

Parasitas como marcadores biológicos para discriminação de estoques de peixes marinhos no Brasil: estado atual e perspectivas*

Iris Aparecida Soares¹ e José Luis Luque²⁺

ABSTRACT. Soares I.A. & Luque J.L. [Parasites as biological tags for the discrimination of marine fish stocks in Brazil: current status and perspectives.]

Parasitas como marcadores biológicos para discriminação de estoques de peixes marinhos no Brasil: estado atual e perspectivas. *Revista Brasileira de Medicina Veterinária*, 38(supl. 3):54-62, 2016. Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, BR 465 Km 7, Seropédica, RJ 23890-000, Brasil. E-mail: luqueufrj@gmail.com

The global state of marine fisheries and its effects endanger the future of fishery resources, which may result in extinction of several species as well as threatening the overall integrity of the ecosystems. As the fish consumption grows, marine fishing and related market activities are stimulated increasing the incidence of threatened or exploited species. Aiming the future sustainability, fishery inventories need to be properly identified as a tool for implementation of more efficient policies on the management and conservation of the natural resources. Thus, by the high heterogeneity observed in the Atlantic coast of Brazil as well as the lack of related studies using this tool, the country represents great potential for the use of this technique, to improve our knowledge of local fishing resources. Therefore, the present study highlights the use of parasites as biological markers on identifying fish populations through robust statistical analysis, which represents an efficient and low cost approach and the lack of similar studies in Brazil showing the need of more research efforts on this subject in Brazil.

KEY WORDS. Fisheries, sustainable management, marine fisheries, parasites, conservation.

RESUMO. O estado global da pesca marítima e seus efeitos põem em perigo o futuro dos recursos pesqueiros, o que pode resultar na extinção de várias espécies, bem como ameaçar a integridade global dos ecossistemas. À medida que cresce o consumo de peixe, a pesca marinha e as atividades de mercado relacionadas são estimuladas aumentando a incidência de espécies ameaçadas ou exploradas. Visando a sustentabilidade futura, os inventários de pesca precisam ser devidamente identificados como um instrumento para a implementação de políticas mais eficientes sobre a gestão e preservação dos recursos

naturais. Assim, pela alta heterogeneidade observada na costa atlântica do Brasil, bem como pela falta de estudos relacionados com essa ferramenta, o país representa um grande potencial para o uso dessa técnica, visando melhorar o conhecimento dos recursos pesqueiros locais. Assim, o presente estudo destaca o uso de parasitas como marcadores biológicos na identificação de populações de peixes por meio de análise estatística robusta o que representa uma abordagem eficiente e de baixo custo e a ausência de estudos semelhantes no Brasil mostrando a necessidade de mais pesquisas sobre o tema no Brasil.

* Recebido em 21 de julho de 2016.

Aceito para publicação em 17 de novembro de 2016.

¹ Zootecnista, MSc. Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Anexo 1, Instituto de Veterinária (IV), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), BR 465 Km 7, Campus Seropédica, RJ. 23890-000.

² Biólogo. PhD. Departamento de Parasitologia Animal, Anexo 1, IV, UFRRJ, BR 465 Km 7, Campus Seropédica, RJ. +Autor para correspondência, E-mail: luqueufrj@gmail.com - bolsista CNPq.

PALAVRAS CHAVE. Recursos pesqueiros, manejo sustentável, peixes marinhos, Parasitos, Conservação.

INTRODUÇÃO

O estado global da pesca marinha e seus efeitos sobre os ecossistemas têm recebido muito escrutínio científico (e público). Há poucas dúvidas de que os limites globais para exploração foram alcançados e que a recuperação das unidades populacionais depauperadas deve tornar-se a pedra angular da gestão das pescas (Worm & Branch 2012). Uma série de depleções dos recursos pesqueiros marinhos coloca em risco o futuro da pesca marinha, levando, provavelmente, à extinção de espécies, e mudanças ao regime de ecossistemas ameaçando a sua integridade global (Pauly et al. 2002, Mullon et al. 2005).

O Brasil tem o maior litoral na América do Sul, com cerca de 8.500 km de linha de litoral e um certo número de ilhas, totalizando 3,5 milhões de km² de ZEE (Zona Econômica Exclusiva) e se estende desde o Cabo Orange (5° N) até Chuí (34° S), situando-se, na maior parte, nas regiões tropicais e subtropicais (CNIO 1998).

De acordo com os últimos dados do Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), a média de consumo de pescado por habitante alcançou 11,7 kg no Brasil em 2011 - o que representa 23,7% de aumento na demanda em relação aos dois anos anteriores. Com o maior consumo, o mercado nacional foi aquecido, favorecendo, especialmente às atividades pesqueiras no mar, uma vez que algumas das principais espécies de peixes e crustáceos consumidos no país são marinhos, com uma grande incidência de consumo de espécies ameaçadas de extinção ou ameaçadas de exploração (com estoques em níveis preocupantes) (MPA, 2014).

Assim, a mobilidade dos organismos aquáticos, a distribuição geográfica das populações, a extensão da área onde ocorre a pesca e a ocorrência de várias espécies em um mesmo ambiente fazem com que a pesca comercial, geralmente dirigida a uma determinada espécie-alvo, termine por impactar as demais espécies. O debate sobre o uso sustentável do meio ambiente marinho e de seus recursos, frente à complexidade do biota marinho, leva à necessidade de conhecimento de uma série de aspectos técnicos, especialmente, no que diz respeito aos aspectos biológicos (Caddy & Griffiths 1996).

Com isso, discriminar as populações ou estoques de distintas de espécies de peixes comercialmente exploradas é essencial não só para trabalhar as suas dinâmicas e gerenciar a sua sustentabilidade a longo prazo, mas também para identificar

violações dos direitos de pesca (Hilborn & Walters 1992, Evans & Grainger 2002). Porém, antes que ações possam ser planejadas para definir políticas a serem implementadas visando a sustentabilidade do recurso pesqueiro, o estoque precisa ser identificado corretamente.

De acordo com Carvalho & Hauser (1994), a conceituação de estoques abrange uma ampla gama de definições, mas de maneira geral pode-se dizer que estoque pesqueiro corresponde a um grupo de peixes da mesma espécie, os quais habitam numa mesma área, e que estão dentro da faixa etária ou de tamanho permitida para serem pescados.

A definição de populações locais proposta por Ihssen *et al.*, (1981) como “um grupo intraespecífico de indivíduos que se reproduz ao acaso com integridade espacial e temporal” não é aplicada, geralmente, nas políticas pesqueiras, pois no caso, as diferenças genéticas e fenotípicas entre as populações não são levadas em consideração.

Para identificar e discriminar a estrutura das populações de organismos marinhos, muitas técnicas têm sido utilizadas com base em marcadores artificiais, caracteres fenotípicos, biometria, dados parasitológicos, estudos genéticos, e o uso de parasitos como marcadores biológicos (Williams et al. 1992, MacKenzie 2002).

Especialmente, o uso de parasitos como marcadores biológicos ganhou ampla aceitação nas últimas décadas (MacKenzie 2002, Poulin & Kamiya 2015), pois tais marcadores podem fornecer informações confiáveis para o entendimento da biologia do seu hospedeiro e em estudos populacionais para discriminar estoques (MacKenzie 1987; 2002, Lester 1990, MacKenzie & Abaunza, 1998, Mosquera et al. 2003). Esta metodologia baseia-se resumidamente no princípio de que um hospedeiro só pode tornar-se infectado com um determinado parasito quando está dentro do intervalo de distribuição do parasito (conhecida como área endêmica) (MacKenzie 2002). Se um peixe infectado se encontra fora da área endêmica do parasito, pode presumir-se que ele esteve alguma vez naquele lugar (MacKenzie & Abaunza, 1998). A área endêmica do parasito deve, portanto, ser menor do que a área de abrangência do hospedeiro para que seja útil como um marcador biológico. Recentemente, Poulin & Kamiya (2015) realizaram uma meta-análise para avaliar a eficácia do uso de parasitos para discriminar estoques de peixes, e mostraram que, em geral, quando usadas as técnicas estatísticas e o tamanho de amostras adequado esta metodologia é altamente eficiente para esta finalidade.

Com seu litoral heterogêneo e de ecossistemas contrastantes, o Brasil oferece excelentes possibilidades de utilização de parasitos como marcadores biológicos na estrutura de estoques para uma enorme variedade de espécies de peixes e habitats (Cantatore & Timi 2015). No entanto, apenas um estudo utilizando parasitos para discriminar populações de peixes dentro de fronteiras brasileiras foi publicado (Luque et al. 2010), determinando a presença de três estoques de corvina, *Micropogonias furnieri* no Brasil.

Dadas essas considerações gerais, o objetivo deste trabalho é salientar o uso de parasitos como marcador biológico na discriminação de estoques pesqueiros, tratando da escassez de estudos e das potencialidades do seu uso no litoral do Brasil.

PARASITOS COMO MARCADORES BIOLÓGICOS

O uso de parasitos como marcadores biológicos oferece uma abordagem robusta para determinar a estrutura de estoques dos organismos aquáticos. Dados de parasitos fornecem informações sobre os movimentos dos recursos pesqueiros, a partir das quais a estrutura de estoque pode ser inferida (Lester 1990).

As técnicas e os métodos usados para obter informações sobre a estrutura de estoque são de três tipos principais (Anon 1993): (1) métodos naturais, incluindo análises morfométricas e merísticas, o uso de parasitos como marcadores biológicos e estudos genéticos; (2) o uso de marcadores artificiais fixados externamente e ou internamente; e (3) estudos de parâmetros biológicos em relação ao ciclo de vida dos recursos pesqueiros. Uma compilação destes métodos pode ser encontrada em Ihssen et al. (1981), Templeman (1983) e Anon (1996). Existem, no entanto, limitações inerentes a cada uma dessas metodologias e sua eficácia em identificar os estoques que podem variar entre diferentes escalas espacial e temporal, e entre espécies.

O uso de marcação artificial pode comprometer muitas vezes o comportamento dos indivíduos marcados, o esforço de pesca para recuperação de etiquetas tem pouco sucesso e muitas vezes depende de diversas práticas de pesca e da cooperação da indústria (Ward & Caton 1992). Além do fato que pode ser difícil marcar espécies de águas profundas ou espécies de pequeno porte ou de estrutura delicada (Lester 1990, Begg et al. 1999).

Marcadores genéticos são extremamente sensíveis ao movimento de genes entre populações, e apenas um gene migrante por geração é suficiente

para mascarar a diferenciação em alguns marcadores genéticos (Slatkin 1987). Além disso, historicamente técnicas genéticas podem ser incapazes de identificar diferenças entre grupos isolados recentemente, e frequentemente não fornecem informações demograficamente relevantes de escalas espaciais e temporais necessárias para efeitos de gestão e conservação da pesca (Botsford et al. 2009).

A análise química de otólitos permite determinar os locais de nascimento e migração de peixes, e são registros permanente de diversos fatores biológicos endógenos e exógenos em matrizes de cálcio e proteína. Entretanto esta técnica pode ser insuficiente para diferenciar populações dentro de um ambiente homogêneo, sendo necessária cautela em relação a potenciais problemas metodológicos (Thresher 1999).

Há várias vantagens na utilização de parasitos, em vez de marcadores artificiais: os custos de pesquisa são reduzidos, requerendo manipulação do hospedeiro apenas com a captura e a análise. Os parasitos selecionados como marcador, não provocam mudanças comportamentais ou mortalidade seletiva no hospedeiro. O aumento da demanda por metodologias precisas e pouco dispendiosas resultou no aumento utilização de parasitos como marcadores biológicos (Moser 1991).

O uso de parasitos como marcadores de estoques tem contribuído também a responder questões sobre a dieta e comportamento alimentar, movimentação e intervalos de migração, conectividade de estoques e padrões de recrutamento de espécimes juvenis (Sindermann 1961, Moser 1991, Williams et al. 1992, Criscione et al. 2006). Adicionalmente, parasitos também têm sido utilizados como bio-indicadores de poluição (Poulin 1992, MacKenzie & Longshaw. 1995, MacKenzie, 1999), e em estudos populacionais para discriminar unidades populacionais (MacKenzie 1987, 2002, Lester 1990, MacKenzie & Abaunza 1998, Mosquera et al. 2000; 2003).

SELEÇÃO DE PARASITOS PARA USO COMO MARCADORES

As espécies de parasitos que podem ser usadas como marcadores de estoques ideais devem ter as seguintes características, de acordo com os critérios de seleção sugeridos por Kabata (1963), Sindermann (1983), MacKenzie (1983; 1987), Williams et al. (1992) e Mosqueira et al. (2000).

- Devem ter níveis significativamente diferentes de infecção no hospedeiro alvo nas diferentes partes da área de estudo. Os dados de infecção pa-

rasitária podem ser analisados com base na prevalência, intensidade e a abundância de infecção, tal como definido por Bush et al. (1997) e de diversas análises multivariadas (Poulin & Kamiya (2015).

- Devem persistir no hospedeiro durante um longo período de tempo. Para os estudos de identificação de estoques, apenas parasitos com expectativa de vida de mais de um ano devem ser utilizados, enquanto que para os estudos de migrações sazonais, espécies com expectativa de vida de menos de um ano podem ser aceitáveis.

- Os parasitos com ciclos de vida em um único hospedeiro, como os monogenéticos e a maioria dos crustáceos parasitos, são os mais recomendados para uso como marcadores. As espécies de parasitos com ciclos de vida complexos, tais como digenéticos, cestóides, nematoides e acantocéfalos, envolvendo duas ou mais fases em diferentes hospedeiros, são mais difíceis de utilizar porque é necessária maior informação sobre os fatores bióticos e abióticos que influenciam a transmissão do parasito entre hospedeiros. Tendo em conta estas informações, podem ser utilizados eficazmente. Køie (1983), sugere de fato, que trematódeos tem vantagens como marcadores sobre outros grupos taxonômicos de parasitos, porque eles tendem a ser altamente específicos para o hospedeiro primário, que é geralmente um molusco. A área endêmica de um digenético é, portanto, em grande parte determinada pela distribuição geográfica de seu hospedeiro molusco.

- O nível de infecção deve permanecer relativamente constante de ano para ano. Os efeitos das variações anuais, no entanto, podem ser anulados, seguindo os níveis de infecção em classes anuais individuais do hospedeiro alvo ao longo de vários anos.

O parasita deve ser facilmente detectado e identificado. Exame do hospedeiro deve envolver o mínimo de dissecação; caso contrário, o tempo pode se tornar um fator limitante.

- Parasitos que são patógenos graves, particularmente aqueles que afetam o comportamento do hospedeiro, devem ser evitados.

Muitos grupos taxonômicos de diferentes parasitos foram usados como marcadores para peixes e invertebrados marinhos (Williams et al. 1992). Porém, os parasitos mais comumente usados como marcadores são larvas de nematoides anisacídeos, provavelmente porque eles estão entre os parasitos mais comuns de peixes teleósteos (MacKenzie 1987, Sindermann 1990).

No entanto, junto com a necessidade de identificar corretamente um estoque antes que ele possa

ser adequadamente gerido, os parasitos precisam também ser corretamente identificados antes de poderem ser aplicados como marcadores biológicos (Baldwin et al. 2012). Esta tarefa pode ter um maior grau de dificuldade nos estádios larvais e ainda mais dificultada pela incerteza taxonômica na literatura. Espécies que exibem um elevado grau de plasticidade morfológica também podem representar um problema pois podem ser interpretados como um complexo de espécies (Poulin & Morand 2000). Uma combinação de métodos morfológicos e de genética molecular podem ser mais robustos para a identificação das espécies de parasitos a serem usados como marcadores biológicos.

A ATIVIDADE PESQUEIRA MARINHA NO BRASIL

A atividade pesqueira brasileira gera um PIB nacional de R\$ 5 bilhões, mobiliza 800 mil profissionais e proporciona 3,5 milhões de empregos diretos e indiretos. Até 2014, a meta do então Ministério da Pesca e Aquicultura era incentivar a produção nacional para que, em 2030, o Brasil alcance a expectativa da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) e se torne um dos maiores produtores do mundo, alcançando 20 milhões de toneladas de pescado por ano. O Brasil ocupa a 17ª posição no ranking mundial na produção de pescados em cativeiro e a 19ª na produção total de pescados de acordo com o último anuário de pesca (MPA 2014).

Problemas de gestão da atividade, associados à crescente demanda por produtos pesqueiros, acarretaram colapsos nos principais recursos pesqueiros do mundo, gerando uma estagnação das capturas. No Brasil a situação não é menos preocupante, de fato, os diversos estudos realizados pelo Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva – REVIZEE (MMA 2006a) confirmaram que os recursos pesqueiros tradicionais se encontram, em sua maioria, sobreexplorados ou no limite máximo de exploração. Em síntese, dos 153 estoques considerados, 11% não eram explorados, 4% eram subexplorados, 23% estavam plenamente explorados, 33% estavam sobreexplorados e 29% não foram avaliados de maneira conclusiva, demandando estudos adicionais (MMA 2006a).

Mesmo que os resultados alcançados pelo REVIZEE tenham ampliado significativamente o conhecimento da biodiversidade marinha ao longo da costa brasileira, principalmente dos recursos pesqueiros demersais do talude continental (até

POTENCIAL DO USO DE PARASITOS COMO MARCADORES NO BRASIL

São poucos os estudos sobre o uso de parasitos como marcadores de estoques de peixes de importância econômica na região sudeste do oceano Atlântico, apesar de sua heterogeneidade em termos de oceanografia, características geológicas e biológicas, o que, sem dúvida, oferece um grande potencial para o uso esta metodologia nesse ecossistema (Cantatore & Timi 2015).

O Brasil tem o maior litoral na América do Sul abrangendo uma das 5 sub-regiões de biodiversidade marinha da América do Sul (Spalding et al. 2007) em função da heterogeneidade de relevo da plataforma continental brasileira, com margens, montes submarinos adjacentes e planícies abissais (Prescott 1989, Mcglinley 2008.), tornando o extenso ecossistema marinho brasileiro, hidrológica e topograficamente complexo.

As condições oceânicas na costa brasileira são determinadas, basicamente, pela ocorrência de três correntes: (1) a Corrente da Costa Norte do Brasil, que flui para Nordeste; (2) a Corrente do Brasil, que flui em direção ao sul; ambas resultantes da Corrente Sul-Equatorial que vem da costa da África e, ao se encontrar com o continente brasileiro, na altura do Estado da Paraíba, bifurca-se nas duas direções mencionadas; e (3) a Corrente das Malvinas (Falklands). As duas primeiras apresentam características comuns, uma vez que são de temperatura e salinidade altas e pobres em nutrientes. Estes parâmetros, associados à alta profundidade nas áreas percorridas pelas correntes, não permitem que os sais nutrientes alcancem a zona trófica, para favorecer a produção primária, tornando a produtividade do mar baixa nestas regiões. A Corrente das Malvinas, com baixa temperatura e salinidade, penetra a região costeira do Rio Grande do Sul e, atingindo a altura do paralelo 34-36° S, encontra-se com a Corrente do Brasil, formando a Convergência Subtropical. Esta corrente possui alta concentração de sais nutrientes (Dias Neto & Marrual-Filho 2003).

A produtividade da região Norte é incrementada em função do rio Amazonas. Este despeja um grande volume de água doce que ao se depositar sobre a plataforma continental da foz daquele rio, faz com que a costa dos estados do Pará e do Amapá apresente alta produtividade. A região Nordeste, por sua vez, dada a predominância das características da Corrente do Brasil, apresenta baixa produtividade de recursos pesqueiros. Nas regiões Sudeste e Sul, a influência da massa de água

2.000 m de profundidade), os mesmos problemas de exploração descontrolada têm sido novamente observados nas pescarias de novos recursos, como os do peixe-sapo (*Lophius gastrophysus*), da merluza (*Merluccius hubsi*), da abrótea de profundidade (*Urophycis mystacea*), já com sinais de sobrepesca observados no curto período de desenvolvimento desta pescaria demersal profunda nas regiões sudeste e sul do Brasil (IPEA 2013)

O conhecimento disponível sobre a situação atual dos ecossistemas costeiros e seus sistemas de produção pesqueira pode ser considerado ainda fragmentado, deficiente e desatualizado, o que dificulta ainda mais o processo de conscientização do setor produtivo rumo a exploração sustentável de recursos pesqueiros no Brasil (MMA 2006a).

É fato constatado que quase todos os recursos pesqueiros no Brasil, especialmente os costeiros, sujeitos a uma pesca mais intensiva, encontram-se muito próximos ou já em seus limites máximos de sustentabilidade (Tabela 1) e embora estes recursos sejam considerados renováveis, sua capacidade de renovação pode ser limitada pela estrutura genética das espécies e pela dinâmica dos ecossistemas onde habitam (Cembra 2012). A partir desta constatação, é fácil compreender que a exploração pesqueira tem certas características próprias que distinguem da maioria de outros empreendimentos econômicos e que dificultam sobremaneira o estabelecimento de medidas efetivas para seu ordenamento e desenvolvimento, em bases sustentáveis. Faz-se necessária a geração de conhecimentos técnicos-científicos sobre métodos adequados ao desenvolvimento de uma pesca sustentável e responsável. Nesse sentido, é imprescindível difundir e aplicar a tecnologia e os conhecimentos gerados, especialmente quanto ao ordenamento pesqueiro e a recuperação dos estoques hoje em sobrepesca, para um melhor aproveitamento dos recursos subexplorados ou ainda desconhecidos

Tabela 1. As 10 principais espécies de peixes teleósteos exploradas pela pesca comercial: Produção anual por toneladas (t) e status de conservação (MPA, 2011)

Espécies	Nome vulgar	Produção (t)	Status
<i>Sardinella brasiliensis</i>	Sardinha verdadeira	62.134	Em perigo
<i>Micropogonias furnieri</i>	Corvina	43.191	Vulnerável
<i>Cynoscion acoupa</i>	Pescada amarela	20.879	Vulnerável
<i>Katsuwonus pelamis</i>	Bonito listrado	20.640	Estável
<i>Mugil platanus</i>	Tainha	17.866	Dados Insuficientes
<i>Umbrina canosai</i>	Castanha	12.000	Não avaliado
<i>Macrodon ancylodon</i>	Pescada foguete	10.507	Vulnerável
<i>Coryphaena hippurus</i>	Dourado do mar	7.999	Vulnerável
<i>Lutjanus purpureus</i>	Vermelho	6.248	Em perigo
<i>Cynoscion guatucupa</i>	Pescada listrada	6.045	Vulnerável

da Corrente das Malvinas, a ocorrência de ressurgências (afloramento de massas de água profundas e frias à superfície provocando crescimento das populações de peixes) ou a penetração da “Água Central do Atlântico Sul” – ACAS, possibilitam uma maior abundância de pescado, especialmente até a altura de Cabo Frio. Áreas de ressurgência ocorrem em decorrência da combinação de fatores como: mudanças na direção da Corrente do Brasil, topografia de fundo e efeito dos ventos predominantes na área (Dias Neto & Marrual-Filho 2003).

Ao longo dos anos, a grande extensão do litoral e variedade de ecossistemas marinhos costeiros no Brasil levaram à percepção pública de que os recursos marinhos seriam inesgotáveis. Como resultado, embora a pesca marinha contribua 63% do total de produção de peixes no Brasil, mais de 80% dos recursos são atualmente sobreexplorados (MMA 2006a, MMA 2006b).

A legislação brasileira define a zona costeira como um patrimônio nacional, no entanto, apenas uma pequena parte da enorme costa brasileira e da Zona Econômica Exclusiva (menos de 0,4%) (BRASIL 1997) está sob alguma forma de proteção ou de gestão, e existem grandes áreas sob pressões antropogênicas (Amaral & Jablonski 2005.). Considerando os elevados níveis de endemismo de organismos marinhos brasileiros, e a probabilidade de que o crescimento da população irá exercer ainda maior pressão antropogênica através da pesca, a conservação em larga escala e planos de gestão são urgentemente necessários (Floeter et al. 2007).

Considerando o acima mencionado, o Brasil ainda enfrenta a difícil tarefa de identificar, inventariar e estudar cientificamente toda a sua diversidade biológica (terrestre e marinha), bem como desenvolvimento e implementação de gestão e utilização de mecanismos sustentáveis (PROBIO 2006a).

Considerando a localização geográfica do Brasil e a necessidade de conhecimento de seus estoques pesqueiros, o uso de parasitos como marcadores biológicos para discriminar estoques pode ser um método bem-sucedido. Esta metodologia, em última instância, tem como base a distribuição geográfica dos parasitos. A distância geográfica entre populações co-específicas de hospedeiros é, sem dúvida, um fator determinante da probabilidade de que o intercâmbio de espécies de parasitos ocorra entre essas populações (Poulin & Morand 1999). A multiplicidade de ambientes no litoral brasileiro oferece uma excelente oportunidade de usar parasitos não apenas como indicadores biológicos de estrutura de estoque para uma enorme variedade de espécies

de peixes, mas também como marcadores das regiões ou das águas em que habitam sendo utilizados como indicadores da extensão de ecossistemas (Cantatore & Timi 2015). O pressuposto subjacente deste método é que os hospedeiros podem ser infectados apenas quando eles estão dentro da área endêmica de um parasito (que é a região geográfica na qual as condições são adequadas para sua transmissão). Para espécies de parasitos com ciclos de vida diretos a área endêmica é determinada principalmente pelas condições ambientais, ao passo que para os parasitos com ciclos de vida indireto, um requisito adicional é que hospedeiros adequados para todos os estágios de desenvolvimento devam estar presentes (MacKenzie & Abaunza 1998). Os padrões de distribuição dos parasitos marinhos, em particular, são determinados principalmente pelos perfis de temperatura, salinidade e sua associação com massas específicas de água (Esch & Fernández 1993).

ANTECEDENTES NO BRASIL

O Brasil tem uma longa história de estudos parasitológicos no ambiente marinho, provavelmente a mais produtiva e constante ao longo do tempo na América do Sul (Cantatore & Timi 2015). Grande parte destes estudos são de cunho taxonômico e sobre a ecologia de populações e comunidades parasitárias (Luque et al. 2016).

No entanto, foi publicado apenas um estudo utilizando parasitos para discriminar unidades populacionais de peixes dentro dos limites brasileiros. Este é o caso da corvina, *Micropogonias furnieri*, usando amostras provenientes de cinco localidades ao longo da costa brasileira (nos estados de Ceará, Bahia, Rio de Janeiro, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) (Luque et al. 2010). Por meio de análise multivariada estes autores identificaram com sucesso três grupos de localidades associadas com três estoques, um estoque no norte associado ao Ceará e à Bahia, um estoque relacionado a região sudeste, no Rio de Janeiro e Santa Catarina e um estoque do Sul no litoral do Rio Grande do Sul, de *M. furnieri* no Brasil.

Outros estudos em parceria com o Laboratório de Ictioparasitologia, do Instituto de Investigações Marinhas e Costeiras (IIMyC) da Faculdade de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Nacional de Mar del Plata, compararam espécies de peixes com distribuição geográfica compatível com a província biogeográfica brasileira e Argentina, em especial a partir do litoral do Rio de Janeiro, até o norte do mar argentino na província biogeográfica Argentina.

Estes estudos incluíram a pescada, *Cynoscion guatucupa* (Timi et al. 2005), xixarro *Trachurus lathami* (Braicovich et al. 2012), abrótea *Urophycis brasiliensis* (Pereira et al. 2014) e linguado *Paralichthys isosceles* (Alarcos et al. 2016) comprovando o uso de parasitos como marcadores biológicos em estudos populacionais de peixes como uma ferramenta bem-sucedida para discriminar estoques para todas as espécies a que foi aplicado.

Timi et al. (2005) com uso de amostras de *C. guatucupa* oriundas do Brasil, Uruguai e Argentina, através de análise univariada e análise discriminante multivariada, calculada separadamente para peixes juvenis e adultos, evidenciaram claramente a formação de dois estoques separando a população do Brasil das do Uruguai e Argentina. Demonstrando o que poderia ser considerado como o limite norte de uma unidade populacional associada a Zona de Pesca do Uruguai e Argentina, ocorrendo nesta região.

Braicovich et al. (2012) coletaram amostras de *T. lathami* de três localidades na província de Buenos Aires, Argentina e uma amostra no Brasil, em Cabo Frio, e através de análise multivariada baseada em similaridade revelou diferenças significativas entre as localidades que forneceram evidências que parasitos podem ser usados como marcadores biológicos para a discriminação de estoques em diferentes latitudes, e eles também têm o potencial para rastrear migrações sazonais de peixes.

Pereira et al. (2014), demonstraram que não só os parasitos, mais também as comunidades parasitárias tem potencial como marcadores de ecossistemas. Neste estudo foi testado a análise das comunidades de metazoários parasitos de *U. brasiliensis* capturadas em quatro locais distribuídos em três ecorregiões entre o litoral argentino e brasileiro, onde foi observada uma separação evidente dos estoques em apoio as hipóteses existentes de Spalding et al. 2007 sobre a divisão ecorregional do sudoeste do Atlântico.

No mais recente trabalho de Alarcos et al. (2016), com linguado, *Paralichthys isosceles*, três estoques foram identificados a partir de amostras coletadas no Brasil (Cabo Frio e Niterói) e Argentina (Necochea), resultando em padrões claros de dissimilaridade em todas as amostras. Diferenças significativas também foram observadas quando comparadas as comunidades parasitárias entre as duas amostras de linguados do Brasil, demonstrando que as melhores espécies discriminatórias em ambas as escalas espaciais e temporais foram representadas por parasitos com baixa especificida-

de pelo hospedeiro (principalmente larvas de helmintos). Estas espécies indicadoras aparentemente apresentam padrões espaciais recorrentes em todas as espécies hospedeiras, o que se espera de marcadores adequados para estudos populacionais. Timi et al. (2010) usando como modelo as comunidades parasitárias de michole-quati, *Pinguipes brasilianus*, avaliaram padrões de similaridade destas comunidades entre cinco áreas no Atlântico da América do Sul, confirmando a diminuição da similaridade entre as comunidades mais distantes geograficamente. Braicovich et al. (2016) também avaliaram o uso de parasitos marinhos como indicadores de regiões zoogeográficas no Atlântico Sudoeste usando amostras de *Percophis brasiliensis* coletadas em nove localidades cobrindo toda sua distribuição geográfica, entre Brasil e Argentina sendo possível verificar que as maiores dissimilaridades foram entre amostras provenientes de diferentes regiões zoogeográficas do que entre aquelas capturadas dentro da mesma região, independentemente da distância que os separa mostrando uma nova possibilidade uso de parasitos como indicadores de regiões zoogeográficas.

Todos estes estudos comprovaram que os parasitos constituem ferramentas valiosas a serem incluídos em futuros estudos de identificação de estoques de peixes de importância econômica, e que podem, eventualmente, permitir o delineamento de estratégias pró-ativas de mitigação e de conservação para pesca artesanal em curta escala nas costas do Atlântico Sudoeste, que estão enfrentando graves riscos de exploração excessiva e colapso (Alarcos et al. 2016).

PERSPECTIVAS E DESAFIOS

O uso de parasitos como marcadores biológicos para a discriminação de estoques de recursos pesqueiros associado ao uso de outro (s) métodos de discriminação de estoques como merísticos e moleculares pode aumentar o conhecimento sobre os recursos pesqueiros do Brasil, sua estrutura e dinâmica, permitindo a implantação de formas de manejo sustentável e de estratégias de preservação dos mesmos. Catalano et al. (2013) sugerem que uma abordagem mais holística e multidisciplinar deve ser estimulada, integrando os diversos campos de estudo, tais como genética molecular, biometria, histórias de vida (idade da primeira maturação, estrutura de tamanhos e padrões de crescimento), modelagem, análise microquímica de otólito, estudos de etiquetas artificiais e inquéritos parasitológicos, para proporcionar uma visão mais profunda

e mais robusta da estruturação de populações de organismos marinhos em contraste com estudos utilizando uma única abordagem.

Vários trabalhos foram publicados recentemente (Mackenzie & Hemmingsen et al. 2015, Lester & Moore. 2014, Mattiuci et al. 2014, Cantatore & Timi, 2015, Poulin & Kamiya, 2015, Marcogliese & Jacobson 2015, Weston et al. 2015, entre outros) com estudos de espécies de peixes provenientes de vários continentes demonstrando a eficiência do método, enquanto no Brasil os estudos ainda são escassos demonstrando a necessidade de que mais pesquisadores se interessarem e por esse campo promissor, para pesquisa e para o Brasil em relação ao maior conhecimento para eficiente manejo de recursos pesqueiros e conservação de espécies ameaçadas.

Agradecimentos. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela assistência prestada ao estudo

REFERÊNCIAS

- Alarcos A.J., Pereira A.N., Taborda N.L., Luque J.L. & Timi J.T. Parasitological evidence of stocks of *Paralichthys isosceles* (Pleuronectiformes: Paralichthyidae) at small and large geographical scales in South American Atlantic coasts. *Fisheries Research*, 173:221-228, 2016.
- Amaral A.C.Z. & Jablonski S. Conservation of marine and coastal biodiversity in Brazil. *Conservation Biology*, 19:625-631, 2005.
- Anon. *Report of the Study Group on Stock Identification Protocols for Finfish and Shellfish Stocks*. ICES C.M.1993/ M:3, 23 p, 1993.
- Anon. *Report of the Study Group on Stock Identification Protocols for Finfish and Shellfish Stocks*. ICES C.M.1996/ M:1, Assess., 140 pp. 1996.
- Baldwin R.E., Banks M.A. & Jacobson K.C. Integrating fish and parasite data as a holistic solution for identifying the elusive stock structure of Pacific sardines (*Sardinops sagax*). *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 22:137-156, 2012.
- Begg G.A. & Waldman J.R. An holistic approach to fish stock identification. *Fisheries Research* 43:35-44, 1999.
- Botsford L.W., Brumbaugh D.R., Grimes C., Kellner J.B., Largier J., O'Farrell M.R., Ralston S., Soulanille E. & Westpedast V. Connectivity, sustainability, and yield: bridging the gap between conventional fisheries management and marine protected areas. *Review in Fish Biology and Fisheries*, 19:69-95, 2009.
- Braicovich P.E., Luque J.L. & Timi J.T. Geographical patterns of parasite infracommunities in the rough scad, *Trachurus lathami* Nichols off southwestern Atlantic Ocean. *Journal of Parasitology*, 98:768-771, 2012.
- Braicovich P.E., Pantoja C., Pereira A.N., Luque J.L. & Timi J.T. Parasites of the Brazilian flathead *Percophis brasiliensis* reflect West Atlantic biogeographic regions. *Parasitology*, 1-10, 2016.
- BRASIL. *Diretrizes Ambientais para o Setor Pesqueiro. Diagnóstico e Diretrizes para a Pesca Marítima*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. 124 p. 1997.
- Bush A.O., Lafferty K.D., Lotz J.M. & Shostak A.W. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al. revisited. *Journal of Parasitology*, 83:575-583, 1997.
- Caddy J.F., Griffiths R.C. Recursos marinos vivos y su desarrollo sostenible: perspectivas institucionales y medioambientales. Roma: FAO. 1996. 191p. (Documento Técnico de Pesca, n. 353).
- Cantatore D.M.P. & Timi J.T. Marine parasites as biological tags in South American Atlantic waters, current status and perspectives. *Parasitology*, 142:5-24, 2015.
- Carvalho G.R. & Hauser L. Molecular Genetics and the stock concept in fisheries. In: Carvalho G.R.; Pitcher T.J. (eds.). *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 4:326-350, 1994.
- Catalano S.R., Whittington I.D., Donnellan S.C. & Gillanders B.M. Parasites as biological tags to assess host population structure: Guidelines, recent genetic advances and comments on a holistic approach. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 3:220-226, 2014.
- Cembra, Centro de Excelência para o Mar Brasileiro Secretaria.Fernandes, prep. Lucimar Luciano de Oliveira. - 2. ed., rev. e ampl. Niterói, RJ: BHMN, 540 p. 2012.
- CNIO. *O Brasil e o Mar no Século XXI: Relatório aos Tomadores de Decisão do País*. Rio de Janeiro: Comissão Nacional Independente sobre os Oceanos. 408 p: il. 1998.
- Criscione C.D., Cooper B. & Blouin M.S. Parasite genotypes identify source populations of migratory fish more accurately than fish genotypes. *Ecology*, 87:823-828, 2006.
- Dias Neto J. & Marrul-Filho S. *Síntese da situação da pesca extrativa marinha no Brasil*. Brasília: Ibama. 2003.
- Esch G.W. & Fernández J.C. *A functional biology of parasitism*. 1st edn. 337 p. London, Chapman & Hall. 1993.
- Evans D. & Grainger R. *Gathering data for resource monitoring and fisheries management*. In Handbook of Fish Biology and Fisheries, 2 (ed. Hart, P. J. B. and Reynolds, J. D.), Blackwell Publishing, Oxford. 84-102, 2002.
- Floeter S.R., Krohling W., Gasparini J.L., Ferreira C.E.L., Ferreira Ilana R. Reef fish community structure on coastal islands of the south-eastern Brazil: the influence of exposure and benthic cover. *Environment Biology Fish*, 78:147-160, 2007.
- Hilborn R. & Walters C.J. *Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty*. Chapman and Hall, New York. 1992.
- Ihssen P.E., Booke H.E., Casselman J.M., McGlade J.M., Payne N.R. & Utter F.M. Stock identification: materials and methods. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38:1838-1855, 1981.
- Kabata Z. *Parasites as biological tags*. ICNAF Special Publication 4:31-37, 1963.
- Koie M. Digenetic trematodes from *Limanda limanda* (L.) (*Osteichthyes, Pleuronectidae*) from Danish and adjacent waters, with special reference to their life histories. *Ophelia*, 22: 201- 228, 1983.
- Lester R.J.G. & Moore B. Parasites as valuable stock markers for fisheries in Australasia, East Asia and the Pacific Islands. *Parasitology*, 1-18, 2014.
- Lester R.J.G. Reappraisal of the use of parasites for fish stock identification. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 41:855-864, 1990.
- Luque J.L., Cordeiro A.S. & Oliva M.E. Metazoan parasites as biological tags for stock discrimination of white mouth croaker *Micropogonias furnieri* from south-western Atlantic Ocean waters. *Journal of Fish Biology*, 76:591-600, 2010
- Luque J.L., Pereira F.B., Alves P.V., Oliva M.E. & Timi J.T. Helminth parasites of South American fishes: current status and characterization as a model for studies of biodiversity. *Journal of Helminthology*, 1-15, 2016.
- MacKenzie K. Parasites as biological tags in fish population studies. *Advances in Applied Biology*, 7:251-331, 1983.
- Mackenzie K. Parasites as indicators of host populations. *International Journal for Parasitology*, 17:345-352, 1987.
- MacKenzie K. Parasites as pollution indicators in marine ecosystems: a proposed early warning system. *Marine Pollution Bulletin*, 38:955-959, 1999.
- MacKenzie K. Parasites as biological tags in population studies of marine organisms: an update. *Parasitology* 124: S153-S163, 2002.
- MacKenzie K. & Abaunza P. Parasites as biological tags for stock discrimination of marine fish: a guide to procedures and methods. *Fisheries Research*, 38:45-56, 1998.
- MacKenzie K & Hemmingsen W. Parasites as biological tags in marine fisheries research: European Atlantic waters. *Parasitology*, 1-14, 2015.

- MacKenzie K. & Longshaw M. Parasites of the hakes *Merluccius australis* and *M. hubbsi* in the waters around the Falkland Islands, southern Chile, and Argentina, with an assessment of their potential value as biological tags. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52:213-224, 1995.
- Marcogliese D.J. & Jacobson K.C. Parasites as biological tags of marine, freshwater and anadromous fishes in North America from the tropics to the Arctic. 142:68-89, 2015.
- Mattiucci S., Cimmaruta R., Cipriani P., Abaunza P., Bellisario B. & Nascetti G. Integrating parasites data and host genetic structure in the frame of a holistic approach for stock assessment in Mediterranean Sea fish species. *Parasitology*, 1-19, 2014.
- McGlinley M. Topic E. *East Brazil Shelf large marine ecosystem*. In: Cleveland C.J., ed. *Encyclopedia of Earth*. Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment, Available at: http://www.eoearth.org/article/East_Brazil_Shelf_large_marine_ecosystem. 2008.
- MMA. *Programa REVIZEE: avaliação do potencial sustentável de recursos vivos na zona econômica exclusiva: relatório executivo*/MMA, Secretaria de Qualidade Ambiental. 2006a.
- MMA. *Probio: dez anos de atuação = PROBIO: ten years of activities*/ Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. 156 p. 2006b.
- Moser M. Parasites as biological tags. *Parasitology today*. 7:182-185, 1991.
- Mosquera J., de Castro M., Gomez-Gesteira M. & Pérez-Villar V. Using Parasites as Biological Tags of Fish Populations: A Dynamical Model. *Bulletin of Mathematical Biology*. 62:87-99, 2000.
- Mosquera J., de Castro M. & Gomez-Gesteira M. Parasites as biological tags of fish populations: advantages and limitations. *Comments on Theoretical Biology*. 8:69-91, 2003
- MPA. *Boletim estatístico da pesca e aquicultura*. Ministério da Pesca e Aquicultura. 2011.
- MPA. *1ª Anuário Brasileiro da Pesca e Aquicultura*. Ministério da Pesca e Aquicultura. 2014.
- Mullon C., Fréon P. & Cury P. The dynamics of collapse in world fisheries. *Fish and Fisheries*, 6:111-120, 2005.
- Pauly D., Christensen V., Guénette S., Pitcher T.J., Sumaila J.R., Walters C.J., Watson R. & Zeller D. Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, 418:689-695, 2002.
- Pereira A.N., Pantoja C., Luque J.L. & Timi J.T. Parasites of *Urophycis brasiliensis* (Gadiformes: Phycidae) as indicators of marine ecoregions in coastal areas of the South American Atlantic with the assessment of their stocks. *Parasitology Research*, 113:4281-4292, 2014.
- Poulin R. Toxic pollution and parasitism in freshwater fish. *Parasitology Today* 8:58-61, 1992.
- Poulin R. & Kamiya T. Parasites as biological tags of fish stocks: a meta-analysis of their discriminatory power. *Parasitology* 1-11, 2015.
- Poulin R., & Morand S. Geographical distances and the similarity among parasite communities of conspecific host populations. *Parasitology* 119: 369-374, 1999.
- Poulin R. & Morand S. The diversity of parasites. *Quarterly Review of Biology* 75: 277-293. 2000.
- Prescott J.R.V. *The political division of large marine ecosystems in the Atlantic Ocean and some associated seas*. In: Sherman K, Alexander KM, eds. *Biomass Yields and Geography of Large Marine Ecosystems*. AAAS Selected Symposium 111. Boulder: Westview Press. 395-442. 1989.
- Sindermann C.J. Parasite tags for marine fish. *Journal of Wildlife Management*. 25:41-47, 1961.
- Sindermann C. J. Parasites as natural tags for marine fish: a review. *NAFO Scientific Council Studies* 6:63-7, 1983.
- Sindermann C.J. *Principal Diseases of Marine Fish and Shellfish*, 1, 2nd ed. Academic Press, San Diego. 521 p, 1990.
- Slatkin M. Gene flow and the geographic structure of natural populations. *Science*, 236:787-792, 1987.
- Spalding M.D., Fox H.E., Allen G.R., Davidson N., Ferdaña Z.A, Finlayson M.A.X, & Robertson J. A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas. *Bioscience*, 57:573- 583, 2007.
- Templeman W. Stock discrimination in marine fishes. *NAFO Scientific Council Studies*, 6:57-62, 1983.
- Thresher R.E. Elemental composition of otoliths as a stock delineator in fishes. *Fisheries Research*, 43:165-204, 1999.
- Timi J.T., Lanfranchi A.L. & Luque J.L. Similarity in parasite communities of the teleost fish *Pinguipes brasilianus* in the southwestern Atlantic: infracommunities as a tool to detect geographical patterns. *International Journal for Parasitology*, 40:243-254, 2010.
- Timi J.T., Luque J.L. & Sardella N.H. Parasites of *Cynoscion guatucupa* along South American Atlantic coasts: evidence for stock discrimination. *Journal Fish Biology*, 67:1603-1618, 2005.
- Ward P. & Caton A. Why tag and release tunas? *Australian Fisheries*, 51:6-8, 1992.
- Weston L.F., Reed C.C., Hendricks M., Winker H. & van der Lingen C.D. Stock discrimination of South African sardine (*Sardinops sagax*) using a digenean parasite biological tag. *Fisheries Research*, 164:120-129, 2015.
- Williams H.H., MacKenzie K. & McCarthy A.M. Parasites as biological indicators of the population biology, migrations, diet, and phylogenetics of fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2:144-176, 1992.
- Worm B. & Branch T.A. The future of fish. *Trends in Ecology and Evolution*, 27: 11, 2012.