



Introdução de espécies não nativas e invasões biológicas

Non-native species introduction and biological invasions

Jean Ricardo Simões Vitule^[a], Viviane Prodocimo^[b]

Resumo

Os seres humanos vêm modificando a distribuição das espécies no planeta em taxas crescentes. A introdução, acidental ou deliberada, de espécies não nativas por diferentes vetores é atualmente uma das principais mudanças globais, resultando em uma série de problemas locais e globais. Embora nem todas as introduções de espécies não nativas possuam efeitos negativos, muitas das espécies não nativas podem apresentar efeitos indesejáveis sobre a biodiversidade, desde o nível genético até o de paisagens. Além dos problemas ecológicos de curto prazo, introduções de espécies não nativas podem se tornar invasões biológicas e ocasionar mudanças que só serão percebidas em longo prazo e larga escala espacial (ex.: homogeneização biótica). Em vista da magnitude da taxa de novas introduções de espécies não nativas e invasões biológicas e da crescente produção científica interdisciplinar, que ocorre desproporcionalmente entre regiões globais, apresentamos uma revisão atual sobre o tema com comentários, conceitos e sugestões de abordagens emergentes a serem exploradas em estudos futuros.

Palavras-chave: Biodiversidade. Bioinvasão. Consequências ecológicas. Conservação biológica. Manejo.

Abstract

Humans beings have been changing species distribution at increasing rates. The accidental or deliberate introduction of the non-native species by different vectors is currently one of the major global changes, resulting in a series of local and global problems. Even though not all non-native introduced species have negative effects, many non-native species often have undesirable effects on biodiversity at levels from genes to landscapes. In addition to the short-term ecological problems, non-native species introductions can become invasions causing changes that may be perceived only in the long-term and large spatial scale (e.g. biotic homogenization). Given the magnitude of the rate of new introductions of non-native species and biological invasions and the growing of the multidisciplinary scientific research, which occurs disproportionately among global regions, we present a review of the subject with comments, concepts, suggestions and emerging approaches to be explored in future studies.

Keywords: Biodiversity. Bioinvasion. Ecological consequences. Biological conservation. Management.

^[a] Professor, doutor em Zoologia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), Laboratório de Ecologia e Conservação, Departamento de Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia, Curitiba, PR - Brasil, e-mail: biovitule@gmail.com

^[b] Professora, doutora em Biologia Celular e Molecular pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), Departamento de Fisiologia, Setor de Ciências Biológicas, Curitiba, PR - Brasil, e-mail: vprodocimo@ufpr.br

Recebido: 26/05/2012

Received: 05/26/2012

Aprovado: 07/07/2012

Approved: 07/07/2012

"In considering the distribution of organic beings over the face of the globe, the first great fact... is, that neither the similarity nor the dissimilarity of the inhabitants of various regions can be accounted for by their physical conditions... A second great fact... is, that barriers of any kind, or obstacles to free migration, are related in a close and important manner to differences between the productions of various regions"

(Charles Darwin, 1859, p. 395-396).

"Norway rat... invading... all over the world..."

(Alfred Russel Wallace, 1890, p. 34).

Introdução

Os seres humanos vêm modificando a biosfera e as paisagens de maneira descontrolada e sem precedentes nos séculos recentes. As tendências atuais indicam que, se nada mudar, isso amplificará impactos negativos no futuro (Essl, et al. 2011). Os humanos modificam os sistemas por meio de processos socioecológicos como: crescimento desenfreado e ininterrupto da população humana, utilização irracional do Capital Natural com uma visão restrita de crescimento econômico a qualquer custo, domesticação e translocação de organismos, globalização de um grupo restrito de organismos humano-simbiontes ou comensais, poluição, mudanças atmosféricas e climáticas em escala global e a transformação de paisagens naturais em zonas urbanas ou de agricultura/pecuária (Lövei, Lewinsohn & Invasions in Megadiverse Regions Network, 1997; McKinney & Lockwood, 1999; McNeely, 2001; Rockström, et al. 2009; Vitousek, Mooney, Lubchenco & Melillo, 1997).

A translocação de espécies por humanos não é algo tão recente, com registros há pelo menos dez mil anos (Perry & Vanderklein, 1996). Porém, as introduções humanas modernas são certamente algo único e incomparável a outros eventos naturais ou históricos (Vitule, Freire, Vazquez, Nuñez & Simberloff, 2012). Assim, a taxa de introdução de espécies não nativas, acidental ou deliberadamente, por meio de agricultura, controle biológico, incrustação, aquicultura, pesca esportiva, dentre outras vias, é atualmente uma das principais mudanças globais causadas pelo homem nos últimos séculos. Isso vem resultando em uma série de problemas locais e globais que possuem como base de suas causas, e potenciais soluções, a sociedade humana atual (Essl, et al. 2011; Lövei, 1997; McKinney

& Lockwood, 1999; McNeely, 2001; Wilson, 2006; Vitousek, et al. 1997; Vitule, et al. 2012a).

O crescimento populacional humano, a globalização e o livre comércio intercontinental são alguns dos fenômenos "modernos e contemporâneos" que vêm incrementando e modificando, de forma desproporcional e única, as taxas e os mecanismos de introdução de espécies não nativas pelos seres humanos, culminando em processos ecologicamente relevantes como os fenômenos de invasões biológicas e homogeneização biótica, ambos grandes ameaças globais e problemas contemporâneos tão ou mais preocupantes que as mudanças climáticas (Essl, et al. 2011; Freire & Simberloff, 2009; Gherardi, 2007; McKinney & Lockwood, 1999; McNeely, 2001; Vitule, 2009; Vitule, Vitule, Skóra & Abilhoa, 2012a; Vitousek, et al. 1997).

Histórico da área de invasões biológicas

Vários naturalistas pioneiros do século XIX como Charles Darwin, Alfred Russel Wallace, Alphonse de Candolle, Charles Lyell e Joseph Hooker, mencionaram algo sobre espécies invasoras em suas obras. Na primeira metade do século XX, Joseph Grinnell, Frank Egler, Herbert Baker, Carl Huffaker e outros ecólogos também publicaram importantes contribuições sobre espécies introduzidas e invasões. No entanto, o livro de Charles S. Elton (1958) é amplamente reconhecido como pedra fundamental na ecologia de invasões biológicas, com mais citações do que qualquer outra publicação única sobre o tema na literatura (>1.500 citações na literatura internacional e continua a ser citado mais de 100 vezes por ano em média nos últimos dez anos; Richardson, 2011).

O Brasil é mencionado no livro de Elton (1958) como o local de uma grande iniciativa de erradicação em tempo recorde – apenas 35 meses – do vetor não nativo da malária entre 1939 e 1940, liderada por Fred L. Soper e D. Bruce Wilson (embora a malária ainda seja uma doença endêmica no país por meio de outros vetores nativos). Daí em diante, o Brasil não é um bom exemplo de controle de espécies não nativas, muito pelo contrário (Vitule, 2009; Vitule, et al. 2009; Vitule, Lima Junior, Pelicice, Orsi & Agostinho, 2012b). O primeiro esforço sobre espécies não nativas em escala nacional foi o do Ministério do Meio Ambiente, que organizou uma pesquisa nacional sobre espécies exóticas invasoras, que culminou no I Simpósio

Brasileiro em 2005 (www.mma.gov.br/invasoras). Entretanto, cabe ressaltar, a partir de então, pouco temos evoluído de forma conjunta, prática e concreta sobre o assunto em nível nacional e como sociedade.

O número de especialistas em espécies não nativas, seus processos e efeitos vem crescendo exponencialmente. Alguns ícones das ciências biológicas, como Daniel Simberloff, Ernst Mayr, Edward O. Wilson e Rachel Carson, dentre outros, têm trabalhado muito com o assunto. Houve um crescimento dramático na investigação científica sobre invasões biológicas ao longo dos últimos 20 anos, notoriamente em países desenvolvidos (Speziale, Lambertucci, Carrete & Tella, 2012; Vázquez & Aragon, 2002), mas uma maturidade na compreensão dos processos e na teorização do campo tem sido prejudicada, provavelmente porque biólogos e outros pesquisadores preocupados com a invasão em diferentes *taxa* e ambientes foram amplamente adotando diferentes formas de abordagem, nomenclaturas e modelos para o processo de invasão, resultando em uma grande confusão de conceitos, termos e definições (Blackburn, et al. 2011; Richardson, 2011; Vitule, 2009).

Definições e conceitos na ecologia de invasões biológicas

Em geral, os termos *espécie introduzida*, *espécie exótica*, *espécie não nativa*, *espécie alóctone* e variantes podem ser considerados sinônimos, apesar dos diferentes conceitos e formas de interpretação, por vezes problemáticos, confusos ou mesmo ineficientes em sua utilização (Blackburn, et al. 2011), especialmente em algumas situações práticas (Vitule, 2009). Os termos citados denotam, de forma generalizada e simplificada: “toda e qualquer espécie transportada pelo ser humano e solta, intencional ou acidentalmente, fora de sua área de distribuição ou ocorrência natural” (FAO, 2006). Entretanto, uma definição mais acurada e prática, notoriamente do ponto de vista conservacionista, é: espécie, subespécie ou a menor subdivisão de um táxon identificável (incluindo-se ecótipos e divergências genéticas subpopulacionais) encontrada fora de sua área de distribuição natural e/ou histórica (atual ou precedente) ou de potencial dispersão, i.e. fora da área que ocupa naturalmente ou que poderia ocupar sem a interferência humana; incluindo-se qualquer parte, gameta ou propágulo da espécie que possa sobreviver e posteriormente se

multiplicar e manter uma população viável durante um período mensurável (baseado em IUCN, 2006, porém com modificações).

Portanto, uma introdução “indesejável” pode ocorrer mesmo dentro de uma região biogeográfica, continente, bioma, bacia hidrográfica ou paisagem, e principalmente dentro de uma mesma configuração geopolítica; por exemplo, no caso de organismos aquáticos continentais, uma introdução pode ocorrer de uma bacia hidrográfica ou sub-bacia (que pode cortar diferentes regiões geopolíticas) para outra, e mesmo entre ou dentro de trechos geograficamente próximos de uma bacia hidrográfica. Nesse sentido, é óbvio que as entidades biológicas ou organismos vivos não respeitam os limites geopolíticos estabelecidos pelo ser humano e que, na maioria das vezes, o ser humano não respeita as regiões biogeográficas (Elton, 1958); por exemplo, obras de engenharia e infraestrutura podem ter consequências ecológicas extremas, inexploradas e inesperadas (Vitule, et al. 2012a).

Também vale enfatizar que, se considerarmos aspectos biologicamente importantes, como o isolamento das populações e a integridade de seu patrimônio genético e populacional, mesmo os “repovoamentos” (ex.: reintroduções de organismos considerados nativos ou autóctones) ou as “estocagens” devem ser vistos com muita cautela e deveriam adotar critérios muito mais rígidos e protocolos de monitoramento em longo prazo (Laikre, Schwartz, Waples, Ryman & The GeM Working Group, 2010; Lima-Junior, Pelicice, Vitule & Agostinho, 2012; Vitule, 2009; Vitule, et al. 2009), notoriamente em função de possíveis divergências genéticas subpopulacionais e potenciais processos de introgressão gênica, ou outros fenômenos que reduzem a viabilidade efetiva de populações, especialmente das nativas ameaçadas (Laikre, et al. 2010). Por fim, é fundamental destacar que um organismo introduzido é considerado invasor somente quando se estabelece em um ecossistema ou *habitat* natural ou seminatural, sendo um agente modificador negativo, ameaçando a biodiversidade e/ou os processos e serviços ecossistêmicos naturais (baseado em IUCN, 2006; Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Enfatizamos aqui que essa é, em nossa visão, a definição mais adequada e/ou efetivamente aplicável do ponto de vista prático e ético. Para maiores discussões teóricas, conceituais e de definições, sugerimos fortemente a leitura de Richardson (2011), Valéry, Fritz, Lefeuvre e Simberloff (2008, 2009), Vitule,

et al. (2012c) e Wilson, Dormontt, Prentis, Lowe & Richardson (2009a, 2009b).

Qualquer que seja o foco com relação ao tema, o mais importante é estar sempre ciente de que a invasão biológica é um processo e não um evento totalmente discreto. Blackburn, et al. (2011) propuseram um modelo conceitual para explicar, de forma clara e unificada (ex.: para animais e plantas em qualquer tipo de ecossistemas), o processo de invasão biológica, tentando também integrar e padronizar a nomenclatura e os termos na área. Nesse modelo, para uma espécie ser considerada invasora ela deve obrigatoriamente passar por quatro estágios fundamentais: transporte, introdução, estabelecimento, dispersão e/ou expansão populacional. Em cada um dos estágios, as populações e/ou espécies precisam ultrapassar barreiras ou filtros ambientais, naturais ou artificiais (ex.: dispersão, barreiras geográficas, mecanismos artificiais de contenção, cativeiro ou cultivo, sobrevivência, reprodução e condições bióticas ou abióticas ambientais) para que o processo de invasão se complete. Se alguma dessas barreiras for eficiente para impedir que a espécie sobreviva, reproduza-se ou consiga se dispersar, o processo de invasão é interrompido.

Atualmente, os seres humanos têm criado uma série de novos mecanismos de dispersão, alterando de forma significativa as frequências e durações de populações transportadas e estabelecidas em novas áreas. Com base nisso e nos quatro estágios amplos mencionados, podemos racionalizar de forma lógica para a definição de 12 categorias gerais (passos), que podem ser concatenadas em termos de falhas (F = interrupção do processo de invasão) ou viabilização (V = viabilização) para os passos (números) subsequentes no processo de invasão:

- 1) A espécie não é transportada para além dos limites da área nativa (F).
- 2) Indivíduos de uma espécie são transportados para além dos limites de sua área nativa, por exemplo, cativeiro/cultivo, com condições adequadas, mas existem medidas de contenção eficientes para inviabilizar o processo de dispersão e invasão (F).
- 3) Indivíduos transportados para além dos limites de sua área nativa encontrando-se em cativeiro/cultivo, com condições adequadas, mas medidas para prever a dispersão são limitadas ou ineficientes (F5, F6, F7, ou V8).
- 4) Indivíduos transportados para além dos limites de sua área nativa são diretamente liberados no novo ambiente (F5, F6, F7, ou V8).
- 5) Indivíduos liberados no novo ambiente, mas incapazes de sobreviver por um período significativo para o estabelecimento de uma população viável (F).
- 6) Indivíduos não nativos sobrevivem no ambiente natural onde foram introduzidos, porém não conseguem se reproduzir; como mencionado anteriormente, ainda assim, podem ocorrer sérios impactos negativos ao ecossistema (F).
- 7) Indivíduos não nativos sobrevivem no ambiente natural nas regiões onde foram introduzidos, a reprodução ocorre, mas a população não é autossustentável em longo prazo; também podem ocorrer sérios impactos negativos ao ecossistema (F).
- 8) Indivíduos não nativos sobrevivem no novo ambiente natural nas regiões onde foram introduzidos, a reprodução ocorre e a população fundadora é autossustentável (quebrando ou ultrapassando uma série de barreiras ou filtros, ou seja, estabelecimento, característica ou passo fundamental e crítico para o sucesso no processo de invasão; importante notar que também podem ocorrer impactos irreversíveis, mesmo que aqui a população fique estagnada) (V9).
- 9) A nova população introduzida no novo ambiente em regiões onde não ocorria naturalmente é autossustentável, com indivíduos sobrevivendo a uma distância significativa do ponto original de introdução efetiva e não dependendo de mais pressão de propágulos para se reproduzir e manter em longo termo temporal (V10).
- 10) Além da nova população ser autossustentável na natureza, indivíduos também se reproduzem de forma efetiva a uma distância significativa (longo termo espacial) do ponto original de introdução praticamente completando o processo de invasão de ponto de vista ecológico e biogeográfico (V11).
- 11) A espécie já com mais de uma população única, dependente e restrita tornou-se plenamente e de forma inquestionável uma invasora, com indivíduos se dispersando (fundando novas populações), sobrevivendo e reproduzindo em múltiplos ambientes, habitats e mesmo biomas com múltiplas e crescentes novas ocorrência

em grandes extensões biogeográficas e escala temporal (V12).

- 12) Favorecimento de impactos negativos ecológicos e econômicos em larga escala biogeográfica e concomitante amplificação de processos e impactos ecológicos em escalas global e evolutiva, fenômenos em geral de difícil percepção por parte de humanos, notoriamente tomadores de decisão e governantes (baseada em Blackburn, et al. 2011).

Apesar de os impactos causados por espécies introduzidas serem eminentes e os estudos serem escassos, notoriamente em países em desenvolvimento e megadiversos, principalmente na América do Sul e no Brasil (Lin, Zhou, Cheng & Xu, 2007; Lövei, et al. 2012; Nuñez, Kuebbing, Dimarco & Simberloff, 2012; Speziale, et al. 2012; Vázquez & Aragon, 2002; Vitule, et al. 2012c), o princípio da precaução para espécies introduzidas, no qual “[...] as espécies introduzidas devem ser consideradas culpadas até que se prove o contrário [...]” (Simberloff, 2003, 2007), vem sendo amplamente ignorado (Vitule, et al. 2012b). Além disso, o Brasil é signatário da Convenção Internacional sobre Diversidade Biológica (Eco – 1992), e como tal, tem obrigações que deveriam ser cumpridas, dentre elas, seu Artigo 8º, que determina: “[...] controlar e erradicar espécies exóticas que possam interferir nos ecossistemas naturais e diminuir a biodiversidade local, além da adoção de medidas preventivas”. Mais preocupante e inexplicável é o fato de que, em muitos casos, as ações dos políticos e do poder público vão intencional e rapidamente no sentido oposto a isso (Vitule, et al. 2012b).

Como já enfatizado anteriormente, em virtude do fato de a ecologia de invasões ainda ser uma ciência infante, não existem muitas regras gerais, ou certamente nenhuma “lei”, mas seguindo o princípio da precaução, *a priori* podemos assumir que qualquer introdução de espécie pode se tornar uma invasão biológica, dependendo apenas das escalas temporais, espacial e biológica a serem analisadas. Apesar disso, é possível destacar alguns padrões generalizados relacionados às características de cada táxon e a seu histórico de invasão, por exemplo, as taxas de impactos negativos e extinções causadas por grupos de animais não nativos são altas para mamíferos e, comparativamente, insignificantes para aves. Em outras palavras, é esperado maior impacto na introdução de pequenos mamíferos do que na introdução de

aves não nativas, segundo dados empíricos e revisões atuais (Simberloff & Rejmánek, 2011). Também é importante destacar o fato de que a invasão biológica depende da espécie a ser introduzida, do ambiente, do grau de integridade e diversidade da comunidade nativa desse local, dentre outros fatores, sendo muitos deles de difícil mensuração e/ou ainda apenas hipóteses que precisam ser testadas com maior quantidade de estudos empíricos (Lockwood, et al. 2007; Simberloff & Rejmánek, 2011). A pressão de propágulos é algo crucial, ou seja, espécies com maior potencial de reintroduções (mais cultivadas, por exemplo) e/ou com um grande número de indivíduos introduzidos com frequências altas são mais susceptíveis a se tornarem invasoras; de forma similar, locais com maior número de espécies ou *taxa* introduzidos podem se tornar mais facilmente invadidos por novos *taxa* (Lockwood, Cassey & Blackburn, 2007; Lockwood, et al. 2009). Dessa forma, existem espécies com um maior potencial de invasão, assim como existem ambientes ou *habitats* mais susceptíveis às invasões (Begon, Townsend & Harper, 2006; Lockwood, et al. 2007; Meffe & Carrol, 1994; Townsend, 2003; Thompson & Townsend, 2004; Simberloff & Rejmánek, 2011).

Impactos da introdução de espécies não nativas e invasão biológica

Há décadas a introdução de espécies vem sendo considerada por muitos autores como a segunda maior ameaça para a diversidade biológica mundial (Clavero & García-Berthou, 2005; Davis, 2009; Soulé, 1990; Wilson, 1992; Wilcove, Rothstein, Dubow, Phillips & Losos, 1998), com um vasto histórico de casos catastróficos e prejuízos ambientais e socioeconômicos (Clavero & García-Berthou, 2005; Pimentel, Zuniga & Morrison, 2005; Lockwood, et al. 2007; Vitule, et al. 2009; Simberloff, 2010; Simberloff & Rejmánek, 2011). Cabe aqui ressaltar que, em muitos dos casos, as introduções de espécies não nativas são inicialmente repletas de “desejáveis” consequências. Entretanto, apesar das “boas intenções”, grande parte dessas introduções são mal planejadas e/ou só levam em consideração obtenção de lucro, aumento de produtividade ou outros tipos de benefícios restritos (Moyle, Li & Barton, 1986; Vitule, et al. 2012c), ignorando os prejuízos ambientais e as consequências futuras, especialmente em longo prazo. Nesse contexto,

inúmeras introduções bem-intencionadas resultaram no chamado “efeito Frankenstein” – introduções inicialmente “desejáveis” causaram consequências indiretas graves e inesperadas, comumente negativas e irreversíveis (Ellis, et al. 2011; Moyle, et al. 1986; Moyle & Light, 1996; Spencer, McClelland & Stanford, 1991; Vitule, et al. 2009). Assim, apesar de obviamente existir alguma porcentagem de efeitos “desejáveis” ou impactos positivos relacionados à introdução de espécies não nativas (Schlaepfer, Sax & Olden, 2011; Vitule, et al. 2012c), é necessário destacar que, até o presente momento, os registros indicam que a maioria dos impactos de introduções de espécies não nativas são negativos em balanços custo-benefício (Lövei, et al. 2012; Vitule, et al. 2012c). Além disso, podemos prever que o quadro atual não tende a se modificar em um futuro próximo, sendo que a descoberta de novos impactos negativos amplificar-se-á nas próximas décadas, notoriamente em países em desenvolvimento.

Assim, é muito importante advertir que, especialmente em escala local, a introdução de organismos não nativos pode causar sérios impactos, mesmo que eles não se tornem invasores de fato; nos casos de perda de variabilidade genética e introgressões anteriormente mencionados, ou ainda sem qualquer tipo de estabelecimento real ou viés reprodutivo, por exemplo, quando um predador de topo de cadeia de grande tamanho e longevidade [ou qualquer outro tipo de organismo que provoque efeitos negativos desproporcionais em relação às comunidades onde são inseridos; i.e. espécies-chave (*key stone species*) Power, et al. (1996), ou engenheiros ecossistêmicos (*ecosystem engineers*) Jones, Lawton & Shachak (1994)] é introduzido em um ecossistema relativamente simples (ex.: lago) que contém populações ou espécies únicas ou de importante função ecossistêmica (Soulé, Estes, Miller & Honnold, 2005).

Resumindo tudo que foi dito, é possível estabelecer uma analogia simplista em que a introdução de espécies não nativas pode ser considerada como um tipo de poluição – em muitos aspectos, pior e mais complexa do que outros tipos de poluição, já que nem mesmo o mais complexo poluente químico possui a capacidade de se reproduzir e dispersar de forma independente e continuada, perpetuando-se ao longo do tempo e do espaço, e modificando de forma irreversível a biodiversidade nativa original, assim como as funções e os serviços ecossistêmicos (Perry & Vanderklein, 1996). Portanto, conforme já

apontamos insistentemente, no trato com espécies invasoras, a ausência de ações efetivas pode resultar em problemas sérios e irreversíveis. Assim, a introdução de espécies não nativas deve ser restringida e evitada e, caso novas espécies consigam invadir um ambiente onde são indesejáveis e/ou podem causar danos, devem ser estudadas, controladas, mantidas em níveis reduzidos e/ou aceitáveis e, se possível, eradicadas. Uma vez que todas as ações posteriores à invasão implicam em custo econômicos e/ou socioambientais, é altamente recomendável a utilização do princípio da precaução.

Ideias e teorias na ecologia de invasões biológicas

Do ponto de vista teórico, a ecologia de invasões é muito relevante e têm gerado ideias, métodos, hipóteses e discussões revolucionárias para a ecologia e a biologia (Lockwood, et al. 2007; Simberloff & Rejmánek, 2011). Um dos exemplos mais relevantes e antigos disso é a “hipótese da resistência biótica” (Elton, 1958), segundo a qual comunidades com maior riqueza de espécies são proporcionalmente mais resistentes a novas invasões, ou seja, comunidades de maior diversidade seriam mais capazes de resistir a forças potencialmente perturbadoras. Tal concepção possui base no princípio de que, em comunidades ricas, os recursos e/ou nichos seriam amplamente usados, tornando-se indisponíveis para novas espécies colonizadoras. Além disso, existiria uma tendência para maiores quantidades de predadores, patógenos, parasitas e competidores nativos superiores. Essa ideia nos leva a assumir que quanto maior o número de espécies não nativas em uma comunidade, mais esta se tornaria resistente a novas invasões biológicas.

Embora muitos estudos corroborem tal hipótese, muitos outros são contrários (Levine & D’Antonio, 1999), ou seja, esse ainda é um assunto fervoroso na ecologia. A hipótese de Elton não considera a força de interações ecológicas positivas que, de forma diametricamente oposta, podem levar a aumentos na riqueza da comunidade. Assim, recentemente, foi proposta a hipótese, batizada de “fusão invasora” (*invasional meltdown*), definida como: “processo no qual um grupo de espécies não nativas facilita a invasão uma das outras de diversas maneiras, aumentando, assim, as possibilidades de sobrevivência e/ou impactos ecológicos ou socioeconômicos, e possivelmente

a magnitude dos impactos” (Simberloff & Von Holle, 1999). Por exemplo, invasões mais recentes podem alterar o ambiente de tal forma que resultam em aumento e/ou expansão de uma espécie não nativa já estabelecida, mas não dominante ou problemática até então. Em outras palavras, muitas vezes o gatilho para uma invasão biológica pode ser a introdução de outra espécie não nativa que favorece a sobrevivência e/ou a dispersão de outras espécies não nativas (Simberloff, 2009). É importantíssimo diferenciarmos “fusão invasora” e “facilitação simples” (ver Simberloff, 2006).

Essa nova hipótese tem se mostrado uma importante fonte de ideias e questões práticas testáveis e de grande relevância na ecologia moderna (Begon, et al. 2006; Simberloff, 2006, Ricciardi, 2001). Para Simberloff (2006), o processo de fusão invasora é muito mais complexo que a simples facilitação ou interação positiva entre espécies não nativas (Ricciardi, 2005) e, por isso, deveria ser tratada como um processo em nível ecológico de comunidades, onde o efeito sinérgico de invasões múltiplas leva a um impacto total maior do que a simples somatório do impacto de todas as espécies não nativas separadamente. Também é muito importante ressaltar que um ecossistema com elevada pressão de propágulos se tornará progressivamente instável e cada vez mais susceptível a novas introduções (Ricciardi, 2005), especialmente em longo prazo, sendo assim, uma das explicações para o fenômeno de “invasões com retardos temporais” (*lag time phenomenon in biological invasions*) (Crooks, 2011; Ellis, et al. 2011; Simberloff, 2009). Esse é apenas um exemplo de inovação conceitual na área de ecologia de invasões. Para mais hipóteses e teorias, um bom início é consultar Lockwood, et al. (2007) e Simberloff e Rejmánek (2011). Cabe, ainda, enfatizar o fato de que nessa e em muitas outras questões teóricas e práticas na linha de invasões biológicas, a América do Sul em geral e os países em desenvolvimento ainda estão muito defasados e precisam expandir ou modificar sua postura (Lövei, et al. 2012; Nuñez & Pauchard, 2010; Nuñez, et al. 2012; Speziale, et al. 2012; Vázquez & Aragon, 2002; Vitule, 2009; Vitule, et al. 2012c).

Finalmente, destacamos que dentre uma miríade de novas hipóteses em invasões biológicas, a maioria pode ser inserida no contexto unificador de PAB (P = pressão de propágulo; A = fatores abióticos e B = fatores bióticos), proposto recentemente por Catford, et al. (2009) e destacado na Figura 1.

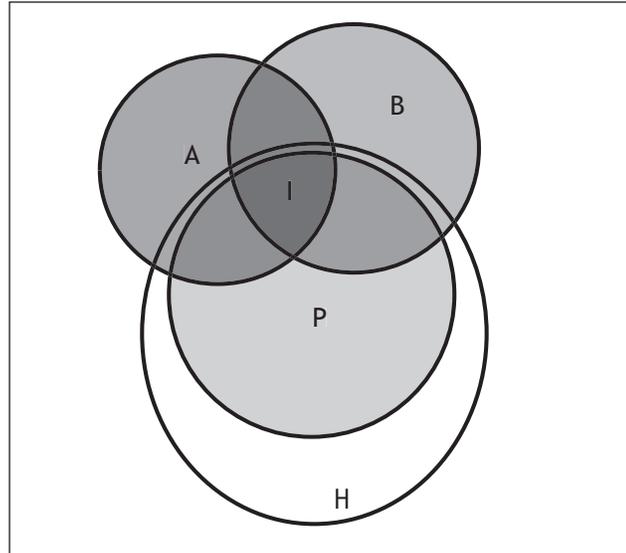


Figura 1- Diagrama ilustrando como a pressão de propágulos (P), fatores abióticos (A) e características bióticas interagem em um ecossistema ocasionando e moldando uma invasão biológica (I), e como humanos (H) modificam ou intensificam P, A e B. Há invasão (I) quando todos os fatores (círculos) se sobrepõem.

Legenda: O conceito de PAB virtualmente acomoda de forma unificada as hipóteses teóricas sobre bioinvasões. A intensidade dos tons de cinza e a magnitude de sobreposição dos conjuntos representam a influência relativa de cada fator, sendo que todos podem ser modificados e relativos a escalas temporais e espaciais. Os círculos também representam quando um ou dois fatores podem limitar uma invasão.

Fonte: Adaptado de Catford, Jansson & Nilsson, 2009.

Perspectivas futuras de estudos na invasão biológica

As possibilidades e perspectivas relativas aos estudos com invasões biológicas são inúmeras e poderiam seguir virtualmente a maior parte das subdisciplinas em ciências biológicas, em uma vertente própria e direcionada, ou mesmo fazer fortes ligações com outros tipos de ciências exatas e sociais. Listamos apenas algumas múltiplas perspectivas futuras dos estudos com invasões biológicas (baseado em Kühn, et al. 2011). Notamos, ainda, que grande parte dos tópicos a seguir ainda são bastante subexplorados no Brasil.

Mecanismos fundamentais no processo da invasão biológica:

- Influência da pressão de propágulo no sucesso de estabelecimento em diferentes *taxa* e ambientes;

- Quantificação da resistência biótica de diferentes ecossistemas a invasões.
- O impacto da ação dos filtros ecológicos no processo de invasão para indivíduos e espécies antes que eles alcancem novos ambientes.
- Quantificação dos mecanismos de dispersão e vetores de introdução e disseminação de espécies não nativas.
- Relação entre características das espécies e o sucesso na invasão, ou seja, verificar as características biológicas que distinguem espécies não nativas invasoras de espécies não nativas que não causam problemas e não se tornam invasoras.
- Importância da história de vida e de demandas conflitantes ao longo dos diferentes estágios do processo de invasão.
- Processos demográficos e fatores bióticos e abióticos modelando as distribuições e relações entre espécies nativas e não nativas.
- Importância relativa do tamanho da população fundadora e da sua diversidade genética no processo de estabelecimento e invasão.
- Papel de processo microevolutivo e de adaptações genéticas rápidas em espécies não nativas invasoras e organismos geneticamente modificados.
- Papel da conservação dos nichos climáticos e biogeográficos em espécies invasoras.
- Efeitos de outras alterações globais nas invasões biológicas e o papel das invasões como principais causadores de alterações climáticas e outras alterações globais.
- Regras de assembleias e funcionamento das comunidades ecológicas em ecossistemas invadidos;
- Principais mecanismos que permitem convivência entre espécies exóticas e espécies nativas.
- Mutualismo ou facilitação múltipla durante os diferentes passos do processo de invasão de grupos de organismos invasores pouco estudados.
- Epidemiologia e estudos da "invasibilidade", ou seja, do potencial invasor (do inglês *invasiveness*) de grupos de organismos subexplorados, por exemplo, de patógenos e parasitas não nativos, como fungos e outros microrganismos.
- Avaliação em larga escala de alterações na biodiversidade em nível genético e populacional.
- Impactos de espécies não nativas e invasoras na economia, saúde animal, humana e de plantas e impactos no ecossistema.
- Retroalimentação ecoevolutiva entre características das espécies e suas funções ecossistêmicas relativas.
- Padrões macroecológicos das invasões em diferentes escalas biológica, temporal e espacial, e interações entre fatores que as governam ou modificam.
- Prospecção e quantificação de impactos de espécies não nativas, notoriamente sobre espécies ou populações raras e ameaçadas, especialmente em áreas protegidas, incluindo estudos de longa duração.

Avaliação, manejo e gerenciamento de invasões biológicas:

Estudo das consequências da invasão biológica em diferentes escalas:

- Avaliação dos aspectos sociais e políticos das invasões biológicas.
- Controle e gerenciamento de vetores para evitar a chegada de novas espécies.
- Impedimentos taxonômicos e necessidade de identificação correta das espécies.
- Padronização da coleta e armazenamento de dados e avaliação dos impactos para permitir a comparação generalizada, notoriamente entre regiões e tipos de ecossistemas.
- Aprimoramento e criação de ferramentas de modelagem para prever distribuição espacial das espécies invasoras e novas invasões.
- Técnicas estatísticas para quantificar desvios erros e outros "ruídos" em dados deficientes que dificultam a percepção dos fatores associados à invasão.
- Aprimoramento de análises integrativas de relação custo-benefício de espécies invasoras.
- Como definir e abordar ecossistemas "novos" como os urbanos, por exemplo.
- Criação e aprimoramento de ferramentas para avaliação de risco em diferentes escalas.
- Gerenciamento da água de lastro e utilização de tecnologias inovadoras para acessar se as normas foram cumpridas.
- Implementação e desenvolvimento de tecnologias e/ou medidas inovadoras, rápidas e práticas na prevenção das invasões biológicas.
- Microevolução em espécies não nativas e nativas pós-invasão e hibridização.

- Restauração de ecossistemas invadidos e gerenciamento de “novos ecossistemas”.
- Criação e divulgação de listas “negras” e outras medidas de prevenção e divulgação perante a grande mídia e sociedade.
- Medidas legais globais ou multinacionais e sua implementação efetiva de forma integrada e globalizada.

Contribuição do grupo para o tema

Durante a monografia de conclusão do curso de graduação em Ciências Biológicas da PUCPR (2000), Jean R.S. Vitule (JRSV), com orientação do Dr. Vinícius Abilhoa, já falava sobre problemas de peixes não nativos, na região metropolitana de Curitiba (Vitule & Abilhoa, 2003). Em 2003, durante o mestrado no Programa de Pós-graduação em Zoologia da UFPR, JRSV e Marcelo R. Braga foram convidados pela SPVS para fazer pesquisas sobre ecologia e conservação na área da Estação Ecológica do Guaraguaçu, PR. Em amostragens preliminares, foram coletados vários indivíduos feras de espécies não nativas de peixes, dando início à ideia do projeto “Distribuição, abundância e estrutura populacional de peixes introduzidos no rio Guaraguaçu, Paranaguá, Paraná, Brasil”, desenvolvido durante o doutorado de JRSV no Programa de Pós-graduação em Zoologia na UFPR. Em 2005, destaca-se o artigo do Dr. Jim Cambrey mencionando o trabalho de doutoramento de JRSV e enfatizando a responsabilidade dos países doadores de espécies não nativas (Cambrey, 2005).

Como fruto de suas pesquisas no Rio Guaraguaçu, em 2006 JRSV publicou um artigo no periódico *Biological Invasions*, comunicando a introdução do bagre invasor no Rio Guaraguaçu (Vitule, et al. 2006a), e um capítulo de livro geral sobre introdução de espécies não nativas e invasões biológicas (Vitule, et al. 2006b), e em 2007 publicou artigo na *Acta Biológica Paranaense* sobre uma potencial introdução do camarão-da-Malásia em um rio da planície litorânea paranaense (Gazola-Silva, et al. 2007).

Em 2009, foi iniciado o pós-doutorado de JRSV, sob orientação da Dra. Carolina A. Freire, e em parceria, o projeto “Avaliação do potencial invasor de peixes dulcícolas e do papel dos estuários como pontes dispersoras no processo de invasão em corpos-d’água continentais utilizando ferramentas fisiológicas”. Desse projeto originou-se um resumo publicado em

congresso internacional (ICCB 2010 – Conservation Biology International Congress, Shaw Convention Center, Edmonton, Alberta, Canadá) e um artigo submetido ao periódico *Biological Invasions*. Ainda em 2009 foi publicado um artigo no periódico *Fish and Fisheries*, de autoria de JRSV com C.A. Freire e D. Simberloff (Vitule, et al. 2009) e o artigo “Introdução de peixes em ecossistemas continentais brasileiros: revisão, comentários e sugestões de ações contra o inimigo quase invisível” no periódico *Neotropical Biology and Conservation* (Vitule, 2009). Também em 2009, foi um ano de parcerias de JRSV com o instituto Hórus, onde ideias foram compartilhadas, originando um ensaio em parceria com a Dra. Sílvia R. Ziller intitulada: “Introduções de peixes em águas continentais no Brasil: um sério dilema” (http://www.institutohorus.org.br/index.php?modulo=inf_textos_leitor_peixes). Ainda em 2009, JRSV ajudou a desenvolver os Planos de Ação para controle de espécies exóticas no Paraná (<http://www.redeprofauna.pr.gov.br/arquivos/File/Exoticasweb.pdf>). Foi coautor em nove capítulos do livro mencionado.

Em 2011, as implicações das mudanças do código florestal na introdução de espécies não nativas e invasões foram comentadas recentemente no artigo “Alterações no Código Florestal Brasileiro favorecerão espécies não nativas de peixes de água doce”, no periódico *Natureza & Conservação* (Magalhães, et al. 2011). Em 2012, em colaboração com pesquisadores dos quatro cantos do planeta, foi publicado o artigo “Megadiverse developing countries face huge risks from invasives” no periódico *Trends in Ecology & Evolution* (Lövei, et al. 2012). Também em 2012, JRSV, F. Skóra e V. Abilhoa publicaram o artigo “Homogenization of freshwater fish faunas after the elimination of a natural barrier by a dam in Neotropics”, no periódico *Diversity and Distributions* (Vitule, et al. 2012a), o primeiro artigo na América do Sul sobre ambiente aquático a utilizar métricas para mensurar homogeneização biótica e tratar o assunto de forma explícita, notoriamente o efeito particular de barragens e hidrelétricas. Ainda em 2012, com o objetivo de questionar os novos e absurdos projetos de lei, o novo código florestal e sobre cultivos de espécies de peixes não nativas em tanques-rede em reservatórios públicos, foram publicados dois artigos: um fórum na revista *Natureza & Conservação* (Lima-Junior, et al. 2012) e outro na revista *Nature* (Vitule, et al. 2012b). Os autores e seus grupos têm atuado em questões práticas, como palestras e elaboração

de livretos educativos, além de serem pareceristas de diversos periódicos internacionais.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer, primeiramente, o corpo editorial da revista *Estudos de Biologia*, pelo convite para escrever este ensaio. Gostaríamos, também, de agradecer todos os colaboradores, colegas e, principalmente, alunos do GPIC, do LEC e do LFCO. Nossos trabalhos e atuações relatadas só foram possíveis graças à ajuda de todos. Gostaríamos de agradecer e homenagear aqui um grande inspirador e um dos maiores ecólogos de todos os tempos, sem o qual este e muitos outros trabalhos ecológicos e suas ligações com a sociedade seriam impossíveis: Charles S. Elton (1900-1991). Elton foi um dos fundadores da ecologia. Após a Segunda Guerra Mundial, ele se preocupou muito com o impacto de espécies invasoras em ecossistemas naturais. Seu livro de 1958 (citado nas referências) é um marco fundamental na ecologia de invasões biológicas. A primeira parte enfoca as espécies invasoras e seu modo de transporte para o novo ambiente, enquanto a segunda parte centra-se na interação entre as espécies invasoras e as comunidades nativas. A parte final trata da questão da conservação e sua importância, a fim de manter a diversidade de espécies no globo. É impossível imaginar algo mais atual e inspirador. Nesse espírito e fortemente inspirados em Elton é que trabalhamos.

Referências

- Blackburn, T. M., Pysek, P., Bacher, S., Carlton, J. T., Duncan, R. P., Jarosík, V. et al. (2011). A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(7), 333-339. doi: 10.1016/j.tree.2011.03.023.
- Begon, M., Townsend, C., & Harper, J. L. (2006). *Ecology from individuals to ecosystems* (4th ed.). Malden: Blackwell Publishing.
- Cambray, J. A. (2005). African's *Clarias gariepinus* (Teleostei: Clariidae) appears in rivers in Brazil. *African Journal of Aquatic Science*, 30(2), 201-202. doi:10.2989/16085910509503857.
- Clavero, M., & García-Berthou E. (2005). Invasive species are leading cause of animal extinctions. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(3), 110. doi:10.1016/j.tree.2005.01.003.
- Catford, J. A., Jansson, R., & Nilsson, C. (2009). Reducing redundancy in invasion ecology by integrating hypotheses into a single theoretical framework. *Diversity and Distributions*, 15(1), 22-40. doi:10.1111/j.1472-4642.2008.00521.x.
- Crooks, J. A. (2011). Lag times. In D. Simberloff & M. Rejmánek (Ed.). *Encyclopedia of biological invasions* (pp. 404-410). Berkeley: University of California Press.
- Darwin, C. (1859). *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. London: John Murray.
- Davis, M.A. (2009). *Invasion biology*. Oxford: Oxford University Press.
- Ellis, B. K., Stanford, J. A., Goodman, D., Stafford, C. P., Gustafson, D. L., Beauchamp, D. A. et al. (2011). Long-term effects of a trophic cascade in a large lake ecosystem. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(1), 1070-1075. doi:10.1073/pnas.1013006108.
- Elton, C. S. (1958). *The ecology of invasions by animals and plants*. London: Methuen.
- Essl, F., Dullinger, S., Rabitsch, W., Hulme, P. E., Hülber, K., Jarošík, V., et al. (2011). Socioeconomic legacy yields an invasion debt. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(1), 203-207. doi:10.1073/pnas.1011728108.
- FAO. (2006). *The State of World Fisheries and Aquaculture. Part 1: World Review of Fisheries and Aquaculture*. Rome: FAO.
- Gazola-Silva, F. F., Melo, S. G., & Vitule, J. R. S. (2007). *Macrobrachium rosenbergii* (Decapoda: Palaemonidae): Possível introdução em um rio da planície litorânea paranaense (PR, Brasil). *Acta Biologica Paranaense*, 36, 83-90.
- Gherardi, F. (2007). *Biological invaders in inland waters: Profiles, distribution, and threats*. Book Series Invading Nature, Springer Series in Invasion Ecology. Amsterdam: Springer.
- Jones, C. G., Lawton, J. H., & Shachak, M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69(3), 373-386. doi:10.2307/3545850.

- IUCN – International Union for Conservation of Nature. (2006). The World Conservation Union IUCN. Recuperado em 15 fev. 2006, de <http://www.iucn.org>.
- Kühn, I., Kowarik, I., Kollmann, J., Starfinger, U., Bacher, S., Blackburn, T. M. et al. (2011). Open minded and open access: Introducing NeoBiota, a new peer-reviewed journal of biological invasions. *NeoBiota*, 9, 1-12. doi:10.3897/neobiota.9.1835.
- Laikre, L., Schwartz, M. K., Waples, R. S., Ryman, N., & The GeM Working Group (2010). Compromising genetic diversity in the wild: Unmonitored large-scale release of plants and animals. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(9), 520-529. doi:10.1016/j.tree.2010.06.013.
- Levine, J. M., & D'Antonio, C. M. (1999). Elton revisited: A review of evidence linking diversity and invasibility. *Oikos*, 87(1), 15-26. doi:10.2307/3546992.
- Lima-Junior, D. P., Pelicice, F. M., Vitule, J. R. S., & Agostinho, A. A. (2012). Aquicultura, Política e Meio Ambiente no Brasil: Novas propostas e velhos equívocos. *Natureza & Conservação*, 10(1):88-91. doi:10.4322/natcon.2012.015.
- Lin, W., Zhou, G. F., Cheng, X. Y., & Xu, R. M. (2007). Fast economic development accelerates biological invasions in China. *PLoS ONE*, 2(11), e1208. doi:10.1371/journal.pone.0001208.
- Lockwood, J. L., Hoopes, M. F., & Marchetti, M. P. (2007). *Invasion ecology*. Malden: Blackwell Publishing.
- Lockwood, J. L., Cassey, P., & Blackburn, T. M. (2009). The more you introduce the more you get: The role of colonization pressure and propagule pressure in invasion ecology. *Diversity and Distributions*, 15, 904-910. doi:10.1111/j.1472-4642.2009.00594.x.
- Lövei, G. L. (1997). Global change through invasion. *Nature*, 388(6643), 627-628. doi:10.1038/41665.
- Lövei, G. L., Lewinsohn, T. M., & Invasions in Megadiverse Regions Network. (2012). Megadiverse developing countries face huge risks from invasives. *Trends in Ecology & Evolution*, 27(1), 2-3. doi:10.1016/j.tree.2011.10.009.
- Magalhães, A. L. B., Casatti, L., & Vitule, J. R. S. (2011). Alterações no Código Florestal Brasileiro favorecerão espécies não-nativas de peixes de água doce. *Natureza & Conservação*, 9(1), 121-124. doi:10.4322/natcon.2011.017.
- McKinney, M. L., & Lockwood, J. L. (1999) Biotic homogenization: A few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Trends in Ecology & Evolution*, 14(11), 450-453. doi:10.1016/S0169-5347(99)01679-1.
- McNeely, A. J. (2001). An introduction to human dimensions of invasive alien species. In A. J. McNeely (Ed.). *The great reshuffling: Human dimensions of invasive alien species*. Switzerland and Cambridge, Gland: IUCN The World Conservation Union.
- Meffe, K. G., & Carroll, C. R. (1994). *Principles of conservation biology*. Sunderland: Sinauer.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Current State and Trends: Findings of the Condition and Trends Working Group*. Washington, DC: Island Press.
- Moyle, P. B., & Light, T. (1996). Fish invasions in California: Do abiotic factors determine success? *Ecology*, 77(6), 1666-1670. doi:10.2307/2265770.
- Moyle, P. B., Li, H. W., & Barton, B. A. (1986). The Frankenstein effect: Impact of introduced fishes on native fishes in North America. In R. H. Stroud (Ed.). *Fish culture in fisheries management*. Bethesda: American Fisheries Society.
- Nuñez, M. A., & Pauchard, A. (2010). Biological invasions in developing and developed countries: Does one model fit all? *Biological Invasions*, 12(4), 707-714. doi:10.1007/s10530-009-9517-1.
- Nuñez, M. A., Kuebbing, S., Dimarco, R. D., & Simberloff, D. (2012). Invasive species: To eat or not to eat, that is the question. *Conservation Letters*, 5(5), 334-341. doi:10.1111/j.1755-263X.2012.00250.x.
- Perry, J., & Vanderklein, E. (1996). *Water quality: Management of a natural resource*. Biddeford: Blackwell Science.
- Pimentel, D., Zuniga, R., & Morrison, D. (2005). Update on the environment and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics*, 52(3), 273-288. doi:10.1016/j.ecolecon.2004.10.002.
- Power, M. E., Tilman, D., Estes, J. A., Menge, B. A., Bond, W. J., Mills, L. S. et al. (1996). Challenges in the quest for keystones. *BioScience*, 46(8), 609-620. doi:10.2307/1312990.
- Ricciardi, A. (2001). Facilitative interactions among aquatic invaders: Is an "invasional meltdown" occurring in the great lakes? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58, 2513-2525. doi:10.1139/f01-178.

- Ricciardi, A. (2005). Facilitation and synergistic interactions between introduced aquatic species. In H. A. Mooney, R. N. Mack, J. A. McNeely, L. E. Neville, P. J. Schei & J. K. Waage (Ed.). *Invasive alien species a new synthesis*. Washington: Island Press.
- Richardson, D. M. (2011). *Fifty years of invasion ecology: The legacy of Charles Elton*. Oxford: Wiley- Blackwell.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., et al. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472-475. doi:10.1038/461472a.
- Schlaepfer, M. A., Sax, D. F., & Olden, J. D. (2011). The potential conservation value of non-native species. *Conservation Biology*, 25(3), 428-437. doi:10.1111/ j.1523-1739.2010.01646.x.
- Simberloff, D. (2003). Confronting introduced species: A form of xenophobia? *Biological Invasions*, 5(3), 179-192. doi:10.1023/A:1026164419010.
- Simberloff, D. (2006). Invasional meltdown 6 years later: Important phenomenon, unfortunate metaphor, or both? *Ecology Letters*, 9(8), 912-919. doi:10.1111/j.1461-0248.2006.00939.x.
- Simberloff, D. (2007). Given the stakes, our modus operandi in dealing with invasive species should be "guilty until proven innocent." *Conservation Magazine*, 8(2), 1819.
- Simberloff, D. (2009). The role of propagule pressure in biological invasions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 81-102. doi:10.1146/annurev.ecolsys.110308.120304.
- Simberloff, D. (2010). Invasive species. In N. S. Sodhi & P. R. Ehrlich (Ed.). *Conservation biology for all*. Oxford: Oxford University Press.
- Simberloff, D., & Von Holle, B. (1999). Positive interactions of nonindigenous species: Invasional meltdown? *Biological Invasions*, 1, 21-32. doi:10.1023/A:1010086329619.
- Simberloff, D., & Rejmánek, M. (2011). *Encyclopedia of biological invasions*. California: University of California Press.
- Speziale, K. L., Lambertucci, S. A., Carrete, M., & Tella, J. L. (2012). Dealing with non-native species: What makes the difference in South America? *Biological Invasions, Online First*. doi:10.1007/s10530-011-0162-0.
- Soulé, M. E. (1990). The onslaught of alien species, and other challenges in the coming decades. *Conservation Biology*, 4(3), 233-240. doi:10.1111/j.1523-1739.1990.tb00283.x
- Soulé, M. E., Estes, J. A., Miller, B., & Honnold, D. L. (2005). Strongly interacting species: Conservation policy, management, and ethics. *BioScience*, 55(2), 168-176. doi:10.1641/0006-3568(2005)055[0168:SISCPM]2.0.CO;2.
- Spencer, C. N., McClelland, B. R., & Stanford, J. A. (1991). Shrimp stocking, salmon collapse, and eagle displacement. *BioScience*, 41(1), 14-21. doi:10.2307/1311536.
- Thompson, M. R., & Townsend, C. R. (2004). Landuse influences on New Zealand stream communities effects on species composition, functional organization and food-web structure. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 38, 595-608. doi:10.1080/00288330.2004.9517265.
- Townsend, C. R. (2003). Individual, population, community, and ecosystem consequences of a fish invader in New Zealand Streams. *Conservation Biology*, 6(2), 273-282. doi:10.1046/j.1523-1739.1992.620273.x.
- Valéry, L., Fritz, H., Lefeuvre, J- C., & Simberloff, D. (2008). In search of a real definition of the biological invasion phenomenon itself. *Biological Invasions*, 10(8), 1345-1351. doi:10.1007/s10530-007-9209-7.
- Valéry, L., Fritz, H., Lefeuvre, J-C., & Simberloff, D. (2009). Invasive species can also be native. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(11), 585.
- Vázquez, D. P., & Aragón, R. (2002). Introduction to special issue on biological invasions in southern South America. *Biological Invasions*, 4, 1-5.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277(5325), 494-499. doi: 10.1126/science.277.5325.494.
- Vitule, J. R. S. (2009). Introdução de peixes em ecossistemas continentais brasileiros: revisão, comentários e sugestões de ações contra o inimigo quase invisível. *Neotropical Biology and Conservation*, 4(2), 111-122. doi:10.4013/nbc.2009.42.07.
- Vitule, J. R. S., & Abilhoa, V. (2003). A composição da icthiofauna na bacia hidrográfica do rio Piraquara, Alto rio Iguaçu, região metropolitana de Curitiba, Paraná, Brasil. *Estudos de Biologia*, 25(52), 43-49.

- Vitule, J. R. S., Umbria, S. C., & Aranha, J. M. R. (2006a). Introduction of the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) into Southern Brazil. *Biological Invasions*, 8(4), 677-681. doi:10.1007/s10530-005-2535-8.
- Vitule, J. R. S., Umbria, S. C., & Aranha, J. M. R. (2006b). Introdução de espécies, com ênfase em peixes de ecossistemas continentais. In E. L. A. Monteiro-Filho & J. M. R. Aranha (Org.). *Revisões em Zoologia - I: Volume comemorativo dos 30 anos do Curso de Pós-Graduação em Zoologia da Universidade Federal do Paraná*. Curitiba, PR: Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Paraná.
- Vitule, J. R. S., Freire, C. A., & Simberloff, D. (2009). Introduction of non-native freshwater fish can certainly be bad. *Fish and Fisheries*, 10(1), 98-108. doi:10.1111/j.1467-2979.2008.00312.x.
- Vitule, J. R. S., Skóra, F., & Abilhoa, V. (2012a). Homogenization of freshwater fish faunas after the elimination of a natural barrier by a dam in Neotropics. *Diversity and Distributions*, 18(2), 111-120. doi:10.1111/j.1472-4642.2011.00821.x.
- Vitule, J. R. S., Lima Junior, D. P., Pelicice, F. M., Orsi, M., & Agostinho, A. A. (2012b). Preserve Brazil's aquatic biodiversity. *Nature*, 485, 309. doi:10.1038/485309c.
- Vitule, J. R. S., Freire, C. A., Vazquez, D. P., Nuñez, M. A., & Simberloff, D. (2012c). Revisiting the potential conservation value of non-native species. *Conservation Biology*, 26(6):1153-1155. doi:10.1111/j.1523-1739.2012.01950.x.
- Wallace, A. R. (1890). *Darwinism*. (2nd ed.). London: Macmillan.
- Wilcove, D. S., Rothstein, D., Dubow, J., Phillips, A., & Losos, E. (1998). Quantifying threats to imperiled species in the United States. *BioScience*, 48(8), 607-615.
- Wilson, E. O. (1992). *The diversity of life*. New York: W.W. Norton and Company, Inc.
- Wilson, E. O. (2006). *The creation: An appeal to save life on earth*. New York: W. W. Norton and Company, Inc.
- Wilson, J. R. U., Dormontt, E. E., Prentis, P. J., Lowe, A. J., & Richardson, D. M. (2009a). Something in the way you move: dispersal pathways affect invasion success. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(3), 136-144. doi:10.1016/j.tree.2008.10.007.
- Wilson, J. R. U., Dormontt, E. E., Prentis, P. J., Lowe, A. J., & Richardson, D. M. (2009b). Biogeographic concepts define invasion biology. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(11), 586. doi:10.1016/j.tree.2009.07.004.