



10

Dimensão
ECOLÓGICA

POSSÍVEIS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS NAS COMUNIDADES DE ORGANISMOS MARINHOS BENTÔNICOS DA COSTA BRASILEIRA

INTRODUÇÃO

Nos últimos dois séculos, a influência do homem sobre os ecossistemas aumentou de maneira significativa, crescendo a um ritmo sem precedentes. A ação antrópica e seus impactos, antes bem localizados e restritos, estenderam-se gradualmente e em muitos casos hoje afetam todo o planeta. O conjunto de alterações climáticas em nível planetário passou então a ser o agente impactante, já independente de suas causas.

Esse desenvolvimento de impactos locais para globais já pode ser constatado nos ambientes marinhos. Sujeitos a uma crescente pressão de exploração de seus recursos e recipientes de um volume cada vez maior dos dejetos das atividades humanas, os oceanos têm sofrido alterações consideráveis em suas características físicas e químicas, gerando distúrbios que resultam na mudança da estrutura de suas comunidades biológicas, com conseqüências ecológicas que resultam em problemas econômicos e sociais.

A ação antrópica era inicialmente localizada, sendo restrita a determinados pontos, como bancos de pesca, enquanto os efeitos da poluição eram particularmente notados nos arredores de metrópoles costeiras e grandes áreas portuárias. Entretanto, esses impactos foram se estendendo gradualmente para áreas maiores e em alguns casos se alastraram para todo o planeta. Um exemplo disso é a camada de óleo que atualmente recobre a superfície dos oceanos.

Dentre as mudanças globais, a mais notória e divulgada é a provocada pelo aumento da quantidade de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera, considerado como a maior fonte de distúrbios potenciais diretos e indiretos em todos os ecossistemas em médio e longo prazo.

O CO_2 liberado na atmosfera não apenas se dissolve na água do mar, mas também reage com ela e forma outras moléculas, causando alterações diretas e indiretas no meio marinho, independentes das que ocorrem na atmosfera e do aquecimento global. Dentre elas, a mais preocupante é a acidificação da água do mar.

Neste capítulo trataremos das comunidades que compõem o bentos, macroscópico marinho, do qual fazem parte comunidades peculiares de organismos com fragilidades próprias, diferentes dos demais ecossistemas marinhos.

Berchez, F.;
Amancio, C.E.;
Ghilardi, N.P. e
Oliveira, E.C.

Instituto de Biociências,
Universidade de São Paulo.

Dentre estas daremos ênfase às comunidades de substrato consolidado, cujos organismos apresentam adaptações especiais para se fixarem. Desta comunidade fazem parte as macroalgas que, juntamente com o fitoplâncton, suprem de matéria orgânica os elos da teia da vida marinha e são de grande importância na manutenção da composição da atmosfera terrestre, estando entre os principais responsáveis pela absorção do gás carbônico, transformando-o em matéria orgânica e liberando oxigênio através do processo da fotossíntese.

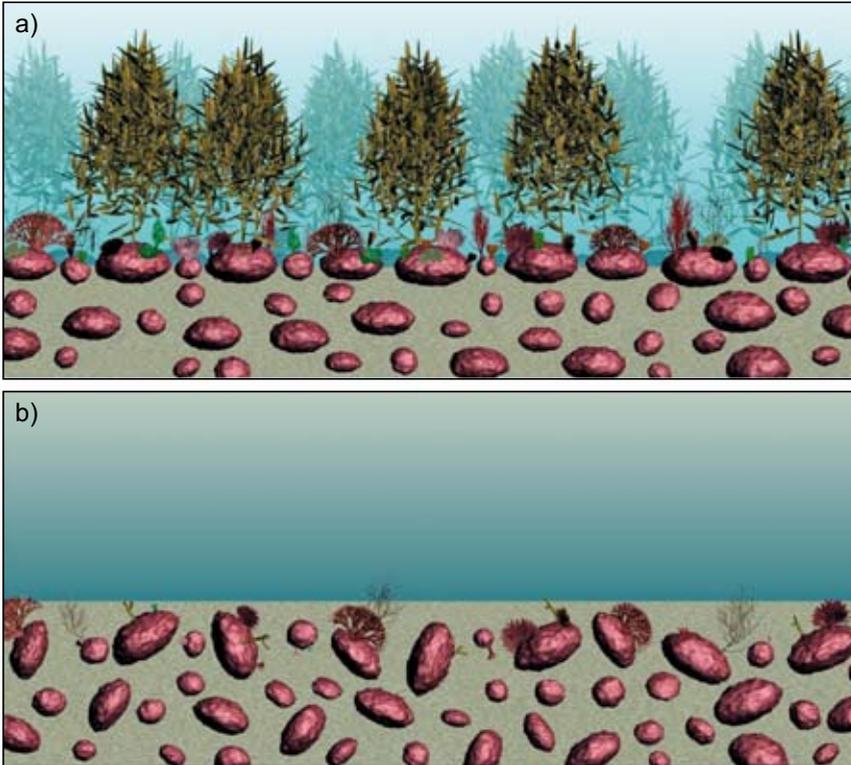


Figura 1. Substrato consolidado e inconsolidado – representação esquemática dos bancos de algas calcárias antes (a) e depois (b) de distúrbios provavelmente relacionados ao hidrodinamismo. Bege: camada superficial de sedimento composta por areia ou cascalho; azul: água do mar.

Além de sua importância ecológica, as comunidades bentônicas apresentam grande importância econômica, tanto pela utilização dos organismos que a constituem como matéria-prima ou fonte direta de alimento quanto por servir como região de procriação e alimentação para organismos utilizados na alimentação humana, como, por exemplo, peixes, moluscos e crustáceos. Apesar disso, são frequentemente desconsideradas nas discussões sobre as alterações que vêm sendo detectadas no ambiente marinho, que, na maior parte das vezes, são direcionadas às comunidades planctônicas.

Embora os problemas aqui referidos se apliquem, de modo geral, a quase todas as regiões marinhas, procuraremos concentrar nossa análise no litoral do Brasil, inicialmente descrevendo os tipos de ambientes e estruturas existentes para, em seguida, tecer considerações sobre os possíveis impactos que eles sofrerão, ou que já estão sofrendo, em decorrência das mudanças climáticas globais.

AS COMUNIDADES MARINHAS DE SUBSTRATO CONSOLIDADO DO LITORAL BRASILEIRO

As comunidades marinhas bentônicas podem ser divididas arbitrariamente naquelas de fundos areno-lodosos (não consolidados) e nas de fundos duros (consolidados). Dentro desta última categoria podem ser destacados os costões rochosos, os recifes de arenitos, os recifes de corais e os bancos de algas calcárias.

Para que se compreenda o impacto que as alterações globais poderão ter nesses ecossistemas é necessário o entendimento de sua estrutura e de algumas características que resultam em sensibilidades a essas mudanças, muitas vezes sem paralelo com o ambiente terrestre.

A denominação “ecossistemas de costão rochoso” se refere àquelas comunidades assentadas sobre rochas do tipo gnaisse ou granito, sendo situados, em sua maior parte, onde elevações costeiras se encontram com o mar.

Ocorrem desde Torres, norte do RS, até o Estado do Maranhão, com maior extensão linear na região Sudeste, onde o litoral se apresenta bastante recortado e a Serra do Mar fica mais próxima da linha de costa. A partir do norte do Estado do Rio de Janeiro, as formações rochosas costeiras tornam-se menos extensas e freqüentes e o substrato rochoso passa a ser formado pelos arenitos que compõem a base da “formação barreiras”.

Os costões rochosos podem ser encontrados na forma de paredões contínuos ou de blocos fragmentados, neste caso com inúmeras facetas que resultam em um grande número de habitats e em uma grande diversidade biológica. De forma geral estendem-se pouco em direção ao mar aberto, pois apresentam declividade acentuada e logo atingem o fundo com substrato inconsolidado ou substrato consolidado de origem calcária. Na região continental apresentam profundidade máxima normalmente ao redor de 10 a 15 m, embora em ilhas possam ser mais profundos.

Os ecossistemas de recifes de arenito compreendem as comunidades presentes sobre rochas de origem metamórfica que acompanham as planícies costeiras desde o litoral do Estado do Espírito Santo até o Nordeste, ocorrendo tanto junto à praia como formando barreiras a certa distância do mar. Caracterizam-se por formar um substrato bastante erodido, apresentando inúmeras fendas e cavidades que, como nos costões rochosos, se refletem em alta diversidade.

Em decorrência de sua posição e declividade, sua porção virada para mar aberto é sujeita à ação de intenso hidrodinamismo, enquanto a face voltada para a terra é prote-

• Algumas definições referentes às comunidades marinhas

O plâncton é formado pelos organismos que vivem na coluna de água, mas que têm poder limitado de locomoção, sendo, portanto, transportados passivamente pelas correntes e movimentos de água. Já o bentos compreendem aqueles organismos fixos ou móveis que vivem sobre o substrato oceânico.

As comunidades bentônicas de substrato consolidado são aquelas assentadas sobre uma base sólida, de origem geológica ou biológica. A existência dessa base tem grande importância ecológica por permitir a fixação de outros organismos sobre ela. Contrapõem-se às comunidades de substrato inconsolidado, compostas por fundos arenosos ou lodosos instáveis, que só permitem a existência de organismos total ou parcialmente enterrados.

São usadas também as denominações genéricas fitobentos ou fitoplâncton para aqueles componentes das respectivas comunidades que fazem fotossíntese. Macrobentos ou macroalgas se referem aos organismos não microscópicos, visíveis a olho nu.

gida do embate das ondas. Esses recifes atingem profundidades semelhantes às dos costões rochosos, mas normalmente se estendem em direção ao mar aberto por distâncias maiores.

Os ecossistemas de recifes de coral são estruturas calcárias de origem biológica relacionadas à ação de corais e de algas coralíneas crostosas, as quais, como os primeiros, também precipitam uma matriz de carbonatos. Essas formações são usadas como suporte e abrigo por inúmeros outros organismos, com grande biodiversidade. Os recifes coralinos se distribuem em manchas ou cordões interrompidos em vários pontos da costa, especialmente no Nordeste do país. Sua distribuição é mais restrita, latitudinalmente, que os ecossistemas de costão rochoso, embora no litoral da Bahia, na região do Arquipélago de Abrolhos, se estendam por uma vasta área, constituindo-se no maior complexo recifal do Atlântico Sul. Embora atinjam profundidades um pouco maiores que a média de ocorrência de costões rochosos, sua expansão é limitada pela penetração da radiação fotossinteticamente ativa na água do mar, da qual dependem as zooxantelas, algas microscópicas associadas aos corais, essenciais para a sobrevivência desses organismos.

Os ecossistemas de bancos de algas calcárias são resultantes do crescimento de algas crostosas da Família Corallinaceae, que formam incrustações calcárias laminares, nódulos ou blocos calcários de diferentes tamanhos. Os nódulos, conhecidos como rodolitos por serem avermelhados e semelhantes a pequenos blocos de pedra ou de coral, aparecem geralmente sobre substrato não consolidado, constituído por um cascalho calcário resultante de sua decomposição. São utilizados como suporte por uma grande diversidade de organismos, incluindo algas foliáceas ou carnosas e vários grupos de invertebrados que vivem sobre eles ou no interior de suas cavidades. De forma semelhante aos recifes de coral, essa também é uma formação calcária de origem biológica.

Os fundos de algas calcárias diferem dos fundos rochosos, entre outros aspectos, por apresentarem gradientes mais amenos, especialmente de declividade, e se estenderem até profundidades mais elevadas. Em virtude disso não apresentam faixas dominadas por uma espécie, mas sim um complexo mosaico de espécies diferentes vivendo lado a lado. Esse ecossistema, embora muito pouco conhecido no Brasil, ocupa vastas áreas da parte mais rasa da plataforma continental, indo desde o limite inferior das marés mais baixas até cerca de 100 m de profundidade. É encontrado, com algumas discontinuidades, desde o litoral norte do Rio de Janeiro até o Maranhão, embora manchas isoladas ocorram também em Santa Catarina.

A existência de substrato consolidado em uma área tão extensa tem grande importância ecológica e econômica, pois resulta em maior diversidade e biomassa de organismos, alguns com importância econômica direta, como, por exemplo, lagostas e diversas espécies de pescado, ou indireta, na alimentação e como berçário de espécies comerciais.

Diferem da região equivalente da plataforma continental brasileira ao sul do Rio de Janeiro, onde predominam fundos areno-lodosos, muito mais pobres em biomassa, em diversidade e na presença de produtores primários.

Além dos ambientes já descritos cabe mencionar os ecossistemas de manguezal que, em sua maioria, ocupam extensas áreas na região das planícies costeiras de confluência de rios com o mar. Embora de fundo não consolidado, permitem a fixação de organismos macroscópicos sobre a porção de caules e raízes sujeitos à inundação pelas marés altas. Com alta concentração de nutrientes e oferecendo um ambiente mais protegido do que o mar aberto, os manguezais são especialmente importantes como locais de procriação e sobrevivência de formas juvenis de peixes e crustáceos.

POSSÍVEIS IMPACTOS DAS MUDANÇAS AMBIENTAIS GLOBAIS NAS COMUNIDADES DO BENTOS MARINHOS

As comunidades biológicas têm sua estrutura regulada por uma interação complexa de fatores bióticos e abióticos, o que torna a previsão dos resultados de uma alteração ambiental imprecisa e difícil de ser feita. Além disso, fenômenos biológicos possuem caracteristicamente alta plasticidade de resposta, ao contrário dos físicos e químicos, restringindo nossas projeções a tendências mais gerais. Veremos que isso é particularmente verdade no caso das alterações globais e do ambiente marinho, onde diversos desses fatores ecológicos interligados estão sendo alterados e influenciados simultaneamente. Acresce-se a isso a relativa falta de conhecimentos sobre essas interações no mar, especialmente quando comparadas ao ambiente terrestre, muito mais estudado. Dessa forma, as hipóteses que apresentamos a seguir têm um caráter reflexivo, visando nortear eventuais programas de monitoramento e ações de proteção.

Lobban & Harrison [2] e Pereira & Soares-Gomes [5] servem como referências iniciais dos fatores que regulam a estrutura das comunidades bentônicas e de sua importância. Nessas comunidades, assim como no ambiente marinho de forma geral, esses fatores diferem bastante daqueles considerados como importantes no ambiente terrestre, sendo grande parte deles relacionado à água do mar, como o hidrodinamismo, a deposição de sedimentos ou a variação de marés.

Hidrodinamismo – alterações associadas a distúrbios atmosféricos

O termo hidrodinamismo designa o grau de movimentação da água, seja ele causado por qualquer fonte e em qualquer escala, como, por exemplo, a movimentação de ondas e correntes. As últimas, por possuírem características particulares, serão tratadas aqui em um tópico à parte.

Como fator ambiental sem paralelo no ambiente terrestre, o hidrodinamismo tem extraordinária importância para as comunidades bentônicas marinhas, regulando sua estrutura mesmo em baixas escalas de variação e impactando-as profundamente quando de seu aumento, normalmente associado à ocorrência de tempestades, ressacas, furacões, ciclones e mesmo outros distúrbios atmosféricos de menor intensidade. O aumento da incidência desses fenômenos, que aparentemente já é uma realidade, tem impacto devastador nas comunidades marinhas.

No ambiente marinho cada organismo apresenta um nível ótimo e uma faixa de tolerância ao grau de movimentação da água. O limite mínimo está ligado principalmente ao índice de difusão das substâncias dissolvidas na água, essencial para trocas gasosas e de nutrientes e para obtenção de alimentos e eliminação de excretas no caso dos animais. O limite máximo está relacionado à capacidade de resistência das estruturas de fixação ao arranque pelo impacto das ondas e correntes, ou à abrasão pelo sedimento particulado, como areia ou silte, carregado pela água, sem falar dos danos causados por projéteis maiores, como pedras.

A movimentação da água resulta ainda na instabilidade do substrato ao qual os organismos bentônicos estão aderidos. Blocos de rocha de pequeno e grande tamanho podem ser carregados, tendo sua posição e a dos organismos a eles ligados alterada, com completa mudança das condições ambientais.

Esse tipo de impacto nas comunidades bentônicas pode ser observado em costões rochosos após a ocorrência de ressacas de maior intensidade, podendo-se constatar a remoção da maioria dos organismos das partes diretamente voltadas para o mar, restando apenas fragmentos, como manchas isoladas de algas filamentosas e a base de algumas algas. Mesmo organismos mais resistentes e com carapaça, como cracas, podem ser totalmente destruídos, restando apenas um disco branco de sua parte basal. O impacto nas faces laterais e posteriores das rochas também é considerável, embora não tão intenso. Inúmeros blocos de médio porte e mesmo alguns

acima de meio metro de diâmetro são revirados ou transportados para níveis mais altos, com a conseqüente morte dos organismos a eles fixados.

Em outros casos, quando o substrato consolidado ocorre entremeado ao inconsolidado, além de maior abrasão, os organismos estão sujeitos ao soterramento, com conseqüências previsíveis.

Isso ocorre, por exemplo, nos bancos de algas calcárias situados na plataforma continental de média profundidade (aproximadamente 5 a 25 metros) do litoral sul do Espírito Santo. Tendo em vista que o substrato consolidado que suporta os organismos nesses ecossistemas é constituído, em sua maioria, por rodolitos ou blocos calcários de pequeno tamanho, circundado por cascalho ou areia, maior agitação da água do mar resulta em impacto acentuado. Observações feitas em um ponto a cerca de 20 km da costa, entre 1986 e 1994, mostraram uma estabilidade na estrutura da comunidade até 1992. De 1992 a 1994, data da última observação realizada, notou-se drástica redução na complexidade, diversidade e riqueza da comunidade (Figura 1), sendo beneficiadas aquelas espécies caracteristicamente resistentes ao soterramento. Associada a isso foi constatada a presença de grande quantidade de restos de organismos enterrados, parcial ou totalmente danificados, ainda presos ao rodolitos a que se fixavam.

Esse caso ainda exemplifica um grande problema, que é a diferenciação de fenômenos de ocorrência natural causados por ciclos estacionais, interanuais ou de longa duração, sobre os quais quase nada conhecemos, daqueles ligados aos impactos globais. Embora ainda difíceis de detectar, mudanças locais de hidrodinamismo já vêm ocorrendo e podem estar influenciando as comunidades marinhas.

Em outros casos, nos quais o sedimento inconsolidado próximo ao fundo é de granulação menor, do tipo argila ou silte, o aumento na agitação da água do mar pode resultar ainda em sua suspensão, com aumento da sua deposição sobre os organismos bentônicos e redução drástica da penetração da radiação solar, impactando a produtividade primária e alterando a relação entre produtores e consumidores. É o caso, por exemplo, dos costões situados nas enseadas do litoral norte dos estados de São Paulo e sul do Rio de Janeiro durante os meses de outono, quando as seguidas frentes frias provocam aumento do hidrodinamismo.

Esses exemplos deixam evidente que distúrbios relacionados ao hidrodinamismo são constantes e, em determinadas situações, causam grande impacto nas comunidades bentônicas. No caso de distúrbios atmosféricos de grande intensidade, como tempestades e furacões, tendo em vista serem pontuais e de curto prazo, as comunidades marinhas costumam se restabelecer de maneira particularmente rápida quando comparadas às de ambientes terrestres. Entretanto, essa capacidade de recuperação é limitada e pode ser insuficiente, caso efetivamente ocorra aumento na intensidade e freqüência desses distúrbios, o que resultaria em alterações definitivas na estrutura da comunidade.

Hidrodinamismo – correntes marinhas

No que tange à movimentação da água do mar podem ser consideradas ainda as correntes marinhas, tanto locais como oceânicas, que têm grande influência na macrodistribuição dos organismos, sendo fundamentais na determinação da composição das comunidades, sua abundância e tamanho.

No Brasil, as águas costeiras de forma geral são quentes e pobres em nutrientes. Entretanto, correntes frias provenientes do sul correm paralelamente à costa nas regiões mais profundas da plataforma continental, ressurgindo, por exemplo, na região de Cabo Frio. Correntes frias, que trazem águas de regiões mais profundas, normalmente são ricas em nutrientes e resultam, por

sua temperatura, em maior relação entre taxa fotossintética e respiratória, permitindo o desenvolvimento mais rápido de produtores primários com porte maior, que resultam em uma cadeia ecológica mais longa, com maior biomassa e renovação mais rápida. As algas marinhas de maior porte, com alguns metros de comprimento, conhecidas em inglês por "kelps", estão, por exemplo, associadas a esse tipo de água.

Não só em Cabo Frio, mas também em outros pontos do litoral Sudeste, essas massas de água fria afloram na superfície, causando o fenômeno também conhecido como ressurgência, e se aproximam da região costeira durante os meses de verão, promovendo, na região de interface, o enriquecimento da água quente superficial. Essa mudança nas propriedades da água ocasiona alterações marcantes na biota local nas regiões onde ocorrem. Em curto prazo resultam em concentração elevada de organismos planctônicos e bentônicos, com reflexos na pesca. Esse fenômeno resulta na ocorrência nessa região, situada entre Sul e Sudeste brasileiros e denominada por alguns de "Arco de Capricórnio", de organismos característicos tanto de regiões de águas frias como quentes.

Da mesma forma, no litoral do Espírito Santo é bem possível que a grande riqueza de algas se deva à ocorrência de representantes tanto da flora caribenha, relacionada às águas quentes da Corrente do Brasil, como subtropical, relacionada a correntes frias. Ali, na região mais profunda da plataforma, essa corrente fria é relacionada, por exemplo, à ocorrência de espécies de algas de grande porte do gênero *Laminaria*, na região denominada "Mar das Bananeiras", que recebe esse nome em função da forma característica desse gênero.

Embora previsões sobre o efeito de eventuais alterações no sentido da circulação e velocidade dessas correntes como consequência das mudanças climáticas globais envolva alto grau de incerteza, é muito provável que resulte em alterações significativas na estrutura das comunidades bentônicas de forma geral.

Ao se considerarem correntes locais, de menor porte, mudanças em curto prazo podem vir a ocorrer em função de alterações nas condições atmosféricas.

Como exemplo pode ser citado o caso das correntes que entram no Canal de São Sebastião, SP (Figura 2), circundado por costões rochosos. A corrente flui na maior parte do tempo a partir da entrada nordeste do canal (sentido SW), sendo então de menor intensidade e associada a águas provenientes das enseadas próximas, que carregam grande quantidade de sedimentos que se depositam sobre os organismos bentônicos, recobrando-os totalmente em alguns locais.

Em outros períodos, normalmente relacionados à entrada de frentes frias, a corrente flui a partir da entrada sudoeste do canal (sentido NE), tendo então maior velocidade e estando associada a correntes de mar aberto, de águas mais frias e claras. Nesses períodos, grande parte do sedimento lodoso é retirado de sobre os organismos, mudando totalmente as condições a que eles estão sujeitos e a fisionomia das comunidades. Pode-se também notar nesses períodos a entrada de organismos característicos de águas oceânicas que podem influenciar a comunidade local. Dessa forma, a prevista alteração na frequência de frentes frias por ação de mudanças globais pode influenciar as dinâmicas locais de circulação, levando a alterações da comunidade.

O mesmo é esperado para cada enseada ou baía, com sua dinâmica específica. Além disso, as correntes locais também devem sofrer mudanças em longo prazo em consequência do aumento no nível do oceano, o que provocará mudança no perfil da costa.

Não discutimos aqui as mudanças previstas na circulação das grandes correntes oceânicas, cujos resultados poderão afetar o clima, de forma dramática, sob diferentes aspectos, em regiões geográficas muito extensas.

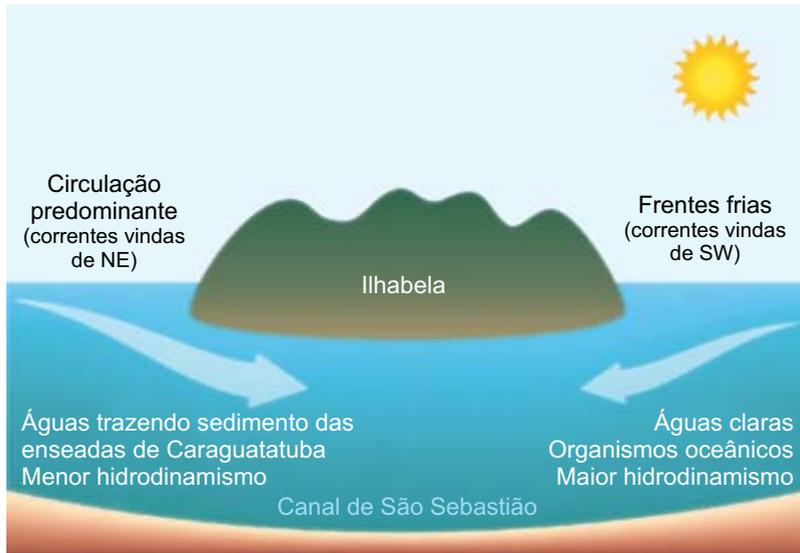


Figura 2. Regiões em que se divide o litoral – representação esquemática das duas principais condições de circulação de correntes marinhas no Canal de São Sebastião, SP.

Aquecimento da água do mar

Dentre as alterações globais esperadas como resultado do acúmulo do CO_2 na atmosfera está o aumento médio da temperatura da biosfera e, conseqüentemente, também da água do mar. Em razão do elevado calor específico da água, isto é, da quantidade de energia necessária para aumentar a temperatura de determinada massa de água, as variações de temperatura esperadas no ambiente marinho são bem menores do que as esperadas para o ambiente terrestre. No entanto, como a temperatura é um fator-chave na distribuição dos organismos, mesmo pequenas variações podem ter efeitos significativos nas comunidades.

Já está bem demonstrado que o aquecimento da água superficial está relacionado à morte de corais. Esse fenômeno é conhecido como “branqueamento” e é causado pela morte das algas associadas aos corais, denominadas zooxantelas, e que são essenciais para a sua sobrevivência.

No Brasil, esse fenômeno é particularmente importante para as grandes comunidades de recifes de coral da Bahia e restante do Nordeste brasileiro. Entretanto, embora esse fato seja muito menos conhecido ou divulgado, o mesmo fenômeno afetaria as comunidades de zoantídios, popularmente chamados de corais moles. Essas comunidades recobrem grande parte do substrato no infralitoral brasileiro, sendo, portanto, muito importantes e abundantes em toda a costa brasileira, tanto em costões rochosos como em recifes de arenito e mesmo em alguns bancos de algas calcárias situados mais próximos à costa. Empiricamente, temos observado em costões rochosos da região de Ubatuba que essas colônias apresentam retrações em sua distribuição durante os meses quentes de verão, quando os indivíduos mais próximos da costa e mais superficiais sofrem inicialmente um branqueamento e depois se desprendem, sendo substituídos por outros organismos.

Entretanto, mesmo para outros organismos, alterações nas temperaturas médias e a ocorrência de picos incomuns de temperatura mais elevada devem levar a mudanças na estrutura das comunidades, devido à alteração nos limites ótimos de desenvolvimento ou de resistência. As

espécies respondem a aumentos de temperatura de forma diferente em consequência de diferenças em seus metabolismos, processos fisiológicos e comportamento, que influenciam o crescimento e sobrevivência, a taxa reprodutiva, fenologia e sucesso no recrutamento. Contrações e expansões dos limites de distribuição geográfica levarão tanto ao desaparecimento quanto à introdução de espécies oriundas de outras regiões nas comunidades. Entre muitos exemplos possíveis, isso foi reportado para espécies do Reino Unido, sendo que algumas ampliaram sua distribuição geográfica em direção ao norte enquanto outras tiveram expansão do ciclo anual reprodutivo e da sobrevivência de indivíduos juvenis.

No litoral brasileiro, à medida que o aquecimento global continua, é esperado um aumento da amplitude geográfica das espécies no sentido sul, já que as mesmas respondem à alteração do “espaço climático” propício que elas podem habitar.

Variação do nível médio do mar

Um efeito esperado em função do aumento global da temperatura do planeta está relacionado ao aumento do nível médio do mar, consequência do derretimento do gelo das calotas polares e da dilatação da água do mar, que embora pequena pode ser significativa em decorrência do volume total dos oceanos.

Uma característica universal dos organismos marinhos bentônicos de substrato consolidado é sua distribuição em zonas, como em curvas de nível, particularmente bem delimitadas na região entre marés, onde agrupamentos de espécies diferentes de algas e animais se sucedem em uma escala vertical característica. Essa distribuição em faixas verticais é conhecida como zonação e mesmo pequenas variações no nível da água podem resultar na não adaptação e morte de organismos.

No caso dos organismos da região entre marés isso ocorre como resultado principalmente da variação do tempo de exposição ao ar durante a maré baixa. Em áreas mais profundas, o impacto maior ocorre nos organismos dependentes da fotossíntese, como algas, corais e zoantídeos, devido à variação da quantidade de radiação solar disponível. Em uma reação em cadeia, essas mudanças podem alterar as interações bióticas de competição e predação, tendo como resultado grandes mudanças nas comunidades afetadas.

Acidificação da água do mar

O aumento da acidez da água do mar vem sendo apontado em trabalhos recentes como um dos distúrbios mais críticos que as comunidades marinhas deverão sofrer.

Cerca de um quarto do dióxido de carbono (CO₂) liberado na atmosfera se dissolve no oceano (Figura 3). Parte desse CO₂ reage com a água formando ácido carbônico, que, por sua vez, reage com íons carbonato presentes na água, resultando na liberação de íons H⁺. A quanti-

• As subdivisões do litoral segundo o regime de marés

O litoral pode ser dividido em regiões segundo o regime de marés a que está submetido. O infralitoral corresponde à região permanentemente submersa, ficando abaixo do nível das marés mais baixas. O médio litoral corresponde à zona de marés, ficando exposto ao ar durante a maré baixa e submerso durante a maré alta. O supralitoral é a região que fica acima da maré mais alta, estando permanentemente exposto ao ar, embora sujeito a borrifos de água salgada.

As acentuadas diferenças entre os fatores ambientais dessas regiões resultam em comunidades biológicas distintas que aparecem nos costões rochosos como faixas sobrepostas, com cores e texturas diferentes.

dade de íons H^+ determina o grau de acidez ou alcalinidade e é medido pela unidade pH: quanto menor o pH, maior a quantidade de íons H^+ e maior a acidez.

Estima-se que desde o início da era industrial o pH dos oceanos tenha sofrido uma queda média de 0,1 unidade, devendo cair mais 0,3 até o final do século (Figura 4). Esse processo deverá ser inicialmente mais intenso nas regiões mais frias, estendendo-se progressivamente em direção às águas tropicais.

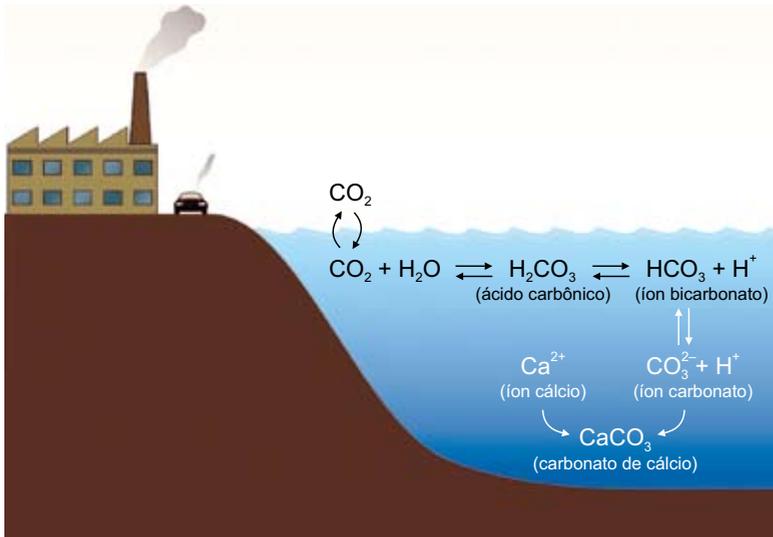


Figura 3. Síntese do processo de acidificação da água do mar a partir da liberação de dióxido de carbono na atmosfera e sua relação com a fixação como carbonato de cálcio por seres vivos.

Além de impactos na fisiologia dos organismos, por alterações no balanço iônico das substâncias presentes na água do mar, a acidificação dos oceanos provoca alterações no sistema carbonato, comprometendo a sobrevivência de algas calcárias e de animais como moluscos, corais, crustáceos e outros animais calcificados. Se a tendência atual de acidificação se mantiver, após o ano 2150 o pH deve atingir um valor no qual o balanço químico do sistema carbonato se inverterá, prevalecendo a dissolução do carbonato de cálcio acumulado nos oceanos em vez de sua deposição, o que acarretará a saída de CO_2 do mar para a atmosfera, agravando ainda mais o efeito estufa. Ensaios realizados com organismos calcificados mostram que, em condições de acidez bem menor que essa prevista, a deposição de cálcio se torna instável. Além disso, a reação do gás carbônico dissolvido com o íon carbonato reduz a disponibilidade desse íon, matéria-prima na formação das matrizes calcárias.

Ainda que a principal ameaça sugerida na literatura como relacionada à acidificação da água do mar seja o comprometimento dos organismos planctônicos calcificados, no caso do bentos da costa brasileira a principal ameaça parece estar relacionada aos extensos bancos de algas calcárias da plataforma continental e aos recifes de coral.

Embora não conheçamos ensaios a respeito, possivelmente o aumento da acidez resulte no comprometimento do crescimento e da estabilidade das algas calcárias, presentes tanto nos nódulos e blocos calcários dos bancos de algas calcárias como atuando na consolidação dos recifes de coral. Mesmo a matriz calcária morta teria muito mais facilidade para se fragmentar,

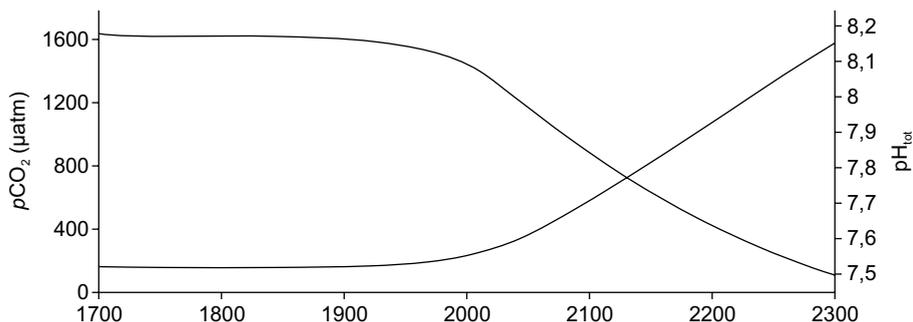


Figura 4. Projeção da relação entre o dióxido de carbono liberado na atmosfera e a variação do pH da água do mar.

reduzindo drasticamente a disponibilidade de substrato consolidado nesses ecossistemas, que seria substituído por áreas de cascalho ou areia, com dramática redução da biodiversidade e sérias implicações ecológicas e econômicas.

As alterações listadas anteriormente eram, em sua maioria, de natureza física e acarretavam impactos relacionados principalmente à estrutura ecológica das comunidades. Alterações nas características químicas em um meio circundante aos organismos, como a água do mar, resultam em impactos com menor possibilidade de adaptação por parte das comunidades biológicas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS DE AÇÃO

As considerações apresentadas neste trabalho representam uma visão particular e especulativa dos principais cenários que podem ser esperados a partir dos distúrbios decorrentes de alterações globais nas comunidades bentônicas do litoral brasileiro.

Além da complexidade de fatores e interações envolvidos e da plasticidade dos sistemas biológicos, previsões mais precisas são comprometidas pela falta de informações acerca dos ambientes marinhos, dentre as quais destacamos o mapeamento das comunidades e os correspondentes dados descritivos sobre suas estruturas, os quais são muito escassos ou inexistentes.

Essa falta impede até o monitoramento, essencial para saber se efetivamente estão ocorrendo alterações. Considerando os trabalhos já publicados, temos uma área mapeada muito pequena, inferior a 500 m², para o litoral do Brasil inteiro. Talvez a maior deficiência seja em relação aos bancos de algas calcárias, tipo de ambiente de maior área e, possivelmente, importância de nossa costa, sobre os quais quase nada foi publicado.

Essa situação é muito diferente do que ocorre nos ecossistemas terrestres, onde, devido a vários fatores, relativos ao fato de o homem ser um animal terrestre e ao uso de técnicas de sensoriamento remoto, ou relacionadas à ecologia da paisagem, temos grande parte do território mapeado com razoável grau de precisão.

Outros dados que permitam prever o comportamento de populações e comunidades diante de distúrbios também são escassos, como, por exemplo, os de ecofisiologia, de ecologia experimental ou sobre os efeitos de diferentes tipos de impactos antrópicos. Mesmo os levantamentos taxonômicos, embora mais numerosos e abrangendo todos os ambientes da costa brasileira, são normalmente restritos a determinadas estações de coleta e a determinados grupos taxonômicos, havendo filões inteiros que não contam com especialistas atuando no Brasil.

Essa ausência de dados compromete a própria percepção da existência, extensão e grau de importância de eventuais mudanças nas comunidades bentônicas, bem como limita os dados

que podem ser obtidos a partir de seu monitoramento, essencial para a tomada de medidas mitigadoras, como, por exemplo, o manejo de recursos naturais ameaçados.

Além disso, há de se considerar a dificuldade de previsões diante de um tipo de distúrbio gradual e global, mas irreversível, que o homem nunca vivenciou. Apesar de terem sido apresentados em tópicos separados, os diferentes distúrbios descritos atuam simultaneamente e interagem entre si, bem como alteram outros fatores ambientais, possivelmente potencializando seu impacto nos ecossistemas, o que torna a projeção de um cenário ainda mais incerta.

Tomando como exemplo os bancos de algas calcárias (Figura 5), blocos e nódulos já parcialmente descalcificados como consequência da acidificação da água do mar poderão sofrer um aumento no processo de fragmentação devido ao aumento do hidrodinamismo, resultando em maior proporção de substrato, areia ou silte, o que por sua vez facilitará o soterramento dos blocos restantes pela própria ação das ondas. Simultaneamente, o aumento do nível da água do mar reduzirá a penetração de radiação solar, comprometendo a fotossíntese.

Um aspecto muito importante é a ausência de consenso no que tange às previsões de caráter geral relacionadas às mudanças climáticas globais. No caso do litoral brasileiro, não há registros ainda de alterações causadas pelo aumento da temperatura, não porque eles ainda não tenham se efetivado, mas porque não há registros pretéritos seguros que nos sirvam de base de comparação em séries históricas.

No que diz respeito ao fitobentos, o caso mais bem estudado é o da Baía de Santos, que vem sendo acompanhado por um período de cerca de 50 anos e que passou por grandes alterações ao longo do tempo. No entanto, ao que tudo indica, essas alterações estão ligadas a problemas locais de poluição causados pelo crescimento das cidades e da região industrial de Cubatão e não a impactos globais, constituindo um bom exemplo de como as comunidades são dinâmicas e se alteram no tempo em função da mudança de parâmetros ambientais. Esse caso ilustra também a existência de distúrbios ambientais locais tão graves que podem sobrepor ou mascarar, por enquanto, efeitos globais.

Mesmo que nem todas as previsões de alterações se confirmem, a ocorrência de apenas algumas delas já nos parece um cenário altamente preocupante, com consequências econômicas e sociais desproporcionais. O comprometimento das áreas de produção marinhas terá como consequência a redução, possivelmente dramática, dos recursos obtidos de forma extrativista, como, por exemplo, a partir da pesca, ou de parte das fazendas marinhas.

Entretanto, apesar do dinamismo das comunidades biológicas e do grande impacto de distúrbios ambientais locais, o fato é que precisamos estar preparados para identificar eventuais alterações causadas por mudanças climáticas globais e sua amplitude. Embora não haja evidências definitivas de sua ocorrência em nosso litoral, isso não significa que se deva ignorar essa possibilidade, uma vez que grandes alterações climáticas, em escala nunca antes observada, certamente vêm ocorrendo, mesmo que não seja possível termos certeza absoluta sobre suas causas.

Na ausência de conhecimento de base que nos permita avaliá-las e delinear ações preventivas, só nos resta formular hipóteses e criar cenários alternativos ainda bastante imprecisos.

No que concerne ao bentos da costa brasileira pode-se lançar algumas hipóteses de trabalho, como, por exemplo, que (1) o aumento da temperatura da água do mar ocasionará redistribuição das espécies ao longo da costa; (2) a acidificação trará sérios problemas aos organismos que precipitam carbonatos, como alguns grupos de algas, corais e animais com conchas e carapaças, bem como para os recifes e fundos calcários, que servem como substrato para uma alta biodiversidade de organismos; (3) o aumento do nível médio do mar ocasionará uma migração

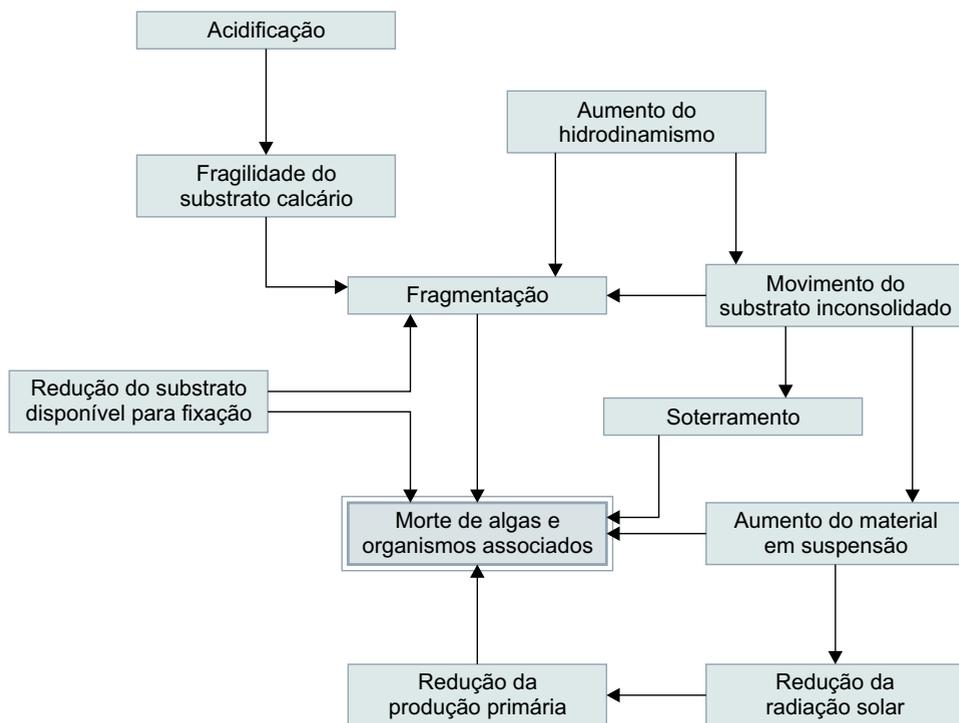


Figura 5. Rede de interações esperadas entre os diversos tipos de distúrbios resultantes das mudanças climáticas e suas conseqüências mais evidentes para as comunidades bentônicas de bancos de algas calcárias da plataforma continental brasileira.

vertical de organismos e colonização de novas áreas; e (4) uma parcela significativa de espécies que não tiverem capacidade de se adaptar será eliminada devido a esse conjunto de transformações, reduzindo significativamente a biodiversidade.

Como recomendação geral nos parece que a providência imediata a ser tomada é conscientizar o governo sobre a necessidade de um esforço concentrado no estudo do ambiente marinho, aprofundando e estendendo a linha de ação lançada com o programa REVIZEE (Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva), através do estudo não apenas taxonômico, mas também ecológico desses ecossistemas, em especial no mapeamento da distribuição espacial desses organismos, de forma a permitir o estabelecimento de estações para seu monitoramento temporal.

Nesse sentido, seria desejável promover a união, em um esforço comum e organizado, de todos os grupos que atualmente se dedicam à caracterização estrutural das comunidades bentônicas e multiplicar o número de pesquisadores existentes através de programas de formação específicos, intensivos e de caráter urgente. Além disso, diante de mudanças complexas e de alcance planetário, faz-se necessário o estabelecimento de programas multidisciplinares e interinstitucionais.

A implantação de projetos extensos de mapeamento e o conseqüente estabelecimento de estações de monitoramento dependerão certamente do desenvolvimento de técnicas não convencionais, em especial ligadas ao sensoriamento remoto por satélites ou aviões e à caracterização de comunidades em níveis hierárquicos superiores ao de espécie. Técnicas desse tipo permitem o estudo das comunidades biológicas por grandes extensões geográficas em curtos espaços de tempo.

Diversas metodologias têm sido testadas com esse objetivo no estudo das comunidades bentônicas, por exemplo, onde apenas as espécies dominantes são amostradas, ou quando é feito o uso de imagens como elementos amostrais, ou ainda com a amostragem de elementos visuais da paisagem, a exemplo do que é feito no ambiente terrestre.

Em nossa opinião, o ambiente prioritário, mas não exclusivo, a ser estudado é a região de média profundidade da plataforma continental constituída pelos bancos de algas calcárias, por ser o ambiente de maior amplitude, possivelmente de maior importância ecológica e que estará mais sujeito a distúrbios oriundos de mudanças globais e sobre o qual, paradoxalmente, praticamente não há trabalhos publicados.

BIBLIOGRAFIA

1. BERCHEZ, F; ROSSO, S.; GHILARDI, N.; FUJII, M.T.; HADEL, V. **Characterization of hard bottom marine benthic marine communities: the physiognomic approach as an alternative to traditional methodologies.** Museu Nacional, Rio de Janeiro, Série Livros, 10: 207-220. 2005.
2. LOBBAN, C.; HARRISON, P.J. **Seaweed ecology and physiology.** Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1994. 366p.
3. OLIVEIRA, E.C.; QI, Y. Decadal changes in a polluted bay as seen from its seaweed flora: The case of Santos Bay in Brazil. **AMBIO** 32: 403-405. 2003.
4. OLIVEIRA, E.C.; HORTA, P.A.; AMANCIO, C.E.; SANT'ANNA, C.L. Algas e angiospermas marinhas bênticas do litoral brasileiro. In: **Macrodiagnóstico da Zona Costeira do Brasil.** Ministério do Meio Ambiente (org.). Rio de Janeiro: Ministério do Meio Ambiente. 2001.
5. PEREIRA, R.C.; SOARES-GOMES, A. (org.) **Biologia marinha.** Rio de Janeiro: Interciência. 2002. 382p.

SITES

Algae Maris Brasilis – www.ib.usp.br/algaemaris

Programa REVIZEE – www.mma.gov.br/port/sqa/projeto/revizee/

Projeto Ecossistemas Costeiros – www.ib.usp.br/ecosteios