

Artigo

Habitats Bentônicos na Baía de Todos os Santos**Barros, F.;*** **Costa, P. C.;** **Cruz, I.;** **Mariano, D. L. S.;** **Miranda R. J.***Rev. Virtual Quim.*, 2012, 4 (5), 551-565. Data de publicação na Web: 2 de outubro de 2012<http://www.uff.br/rvq>**Benthic Habitats in Todos os Santos Bay**

Abstract: Benthos are organisms, animals or plants, that live in direct relationship with the bottom. Benthic organisms have great ecological and economic importance. Several marine and coastal ecosystems such as mangroves, coral reefs, salt marshes and estuaries have an important benthic component, supporting a great biological diversity and providing a lot of services (e.g. refuge, spawning sites, feeding sites, breeding sites and coastline protection). Chemical and physical variables can strongly influence benthic organisms because it controls a great part of the environmental conditions in which a species can live. Furthermore, changes in the composition and or on the abundance of benthic species may indicate human impacts. Here we present the main characteristics of important benthic habitats of the Todos os Santos Bay (TSB), contextualizes some results of the TSB Project and discuss impacts on mangroves and coral reefs on different spatial scales. Despite the impacts, many of the benthic habitats in the TSB are still in a good conservation status and fully developing important ecological, economic and social functions. It is strongly suggested that a precise survey to map all benthic habitats in the TSB must be done and also the maintenance and creation of long term ecological monitoring programs.

Keywords: Benthos; mangroves; tidal flats; coral reefs; Bahia.

Resumo

Bentos são os organismos, animais ou vegetais, que vivem em relação direta com o substrato. Os organismos bentônicos possuem uma grande importância ecológica e econômica. Diversos ecossistemas marinhos e costeiros como manguezais, recifes de corais, marismas e estuários possuem um importante componente bentônico, suportando uma grande diversidade biológica e fornecendo uma grande quantidade de serviços (e.g. sítios de refúgio, desova, reprodução e proteção da linha de costa). Variáveis químicas e físicas influenciam os organismos bentônicos profundamente, pois regulam uma grande parte do conjunto de condições ambientais no qual uma determinada espécie pode viver. Além disso, alterações na composição e ou na abundância dos organismos bentônicos podem indicar impactos antrópicos. O presente artigo apresenta as principais características de importantes habitats bentônicos da Baía de Todos os Santos (BTS), contextualiza alguns resultados do Projeto BTS e discute impactos antrópicos em manguezais e corais em diferentes escalas espaciais. Apesar dos impactos, muitos dos habitats bentônicos da BTS estão em um bom estado de conservação e desempenham importantes funções ecológicas, econômicas e sociais. É fortemente sugerido que seja realizado um mapeamento preciso de todos os habitats bentônicos da BTS bem como a manutenção e a criação de programas de monitoramento ecológico de longo prazo.

Palavras-chave: Bentos; manguezais; planícies de maré; recifes de corais; Bahia.

* Universidade Federal da Bahia, Instituto de Biologia, Laboratório de Ecologia Bentônica, CEP 40170-115, Salvador-BA, Brasil.

✉ franciscobarros.ufba@gmail.com

Habitats Bentônicos na Baía de Todos os Santos

Francisco Barros,^{a,*} Patrícia C. Costa,^a Igor Cruz,^b Dante L. S. Mariano,^a
Ricardo J. Miranda^a

^a Universidade Federal da Bahia, Instituto de Biologia, Laboratório de Ecologia Bentônica, CEP 40170-115, Salvador-BA, Brasil.

^b Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Laboratório de Ecologia Marinha, CEP 20559-900, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

* franciscobarros.ufba@gmail.com

Recebido em 3 de setembro de 2012. Aceito para publicação em 24 de setembro de 2012

1. Introdução
2. Variáveis químicas influenciando os organismos bentônicos
3. Ecossistemas naturais com importantes habitats bentônicos na Baía de Todos os Santos
4. A mariscagem e o manguezal na BTS: contaminação
5. Recifes de corais na BTS: pH e CaCO₃, espécies exóticas e a guerra química
6. Considerações finais

1. Introdução

Os oceanos podem ser divididos em grandes compartimentos biológicos. A coluna d'água abriga dois grandes compartimentos, o plâncton, que são aqueles organismos sem grande capacidade de deslocamento e que derivam com as correntes, e o nécton, que são organismos que possuem maior capacidade de deslocamento. Os organismos que vivem no fundo dos oceanos, das regiões entremarés até as grandes profundidades, são chamados de Bentos. A palavra Bentos origina-se do grego e se refere aos organismos, animais ou vegetais, que vivem em relação direta com o substrato, seja em substratos consolidados (e.g. recifes

rochosos, recifes de corais) ou não consolidados (e.g. lama, areia). O fundo dos oceanos apresenta uma grande diversidade de habitats que diferem em termos de profundidade, temperatura, disponibilidade de luz, grau de imersão (entremarés e sublitoral) e tipo de substrato. Pelo menos em parte devido a essa grande variedade de habitats, o número de espécies de animais bentônicos (estimados em mais do que 1.000.000) é bem maior do que a soma do número de espécies maiores de zooplâncton (cerca de 5.000), peixes (>20.000) e mamíferos marinhos (110).¹ Entre as espécies bentônicas, estão grupos bastante populares de organismos como, por exemplo, caranguejos, corais, mariscos e algas.

Organismos bentônicos são importantes

membros das cadeias tróficas marinhas incluindo produtores primários, herbívoros, detritívoros, carnívoros primários e secundários e decompositores.² Muitos organismos bentônicos são filtradores, como ostras e mexilhões, atuando diretamente na manutenção da qualidade da água, e outros possuem uma importante participação na quebra de matéria orgânica nos sedimentos, devido a atividade dos comedores de depósito e de detrito associados ao trabalho de decomposição de bactérias. Comunidades bentônicas possuem um papel importante na ciclagem de nutrientes, pois podem consumir matéria orgânica, fito ou zooplâncton e servir de recurso alimentar para consumidores de

níveis superiores da cadeia trófica.

Animais bentônicos possuem um papel fundamental não somente para o funcionamento dos ecossistemas como também para a sociedade humana. Um grande número de populações humanas costeiras como, por exemplo, na costa NE e N do Brasil, praticam além da pesca, a mariscagem (coleta de moluscos) em planícies de maré e em manguezais para seu sustento e sobrevivência (Figura 1).³ Adicionalmente, recifes de corais e recifes rochosos submersos são reconhecidamente importantes áreas de pesca para muitas comunidades humanas.^{4,5}



Figura 1. Esquerda: Atividade de coleta de moluscos (mariscagem) em uma planície de maré no estuário do Rio Subaé, Baía de Todos os Santos (Foto: P. C. Costa). Direita: Pescador no estuário do Rio São Paulo, Baía de Todos os Santos (Foto: F. Barros)

Muitos ambientes costeiros e marinhos incluem habitats bentônicos importantes. Entre eles estão os marismas, as pradarias de gramíneas submersas, os recifes de coral e os manguezais. Habitats bentônicos marinhos e costeiros suportam uma grande diversidade de vida e proveem sítios de refúgio, desova, criação, alimentação e reprodução para muitas espécies incluindo espécies de interesse comercial como mariscos, siris, caranguejos, camarões e peixes. Esses habitats também são importantes para a proteção da linha de costa através da dissipação da energia das ondas. Adicionalmente, alterações na composição e/ou na abundância de espécies bentônicas podem indicar alterações antrópicas no meio

ambiente.^{2,6} Assim, comunidades bentônicas são amplamente utilizadas como indicadoras da qualidade ambiental, sendo geralmente utilizadas juntamente com a determinação de contaminantes em diferentes matrizes (e.g. sedimentos, material em suspensão) e em testes ecotoxicológicos.^{7,8}

O presente trabalho irá (i) apresentar uma breve fundamentação teórica para a compreensão de como variáveis químicas e físicas podem influenciar os organismos bentônicos; (ii) apresentar alguns dos principais ecossistemas naturais que reconhecidamente apresentam importantes habitats bentônicos e contextualizar esses habitats com resultados da literatura bem como apresentar alguns resultados do

Projeto BTS; (iii) discutir brevemente a extração de recursos biológicos bentônicos e alguns dados de contaminação em manguezais e moluscos; e (iv) discutir aspectos gerais relacionados aos impactos em recifes de corais do globo e da BTS.

2. Variáveis químicas influenciando os organismos bentônicos

Diversas variáveis químicas, geralmente de maneira conjunta, influenciam os organismos bentônicos e para entender como isto ocorre é interessante compreender o conceito ecológico de nicho multidimensional (também conhecido como nicho hipervolumétrico).⁹ Este conceito é definido pelo conjunto de condições ambientais no qual uma espécie pode viver, sendo que cada variável corresponde a uma dimensão.⁹ Por exemplo, uma determinada

espécie pode viver em uma faixa de pH de 6 a 9, em condições mínimas de 5 mg/L de oxigênio dissolvido, e em locais com potencial redutor de 400 a 600 mV. Dessa mesma forma, podem ser observadas tolerâncias a elementos químicos que apresentam concentrações muito baixas em condições naturais, mas que podem ser tóxicos, a partir de um determinado limite, como por exemplo, concentração de contaminantes orgânicos e inorgânicos (Figura 2). Estas condições químicas e físicas do nicho multidimensional são necessárias para que cada organismo possa viver, permitindo o acúmulo de energia que poderá ser investida, entre outras coisas, em crescimento e reprodução. Assim, cada espécie possui, devido a sua história evolutiva, necessidades, limitações, intolerâncias e adaptações a diferentes aspectos químicos e físicos, apresentando maior ou menor dependência ou tolerância a determinados elementos e substâncias, o que caracteriza o seu nicho multidimensional.

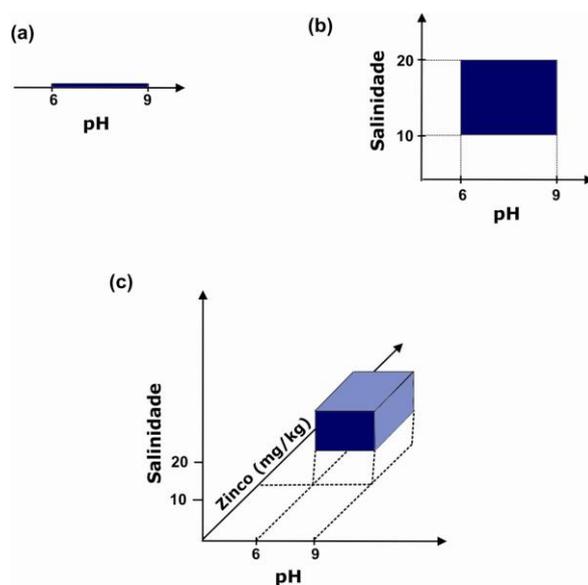


Figura 2. Representação esquemática do conceito de Nicho multidimensional. (a) Uma dimensão, pH; (b) Duas dimensões, pH e salinidade e em (c) Três dimensões, pH, salinidade e concentração de Zinco

Na Baía de Todos os Santos (BTS), existem áreas com diferentes características químicas

e físicas que podem comportar distintos organismos e habitats específicos. Entre um

grande número de variáveis existem aquelas que apresentam um grande efeito na fisiologia dos organismos aquáticos, como o pH, a concentração de oxigênio e a salinidade. A disponibilidade de macro e micro nutrientes também é importante para determinar a composição e a abundância das comunidades bentônicas podendo, por exemplo, regular a fotossíntese. Assim, a matéria orgânica tem um importante efeito, uma vez que a sua decomposição libera nutrientes e, entre estes, os elementos nitrogênio orgânico e o ferro são frequentemente limitantes.¹⁰

3. Ecossistemas naturais com importantes habitats bentônicos na Baía de Todos os Santos

A Baía de Todos os Santos (BTS) possui uma grande diversidade de ecossistemas, entre eles podemos citar estuários, recifes de corais, planícies de maré e manguezais.

Estuários são sistemas naturais costeiros e podem ser entendidos como aqueles locais onde ocorre a mistura da água doce dos rios com a água salgada do oceano. Recentemente, uma nova definição desse sistema inclui aqueles ambientes onde a ligação entre o rio e o mar pode ser intermitente.¹¹ Reconhecidamente, a zona estuarina está entre os ambientes de transição mais importantes do globo, sendo uma das áreas mais produtivas do planeta e podendo funcionar como zona de alimentação, de rotas migratórias e de berçário para muitas espécies. A BTS é uma baía com condições essencialmente

marinhas, assim as regiões estuarinas estão concentradas nos seus tributários, ou seja, nos rios que apresentam as maiores contribuições de água doce para a BTS: o Rio Paraguaçu, o Rio Subaé e o Rio Jaguaripe (Figura 3).¹² Muitos estudos realizados em estuários da BTS, e ao redor do globo, têm ressaltado a salinidade como um fator importante na composição e na abundância de invertebrados bentônicos.^{13,14} Poucos estuários em regiões tropicais e subtropicais se encontram em situações próximas ao seu estado natural e a maior parte dos estuários no mundo é influenciada, de algum modo, por atividades antrópicas. Isso se deve, principalmente, ao rápido crescimento populacional e ao desenvolvimento desordenado da maioria das regiões costeiras.^{15,16} No escopo do Projeto BTS, alguns trabalhos abordaram as relações entre características químicas e físicas dos sedimentos estuarinos e suas relações com as assembleias de invertebrados bentônicos.^{14,17,18} Considerando-se os maiores estuários da BTS (Paraguaçu, Subaé e Jaguaripe), foi observada uma tendência geral de maiores proporções de sedimentos finos no estuário inferior (áreas com salinidades mais altas) do que no estuário superior (áreas com salinidades mais baixas), onde os sedimentos apresentaram proporções maiores de areia. Outro resultado importante foi que o Subaé diferencia-se dos outros estuários devido aos altos níveis de contaminantes inorgânicos. No entanto, os três sistemas ainda continuam exercendo importantes funções ecológicas e econômicas. Estes estudos sugeriram um modelo geral empírico sobre a distribuição dos diferentes táxons bentônicos para estuários tropicais.¹⁹

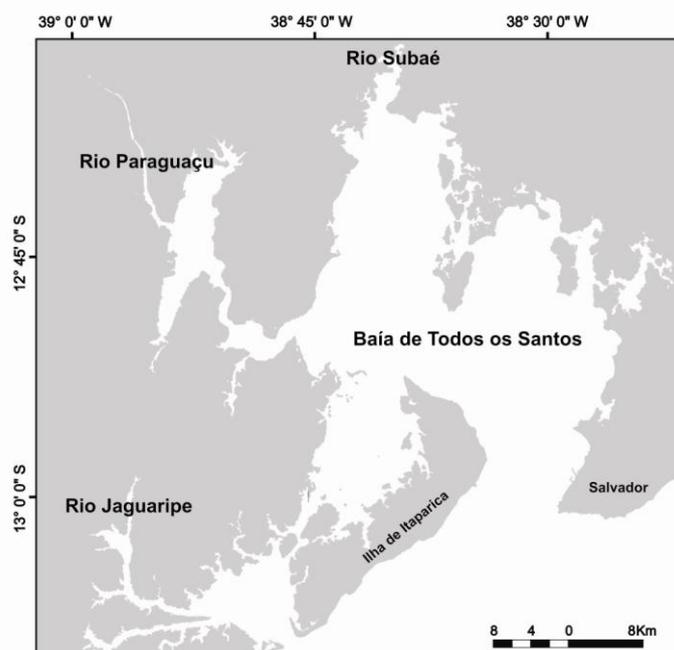


Figura 3. Mapa da Baía de Todos os Santos e seus mais importantes tributários Paraguaçu, Subaé e Jaguaripe, onde estão as principais regiões estuarinas

Os **manguezais** (Figura 4) são ecossistemas costeiros de regiões tropicais e subtropicais que ocupam a zona entremarés de estuários, baías, ilhas, entre outros, e que são colonizados por uma vegetação arbórea adaptada às flutuações nos parâmetros físico-químicos, a exemplo da salinidade, pH e Eh.^{20,21} Além de fornecer habitats para diversas espécies aquáticas e terrestres, os manguezais possuem várias outras funções como a proteção da linha de costa, a retenção de sedimentos e contaminantes, a produção e exportação de matéria orgânica, o suporte para produção pesqueira, e o fornecimento de recursos vegetais e alimentícios (e.g. mariscos e peixes) para comunidades tradicionais.^{22,23} Na BTS, os manguezais são encontrados principalmente, ao longo da porção estuarina dos principais tributários, na porção norte da BTS, na Baía de Aratu e na contra costa da Ilha de Itaparica, sendo encontrados também em outros locais, ocupando cerca de 160 km² da área entremarés da BTS.^{12,21}

Um trabalho recente, apoiado pelo Projeto BTS, investigou se os bosques dos manguezais apresentavam diferenças estruturais (i.e. diferenças nas densidades e/ou alturas) e se as diferentes espécies ocupavam diferentes locais ao longo dos três maiores sistemas estuarinos da BTS.²⁴ Os resultados evidenciaram que nos três estuários ocorre um padrão semelhante de distribuição das diferentes espécies, havendo correlações significativas com a salinidade intersticial. Foram observadas dominâncias de *Avicennia schaueriana* e *Rhizophora mangle* em áreas mais próximas da foz (sob maior influência marinha) enquanto *Laguncularia racemosa* dominou locais sob maior influência de água doce, onde também ocorreu *Avicennia germinans*. Foi descrita uma alta variabilidade na estrutura dos bosques de manguezais ao longo dos estuários dos rios Jaguaripe e Subaé, enquanto no Paraguaçu o desenvolvimento estrutural foi semelhante ao longo do gradiente estuarino.²⁴



Figura 4. Trechos de manguezal no estuário do Rio Jaguaripe (esquerda, Foto P. C. Costa) e do Rio Jaguaripe (direita, Foto; Y. Costa), Baía de Todos os Santos

Planícies de maré são ambientes localizados em regiões entremarés e ocupam grande parte de ambientes estuarinos e costeiros por todo o globo (Figura 5).²⁵ Estes habitats são caracterizados por sofrerem inundações periódicas devido à variação das marés. São locais de transição entre ambientes aquáticos e terrestres, onde seu limite estende-se até o ponto máximo da amplitude das marés ou até onde ocorra presença de cobertura vegetal (e.g. marismas, manguezais). Em ambientes estuarinos, as planícies de maré são locais muito dinâmicos e são primariamente estruturados pela interação com fatores físicos como direção dos ventos, ação das ondas, movimentos das marés e correntes, transporte de sedimento, entre outros.²⁶ Nestes ambientes, devido à alta retenção de nutrientes e compostos como matéria

orgânica, a fauna bentônica apresenta altos valores de biomassa e abundância, o que a leva a possuir um papel central nas cadeias tróficas costeiras, tornando-se muitas vezes um dos principais recursos de alimentos para peixes e aves.^{27,28}

Um dos estudos do Projeto BTS investigou as assembleias bentônicas das planícies de maré ao longo dos gradientes estuarinos dos rios Jaguaripe, Paraguaçu e Subaé.²⁹ Os resultados indicaram que existe um padrão similar de estrutura e composição das assembleias macrobentônicas entre os maiores estuários da BTS e que a salinidade foi a variável com maior importância. A riqueza dos táxons diminuiu da região do estuário inferior para o estuário superior, concordando com os padrões obtidos para as assembleias do infralitoral estuarino da BTS.^{19,29}



Figura 5. Planícies de maré nos estuários do Rio Paraguaçu (esquerda) e Jaguaripe (direita) na Baía de Todos os Santos

Os **recifes de corais** são ecossistemas de substrato consolidado formado por carbonato de cálcio de origem biogênica. Embora a maior parte do carbonato de um recife seja proveniente de outros organismos (e.g. algas calcárias, foraminíferos, moluscos) são os corais que constroem a estrutura sólida e permite que os fragmentos de outros organismos se depositem, reduzindo a

remobilização devido a ações de ondas e correntes, permitindo assim a cimentação destes nos recife. Os recifes de corais são um dos ecossistemas de maior biodiversidade e produtividade dos oceanos.³⁰ Na BTS os recifes encontram-se principalmente em duas regiões, a nordeste, entre a Ilha dos Frades e a Cidade de Salvador e na costa leste da Ilha de Itaparica (Figura 6).³¹



Figura 6. Recifes de coral na Baía de Todos os Santos (Foto esquerda: F. Barros, Foto direita: R. Miranda)

Existem na BTS dois outros importantes habitats de substratos consolidados. Rochas sedimentares como **arenitos de praia** são registros de antigas linhas de praia. Nestes locais ocorre uma importante deposição do carbonato de cálcio de maneira a cimentar o sedimento. Esses habitats também podem apresentar alta diversidade biológica, pois servem de substrato para muitos organismos que necessitam de um substrato consolidado para fixação. Na BTS, os arenitos encontram-se na maioria das ilhas, incluindo em Itaparica e nas margens nordeste, norte e noroeste. Os **costões rochosos** são formados por rochas magmáticas ou metamórficas e também fornecem um substrato sólido para diversas espécies bentônicas que necessitam deste tipo de fundo para se fixar, estes habitats estão localizados principalmente na cidade de Salvador, entre o Corredor da Vitória e, ocasionalmente, até a Praia do Flamengo.³²

4. A mariscagem e o manguezal na BTS: contaminação

Os manguezais estão sujeitos à exposição e inundação periódicas por conta da dinâmica das marés, que promove flutuações nos parâmetros físico-químicos, atuando diretamente sobre os processos biogeoquímicos deste ecossistema.^{20,33} Na maré baixa, apenas os sedimentos superficiais apresentam condições aeróbicas, enquanto a poucos centímetros de profundidade, predominam condições redutoras, havendo a proliferação de organismos anaeróbicos, que promovem a decomposição da matéria orgânica através da redução do sulfato das águas de inundação.³³ Esse processo libera diversos compostos entre os quais pode-se citar os sulfetos, contribuindo para a imobilização de metais traço nos sedimentos anóxicos devido à precipitação de sulfetos metálicos. Outros

processos que contribuem para a redução da biodisponibilidade dos metais potencialmente tóxicos nos manguezais correspondem à adsorção em partículas sedimentares finas (e.g. argilo-minerais), a complexação por moléculas orgânicas e a coprecipitação juntamente com óxidos-hidróxidos de Fe e Mn.³⁴ Os problemas de contaminação dos manguezais são gerados principalmente por conta das atividades antrópicas relacionadas ao desenvolvimento urbano e industrial, sendo decorrentes do lançamento de efluentes domésticos/industriais e derrames de petróleo e seus derivados.^{21,35} Na BTS, cujo entorno compreende uma extensa zona industrial que inclui o maior pólo petroquímico do hemisfério sul, vários impactos sobre os manguezais também podem ser observados e alguns estudos investigaram a contaminação neste ecossistema.³²

Em sedimentos de manguezais localizados na porção norte da BTS (Madre de Deus), onde se desenvolvem atividades urbanas, industriais relativas ao refino de petróleo (Refinaria Landulfo Alves e Mataripe – RLAM) e portuárias (Terminal Marítimo Almirante Alves Câmara – TEMADRE) foram observadas concentrações médias de Cu, Pb, Ni e Zn inferiores aos valores de referência TEL (concentração abaixo da qual a ocorrência de efeitos adversos é esperada raramente) e PEL (concentração acima da qual os efeitos adversos são frequentemente esperados) estabelecidos pelo NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).^{36,37} Em amostras coletadas próximas ao TEMADRE, as concentrações máximas de Pb (21,14 mg.kg⁻¹) e de Ni (14,01 mg.kg⁻¹) apresentaram valores mais elevados que os valores de *background* estabelecidos pelo NOAA³⁷ e em Suape foi encontrada concentração máxima de Ni (28,62 mg.kg⁻¹) superior ao TEL. Entretanto, os autores sugeriram que esses locais apresentaram excesso de sulfetos volatilizáveis por acidificação (SVA) em relação aos metais extraídos simultaneamente (MES) e assim, os metais estariam presentes no sedimento na forma de sulfetos pouco solúveis.³⁶

Em estações amostrais localizadas em São Francisco do Conde e Madre de Deus, as quais estão mais próximas de áreas industriais, foram observados teores elevados de metais e alterações anatômicas em folhas de *Avicennia schaueriana*. Entre estas alterações pode-se citar o maior desenvolvimento do aerênquima (tecido formado por grandes espaços intercelulares preenchidos por ar), o aumento de lipídios proporcionando acúmulo de energia e o aumento da quantidade de tricomas e de compostos fenólicos, sendo sugerido que isto pode estar relacionado com as respostas das plantas aos elevados estresses aos quais são submetidas por conta dos impactos ambientais derivados das atividades industriais.³⁸

Comparando as baías de Aratu e de Iguape observou-se que os sedimentos em Aratu apresentaram teores mais elevados de Fe, Mn, Zn, Cu, Pb e Cd, evidenciando o maior grau de poluição em relação à Baía de Iguape. As concentrações de Fe, Mn e Zn nas folhas de *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa* também foram mais elevadas na Baía de Aratu.³⁴ Com relação à contaminação por hidrocarbonetos, verificou-se que os sedimentos dos manguezais na porção norte da BTS, especificamente as áreas de produção e portuária apresentaram as maiores concentrações de óleo do que áreas de refino e controle, o que pode estar relacionado aos vazamentos de óleo e derivados e ao estado de conservação dos dutos.^{32,39} É importante destacar que a contaminação por óleo pode causar a abertura de clareiras, a redução das taxas de crescimento e a mortalidade da vegetação de manguezais.⁴⁰

A concentração excessiva de metais nas plantas de manguezais também pode levar a efeitos adversos como danos celulares, redução de crescimento e aumento da mortalidade. Além disso, os metais podem ser passados ao longo das teias tróficas através do consumo de folhas e de detritos, trazendo problemas relacionados à bioacumulação pela biota, o que pode afetar populações humanas que consomem animais

contaminados.⁴¹ Vários elementos químicos, por serem compostos não biodegradáveis, podem acumular em cadeias tróficas costeiras, podendo causar efeitos tóxicos e danos graves nas funções metabólicas dos seres vivos.⁴² Como a concentração das substâncias tóxicas pode aumentar a cada nível trófico, os organismos no topo da cadeia trófica são afetados de forma mais grave, mesmo não tendo sido expostos diretamente à fonte de contaminação.

Em distintas regiões da BTS, foi estudado o risco toxicológico do consumo de mariscos e foi observada a presença de elementos traços nos tecidos de todos os organismos coletados (i.e. ostras, sururu, mexilhões, berbigões) em diferentes graus e padrões de acumulação.⁴¹ Os resultados apontaram que ostras e mexilhões possuem maior habilidade para concentrar metais traços que os berbigões. Quanto ao consumo dos mariscos pelas comunidades ribeirinhas, a estimativa de risco não-carcinogênico e carcinogênico foi maior para as crianças do que para os adultos, principalmente pelo consumo de mexilhões.⁴¹ A avaliação de risco não-carcinogênico indicou As, Zn e Cu como os elementos mais críticos e Pb representa o maior risco carcinogênico devido ao consumo de mariscos. Segundo estes autores, os mariscos de áreas contaminadas como o estuário do Subaé e a Baía de Aratu devem ser consumidos com moderação, enquanto as populações que pouco se alimentam dos mariscos da BTS possuem um baixo risco de exposição aos metais.

Este problema merece muita atenção na BTS pois a coleta de mariscos (mariscagem) em ambientes entremarés, como manguezais e planícies de maré, é uma atividade de fundamental importância para comunidades pesqueiras artesanais da BTS, onde muitas comunidades de baixa renda exercem esta atividade como forma de subsistência.^{32, 43} A coleta dos moluscos pode enriquecer a fonte alimentícia das famílias ribeirinhas e constituir sua principal fonte de renda ou contribuir para complementá-la, fornecendo um retorno econômico que pode possibilitar

melhorias em suas condições sociais.³ Assim como em outras regiões do Brasil, na BTS há uma importante coleta de mariscos como ostras (*Crassostrea rhizophorae*); sururu (*Mytella falcata*), berbigão (*Anomalocardia brasiliiana*), taioba (*Iphigenea brasiliensis*), o aribi (*Tagelus plebius*) e a lambreta (*Lucina pectinata*) que são utilizados como fontes de recursos por comunidades pesqueiras na BTS.^{1,31,32} Apesar de sua grande relevância social, a prática da mariscagem vem sofrendo prejuízos devido à ocupação humana desordenada nas regiões costeiras da BTS, a remoção e a conversão de habitats naturais, ao despejo de efluentes domésticos e industriais não tratados, bem como devido a impactos provenientes das atividades petrolíferas.⁴³

5. Recifes de corais na BTS: pH e CaCO_3 , espécies exóticas e a guerra química

Um dos mais atuais impactos humanos sobre os recifes de corais é um problema global, a acidificação dos oceanos. Para entender este problema é necessário compreender um dos principais processos ecológicos de um recife, a construção recifal. O recife cresce e se mantém pela deposição de carbonato de cálcio (CaCO_3). Contudo, ao mesmo tempo em que alguns organismos contribuem para o seu crescimento, outros erodem (bioerosão) a estrutura recifal. A este processo biológico, químico e físico é dado o nome de balanço de construção. Quando a bioerosão, que é promovida por organismos que escavam, perfuram e/ou raspam o recifes de maneira mecânica ou química com ácidos que dissolvem o carbonato de cálcio, é maior que a deposição, existe um déficit de crescimento e as consequências à longo prazo pode ser a perda de toda a estrutura recifal. Para a manutenção deste ecossistema, é necessário que este balanço seja positivo. Assim, em uma escala de tempo geológica, o recife terá uma maior

probabilidade de sobreviver às constantes variações do nível do mar.

A deposição de carbonato de cálcio ocorre através do processo de biomineralização no qual o organismo cataliza a reação de formação do carbonato de cálcio (CaCO_3) expressa de maneira simplificada pela fórmula $\text{Ca}^{+2} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{H}^+$.⁴⁴ A calcificação nos organismos responde aos níveis de carbonato (CO_3^{2-}) e não de pH. Por outro lado, a dissolução do carbonato de cálcio aumenta com a redução do pH. A atual concentração de CO_2 na atmosfera está entre 330 e 380 ppm e é previsto pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* atingir uma concentração de 450 ppm entre 2030 e 2050.^{45 5 46} Estes valores representam uma redução de 0,1 a 0,3 no pH médio da água dos oceanos, o que pode implicar em taxas de calcificação iguais à de dissolução.⁴⁷

⁴⁴ Entretanto estes valores de pH não serão homogêneos nos oceanos.⁵ A mistura entre os gases atmosféricos nos oceanos ocorre nos pólos devido a maior capacidade de dissolução de gases. Maiores temperaturas nos trópicos implicam em menor quantidade de gases dissolvidos. Com a redução das taxas de calcificação, mesmo que estas não sejam anuladas pelas taxas de dissolução, mais recifes poderão entrar em déficit ou em balanço neutro do que encontrado atualmente, e isso somado às previsões de rápido aumento no nível do mar podem comprometer boa parte dos recifes de corais no mundo.

Apesar da grande atenção recebida pelos problemas globais, muitos relatos de degradação dos recifes de corais são decorrentes de impactos locais, dentre estes, o mais comum é a eutrofização. O aumento dos níveis de nutrientes nas águas e sedimento ao redor dos recifes podem resultar em vários impactos. O primeiro deles é a redução da taxa de calcificação dos corais, possivelmente pela utilização de uma maior fração do CO_2 na produção de carbono orgânico com o aumento da fotossíntese.⁴⁸ Outro impacto potencial é o aumento da bioerosão por organismos filtradores como esponjas e bivalves, em decorrência do

aumento da biomassa de plâncton e por ouriços e peixes escavadores que raspam o recife para se alimentar das algas, que aumentam de biomassa. Por fim, e talvez mais marcante, é que com a entrada de nutrientes, comum em muitos outros ecossistemas aquáticos e terrestres, poderá ocorrer uma alteração na estrutura das comunidades. Este fenômeno também é conhecido como mudança de fase. Em um recife de coral este processo é caracterizado por aumento de organismos não construtores como macroalgas, corais moles e esponjas e na redução da quantidade de corais duros, podendo resultar na redução do processo de construção do recife. Na BTS foram observados dois tipos de mudança de fase em recifes de corais (Cruz, dados não publicados). Uma nos recifes próximos à costa oeste da cidade de Salvador, que apresentam grande quantidade de esponjas e que pode estar associado ao despejo de esgoto domésticos, e outra nos recifes ao sul da Ilha de Maré, onde foi observada a redução da cobertura de coral e o aumento da quantidade de um coral mole (zoantídeo). Porém, devido ao grande número de problemas antropogênicos na BTS, não foi possível identificar uma única possível causa.

A introdução de espécies exóticas também é considerado um sério problema ambiental que pode afetar a integridade de comunidades biológicas nativas. Isso acontece quando as espécies exóticas alteram os mecanismos biológicos (e.g. competição, predação e parasitismo) causando sérias consequências nas teias alimentares e ciclagem de nutrientes.⁴⁹ Esses danos ecológicos podem causar prejuízos econômicos e sociais como a diminuição do pescado que afeta a indústria e as comunidades tradicionais. Nos recifes da BTS foram reconhecidas recentemente duas espécies de coral consideradas invasoras da costa brasileira *Tubastraea tagusensis* (Figura 7) e *Tubastraea coccinea*.⁵⁰ Essas espécies vem causando alteração na estrutura da comunidade bentônica dos costões rochosos da região sudeste do Brasil principalmente devido à suas eficientes estratégias de recrutamento, crescimento, dispersão e

competição (física e química).⁵⁰⁻⁵² O principal recurso pelo qual essas espécies competem com as espécies nativas é o espaço e nos recifes da BTS ele é limitado por grande cobertura de algas, além de corais, octocorais e esponjas, dentre outros.³⁰ Esses organismos nativos dos recifes da BTS podem estar sofrendo com os efeitos dos defensivos químicos (alelopatia) os quais são produzidos por esses invasores.⁵¹ Embora as espécies nativas também possuam defesas químicas, estas parecem não afetar o coral invasor. Isso pode ser devido ao fato de que essas espécies invasoras são oriundas de regiões do planeta onde os recifes de corais são mais diversos e competitivos (i.e. Oceano Pacífico)

e assim teriam, em uma escala evolutiva, um maior desenvolvimento de suas defesas químicas. O coral *Tubastraea* produz metabólitos secundários, como estearato de metila ($C_{19}H_{38}O_2$) e palmitato de metila ($C_{17}H_{34}O_2$), que podem provocar danos em algas e em outros invertebrados bentônicos, além de inibir a predação por peixes generalistas.⁵³ Além disso, o coral nativo *Mussismilia hispida* sofre necrose tecidual quando encontra-se próximo (<5cm) ao coral *Tubastraea* spp.⁴⁹ Os efeitos do coral *Tubastraea* foram descritos para costões rochosos e alguns estudos estão sendo realizados para avaliar como os recifes de coral da BTS vão reagir.



Figura 7. Coral invasor *Tubastraea tagusensis* e coral nativo *Montastrea cavernosa* em recife de coral da BTS (Foto: C. L. S. Sampaio)

6. Considerações finais

Os bentos são profundamente modulados pelas condições químicas e físicas do ambiente. A Baía de Todos os Santos (BTS) possui uma grande diversidade de táxons e de habitats bentônicos. Diversos trabalhos mostraram que esses habitats, principalmente na região norte e nordeste da BTS, vem historicamente sofrendo diversos impactos antrópicos. Apesar desse histórico,

muitos dos habitats da BTS, a exemplo de alguns estuários, manguezais e recifes de corais, ainda estão em um bom estado de conservação e desenvolvem importantes funções ecológicas, econômicas e sociais.

Existem vários estudos que descreveram a variabilidade do bentos no espaço e no tempo em diferentes habitats, todavia, existe a necessidade de que seja realizado um mapeamento preciso (*benthoscape*⁵⁴) de todos os habitats bentônicos da BTS. Programas de monitoramento de longo prazo

em andamento devem continuar e novos programas de monitoramento devem ser criados. Finalmente, cabe ressaltar que em 1999 foi criada a APA-BTS (Área de Proteção Ambiental da Baía de Todos os Santos) e o plano de manejo dessa APA bem como o Zoneamento Ecológico Econômico do Estado da Bahia, ainda não elaborados, serão apropriados somente se considerarem a importância dos habitats bentônicos.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a FAPESB e ao Governo do Estado da Bahia pelo financiamento do subprojeto Assembleias Bentônicas de Sedimentos Inconsolidados, dentro do Projeto BTS. Agradecemos também ao CNPq, a CAPES e a coordenação do Projeto BTS por contribuírem para a concretização do presente trabalho. Agradecemos a Dra. V Hatje e ao Dr. P. Lana pelos comentários para a melhoria do presente artigo. O presente trabalho não seria possível sem a colaboração de vários pesquisadores e estudantes.

Referências Bibliográficas

- ¹ Lalli, C. M.; Parsons, T. R.; *Biological Oceanography: an Introduction*, 2a. ed., Elsevier: Amsterdam, 1997.
- ² Gray, J. S.; Elliott, M.; *Ecology of marine sediments: from science to management*, Oxford University Press: Oxford, 2009.
- ³ Rondinelli, S. F.; Barros, F. J. *Sea Res.* **2010**, *64*, 401. [[CrossRef](#)]
- ⁴ Bellwood, D. R.; Hughes, T. P.; Folke, C.; Nyström, M. *Nature* **2004**, *429*, 827. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ⁵ Hoegh-Guldberg, O.; Mumby, P. J.; Hooten, A. J.; Steneck, R. S.; Greenfield, P.; Gomez, E.; Harvell, C. D.; Sale, P. F.; Edwards, A. J.; Caldeira, K.; Knowlton, N.; Eakin, C. M.; Iglesias-Prieto, R.; Muthiga, N.; Bradbury, R. H.; Dubi, A.; Hatziolos, M. E. *Science* **2007**, *318*, 1737. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ⁶ Borja, A.; Bricker, S. B.; Dauer, D. M.; Demetriades, N. T.; Ferreira, J. G.; Forbes, A. T.; Hutchings, P.; Jia, X.; Kenchington, R.; Marques, J. C.; Zhu, C. *Mar. Pollut. Bull.* **2008**, *56*, 1519. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ⁷ Dafforn, K. A.; Simpson, S. L.; Kelaher, B. P.; Clark, G. F.; Komyakova, V.; Wong, C. K. C.; Johnston, E. L. *Environ. Pollut.* **2012**, *163*, 207. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ⁸ Chapman, P. M. *Mar. Pollut. Bull.* **2002**, *44*, 7. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ⁹ Hutchinson, G. E. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* **1957**, *22*, 415. [[CrossRef](#)]
- ¹⁰ Falkowski, P. G.; Barber, R. T.; Smetacek, V. *Science* **1998**, *281*, 200. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹¹ Potter, I. C.; Chuwen, B. M.; Hoeksema, S. D.; Elliott, M. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **2010**, *87*, 497. [[CrossRef](#)]
- ¹² Cirano, M.; Lessa, G. C. *Rev. Bras. Geof.* **2007**, *25*, 363. [[CrossRef](#)]
- ¹³ Attrill, M. J. *J. Anim. Ecol.* **2002**, *71*, 262. [[CrossRef](#)]
- ¹⁴ Barros, F.; Hatje, V.; Figueiredo, M. B.; Magalhães, W. F.; Dórea, H. S.; Emídio, E. S. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **2008**, *78*, 753. [[CrossRef](#)]
- ¹⁵ Edgar, G. J.; Barrett, N. S.; Graddon, D. J.; Last, P. R. *Biol. Conserv.* **2000**, *92*, 383. [[CrossRef](#)]
- ¹⁶ Kennish, M. J. *Environ. Conserv.* **2002**, *29*, 78. [[CrossRef](#)]
- ¹⁷ Hatje, V.; Barros, F.; Figueiredo, D. G.; Santos, V. L. C. S.; Peso-Aguiar, M. C. *Mar. Pollut. Bull.* **2006**, *52*, 969. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁸ Magalhães, W. F.; Barros, F. *Mar. Freshwater Res.* **2011**, *62*, 918. [[CrossRef](#)]
- ¹⁹ Barros, F.; Correia de Carvalho, G.; Costa, Y.; Hatje, V. *Mar. Environ. Res.* **2012**, *in press*. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

- ²⁰ Hogarth, P. J.; *The Biology of Mangroves and Seagrasses*, 2a. ed., Oxford University Press: Oxford, 2007.
- ²¹ Queiroz, A. F. S.; Celino, J. J. Em *Avaliação de Ambientes na Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos*; Queiroz, A. F. S.; Celino, J. J., eds.; Editora da Universidade Federal da Bahia: Salvador, 2008, cap. 1.
- ²² Kathiresan, K.; Bingham, B. L. *Adv. Mar. Biol.* **2001**, *40*, 81. [[Link](#)]
- ²³ Saenger, P.; *Mangrove Ecology, Silviculture and Conservation*, Kluwer Academic Publishers: Netherlands, **2002**.
- ²⁴ Costa, P. C.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal da Bahia, Brasil, 2012.
- ²⁵ Widdows, J.; Blauw, A.; Heip, C. H. R.; Herman, P. M. J.; Lucas, C. H.; Middelburg, J. J.; Schmidt, S.; Brinsley, M. D.; Twisk, F.; Verbeek, H. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **2004**, *274*, 41. [[CrossRef](#)].
- ²⁶ Fugii, T. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **2007**, *75*, 101. [[CrossRef](#)]
- ²⁷ Layman, C. A.; Silliman, B. R. *Bull. Mar. Sci.* **2002**, *70*, 199. [[Link](#)]
- ²⁸ Lunardi, V. O.; Macedo, R. H.; Granadeiro, J. P.; Palmeirim, J. M. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **2012**, *96*, 179. [[CrossRef](#)]
- ²⁹ Mariano, D. L. S. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal da Bahia, Brasil, 2012.
- ³⁰ Connell, J. H. *Science* **1978**, *199*, 1302. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ³¹ Cruz, I. C. S.; Kikuchi, R. K. P.; Leão, Z. M. A. *N. J. Integr. Coast. Zone Manage.* **2009**, *9*, 3. [[Link](#)]
- ³² Hatje, V.; Andrade, J. B.; *Baía de Todos os Santos: aspectos oceanográficos*, Editora da Universidade Federal da Bahia: Salvador, 2009.
- ³³ Rezende, C. E.; Lacerda, L. D.; Bernini, E.; Ramos-Silva, C. A.; Ovalle, A. R. C.; Aragon, G. T. Em *Biologia Marinha*, 2a. ed.; Pereira, R. C.; Soares-Gomes, A., eds.; Interciência: Rio de Janeiro, 2009, cap. 15.
- ³⁴ Leão, C. S.; Queiroz, A. F. S.; Celino, J. J.; Hadlich, G. M. Em *Avaliação de Ambientes na Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos*; Queiroz, A. F. S.; Celino, J. J., eds.; Editora da Universidade Federal da Bahia: Salvador, 2008, cap. 12.
- ³⁵ Valiela, I.; Bowen, J. L.; York, J. K. *Bioscience* **2001**, *51*, 807. [[CrossRef](#)]
- ³⁶ Onofre, C. R. E.; Argôlo, J. L.; Celino, J. J.; Queiroz, A. F. S.; Nano, R. M. W. Em *Avaliação de Ambientes na Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos*; Queiroz, A. F. S.; Celino, J. J., eds.; Editora da Universidade Federal da Bahia: Salvador, 2008, cap. 7.
- ³⁷ Buchman, M. F. *NOAA HAZMAT Report* **2008**, *08-1*, 1. [[Link](#)]
- ³⁸ Garcia, K. S.; Oliveira, O. M. C.; Araújo, B. R. N. Em *Avaliação de Ambientes na Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos*; Queiroz, A. F. S.; Celino, J. J., eds.; Editora da Universidade Federal da Bahia: Salvador, 2008, cap. 11.
- ³⁹ Veiga, I. G.; Trigüis, J. A.; Celino, J. J.; Oliveira, O. M. C. Em *Avaliação de Ambientes na Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos*; Queiroz, A. F. S.; Celino, J. J., eds.; Editora da Universidade Federal da Bahia: Salvador, 2008, cap. 8.
- ⁴⁰ Duke, N. C.; Pinzón, Z. S.; Prada, M. C. *Biotropica* **1997**, *29*, 2. [[CrossRef](#)]
- ⁴¹ de Souza, M. M.; Windmüller, C. C.; Hatje, V. *Mar. Pollut. Bull.* **2011**, *62*, 2254. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ⁴² Ahmed, K.; Mehedi, Y.; Haque, R.; Mondol, P. *Environ. Monit. Assess.* **2011**, *177*, 505. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ⁴³ Jesus, R. S.; Prost, C. *GEOUSP* **2011**, *30*, 123. [[Link](#)]
- ⁴⁴ Allemand, D.; Tambutté, É.; Zoccola, D.; Tambutté, S. Em *Coral Reefs: an ecosystem in transition*; Dubinsky, Z.; Stambler N., eds.; Springer: New York, 2011, chap. 10.

- ⁴⁵ Pandolfi, J. M.; Connolly, S. R.; Marshall, D. J., Cohen, A. L. *Science* **2011**, 333, 418. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ⁴⁶ Salomon, S.; Qin, D.; Manning, M. Em *IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Tignor, M. Miller, H. L.eds.; Cambridge University Press, Cambridge, 2007.
- ⁴⁷ Vézina, A.; Hoegh-Guldberg, O. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* **2008**, 373, 199. [[CrossRef](#)]
- ⁴⁸ Marubini, F; Davies, P. *Mar. Biol.* **1996**, 127, 319. [[CrossRef](#)]
- ⁴⁹ Molnar, J. L.; Gamboa, R. L.; Revenga, C.; Spalding, M. D. *Front. Ecol. Environ.* **2008**, 6, 485. [[CrossRef](#)]
- ⁵⁰ Sampaio, C. L. S.; Miranda, R. J.; Maia-nogueira, R.; C, Nunes, J. D. A. C. *Checklist* **2012**, **8**, 528. [[Link](#)].
- ⁵¹ de Paula, A. F.; Creed, J. C. *Bull. Mar. Sci.* **2004**, 74, 175. [[Link](#)].
- ⁵² Creed, J. C. *Coral Reefs* **2006**, 25, 350. [[CrossRef](#)]
- ⁵³ Lages, B. G.; Fleury, B. G.; Pinto, A. C.; Creed, J. C. *Mar. Ecol.* **2010**, 31, 473. [[CrossRef](#)]
- ⁵⁴ Zajac, R. N. *Landscape Ecol.* **2008**, 23, 7. [[CrossRef](#)]