. 287-304. 2003.
- SWARTZ, R.C.; DIRTSWORTH, G.R.; SCHULTS, D.W.; LAMBERSON, J.O. Sediment toxicity to a marine infaunal amphipod: cadmium and its interaction with sewage sludge. **Marine Environmental Research**, 18: 133-153. 1985.
- TER BRAAK, C. J. F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. **Ecology**, 69: 69-77. 1986.
- U. S. EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Method 8270c. Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). 1990.
- U.S.A. Department of Energy- Pacific Northwest National Laboratory: NWTPH-Dx Method. 1999.
- U.S.EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1991. ALLEN, H.E.; FU, G.; BOOTHMAN, W.; DI TORO, D.M.; MAHONY, J.D. Determination of Acid Volatile Sulfide and Selected Simultaneously Extractable Metals in Sediment. Draft Method. Washington. D.C.
- VANDERKLIFT, M.A.; WARD, T.J.; PHILLIPS, J.C. Use of assemblages derived from different taxonomic levels to select areas for conserving marine biodiversity. **Biological Conservation**, v.86, p. 307-315. 1998.
- VEIGA, I.G.; QUEIROZ, A.F.S.; CELINO, J.J.; TRIGUIS, J.A. Grau de comprometimento ambiental dos sedimentos superficiais em manguezais da região norte da Baía de Todos os Santos, Bahia. In: 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 2005. Salvador.
- WALLEY, W. J.; FONTAMA, V. N. Neural network predictors of Average Score Per Taxon and number of families at unpolluted river sites in Great Britain. **Water Research**, vol 32, p. 613-622. 1998.
- WEBSTER, R., 2001. Statistics to support soil research and their presentation. **Eur. J. Soil Sci.** 52, 331–340.
- WELLS, P.G.; LEE, K.; BLAISE, C. (Eds.). **Microscale Aquatic Toxicology – Advances, Techniques and Practice**. CRC Lewis Publishers. Boca Raton, FL, 679p. 1998.
- WOELKE, C. E. 1972. Development of a receiving water quality bioassay criterion based upon the 48-hour pacific oyster (*Crassostrea gigas*) embryo. **Wash. Dep. Fish. Technical Report**, vol. 9, 93 p.
- ZAGATTO, P.A.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia Aquática – princípios e aplicações**. São Carlos: Rima, 2006. 478p. ISBN – 85-7656-090-9.

ZAMBONI, A.J. 2000. Caracterização ecotoxicológica do Estuário da Lagoa dos Patos no Entorno de Rio Grande, RS: fundamentos e técnicas. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 193p.

ZAMBONI, A.J.; ABESSA, D.M.S. 2002. A Tríade de Qualidade de Sedimentos. In: NASCIMENTO, I. A. ; SOUSA, E. C. P. M.; NIPPER, M. 2002. Métodos em Ecotoxicologia Marinha: Aplicações no Brasil. São Paulo: Editora Artes Gráficas e Indústria Ltda. 262p.

ANEXO A - Métodos e Técnicas Aplicáveis à Avaliação da Qualidade dos Sedimentos: Vantagens e Limitações Individuais

Análises físico-químicas

Os métodos de análises físico-químicas são imprescindíveis à identificação das concentrações de substâncias no sedimento. Essas análises são normalmente rápidas e úteis para indicar se os limites máximos, especificados nos critérios e/ou padrões de qualidade, estão sendo respeitados.

Mas a simples determinação da fração total de substâncias no sedimento ou na água intersticial não é suficiente para avaliar a sua qualidade. Embora as substâncias presentes no sedimento possam estar acima dos limites especificados nos critérios ou padrões de qualidade, esses teores podem não estar causando efeitos deletérios à biota.

É o que ocorre quando uma série de fases geoquímicas interfere na biodisponibilidade e toxicidade das substâncias orgânicas e inorgânicas (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2006). O conhecimento sobre essas fases (dominadas pelos oxidrilos de ferro e manganês, pelos carbonatos, pelos sulfetos e pela matéria orgânica) auxilia no estabelecimento dos principais parâmetros químicos que devem ser verificados na avaliação da qualidade dos sedimentos.

Considerando-se as diferentes fases geoquímicas, os íons de metais podem ligar-se aos óxidos amorfos de ferro e manganês e às partículas reativas de carbono orgânico nos sedimentos que apresentam condição oxidante (DI TORO et al., 1990; LAMBERSON et al., 1992; ALLEN, 1993). Por outro lado, em sedimentos anóxicos, são os sulfetos que parecem controlar a assimilação de íons de metais, como o cádmio e o níquel (DI TORO et al., 1990). Os metais permanecerão irreversivelmente combinados aos sulfetos nos sedimentos desde que as condições anaeróbias sejam mantidas.

Os metais também podem ser encontrados complexados à matéria orgânica presente na água intersticial. Mesmo combinados, os metais podem ser bioconcentrados, via organismos bentônicos, ao longo da cadeia alimentar (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2006).

Outros fatores que influenciam na disponibilidade e toxicidade dos metais no sedimento são o gradiente de oxigênio, o potencial redox, o pH, a temperatura, o tamanho da partícula (FÖRSTNER, 1990) e a presença de organismos que podem metabolizar e alterar o estado de valência dos metais, via reações de oxirredução.

Por outro lado, a partição de compostos orgânicos não-iônicos²⁵ entre os sedimentos e a água intersticial também é influenciada pelos teores de matéria orgânica. Esses compostos são pouco reativos e hidrofóbicos, e por isso persistem muito mais tempo nos sedimentos.

²⁵ PCBs (bifenilas policlorinadas), HPAs (hidrocarbonetos poliaromáticos) e compostos organoclorados são exemplos de compostos orgânicos não-iônicos.

Análises biológicas

Mesmo diante de todas as vantagens inerentes ao emprego de análises físico-químicas na avaliação da qualidade de sedimentos, essas análises apresentam algumas limitações (PAIXÃO et al., 2005):

As análises químicas não informam sobre os efeitos deletérios em organismos vivos, não antecipam as conseqüências biológicas da transformação química, não contemplam os efeitos interativos dos contaminantes, como sinergismos e antagonismos (MUNAWAR e MUNAWAR, 1987); e não consideram os efeitos interativos entre estes e parâmetros físico-químicos ambientais, não informam sobre a biodisponibilidade dos tóxicos, uma vez que medem a quantidade total da substância (ENVIRONMENT CANADA, 1990).

Outras desvantagens incluem o fato de que as medidas físico-químicas registram apenas o momento em que as amostras foram coletadas, necessitando assim de um grande número de análises para a realização de um monitoramento temporal eficiente; e se o material for coletado distante da fonte poluidora, as medições não serão capazes de detectar perturbações sutis no ecossistema (PRATT e COLER, 1976). Somente as espécies vivas são capazes de responder a todas as variáveis biologicamente relevantes, e por esse motivo, é importante considerar as respostas biológicas na avaliação da qualidade dos sedimentos.

Entretanto, as análises biológicas não permitem identificar a(s) substância(s) que causa(m) o efeito tóxico, sendo necessária a realização de análises químicas como processo complementar, e requerem um intervalo de tempo normalmente maior em comparação com as análises químicas, para serem executadas. Dessa maneira, as análises individuais (e.g. químicas, biológicas) apresentam limitações para responder à questão proposta, que podem ser superadas pelo seu uso integrado, baseado no “peso das evidências”.

Técnicas ecotoxicológicas

Em termos de métodos biológicos de avaliação da qualidade dos sedimentos, destacam-se as técnicas ecotoxicológicas, que envolvem o uso de respostas da exposição de organismos ao sedimento suspeito de contaminação.

Entre 1970 e 1980 essas técnicas foram inicialmente empregadas:

- (I) Para avaliar se sedimentos contaminados extraídos por dragagens poderiam causar efeito agudo em organismos bentônicos no local de disposição final (ARAÚJO et al., 2006);
- (II) Para estabelecer critérios de qualidade de sedimento (SWARTZ et al., 1985);
- (III) Para identificar áreas tóxicas à organismos bentônicos (SWARTZ et al., 1985; SCOTT e REDMOND, 1989);
- (IV) Para determinar as relações entre a toxicidade e a biodisponibilidade de contaminantes;
- (V) Para estudar as interações entre diferentes substâncias presentes nos sedimentos e seus efeitos nos organismos bentônicos;

(VI) Para monitorar a precisão intra-laboratorial dos resultados obtidos em testes de toxicidade no decorrer do tempo e assegurar a saúde do lote de organismos utilizados, através da utilização de sedimento controle contaminado em laboratório com substâncias de referência (BURGESS et al., 1994; BAT et al., 1998), e;

(VII) Em avaliações de risco, quando utilizados conjuntamente com dados de contaminação química e estrutura da comunidade bentônica (Tríade de Qualidade de Sedimento) (INGERSOLL, 1995).

As técnicas evoluíram e envolvem hoje, além dos ensaios agudos²⁶ e crônicos²⁷, o uso de biomarcadores, de sistemas de testes alternativos (GOLDBERG e FRAZIER, 1989), de testes de toxicidade em microescala (WELLS et al., 1998), e a automação de técnicas para a avaliação da toxicidade aguda, genotoxicidade e efeitos mutagênicos, entre outras análises.

Entre as matrizes comumente utilizadas, a avaliação ecotoxicológica da qualidade dos sedimentos pode ser realizada por meio da análise da fase sólida (sedimento total), da água intersticial ou elutriato²⁸. Os testes com a fase sólida representam os efeitos interativos de substâncias complexas em sedimentos contaminados e permitem estimar o significado biológico da contaminação química, enquanto os testes com água intersticial ou com elutriatos refletem a relação sedimento-água, apresentando sensibilidade superior àquela do sedimento íntegro para os testes agudos (MELO e ABESSA, 2002).

Testes de toxicidade com água intersticial têm sido descritos como significativamente mais sensíveis que testes com sedimento total (NIPPER et al., 2002); e vantajosos devido a sua relevância ecológica e por evitar fatores relacionados ao sedimento total que podem causar confusão, como por exemplo, a granulometria (McDONALD, 1993).

As técnicas de ensaios ecotoxicológicos *in vitro* têm como principais vantagens a sua praticidade, e como limitações, o distanciamento da realidade e as restrições quanto à extrapolação ao ambiente (MOULTON, 1998). Entretanto, os resultados de pesquisas que comparam os efeitos previstos através de testes em laboratório com efeitos realmente observados no campo, têm geralmente apresentado concordância ou demonstrado que um efeito sensivelmente inferior pode ser observado no campo (SPRAGUE, 1985; ENVIRONMENT CANADA, 1990; GANDRA et al., 2005).

Métodos de estudo do bentos marinho

Além da abordagem ecotoxicológica, o uso de técnicas quali-quantitativas envolvendo populações e comunidades também é muito importante para a avaliação da qualidade dos sedimentos.

Inicialmente eram empregados métodos na tentativa de classificar os ambientes com base na fauna local, enfatizando que a abundância de determinados grupos biológicos em áreas poluídas refletia a sua tolerância à poluição (esses métodos

²⁶ Ensaios de curto período de exposição.

²⁷ Ensaios em período de exposição que pode abranger a totalidade do ciclo de vida do organismo-teste ou parte dele.

²⁸ Amostras de sedimento misturadas à água de diluição e agitadas.

ainda são utilizados). A constatação de que os grupos tolerantes também são encontrados em áreas íntegras, levou à investigação da redução na abundância dos organismos sensíveis em estudos posteriores, embora atualmente seja criticado o real valor da "ausência" de uma espécie (CAIRNS JÚNIOR e PRATT, 1993).

As técnicas quali-quantitativas também podem ser aplicadas na determinação dos índices bióticos, cuja síntese originou o sistema conhecido por *Biological Monitoring Working Party Score System* (BMWP), que consiste na identificação das espécies ao nível taxonômico de família, com valores entre 1 e 10 atribuídos com base em sua sensibilidade a poluentes (quanto maior a sensibilidade, mais alto é o valor). Para cada local, após o registro de ocorrência dos táxons, somam-se os valores referentes a cada família, obtendo-se um valor final para a localidade. Quanto maior esse valor, mais íntegra a localidade. A aplicação do índice ASPT (*Average Score Per Taxon*), que é a média dos valores de cada família encontrada, tornou esse índice mais eficiente (WALLEY e FONTAMA, 1998).

Esses índices também são utilizados para correlacionar grupos de comunidades biológicas de uma área de referência (não poluída) a multivariáveis ambientais (ARMITAGE, 1995), a fim de obter as "comunidades esperadas" associadas a essas variáveis. Para avaliar o grau de impacto de uma localidade "teste" são estudadas as comunidades locais e os parâmetros ambientais, e comparados ao "esperado" para medir o grau de impacto. Essas determinações incluem a composição em espécies, riqueza, diversidade, abundância relativa, dominância, similaridade, biomassa populacional, idade, estrutura trófica da comunidade, produtividade.

Grupos ecológicos mais apropriados para a avaliação da qualidade dos sedimentos

Vários autores afirmam que as assembléias bentônicas são os grupos mais apropriados e utilizados na avaliação da qualidade dos sedimentos, especialmente o macrozoobentos (BARBOUR et al., 1999). Isso é válido tanto para as análises ecotoxicológicas, quanto para as análises quali-quantitativas.

O hábito sedentário e ciclos de vida relativamente longos de muitas espécies tornam os organismos bentônicos apropriados para trabalhos de avaliação de impactos em regiões costeiras. Os macroinvertebrados bentônicos possuem uma grande complexidade ecológica, sendo o principal elo trófico entre o fitoplâncton e os consumidores de níveis superiores, de maneira que qualquer distúrbio sobre estas associações pode desencadear alterações nos demais níveis tróficos.

As espécies bentônicas são apropriadas para serem utilizadas nos testes de toxicidade, porque vivem em contato direto com o sedimento contaminado e com a água, tanto intersticial como da fase sedimento-água (BURTON, 1991; BURTON et al., 1992).

Entre as possíveis determinações, a análise da distribuição espacial e abundância das assembléias bentônicas é um método indicado para a avaliação da qualidade dos sedimentos (MUCHA et al., 2004; NANAMI et al., 2005; SILVA, 2006), uma vez que os padrões de distribuição espacial e abundância variam em função de fatores naturais (ex: tamanho da partícula, profundidade, salinidade, pH, OD, recrutamento, competição, predação), e antrópicos (enriquecimento de nutrientes, contaminação, por metais, hidrocarbonetos poliaromáticos etc). Adicionalmente, esse grupo

apresenta um grande número de espécies que oferecem um amplo espectro de respostas, as metodologias de coleta são simples e de baixo custo e as famílias são relativamente fáceis de identificar.

Entretanto, o uso de indicadores biológicos de maneira isolada, para a avaliação da qualidade dos sedimentos, não permite identificar a(s) substância(s) que causa(m) o efeito tóxico, sendo importante o uso de análises químicas como processo complementar. Além disso, as avaliações biológicas requerem, normalmente, maior tempo para a obtenção da resposta em comparação com as análises químicas, as quais podem detectar algumas substâncias rapidamente (ENVIRONMENT CANADA, 1990).

ANEXO B - Métodos de Coleta e Análises de Sedimentos em Campo

Coleta e preservação das amostras de sedimento para as análises físico-químicas

Coleta e preservação de sedimento para as análises de constituintes orgânicos

Em cada estação amostral amostras de sedimento foram coletadas com pás de alumínio para a análise de orgânicos. As amostras foram transferidas para recipientes de alumínio e de vidro identificados, e cobertas com alumínio antes de serem tampadas.

Foi coletado o sedimento superficial (<15 cm profundidade), onde o material orgânico se acumula, concentrando produtos químicos lipofílicos, em um volume de aproximadamente 250 g por amostra/estação. As amostras foram estocadas a $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (< 14 dias até a extração) até a realização das análises (< 30 dias após a extração).

Coleta e preservação de sedimento para as análises de constituintes inorgânicos

A coleta de sedimento para as análises dos sulfetos voláteis em ácido e determinação dos metais foi realizada utilizando-se utensílios plásticos, por meio de procedimento semelhante à coleta para as análises dos orgânicos.

As amostras foram coletadas na superfície do substrato lamoso, depois do descarte dos dois primeiros centímetros do sedimento, que se constitui na superfície mais oxidada. Depois de recolhidas, as amostras foram imediatamente dispostas em sacos plásticos tipo *zip-lock*, previamente etiquetados, tomando-se cuidado para que nenhum espaço de ar permanecesse no saco, minimizando a oxidação dos sedimentos.

As amostras de sedimento foram mantidas sob refrigeração durante o transporte ($4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$). O volume mínimo coletado das amostras foi de 300 g. No laboratório as amostras para análises de metais e dos parâmetros físico-químicos foram estocadas a 4°C até que as análises fossem realizadas (<2 mes es).

Coleta de sedimento, extração da água intersticial e coleta de ostras para as análises ecotoxicológicas

O material sedimentar foi coletado e acondicionado de acordo com as “Técnicas de coleta, preservação e preparo de amostras líquidas e de sedimento para testes de toxicidade” (NASCIMENTO, 2002).

As amostras de sedimento foram coletadas na região de mesolitoral com pás plásticas de Teflon®. A coleta consistiu na extração da parte mais superficial (óxica) do sedimento (entre 0 e 5 cm de profundidade). As amostras foram transferidas para sacos plásticos e posteriormente foram utilizadas para a extração da água intersticial, por centrifugação, em laboratório (aproximadamente 250 mL de água intersticial/estação).

A água intersticial, fase líquida do sedimento foi utilizada para analisar a ecotoxicidade das amostras de sedimento. As amostras de água intersticial foram mantidas em recipientes de vidro âmbar com tampa de Teflon®, devidamente etiquetados, e foram conservadas em temperatura de $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ até a realização dos ensaios, os quais foram realizados em período inferior a 72 horas após a coleta.

As ostras que foram utilizadas para a obtenção dos embriões *in vitro* foram coletadas na maré-baixa, de área da Baía de Camamu distante de influência antrópica (entrada da baía, a partir do Oceano Atlântico) e transportadas ao laboratório em caixas teladas, entre camadas das folhas da vegetação do manguezal, de acordo com Nascimento et al. (2000). Como a espécie é protândrica²⁹, foram coletadas, em adição às ostras de tamanho comercial de aproximadamente sete centímetros, algumas ostras com cerca de dois centímetros para garantir a obtenção de espermatozoides.

Em laboratório as ostras foram escovadas (para a retirada dos organismos incrustantes) e postas por 24 horas em água do mar filtrada, com salinidade aproximada da água do local de coleta (28), e sob aeração. Neste período as ostras não foram alimentadas. Após esse período foram coletados os gametas para a fertilização e obtenção dos embriões *in vitro*.

Coleta de sedimento para a análise de bentos

A coleta de sedimentos para as análises de bentos foi realizada por meio do lançamento aleatório de quadrados (6 vezes/estação), seguido pela remoção do sedimento (<15 cm), do interior dos quadrados, com pás plásticas. O sedimento coletado foi transferido para sacos de ráfia etiquetados. Ao final do dia, o material coletado para a análise de bentos foi triado ainda em campo.

O método dos quadrados aleatórios foi escolhido para a caracterização qualitativa de comunidades zoobentônicas, por que:

- Os dados obtidos a partir do emprego desse método de disposição dos quadrados ao acaso tornam mais robustas as análises estatísticas a serem aplicadas, em relação a outros métodos de amostragem disponíveis (ELEFThERIOU e MCINTYRE, 2005).
- Esse método é mais adequado à avaliação de ambientes sedimentares razoavelmente uniformes, a exemplo de sedimentos de manguezais (ELEFThERIOU e MCINTYRE, 2005).
- Esse método é adequado aos objetivos do trabalho.

Embora as amostras coletadas nos quadrados demandem maior tempo para serem analisadas, em relação a outros métodos de amostragem, estas correspondem a um registro completo. A aleatoriedade é importante para garantir que os dados sejam “os mais independentes possível”, no espaço (de um local a outro) e entre as réplicas.

A área do quadrado definida para a coleta de amostras de assembléias zoobentônicas é muito importante para a identificação do modelo de distribuição e abundância dos organismos. Assim, foi escolhido quadrado de 40x40 cm, levando-

²⁹ Espécies que os órgãos sexuais masculinos atingem a maturidade mais cedo e no processo de crescimento as gônadas convertem-se em femininos.

se em conta dos objetivos do trabalho e a relação custo-benefício associada ao seu uso. Como custo, entende-se o esforço de captura, triagem e identificação dos grupos taxonômicos, e como benefício, a representatividade dessa escala (40x40 cm) frente aos padrões mais comuns das variações ambientais.

A amostragem com quadrados menores (30x30 cm ou 15x15 cm, por exemplo) é mais adequada à amostragem de animais menores (e.g., poliquetas). Para animais maiores (ex: caranguejos), quadrados maiores que 1x1 m seriam mais adequados, visto que seria necessária a utilização de um grande número de réplicas na adoção de quadrado de menor escala.

Tendo em vista que nenhuma escala é apropriada para a amostragem de todas as espécies, o quadrado de 40x40 cm foi escolhido por representar variações espaciais de escala intermediária, nem tão grandes, como aquelas variações registradas, por exemplo, por quadrados maiores que 1x1 m, nem tão pequenas, como aquelas identificáveis por amostradores menores que 15x15 cm.

O número de réplicas a serem coletadas por ponto de amostragem é uma decisão ao mesmo tempo difícil de ser tomada e imprescindível para o direcionamento do estudo. Difícil porque o número de réplicas deve ser estabelecido considerando-se que o bentos varia em número e em tipos de espécies no espaço e que uma decisão equivocada pode dificultar ou impedir o alcance dos objetivos do trabalho, visto que um estudo não replicado leva a conclusões inválidas.

O número de réplicas adotado para a amostragem de bentos neste projeto (6 réplicas/estação) foi estabelecido com base em trabalhos similares realizados na região de infra-litoral da Baía de Camamu e trabalhos realizados na Baía de Todos os Santos, os quais estão citados nas referências bibliográficas dos artigos.

ANEXO C - Métodos de Laboratório e Interpretação dos Dados

Análises químicas

Na Tabela 1 são apresentadas as metodologias analíticas das variáveis químicas que foram analisadas no sedimento.

Tabela 1 – Metodologias analíticas das variáveis que foram avaliadas no sedimento

Variáveis	Metodologia analítica	Bibliografia
Alumínio ³⁰	Espectrometria de absorção atômica com chama (Norma ASTM 5258)	ASTM, 2002
Bário ²²	Espectrometria de absorção atômica com chama (Norma ASTM 5258)	ASTM, 2002
Cádmio ²²	Espectrometria de absorção atômica com chama (Norma ASTM 5258)	ASTM, 2002
Carbonatos	Acidimetria em presença de fenolfaleída e Titulometria	EMBRAPA, 1997
Chumbo ²²	Espectrometria de absorção atômica com chama (Norma ASTM 5258)	ASTM, 2002
Cobre ²²	Espectrometria de absorção atômica com chama (Norma ASTM 5258)	ASTM, 2002
Ferro ²²	Espectrometria de absorção atômica com chama (Norma ASTM 5258)	ASTM, 2002
Granulometria	Método das Pipetas	EMBRAPA, 1997
HPA ³¹	Cromatografia gasosa e espectroscopia de massas (EPA 8270)	EPA, 1990
HTP	Cromatografia gasosa acoplada em espectrômetro de massas (NWTPH-Dx Method)	U.S.A., 1999
Matéria orgânica	Manual de Método de Análise de Solo da Embrapa (2a edição)	EMBRAPA, 1997
Nitrogênio	Método Kjeldahl	EMBRAPA, 1997
Níquel ²²	Espectrometria de absorção atômica com chama (Norma ASTM 5258)	ASTM, 2002
n-alcanos	Cromatografia gasosa espectrometria de massa (EPA 3550)	EPA, 1996
Zinco ²²	Espectrometria de absorção atômica com chama (Norma ASTM 5258)	ASTM, 2002

³⁰ A amostra foi digerida em meio nítrico, em sistema de microondas fechado e posteriormente analisada em espectrômetro de absorção atômica. Para a preparação, o sedimento foi homogeneizado, secado a 40°C em estufa, desagregado e peneirado. Para a digestão, a 1 g da amostra foram adicionados 10 mL de ácido nítrico a 50% (v/v). Após 30 minutos os recipientes foram lacrados, pesados e encaminhados para a digestão por microondas. As amostras foram lidas em espectrômetro de absorção atômica.

³¹ 1 g de amostra de sedimento úmido foi secado com sulfato de sódio anidro e recebeu a adição de padrão de controle. A extração foi feita com cloreto de metileno (concentrado a 0,2 mL e com padrão adicionado) em banho de ultra-som. A amostra foi injetada em um cromatógrafo a gás acoplado em um espectrômetro de massas (GC/MS). A análise de umidade da amostra foi feita em paralelo e os teores foram corrigidos para base seca. Amostras ricas em matéria orgânica foram purificadas após a etapa de extração através de Florisil ou Alumina.

As análises químicas foram realizadas nos Laboratórios do SENAI/CETIND (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial/ Centro de Tecnologia Industrial Pedro Ribeiro), que têm ensaios acreditados pelo INMETRO com base nos requisitos da norma ABNT ISO/IEC 17025 e têm certificação ISO 9001:2000.

No que se refere aos critérios utilizados como referência à interpretação dos resultados analíticos para auxiliar na elucidação da qualidade dos sedimentos, o único documento legal de abrangência federal é a Resolução CONAMA nº 344/04 (BRASIL, 2004). No entanto essa Resolução é direcionada ao estabelecimento de diretrizes e procedimentos para a avaliação do material a ser dragado visando o gerenciamento de sua disposição em águas jurisdicionais brasileiras. Na ausência de um instrumento legal específico para a avaliação da qualidade dos sedimentos, é considerado apropriado o uso dos padrões recomendados por essa Resolução (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2006).

Esses padrões foram estabelecidos para solos pela norma da CETESB "Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo" (D.O.U. 26/10/2001), e coincidem com valores orientadores descritos em publicações internacionais referentes à qualidade de sedimentos. Essa norma de referência da CETESB estabelece o "valor de referência de qualidade", o "valor de prevenção" e o "valor de intervenção" para diferentes substâncias (CETESB, 2005b).

Nesse trabalho, o grau de contaminação química por metais e compostos orgânicos dos sedimentos foi classificado segundo os valores de referência estabelecidos no documento "*Screening Quick Reference Tables*" (na tabela de valores para sedimentos marinhos) da agência "*National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA*" (NOAA, 1999), baseados em concentrações totais e na probabilidade de ocorrência de efeito deletério sobre a biota: o menor limite TEL (*Threshold Effect Level*) – representa a concentração abaixo da qual raramente são esperados efeitos adversos para os organismos; o maior limite PEL (PEL – *Probable Effect Level*) – representa a concentração acima da qual é freqüentemente esperado o efeito adverso para os organismos.

Na faixa entre TEL e PEL situam-se os valores onde ocasionalmente tais efeitos são esperados: ERL - nível onde o efeito adverso é observado em espécies sensíveis; ERM - faixa mediana de efeitos toxicológicos (as concentrações de metais que excedem esses valores resultam no aumento da incidência de efeitos adversos de 60 a 90% dos casos), e AET – nível acima do qual a ocorrência de efeitos adversos é sempre esperada (LONG e MORGAN, 1990).

O uso dos valores de referência NOAA (internacionais) na avaliação dos resultados desta pesquisa, em detrimento dos valores orientadores nacionais estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 344/04, justifica-se pelo fato de que os padrões da referida Resolução foram critérios anteriormente estabelecidos para regiões temperadas, em publicações internacionais referentes à qualidade dos sedimentos (a exemplo do documento "*Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: summary tables*" – publicação de 2001 da agência canadense "*Canadian Council of Ministers of Environment – CCME*" (CCME, 2001)) e também porque para fins de publicação, os valores-guia NOAA são mais conhecidos.

Na avaliação geral de qualidade dos sedimentos também foram considerados os resultados de granulometria, nitrogênio e matéria orgânica. Os resultados de

carbonatos não foram utilizados porque o analito esteve em concentrações abaixo do limite de detecção do método de análise.

Ensaio de SVA e MES

As análises dos Sulfetos Volatilizáveis por Acidificação e Metais Extraídos Simultaneamente foram realizadas de acordo com o *Analytical Method for Determination of Acid Volatile Sulfide and Selected Simultaneously Extractable Metal in Sediment* (USEPA, 1991).

Os Sulfetos Voláteis em Ácido (SVA) são um reativo conjunto de sulfetos na fase sólida que estão disponíveis para se combinar com metais e que são solúveis em ácido (EPA, 2000). A abordagem dos SVA compreende a determinação da fração biodisponível dos metais, por meio da razão entre o somatório dos Metais Extraídos Simultaneamente (MES) e a concentração de SVA (MES/SVA), cujo valor, sendo menor ou igual a zero, indica que a concentração da mistura de metais é aceitável para a proteção da vida aquática (SILVÉRIO *et al.*, 2002). Os ensaios de SVA/MES foram realizados no Laboratório de Estudos Biogeoquímicos de Manguezais do NEA – Núcleo de Estudos Ambientais (Instituto de Geociências - UFBA), equipado para a realização desses ensaios.

Ensaio ecotoxicológico

Entre as metodologias de ensaios ecotoxicológicos comumente desenvolvidas para avaliar contaminação de sedimentos de ambientes marinhos, o teste aqui proposto permite examinar os efeitos de substâncias dissolvidas na água intersticial e diferencia-se por indicar a utilização de embriões de uma espécie de ostra conspícua nas regiões tropicais brasileiras, *Crassostrea rhizophorae* Guilding, 1828, como organismo-teste.

C. rhizophorae habita os manguezais, desde o Caribe à Santa Catarina, Brasil (RIOS, 1970). É espécie ecologicamente importante, sensível, e que se relaciona com o ambiente sedimentar, sendo atualmente uma importante espécie de exploração comercial da costa brasileira. Essas ostras são habitantes naturais dos manguezais, encontrando-se presas aos rizóforos das árvores de mangue, formando extensas populações, com dominância na linha média da região de entre-marés (NASCIMENTO *et al.*, 1980).

Os ensaios foram conduzidos com embriões de ostra, ao invés de organismos adultos, porque o estágio embrio-larval é uma fase mais sensível do ciclo de vida dos organismos, e os efeitos induzidos pela poluição, nessas fases, causam prejuízos mais sérios em comparação à fase adulta, afetando os processos reprodutivos e de recrutamento.

Contudo, no estágio embrio-larval de seu ciclo de vida, *C. rhizophorae* é planctônica, vivendo, portanto na coluna d'água até fixar-se ao substrato. Por esse motivo, os organismos-teste não foram expostos ao sedimento total, mas à água intersticial extraída do sedimento. Os ensaios foram conduzidos para avaliar o aparecimento de anormalidades morfológicas no desenvolvimento embrionário de *C. rhizophorae*, após exposição à água intersticial.

As respostas dos embriões de ostras refletem as possíveis respostas de embriões de outras espécies (WOELKE, 1972), de maneira que há uma relação entre o desenvolvimento embrionário da ostra *Crassostrea rhizophorae* e a qualidade da água. Dessa forma, o desenvolvimento embrionário de *C. rhizophorae* foi tomado como indicador da qualidade da água intersticial, partindo-se do princípio de que: (1) o número de embriões ou larvas anormais aumenta com a elevação do nível de estresse ou de poluentes; e (2) a qualidade da água intersticial reflete a qualidade dos sedimentos.

O método utilizado foi desenvolvido por Nascimento et al. (1989), com base no teste padronizado pela *American Society for Testing and Materials*, para a ostra *Crassostrea gigas* (ASTM, 1988). O teste consistiu na exposição de embriões da ostra *Crassostrea rhizophorae*, uma hora após a fecundação, a diferentes diluições das amostras de água intersticial da Baía de Camamu (25, 50, 75 e 100%), por um período de 24 horas. Tal procedimento permitiu determinação da concentração efetiva média (CE_{50-24h}) das amostras-teste.

A água intersticial foi extraída no mesmo dia da iniciação do bioensaio, através de centrifugação do sedimento por 30 min a 6000 g, a uma temperatura de aproximadamente 15°C. O sobrenadante resultante foi cuidadosamente removido do tubo de centrifuga, transferido para um recipiente de vidro e refrigerado. Os parâmetros físico-químicos listados a seguir foram medidos em água intersticial (100%) antes dos testes, por meio de sonda multiparamétrica (modelo YSI 6600), previamente calibrada: Temperatura (T°C), pH, salinidade, condutividade (mS/cm), NH_3 N ($mg.L^{-1}$), NO_3^- N ($mg.L^{-1}$), ORP (mV), Sólidos Totais Dissolvidos ($g.L^{-1}$) e Oxigênio Dissolvido ($mg.L^{-1}$).

Os testes foram acompanhados por um controle positivo, que consistiu na exposição dos organismos-teste a uma substância que produz um efeito definido, previamente determinado. Foi utilizado para essa finalidade o Dodecil Sulfato de Sódio (DSS), cujo uso como substância de referência é desde 1973 recomendado pelo EPS - *The Canadian Environmental Protection Service (Report EPS-1-EE-73-1, 1973)*. O controle positivo tem a função de avaliar a condição de saúde do lote de organismos-teste utilizado, assegurando maior confiabilidade às respostas obtidas, em vista da possibilidade de se fazer comparações (HOUGAZ, 1993). O controle negativo também foi utilizado juntamente com os testes, e consistiu na exposição dos organismos-teste à água de diluição (coletada em região da Baía de Camamu distante de influência antropogênica, filtrada, esterilizada em autoclave e com a salinidade ajustada para o ótimo da espécie-teste em condição embrio-larval).

Análise das comunidades bentônicas

Ainda em campo, as amostras de sedimento para as análises de bentos foram submetidas a uma triagem grosseira, através do uso de peneiras superpostas com malhas de 5, 2 e 1 mm.

Durante a triagem de campo, o sedimento foi lavado com a própria água do mar. Os organismos retidos nas malhas foram transferidos para recipientes de plástico identificados, e contendo álcool a 70%, para a conservação das amostras. Os organismos maiores (crustáceos) foram primeiramente anestesiados em gelo, por cerca de 40 minutos. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de

Ecologia Bentônica da Universidade Federal da Bahia, onde foi realizada a triagem dos organismos e posterior identificação taxonômica.

Em laboratório, a triagem média do bentos foi realizada utilizando-se microscópio estereoscópio, onde os espécimens foram retirados do restante do sedimento, e foram separados por grupo taxonômico (anelídeos, artrópodes, moluscos, equinodermos etc), e conservados em frascos de vidro com álcool a 70%, devidamente etiquetados.

Na triagem fina, os organismos de cada grupo taxonômico foram separados por morfotipos e agrupados de acordo com o grupo taxonômico a que pertencem. O nível taxonômico de família foi utilizado para descrever os padrões de distribuição de comunidades de macrozoobentos dos sedimentos de manguezal da Baía de Camamu. A identificação foi realizada até o nível taxonômico mais baixo possível, utilizando-se as chaves de identificação apropriadas.

Embora o ideal seja identificar os organismos até o nível de espécie (STARK et al., 2003), esse procedimento é oneroso e requer a análise de vários especialistas. Além disso, outra dificuldade é a existência de espécies que ainda não foram descritas e de grupos taxonômicos que ainda não foram bem resolvidos (SILVA, 2006). Por outro lado, a identificação dos organismos em nível de família apresenta-se como um método eficiente para detectar alterações ambientais, sendo mais rápido e menos oneroso (VANDERKLIFT et al., 1998; ROACH et al., 2001; DAUVIN et al., 2003; QUIJÓN e SNELGROVE, 2006).

ANEXO D – Interpretação dos Dados, Avaliações Estatísticas e Integração dos Resultados

Análise dos resultados dos bioensaios

As respostas de embriões de ostra à toxicidade da água intersticial foram expressas como porcentagem de risco líquido da anormalidade, corrigida pelos efeitos do teste controle, pela aplicação da fórmula de Abbott (FINNEY, 1971). Os efeitos foram calculados com base nas curvas dose-resposta e analisados pelo método estatístico computadorizado Trimmed Spearman-Kärber (HAMILTON et al., 1977). Isso foi feito para fornecer valores CE_{50} (com limites de confiança de 95%), equivalente às concentrações de água intersticial que podem causar anormalidades em 50% dos embriões expostos. Dados de toxicidade, originalmente expressos como CE_{50} , foram transformados em Unidades Tóxicas ($UT = 100/CV_{50}$) para a obtenção de uma relação direta entre os efeitos tóxicos e o sistema de medida utilizado. As análises ecotoxicológicas foram realizadas no Laboratório de Pesquisas Ambientais do SENAI/Cetind.

Análises dos dados faunísticos

Os parâmetros univariados descritores de comunidades macrozoobentônicas foram: abundância total (A), número de espécies (S), índice de equitabilidade³² de Pielou (J') (PIELOU, 1966) e Índice de diversidade de Shannon (H') (SHANNON e WEAVER, 1963). Para a análise dos índices foi utilizado o software PRIMER® (*Plymouth Routine in Marine Environment Research*) versão 2002.

Interpretação dos resultados das análises químicas

As concentrações de metais nos sedimentos foram comparadas a dois valores-guia, o ERL (*Effects Range-Low*) e AET (*Apparent Effects Threshold*) para anfípodas da NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration/Screening Quick Reference Tables* (NOAA, 1999). O ERL é indicativo de concentrações abaixo das quais efeitos adversos raramente ocorrem, enquanto o AET é equivalente a mais alta concentração que não é tóxica à amostra.

Análises multivariadas

Alguns métodos foram utilizados com os resultados obtidos, incluindo: Análise de Correspondência Destendenciada (ou Retificada), Análise de Correspondência Canônica, Análise dos Componentes Principais e nMDS "*Non-Metric Multi-Dimensional Scaling*" (CLARKE, 1993).

A análise de Correspondência Destendenciada (ACD) foi utilizada para comparar a composição das espécies (abundâncias relativas) entre as 6 estações de amostragem (excluindo-se a Estação 7), no total de 36 amostras coletadas em

³² No índice de equitabilidade ou uniformidade, a uniformidade refere-se ao padrão de distribuição dos indivíduos entre as espécies.

dezembro de 2007. Todas as espécies com menos de 2 indivíduos foram excluídas da ACD para evitar possível supervalorização dos taxa raros. A ACD foi conduzida através do pacote estatístico CANOCO v. 4.5. Foram utilizados dados de abundância não transformados.

A Análise dos Componentes Principais foi utilizada para obter um pequeno número de combinações lineares (componentes principais) do conjunto de variáveis originais. Nessa análise foi utilizada uma matriz de correlação, através da qual os componentes foram extraídos (do mais explicativo dos resultados para o menos explicativo). Embora o número de componentes, teoricamente, seja igual ao número de variáveis, via de regra, alguns poucos componentes (os principais) são responsáveis por grande parte da explicação total.

A Análise dos Componentes Principais foi conduzida através do *software* computadorizado PRIMER® (*Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research*) versão 5.2.9 (CLARKE e WARWICK, 2001) para ordenar as amostras com base nas suas concentrações de metais (Fe, Al, Zn, Cd, Cu, Ni, Pb, Ba), n-alcanos (C10-C28), Hidrocarbonetos Totais do Petróleo (HTP), Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA), matéria orgânica, granulometria, nitrogênio total, Sulfetos Voláteis em Ácido e Metais Extraídos Simultaneamente, usando matriz de correlação, a fim de padronizar cada variável, evitando que as análises sejam influenciadas pelas diferenças na magnitude dos dados e escalas de medidas (EMMERSON et al., 1997; DELVALLS et al., 1998; WEBSTER, 2001, LEDAUPHIN et al., 2004). Nesse contexto, fatores significantes foram então selecionados, a partir do princípio de Kaiser de aceitação dos fatores com *eigenvalues*³³ >1 (ARAMBARRI et al., 2003; KUPPUSAMY e GRIRDHAR, 2006). *Loadings*³⁴ foram considerados significantes quando >0,6 (DELVALLS et al., 1998).

A análise canônica de correspondência (ACC), uma combinação de análise de correspondência dos taxa (não paramétrica) e Análise dos Componentes Principais das variáveis ambientais (paramétrica³⁵), foi conduzida após a execução da Análise de Correspondência Destendenciada (ACD) e Análise dos Componentes Principais (PCA) para avaliar os efeitos das variáveis ambientais na abundância das espécies³⁶. Através dessa análise, as variáveis significativas à explicação dos dados foram selecionadas. A importância dos dados ambientais foi decidida pelas correlações dos dados com os eixos da ACC e pelos seus p-valores obtidos do teste de significância de Monte Carlo, uma vez que os coeficientes canônicos podem ser influenciados por outras variáveis ambientais colineares (TER BRAAK, 1986).

Foi conduzida também ordenação do tipo *Non-metric multidimensional scaling* – nMDS (escalonamento multidimensional não métrico) para investigar o modelo espacial de distribuição da macrofauna, com base nas matrizes de abundância da macrofauna bentônica, utilizando-se para a construção da matriz de similaridade a distância de *Bray-Curtis*.

O procedimento BIO-ENV foi utilizado para selecionar as combinações de variáveis ambientais associadas às comunidades bentônicas. Esse procedimento permitiu a

³³ Valores próprios de cada eixo.

³⁴ Cosenos dos ângulos formados entre o componente principal e cada variável.

³⁵ Na estatística paramétrica os testes são, em geral, mais poderosos (premissa de distribuição normal de freqüências, variâncias homogêneas e erros independentes). Ao utilizar testes não-paramétricos, supõe-se que a distribuição dos dados não é normal ou que não existem elementos para provar que é normal.

³⁶ A Análise Canônica de Correspondência e o procedimento BIO-ENV foram utilizados com o mesmo objetivo, mas em artigos diferentes.

seleção do subconjunto das variáveis ambientais que maximiza o índice de correlação (ρ) entre as matrizes bióticas e abióticas de (dis)similaridade. As combinações de n variáveis ambientais foram obtidas utilizando o coeficiente de *Spearman* (ρ_s). Conforme sugerido por Clarke and Warwick (2001) os pares de variáveis altamente correlacionadas ($r > 0.95$) foram reduzidos a um único representante. As características dos sedimentos utilizadas nessas análises foram: granulometria (frações de areia, silte e argila), teores de matéria orgânica, Cd, Ni, Cu, Ba, Fe, SVA, MES e nitrogênio total.

ANEXO E – Artigos

ARTIGO 1: Relationship of metal content and bioavailability with benthic macrofauna in Camamu Bay (Bahia, Brazil)

CARTA DE ACEITE DO ARTIGO 1

ARTIGO 2: Integrated assessment of mangrove sediments in the Camamu Bay (Bahia, Brazil)

COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO 2