

IMPACTO DAS ESPÉCIES INVASORAS NO AMBIENTE AQUÁTICO

Rosa Cristina Corrêa Luz de Souza
Sálvio Henrique Calazans
Edson Pereira Silva

HISTÓRICO DA BIOINVASÃO AQUÁTICA NO BRASIL A introdução de espécies exóticas em comunidades naturais nas quais elas não existiam é, geralmente, mediada pela atividade humana e pode afetar tanto a biodiversidade – por causarem a perda de diversidade biológica podem ser considerados “poluentes biológicos” – quanto às atividades econômicas, com danos à atividade pesqueira, riscos sanitários, gastos com manutenção de turbinas em hidroelétricas, entre outros (1). Embora em anos recentes tenha havido uma tendência de aumento dos eventos de bioinvasão em ecossistemas aquáticos, não é possível definir se isso se deve a um agravamento do problema ou se apenas reflete o resultado de um maior esforço de pesquisa e conscientização. Os dados disponíveis são ainda esparsos e restritos a determinadas regiões e/ou espécies, dessa forma, a inferência de tendências pode estar refletindo interesses específicos de pesquisa ao invés da velocidade das introduções e os seus padrões de dispersão. Entretanto, a despeito dessas limitações, se acumulam informações importantes sobre o impacto das bioinvasões nos ambientes aquáticos brasileiros.

Apesar do esforço existente para produzir informações sobre o problema das bioinvasões nas águas brasileiras, a maioria das publicações sobre as invasões nos ecossistemas aquáticos corresponde às ocorrências na América do Norte e Europa; em contrapartida, a África, o Oceano Índico, o sudoeste do Oceano Pacífico e a América Latina estão, ainda, pobremente documentados (2). No Brasil, a introdução de organismos é comum há muito tempo. A história desse processo está intimamente relacionada aos avanços tecnológicos, dessa forma, um histórico das bioinvasões aquáticas no Brasil pode ser dividido em três fases: do Descobrimento até o final do século XIX; o século XX; e a partir do século XXI. A figura 1 apresenta essas fases dispostas em uma linha do tempo onde é possível verificar as espécies que foram reportadas para o Brasil em cada período.

A primeira fase refere-se à época da colonização e tráfico de escravos e se caracteriza pela chegada de navios originários do continente europeu e da África. Desde essa época, a incrustação em cascos de navios já era responsável por um grande número de introduções marinhas no litoral brasileiro. Três espécies foram consideradas introduzidas nesse período: o mexilhão *Perna perna* (3, 4, 5), o vibrião da cólera *Vibrio cholerae* e a ascídia *Styela plicata* (6, 7). O século XX é a segunda fase, marcada por grandes avanços econômicos e tecnológicos no país e no mundo. Nesse século, houve uma intensificação do comércio marítimo e a água de lastro passou a ser largamente utilizada nos tanques dos navios, agravando o transporte que já era efetuado

via incrustação na transferência de espécies. A terceira fase inicia-se no século passado e vem até os dias atuais, caracterizando-se pela intensificação das pesquisas científicas e pelo aumento dos registros das espécies exóticas introduzidas no Brasil. As invasões biológicas passaram, então, a ser analisadas com uma visão mais ampla e multidisciplinar. O conhecimento da biologia e biogeografia das espécies, bem como as relações inter e intraespecíficas e o monitoramento do ambiente marinho tornaram-se fundamentais para o gerenciamento do problema da bioinvasão, surgindo a necessidade de se investir nos procedimentos de prevenção e controle.

O Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (Probio) promoveu a execução de cinco subprojetos destinados ao levantamento de informações biológicas e ecológicas relacionadas às espécies introduzidas no país (8). Dois desses subprojetos produziram informes com o levantamento dos organismos que afetam as águas brasileiras. Foram inventariadas 66 espécies exóticas invasoras que afetam o ambiente marinho. Considerando as quatro categorias de situação populacional (contida, detectada, estabelecida e invasora), essas espécies estão divididas nos subgrupos: fitoplâncton (3 espécies, 5%), macroalgas (10 espécies, 15%), zooplâncton (10 espécies, 15%), zoobentos (38 espécies, 57%), peixes (4 espécies, 6%) e bactéria pelágica (1 espécie, 2%). Destas, 43% foram consideradas detectadas em ambiente natural, 24% estabelecidas, 18% contidas e 15% invasoras. Para os ambientes aquáticos continentais do Brasil, o subprojeto avançou com uma avaliação das informações compiladas na literatura e também do contato com as diferentes instituições relacionadas ao tema. Foram identificadas, nesse subprojeto, 49 espécies exóticas invasoras que afetam as águas continentais, envolvendo crustáceos (1 espécie); macrófitas aquáticas (6 espécies); microrganismos (1 espécie); moluscos (4 espécies); e peixes (37 espécies).

ONTEM E HOJE, OS PRINCIPAIS VETORES As espécies exóticas sempre puderam ser transportadas através das incrustações nos cascos dos navios e, a partir de 1880, mais recentemente, o risco de transporte de espécies exóticas aumentou muito com o advento do uso da água como lastro para os navios (9). A partir da década de 1990, o lixo plástico também começou a assumir um papel importante na mediação de bioinvasões marinhas em escala global (10).

Devido à capacidade de transporte, à periodicidade e à diversidade de rotas, os navios utilizados pelo comércio internacional são considerados importantes vetores, sendo responsabilizados por um grande número de introduções de espécies. No Brasil, cerca de 95% de todo o comércio exterior é transportado por via marítima. Muitas espécies podem sobreviver em uma forma viável na água de lastro e sedimentos transportados pelos navios, mesmo em viagens de vários dias. Ao serem deslastradas em águas portuárias, algumas espécies podem obter sucesso na sua introdução e promover alterações no equilíbrio ecológico da área receptora. O potencial da descarga de sedimento e água de lastro dos navios foi reconhecido não só pela Organização Marítima Internacional, mas também pela Organização Mundial de Saúde, como um meio de dispersão de bactérias causadoras de doenças epidêmicas (11).

As incrustações em cascos de embarcações e estruturas flutuantes de plataformas consistem em um antigo problema de ordem mundial e gera ônus considerável ao ramo da navegação e outras atividades a ela ligadas. O uso de tintas anti-incrustantes não garante, na sua totalidade, que espécies não sejam transportadas por esse vetor, visto a eficiência desse recurso possuir tempo de validade e ser testado geralmente em escala regional. Além disso, existem várias partes de navios e plataformas onde a tinta não é aplicada, como por exemplo, ralos de aspiração e hélices. Adicionalmente, as docagens e raspagens das estruturas de plataformas são normalmente realizadas em locais distantes de onde operam, o que pode facilitar a introdução de espécies no novo ambiente (12). Deve-se considerar, ainda, que grande parte das tintas anti-incrustantes são a base de TBT (tributil-estanho) e estão em processo de banimento mundial, sem que seja disponível, no presente, nenhuma alternativa eficaz e economicamente viável para esse produto (13).

Ainda associado ao problema das incrustações, existem os vetores materiais sólidos flutuantes (*rafting*). Estes objetos incluem madeira, plástico, borracha, isopores e materiais orgânicos variados, que podem cruzar oceanos, rios e províncias biogeográficas, introduzindo espécies até em áreas polares como já constatado na Antártida. Muitos tipos de organismos, particularmente briozoários, cracas, poliquetas, hidrozoários e moluscos, usam os restos marinhos dispersos nas massas d'água como "casas-flutuantes", o que aumenta a oportunidade de dispersão das espécies. Nos anos recentes, devido à explosão na produção de lixo humano, especialmente plástico, o problema tem se agravado. Barnes (10) estimou que a propagação de espécies devido ao lixo de origem humana dobrou nos subtropicais e triplicou nas latitudes maiores do que os 50°.

Aparte esses vetores descritos, uma multiplicidade de outros vetores, tais quais aquicultura, aquariofilia e, também, os organismos epibiontes, simbioses ou parasitas que podem estar associados à introdução via aquicultura e aquariofilia, podem ser identificados como relacionados às invasões aquáticas no Brasil.

ESTRATÉGIAS ADAPTATIVAS DAS ESPÉCIES EXÓTICAS Por definição, espécies exóticas se acham em regiões biogeográficas diferentes daquelas nas quais evoluíram e se adaptaram, dessa forma, bioinvasoras têm que enfrentar pressões seletivas novas bem como novas situações de stress. Cinco são os tipos de mudança evolutiva a que estão sujeitas as espécies invasoras: *bottlenecks* (gargalo de garrafa), efeito de pequeno número de genes, rearranjos genômicos (transposons, polyploidia etc), hibridização e modificação do genoma induzida pelo estresse (14, 15).

Em populações naturais pequenas, o acaso tem um papel importante na determinação de quais genes estarão presentes na próxima geração, força evolutiva conhecida como deriva genética. Um caso extremo de deriva é a redução drástica do tamanho po-

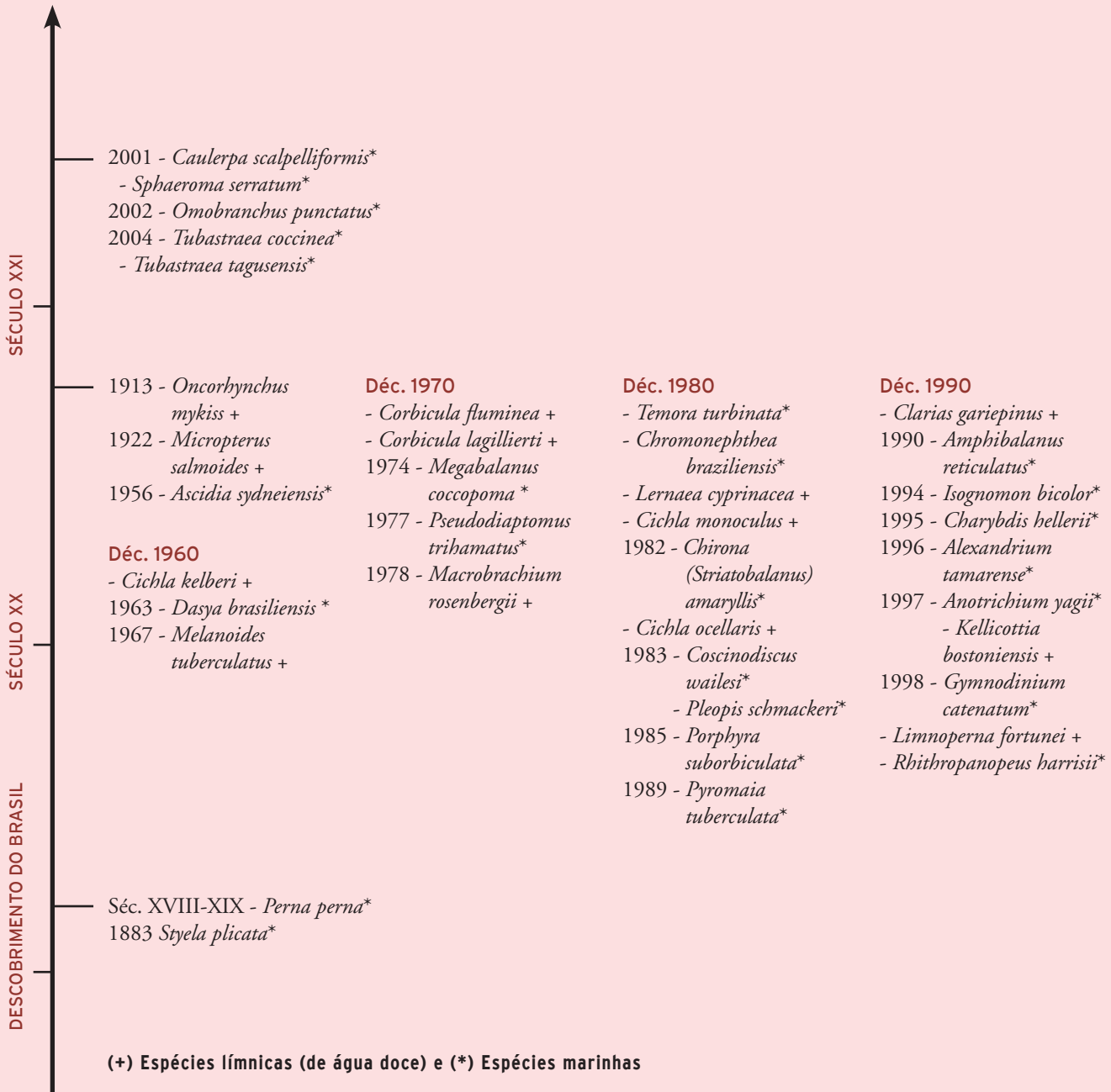
pulacional, que tem como consequência a redução dos níveis de variação gênica da população (*bottleneck*). A chegada acidental de um ou poucos indivíduos de uma espécie em um novo ambiente, como se dá no caso das bioinvasões, é um exemplo de *bottleneck* (conhecido, nesse caso, como efeito fundador). Modelos teóricos têm sido desenvolvidos para o estudo dessa dinâmica da bioinvasão. Garcia-Ramos & Rodriguez (16) examinaram a interação entre o processo de adaptações locais e a densidade populacional na velocidade do processo de invasão. O modelo mostrou que as interações entre os fatores genéticos e demográficos reduzem a velocidade de expansão das espécies, comparado com outros modelos que levam em conta apenas os fatores demográficos. A redução da velocidade de bioinvasão é resultado de uma limitada capacidade das populações de se adaptarem a ambientes novos devido aos baixos níveis de variação gênica. Contudo, embora seja geralmente considerado que as mudanças genéticas não são detectáveis em tempos ecológicos, evidências de estudos com seleção artificial têm demonstrado que as populações podem sofrer mudanças rápidas de caracteres morfológicos, envolvendo em torno de apenas 100 gerações (17).

Uma alternativa às mudanças lentas envolvidas no processo de adaptação é a hibridização. Lee (14) aponta que a hibridização, entre espécies ou entre populações da mesma espécie (dos bioinvasores com espécies nativas ou com outras espécies invasoras) pode reduzir a perda de variação gênica associada ao processo de bioinvasão (*bottleneck*), bem como produzir uma gama de novos genótipos importantes à adaptação da espécie invasora ao novo ambiente. Os efeitos positivos da hibridização ao processo de bioinvasão incluem crescimento mais rápido, maior tamanho dos híbridos e um aumento da agressividade.

Outro tipo de fenômeno que pode determinar a adaptação rápida das populações invasoras são os vários tipos de rearranjos genômicos. A poliploidia (duplicação do genoma) e a aloploidia (hibridização seguida de duplicação do genoma) são processos de reconhecida importância na evolução das plantas. De maneira interessante, poliplóides parecem ocorrer com maior frequência em plantas invasoras do que entre as angiospermas em geral (15). Embora os motivos para essa alta frequência de poliplóides em espécies de plantas invasoras sejam desconhecidos, o fato é que, da mesma forma que na hibridização, poliplóides podem ofertar novos genótipos à ação da seleção natural e, portanto, permitir a adaptação, em curto prazo, da população invasora. É reconhecida, também, a importância de certas inversões cromossômicas na adaptação das espécies invasoras. Uma força importante na determinação dos rearranjos genômicos podem ser os transposons (14).

Além dos transposons, que podem se inserir em diferentes posições no genoma causando um processo de liga/desliga nos genes, a exposição às condições bióticas e abióticas do novo ambiente pode, também, causar uma instabilidade no genoma, nesse caso, mediada pelo

**EM
POPULAÇÕES
NATURAIS
PEQUENAS,
O ACASO TEM
UM PAPEL
IMPORTANTE...**



stress ambiental. Tem sido demonstrado que elevadas exposições à UV, patógenos, bem como estresse abiótico produzem instabilidade do genoma (aumento da taxa de recombinação homóloga, ativação de transposons, mutações) (15). Embora alterações ao acaso do genoma mediadas pelo estresse ambiental sejam na grande maioria das vezes deletéria, variação gênica benéfica associada às pressões de seleção natural produzem adaptação.

A variação gênica, de origem recombinacional ou mutacional, é extremamente importante para o processo de adaptação. Contudo, não se pode negligenciar o efeito de um pequeno número de genes na habilidade de colonização das espécies invasoras. Exemplos no-

táveis do efeito de um ou poucos genes no sucesso da colonização de ambientes novos tem sido demonstrado para espécies terrestres (14). Embora, não tenha sido encontrada, ainda, uma contraparte para o ambiente aquático, genes dessa natureza não devem ser exclusivos de determinados grupos.

Por fim, embora não seja uma estratégia adaptativa, mas uma contingência histórica, outro fator importante para o sucesso das espécies invasoras é o estado de depauperamento do ambiente invadido (18). Ambientes poluídos, por exemplo, podem facilitar o crescimento de espécies invasoras que nessas condições, provavelmente, encontram um ambiente de menor competição (19).

IMPACTO DOS EVENTOS DE BIOINVASÃO Mesmo antes das grandes navegações, as espécies de plantas e animais já estavam naturalmente se expandindo e/ou regredindo sua distribuição. O processo de expansão da distribuição é, de fato, um processo natural que ainda hoje acontece quando barreiras biogeográficas são transpassadas. Tal processo pode acontecer desde em escalas geológicas, incluindo milhares de anos (ex. glaciações e deglaciações), até períodos curtos de poucos anos, dependendo dos eventos em questão (ex. El Niño). Nos dias de hoje o grande avanço tecnológico alcançado pela civilização proporciona uma aceleração em tal processo. Esse “auxílio” no aumento do transporte de espécies e consequente aumento da distribuição das mesmas no planeta acontecem de tal forma que centenas de espécies se tornaram reconhecidamente cosmopolitas, colocando o processo de bioinvasão dentre os mais importantes impactos na perda de biodiversidade do planeta (20).

Com respeito a bioinvasões no ambiente aquático, a pesca recreativa, aquicultura e aquarofilia são, atualmente, as atividades que mais causam introduções em águas continentais. Introduções de espécies oriundas de outras regiões resultam em grandes impactos sobre a biodiversidade dos ecossistemas aquáticos continentais. No caso da fauna e flora de água doce, a transposição de espécies de uma bacia hidrográfica para outra pode representar uma grande ameaça, ainda que no mesmo continente. Introduções de organismos, principalmente peixes, tanto de espécies nativas como exóticas, são comuns no Brasil e resultam da falta de informação sobre os problemas que a bioinvasão pode causar. Os peixes amazônicos, por exemplo, estão entre as espécies mais introduzidas em outras bacias hidrográficas no Brasil, sendo o tucunaré (*Cichla* sp.) um dos mais comuns em introduções (21). Agostinho *et al.* (22) relatam que na bacia do rio Paraná os piscívoros da Amazônia são os que alcançam maior sucesso. Gomes *et al.* (23), em estudos no Parque Estadual do Rio Doce (PERD), descreve uma redução da biodiversidade resultante do aumento de biomassa de peixes introduzidos na Lagoa da Carioca. Do mesmo modo, Godinho (24), em estudo mais geral do problema da bioinvasão no PERD nos últimos 50 anos, demonstra que a riqueza de espécies de peixes vem declinando em todos os lagos do parque em que houve introdução de espécies. De maneira semelhante, no ambiente marinho, nota-se que, embora tenha havido um aumento na diversidade estrutural e funcional causado pelas espécies não-nativas e mediado pela intervenção humana (fato que vem sendo tratado na literatura como *xenodiversidade*, xenos gr. alienígena, estrangeiro), é possível observar, também, que a composição da biota de todo o mundo tem ficado mais similar. Ou seja, a disseminação de espécies promove o fenômeno chamado de “*homogeneização antropogênica*”.

O estudo da biogeografia, por outro lado, tem sido importante no entendimento de como uma espécie exótica é detectada ou se estabelece num novo ambiente, incluindo quais os fatores que possibilitam sua expansão, além de quais fatores podem levar as mesmas a uma possível extinção (25). Portanto, baseado nos padrões de distribuição geográfica é possível definir que espécies seriam, à primeira vista, exóticas. De fato, estudos recentes demonstram que a distribuição atual de várias espécies nativas é

nada mais que o produto de vários eventos passados de invasão. As barreiras ecológicas ou físicas surgem e desaparecem de acordo com as mudanças na configuração dos oceanos e continentes através do tempo geológico, limitando, assim, a distribuição das espécies e permitindo que os meios e capacidades de dispersão evoluam conjuntamente. O processo de bioinvasão como estudado na biogeografia é um fenômeno esperado e frequente em todo o globo terrestre quando se discute a história da vida, não sendo um processo restrito ao nosso tempo.

Além da ameaça à biodiversidade, a dispersão de espécies invasoras está criando desafios complexos e de grande extensão ao bem-estar das populações humanas. Embora o problema seja global, a natureza e a severidade dos impactos sobre a sociedade, a economia e a saúde variam entre diferentes países e regiões. Por exemplo, as espécies invasoras diminuem o rendimento dos cultivos, aumentam os custos de manejo e reduzem o suprimento de água ao degradarem ecossistemas e reservas de água doce. A descarga de água de lastro introduz organismos aquáticos perigosos para o equilíbrio ambiental, incluindo bactérias e vírus, tanto em ecossistemas marinhos quanto de água doce, degradando, desta forma, importantes atividades comerciais como as associadas à pesca. Organismos causadores de enfermidades, recentemente disseminados, matam ou incapacitam milhões de pessoas a cada ano, com profundas implicações sociais e econômicas. O dinamismo entre os agentes patogênicos invasores, comportamento humano e desenvolvimento econômico é complexo e depende da interação entre a virulência da doença, as populações infectadas e as suscetíveis, o padrão dos assentamentos humanos e o seu nível de desenvolvimento.

Além dos custos diretos que estão associados ao manejo de invasoras, os custos econômicos também incluem as consequências ambientais indiretas das invasões e outros valores que não integram o mercado. Por exemplo, espécies invasoras podem provocar distúrbios no ciclo hidrológico, determinando a necessidade de serviços que incluem o controle de cheias e suprimento de água, a assimilação de dejetos, a ciclagem de nutrientes, a conservação e regeneração de ambientes etc. Tais serviços têm tanto valor atual quanto valor potencial no futuro (26).

ESTUDOS DE CASO Como mencionado anteriormente, uma das consequências que pode advir das bioinvasões é o fenômeno da homogeneização antropogênica. Um exemplo desse processo que tem sido reconstruído a partir de dados da pré-história é o caso do mexilhão *Perna perna*. Souza *et al.* (3, 4, 5) sugeriram que os costões rochosos brasileiros foram cenários de uma invasão biológica ocorrida há mais de 500 anos. Ao comparar a abundância do molusco bivalve *Pinctada imbricata* nos sambaquis e nos costões rochosos da região sul-sudeste, os autores observaram que esse recurso era abundante nos sambaquis e raro nos costões adjacentes. Esse fato poderia indicar que esse bivalve era encontrado em maior quantidade em tempos pré-históricos do que em tempos atuais. De maneira inversa, não foi possível confirmar a presença da espécie *P. perna* para nenhum sambaqui pesquisado, enquanto,

na atualidade, sua presença é abundante nos costões. Essas evidências, segundo os autores, sugerem que a espécie *P. imbricata* era um recurso alimentar muito utilizado pelas populações pré-históricas, até o momento em que foi substituída pela chegada do *P. perna*. Então, a espécie *P. perna* seria exótica no Brasil, sendo originária, provavelmente, da África do Sul. Sua introdução no Brasil teria se dado há muitos anos, possivelmente, junto ao desenvolvimento do comércio marítimo extensivo, à época do tráfico de escravos. O vetor dessa bioinvasão histórica seria a incrustação nos cascos dos navios negreiros. De maneira curiosa, na atualidade, a espécie *Isognomon bicolor* tem sido observada numa variedade de costões ao longo da costa sul-sudeste brasileira. É possível que tal introdução tenha se dado através de incrustações em cascos de embarcações da mesma forma que o *P. perna*. Nos costões onde coexistem *I. bicolor* e *P. perna* observa-se uma redução na abundância de *P. perna* em função da presença de *I. bicolor*, sugerindo que esteja acontecendo um processo de substituição de espécies semelhante, talvez, aquele que, possivelmente, foi verificado entre *P. imbricata* e *P. perna* no passado.

Além das evidências já mencionadas a favor do cenário descrito acima, é interessante mencionar o comportamento invasor do gênero *Perna*. Em 1990, duas invasões biológicas de populações desse gênero, de origem desconhecida, foram reportadas no Caribe e no Golfo do México. Hicks & Tunnell (27) identificaram o mexilhão encontrado no Golfo do México como *Perna perna*, enquanto Agard *et al.* (28) identificaram o mexilhão encontrado no Caribe como *Perna viridis*. Do mesmo modo, na Venezuela (onde não se tem registro de *P. perna* para o período da conquista da América), verificou-se que com o desenvolvimento, nos anos 1960, da aquicultura do *P. perna* (29), houve, nesse local, um esgotamento dos bancos naturais de *P. imbricata* (30) que eram muito comuns no período da conquista da América (31). No Brasil, além da sua faixa de distribuição, a espécie *P. perna* já foi registrada para o nordeste brasileiro em Areia Branca, Rio Grande do Norte (32).

A hipótese de bioinvasão do *P. perna* nos costões brasileiros foi explorada também do ponto de vista genético (33). Estudos com marcadores moleculares de aloenzimas demonstraram que as identidades gênicas entre uma população africana e as populações brasileiras não são diferentes das identidades gênicas das populações brasileiras entre si. Esses dados são considerados evidência de que as populações brasileiras de *P. perna* foram provavelmente fundadas a partir de um estoque africano.

A introdução de moluscos nos rios brasileiros chamou a atenção para o mesmo problema da homogeneização antropogênica nas águas continentais. Mansur *et al.* (34) justifica a inclusão de organismos nativos na lista de espécies da fauna silvestre ameaçadas de extinção do estado do Rio Grande do Sul, devido a competição ecológica causada pela invasão de outros moluscos exóticos, tais quais o *Limnoperna fortunei* (mexilhão dourado) e a *Corbicula fluminea*. De modo semelhante, Borges *et al.* (35) registra a redução da abun-

dância relativa de invertebrados bentônicos do reservatório da Hidroelétrica de Pedra (BA), após a introdução da espécie *Melanoides tuberculatus*. Desses exemplos de bioinvasão nas águas continentais brasileiras, o caso do “mexilhão dourado” *Limnoperna fortunei*, é o mais alarmante. Oriundo da China e sudeste da Ásia, em 1991 este bivalve foi detectado pela primeira vez na praia Bagliardi, Rio da Prata, na Argentina. Já em 1994 esse bivalve ocupava toda costa argentina do Rio da Prata, sendo reportada sua presença para o Uruguai em 1995 e em 1997 para o Paraguai (36, 37). Em 1999, ao sul do lago Guaíba, na praia de Itapuã, município de Viamão (RS), foram encontrados vários exemplares de *Limnoperna fortunei*, que já alcançava assim as águas fluviais brasileiras (38). Através do seu alto poder reprodutivo e ausência de inimigos naturais, o “mexilhão dourado” tem causado sérios problemas de entupimento nos sistemas coletores de água, canalizações e refrigeradores da hidrelétrica de Yacyreta (Argentina), causando severas perdas econômicas àquele país. Resultados preliminares de estudos genéticos (aloenzimas) desenvolvidos com essa espécie indicaram altos níveis de variação gênica, que não estão de acordo com um evento de *bottleneck* e sugerem que tal espécie, provavelmente, chegou ao Bra-

sil em mais de uma ocasião, oriunda de diferentes regiões geográficas. Altos níveis de variação gênica em espécies invasoras, embora surpreendentes, não são uma exceção. Holland (39, 40), por exemplo, estudando seis populações invasoras de *P. perna* no Golfo do México encontrou altos níveis de variação gênica (microsatélites), concluindo que as populações no Golfo do México foram o resultado de um único evento de bioinvasão, que ele denominou “evento de captura de pool genético”, provavelmente, decorrente de descarga de água de lastro.

**O VETOR DESSA
BIOINVASÃO
HISTÓRICA
SERIA A
INCRUSTAÇÃO
NOS CASCOS
DOS NAVIOS
NEGREIROS**

CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES Programas de controle e erradicação de espécies invasoras em águas brasileiras ainda são escassos. De um modo geral, tais programas necessitam de grandes investimentos financeiros e, mesmo assim, não há garantia de que possam restabelecer a integridade biológica dos ambientes afetados. Ações imediatas, contudo, aumentam a chance de sucesso no controle e/ou erradicação de espécies invasoras e, certamente, previnem contra maiores gastos. Os programas de erradicação, portanto, devem incluir uma avaliação de risco que inclua uma análise da relação custo-benefício das ações, os impactos ao sistema natural e os impactos sociais e econômicos.

De modo a desenvolver uma estratégia para o controle da bioinvasão são necessárias várias medidas, tais quais:

1. Identificar os vetores que podem estar atuando na disseminação das espécies exóticas no ambiente aquático brasileiro. A maioria dos casos de introdução de espécies aquáticas está associada ao transporte via incrustação seja em cascos de embarcações e/ou outras estruturas flutuantes e, também, através da água de lastro. Mesmo assim, estes vetores ainda não são bem regulados e re-

gulamentados no Brasil. A limpeza periódica dessas estruturas é extremamente recomendada, uma vez que diminui a quantidade de espécies que podem estar se reproduzindo e sendo distribuídas para outras regiões. Estudos a respeito do tempo de maturação das espécies potencialmente invasoras são necessários para que sejam apontados os períodos em que a limpeza se tornará mais efetiva, minimizando o transporte e dispersão desses organismos na região.

2. Estudos que evidenciem espécies que poderão se tornar problemáticas e as circunstâncias em que são mais facilmente introduzidas e estabelecidas são extremamente importantes, uma vez que a erradicação de espécies já estabelecidas é muito difícil ou mesmo impossível na grande maioria dos casos.
3. Campanhas de esclarecimento junto às pessoas que podem estar diretamente relacionadas ao problema das bioinvasões como, por exemplo, os proprietários de embarcações.
4. O monitoramento do ambiente é imprescindível para o controle e o gerenciamento do problema. O pré-requisito para qualquer tentativa de controle está no conhecimento da fauna e da flora locais, identificando as espécies nativas e determinando a presença, distribuição e abundância de espécies introduzidas. Dessa forma, maiores investimentos em estudos relacionados à sistemática e biogeografia são necessários.
5. Do mesmo modo, o registro e o monitoramento dos organismos invasores são escassos, mesmo porque pesquisas em áreas como sistemática e biogeografia também são quase inexistentes, o que dificulta muito a detecção e avaliação do status das espécies em geral.

Outros fatores importantes nos processos de bioinvasão são as condições do ambiente invadido, como disponibilidade de alimento, biodiversidade, grau de perturbação do ecossistema local, número de indivíduos introduzidos e a ausência de predadores. É válido salientar, ainda, que para avaliar os impactos que as espécies invasoras podem causar à biota nativa é necessário o acompanhamento das suas populações, principalmente nos ambientes naturais.

Rosa Cristina Corrêa Luz de Souza é bióloga, doutoranda no Programa de Pós-graduação em Biologia Marinha da Universidade Federal Fluminense (UFF), Instituto de Biologia. E-mail: rcclsouza@yahoo.com.br

Sávio Henrique Calazans é biólogo, mestrando no Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Biofísica), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Edson Pereira Silva é biólogo, doutorado em genética pela University of Wales-Swansea, atualmente é professor adjunto III da UFF. E-mail: gbmedson@vm.uff.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Carlton, J.T. "Transoceanic and inter-oceanic dispersal of coastal marine organisms: the biology of ballast water". *Oceanogr. Mar. Biol. Rev.* 23:313-317. 1985.
2. Pysek, P., Richardson, D.M., Pergl, J., Jarosik, V., Sixtova, Z. & Weber, E. "Geographical and taxonomic biases in invasion ecology". *Trends in Ecology and Evolution.* 23(5):237-244. 2008.
3. Souza, R.C.C.L., Fernandes, F.C. & Silva, E.P. "A study on the occurrence of the brown mussel *Perna perna* on the sambaquis of the Brazilian coast". *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia.* 13:3-24. 2003.
4. Souza, R.C.C.L., Fernandes, F.C. & Silva, E.P. "Distribuição atual do mexilhão *Perna perna* no mundo: um caso recente de bioinvasão". In: Silva, J.S.V. & Souza, R.C.C.L. (Org.). *Água de lastro e bioinvasão.* Rio de Janeiro: Ed. Interciência, p. 157-172. 2004.
5. Souza, R.C.C.L., Silva, E.P. & Fernandes, F.C. "Sambaqui: um baú de preciosas informações". *Ciência Hoje.* 214:72-74. 2005.
6. Rivera, I. N. G., Lipp, E. K., Gil, A., Choo-pun, N., Huq, A. & Colwell, R.R. "Method of DNA extraction and application of multiplex polymerase chain reaction to detect toxigenic *Vibrio cholerae* O1 and O139 from aquatic ecosystems". *Environ. Microbiol.* 5 (7):599-606. 2003.
7. Souza, R.C.C.L., Ferreira, C.E.L. & Pereira, R.C. "Bioinvasão Marinha". In: Pereira, R.C. & Soares-Gomes, A. (Org.). *Biologia marinha, 2ª Edição.* Rio de Janeiro: Ed. Interciência. (no prelo).
8. Ibama. *Espécies exóticas invasoras: situação brasileira/Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas.* - Brasília: MMA, p. 24. 2006.
9. Carlton, J.T. & Geller, J.B. "Ecological roulette: the global transport of nonindigenous marine organisms". *Science.* 261:78-82. 1993.
10. Barnes, D.K.A. "Invasions by marine life on plastic debris". *Nature* 416:808-809. 2002.
11. Anvisa. *Estudo exploratório para identificação e caracterização de espécies patogênicas em água de lastro em portos selecionados no Brasil.* Relatório Técnico, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Ministério da Saúde, Brasília, DF. 2002.
12. Ferreira, C.E.L., Gonçalves, J.E.A. & Coutinho, R. "Casco de navios e plataformas como vetores na introdução de espécies exóticas". In: Silva, J.S.V. & Souza, R.C.C.L. (Org.). *Água de lastro e bioinvasão,* Rio de Janeiro: Ed. Interciência, p. 143-155. 2004.
13. Gollasch, S. "The importance of ship hull fouling as a vector of species introductions into the North Sea". *Biofouling* 18(2):105-121. 2002.
14. Lee, C.E. "Evolutionary genetics of invasive species". *Trends Ecol. Evol.* 17(8):386-391. 2002.
15. Prentis, P.J.; Wilson, J.R.U.; Dormontt, E.E.; Richardson, D.M. & Lowe, A.J. "Adaptive evolution in invasive species". *Trends in Plant Science* 16(6):288-294. 2008.
16. Garcia-Ramos, G. & Rodriguez, D. "Evolutionary speed of species invasions". *Evolution* 56(4):661-668. 2002.
17. Barton, N. & Turelli, M. "Evolutionary quantitative genetics: How little do we know?" *Ann. Rev. Genet.* 23:237-370. 1989.
18. Cohen, A. N. & Carlton, J.T. "Accelerating invasion rate in a highly invaded estuary". *Science* 279:555-558. 1998.
19. Duffy, M.A.; Perry, L.J.C.; Kearns, M.; Weider, L.J. & Hairston, N.G. "Paleogenetic evidence for a past invasion of Onondaga Lake, New York, by exotic *Daphnia curvirostris* using mtDNA from dormant eggs". *Limnol. Oceanogr.* 45:1409-1414. 2000.
20. Mckinney, M. L. & Lockwood, J. L. "Community composition and homogenization: Evenness and abundance of native and exotic plant species". In: Sax, D. F.; Stachowicz, J. J. & Gaines, S. D. (eds). *Species invasions: insights into ecology, evolution and biogeography.* Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., p. 365-380. 2005.

21. Nascimento, F.L.; Catella, A.C. & Moraes, A.S. "Distribuição especial do tucunaré; *Cichla* sp (pisces, Cichlidae), peixe amazônico introduzido no Pantanal, Brasil". *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* - 24. Embrapa. 2001.
22. Agostinho, A.A.; Thomaz, S.M. & Gomes, L.C. "Conservação da biodiversidade em águas continentais do Brasil". *Megadiversidade*. 1(1):70-78. 2005.
23. Gomes, A.P.P.; Gontijo, P.B.; Santos, T.R.M.; Fragoso-Moura, E.N.; Maia-Barbosa, P.M. & Barbosa, F.A.R. "Efeitos de duas décadas de peixes exóticos na Lagoa Carioca, Parque Estadual do Rio Doce", mg. In: Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 23 a 28 de setembro de 2007, Caxambu - MG. Cd-Rom. 2007.
24. Godinho, A.L. *Peixes do Parque Estadual do Rio Doce*. Instituto Estadual de Florestas e Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, p. 48. 1996.
25. Briggs, J.C. "Marine biogeography and ecology: invasions and introductions". *Journal of Biogeography* 34(2):193-198. 2007.
26. GISP - Programa Global de Espécies Invasoras. *América do Sul invadida: a crescente ameaça das espécies exóticas invasoras*. Gisp, p. 80. 2005.
27. Hicks, D.W. & Tunnell, J.W. "Invasion of the south Texas coast by the edible brown mussel *Perna perna* (Linnaeus, 1758)". *The Veliger* 36: 92-97. 1993.
28. Agard, J.; Kishore, R. & Bayne, B. "*Perna viridis* (Linnaeus, 1758): first record of the Indo-Pacific green mussel (Mollusca: Bivalvia) in the Caribbean". *Caribbean Mar. Stud.* 3:59-60. 1993.
29. Jory, D.; Cabrera, T.; Polanco, B.; Sánchez, R.; Millan, J.; Alceste, C.; Garcia, E.; Useche, M. & Agudo, R. "Aquaculture in Venezuela: perspectives". *Aquaculture Magazine* 25(5):1-5. 2000.
30. Martinez, E. R. "Estado atual de la biología y cultivos de moluscos comestibles en Venezuela". *FAO Fish. Rep.* 71(2):173-181. 1971.
31. Tejera, E.; Oñate, I.; Nuñez, M. & Lodeiros, C. "Crecimiento inicial del mejillón marrón (*Perna perna*) y verde (*Perna viridis*) bajo condiciones de cultivo suspendido en el Golfo de Cariaco, Venezuela". *Bol. Centro Investigaciones Biol.* 34(2):81-304. 2000.
32. Silveira, N.G.; Souza, R.C.C.L.; Fernandes, F.C. & Silva, E.P. "Occurrence of *Perna perna*, *Modiolus carvalhoi* (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) and *Megabalanus coccopoma* (Crustacea, Cirripedia) off Areia Branca, Rio Grande do Norte state, Brazil". *Biociências* 14(1):89-90. 2006.
33. Weber, L.I. & Silva, E.P. "Sistemática molecular e genética de populações". In: Resgalla Jr.; Weber, L.I. & Conceição, M.B. (eds.). *O mexilhão *Perna perna* (L.): biologia, ecologia e aplicações*. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, p. 121-149. 2008.
34. Mansur, M. C. D.; Santos, C. P.; Darrigran, G.; Heydrich, I.; Callil, C. T. & Cardoso, F. R. "Primeiros dados quali-quantitativos do "mexilhão dourado", *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), no lago Guaíba, Bacia da Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil e alguns aspectos de sua invasão no novo ambiente". *Revista Brasileira de Zoologia* 22(1):75-84. 2003.
35. Borges, H.L.F.; Calmon, A.S.Q.; Pinto, G.A.; Melo, V.F.; Calado Neto, A.V. & Severi, W. "Invertebrados bentônicos do reservatório da Usina Hidroelétrica de Pedra/BA - Estudos preliminares". In: Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil. Minas Gerais: Caxambu. Cd-Rom. 2007.
36. Darrigran, G. & Drago, I. E. 2000. "Invasion of the exotic freshwater mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae) in South America". *The Nautilus* 114(2):69-73. 2007.
37. Darrigran, G. & Damboronea, C. *Bio-invasión del mejillón dorado en el continente americano*. 1ª ed. - La Plata : Univ. Nacional de La Plata, p. 226. 2006.
38. Mansur, M. C. D.; Richinitti, L. M. Z. & Santos, C. P. "*Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), molusco bivalve invasor, na Bacia do Guaíba, Rio Grande do Sul", Brasil. *Biociências* 7(2):147-150. 1999.
39. Holland, B.S. "Genetics of marine bioinvasion". *Hydrobiologia* 420:63-71. 2000.
40. Holland, B.S. "Invasion without a bottleneck: microsatellite variation in natural and invasive populations of the brown mussel, *Perna perna* (L)". *Marine Biotechnology* 3(5):407-415. 2001.