

**PRODUTO 1. Documento técnico contendo a proposta de metodologia para calibração e validação dos protocolos de avaliação de risco de invasão de espécies de peixes e invertebrados aquáticos com o objetivo de subsidiar a tomada de decisão sobre os pedidos de importação.**

Dr. Daniel Pereira

Dr. Carlos Eduardo Belz

Novo Hamburgo, 19 de dezembro de 2019.

1	Sumário	
2	Apresentação	3
3	Contextualização	3
4	Diretrizes internacionais	7
4.1	CDB - Convenção sobre Diversidade Biológica	7
4.2	OIE – Organização Mundial de Saúde Animal	8
4.3	FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação	8
4.4	Acordo da OMC sobre a Aplicação de Medidas Sanitárias e Fitossanitárias (Acordo SPS).	10
5	Modelos adotados em outros países	10
5.1	Austrália	11
5.2	Inglaterra e outros países europeus	13
5.3	Brasil	16
5.4	México	17
5.5	Modelo de Análise de Risco Adotado	17
1.1.1	Âmbito de aplicação	18
1.1.2	Desenho de componentes	18
1.1.3	Modelo de Análise de Risco para Invertebrados Marinhos e Dulcícolas	19
1.1.4	Modelo de Análise de Risco para Peixes	33
1.1.5	Calibração dos Modelos	43
1.1.5.1	Seleção de espécies invasoras e não invasoras a priori	44
1.1.5.2	Revisão bibliográfica e Resposta das Questões	45
1.1.5.3	Calibração e Sensibilidade	45
1.1.5.4	Incerteza	46
1.1.5.5	Acurácia	47
1.1.5.6	Abordagem complementar multivariada	47
2	Resultados preliminares	48
3	Referências	48

## 2 Apresentação

O escopo deste contrato compreende a calibração e validação dos protocolos de avaliação de risco de invasão biológica de peixes e invertebrados aquáticos, continentais e marinhos, provenientes da Oficina de Análise de Risco de Invasão de Peixes e Invertebrados Aquáticos, realizada em outubro de 2018, onde por meio da participação de pesquisadores vinculados às universidades, técnicos dos ministérios do Meio Ambiente (MMA), da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), foram elaboradas propostas de dois protocolos para análise de risco de importação de espécies exóticas, sendo um voltado para peixes e outro para invertebrados aquáticos.

Neste primeiro produto são apresentados os dois primeiros itens das atividades previstas na proposta de trabalho:

1.1 Breve sistematização e análise sobre as diretrizes internacionais para a avaliação de risco de pragas e espécies invasoras previstas na legislação vigente e por acordos e compromissos internacionais aplicáveis ao escopo dos protocolos, tais como CDB - Convenção sobre Diversidade Biológica, OIE – Organização Mundial de Saúde Animal, FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, Acordo da OMC sobre a Aplicação de Medidas Sanitárias e Fitossanitárias (Acordo SPS), entre outros.

1.2 Revisão de literatura especializada e síntese sobre os critérios, ferramentas e metodologia de elaboração, calibração e validação de protocolos de avaliação de risco de bioinvasão de espécies de peixes e invertebrados aquáticos, considerando diferentes modelos utilizados por no mínimo três países.

## 3 Contextualização

Os impactos ambientais causados pela introdução de espécies invasoras são, na maioria das vezes, de difícil percepção, principalmente pelos seus efeitos tardios. Este fato pode levar à errônea e perigosa ideia de que esses organismos já se integraram ao ecossistema onde se instalaram. Esta crença fatalista pode levar a pensar que as invasões biológicas são um fato consumado e que já seria tarde para fazer algo. Isto, somado aos benefícios econômicos que algumas espécies têm gerado a alguns setores que as exploram, se traduziram em uma falta de interesse em trabalhos de prevenção, controle ou erradicação (Belz, 2006).

Em todos os casos, os esforços de erradicação são dispendiosos e muitas vezes ineficazes, principalmente quando se trata de espécies aquáticas (Cowie, 2004). Na água,

vários problemas se somam como a facilidade de dispersão de ovos e larvas pela correnteza, a dificuldade para visualizar a espécie e sua área de ocorrência.

Neste caso, investir em prevenção se torna mais barato e eficiente do que deixar para tratar do problema depois que ele já está instalado. Hoje, no Brasil, muitas espécies exóticas são importadas para diferentes fins. Produção comercial, aquarofilia, “pets”. Para autorizar estas importações, são analisados somente os aspectos econômicos e sanitários de sua introdução. Porém é necessário adicionar a esta análise um componente ambiental. Isto é, qual o risco destas espécies escaparem para o ambiente natural, se adaptarem e se tornarem invasoras, causando impactos ambientais, econômicos e/ou sociais?

Um melhor entendimento do processo de bioinvasão pode levar a muitos benefícios, tais como: uma previsão mais apurada dos níveis e direção da dispersão, uma concentração de esforços em áreas mais críticas e um maior conhecimento dos mecanismos de dispersão e da biologia das espécies invasoras, o que traz informações relevantes também, para futuras invasões (Johnson & Padilla, 1996). Neste sentido, vários trabalhos têm sido publicados com o objetivo de desenvolver um sistema eficaz de prevenção, gerando um novo campo de pesquisas, o da ecologia das bioinvasões (Keller et al. 2007; Lockwood 2007).

Assim, em 2002, a US National Research Council (NRC) publicou um relatório discutindo a conceituação de alguns termos. Segundo eles, a predição é “a geração de dados sobre a probabilidade de ocorrência de um evento de bioinvasão”. Nesta revisão, três critérios são considerados de suma importância para o desenvolvimento de sistemas de predição: serem abertos para revisões e adições de novos dados; terem uma estrutura lógica que permita a inclusão de fatores independentes, importantes no processo de invasão, e permitirem sua replicabilidade. Já o risco é “o produto da probabilidade de ocorrência de algum evento e suas consequências”.

Segundo Guilam (1996), a análise de risco pode ser definida como a identificação de danos potenciais e a estimativa da probabilidade de que um dano ocorra, usando dados anteriores, observação sistemática, análise estatística e experimentação ou intuição. Estes dados anteriores são obtidos com os estudos de predição.

Várias abordagens são possíveis nesta discussão. A mais comum é a denominada no trabalho de Guilam (1996) como abordagem da engenharia, que apresenta uma forte orientação no sentido da quantificação do risco. Para este autor, o risco é um conceito matemático e pode ser calculado pela fórmula ( $\text{Risco} = \text{Perigo} \times \text{Probabilidade}$ ). Esta abordagem tenta excluir fatores subjetivos ou julgamentos individuais, e as análises se limitam a indicadores quantitativos, de tal forma que a informação possa ser

estatisticamente processada e erros humanos e aspectos comportamentais dos indivíduos expostos aos riscos devem ser ignorados, por não serem calculáveis.

Jasanoff (1993) ressalta que esta busca pela objetividade marca a abordagem da engenharia, mas não a invalida, uma vez que esta perspectiva quantitativa pode apontar para informações importantes, já que a mesma foi desenvolvida como uma ferramenta objetiva para instâncias governamentais tomarem decisões baseadas em fatos. Esta objetividade significa impedir a interferência de valores subjetivos na análise, por meio da obtenção de fatos, cálculo das probabilidades e extração de respostas. Assim, esse seria o método ideal para uma análise de risco. Porém, a incorporação de dimensões subjetivas, criando uma interação proveitosa entre as ciências quantitativas e qualitativas também é importante, já que o ambiente não se comporta de forma linear como nas ciências exatas.

Desta forma este documento pretende apresentar e discutir diferentes formas de desenvolver previsões e análises de risco de bioinvasões, considerando métodos mais focados na objetividade e outros mais focados na subjetividade, evidenciando a importância de um equilíbrio entre estas metodologias.

Não é por acaso que existem poucos trabalhos de pesquisa na área da prevenção de bioinvasões, já que é um campo ainda repleto de incertezas e com um grande número de variáveis a serem analisadas onde, em muitos casos, é difícil estabelecer as correlações entre estas variáveis e seus possíveis resultados.

As dificuldades em estabelecer uma análise estatística confiável somam-se ao fato de haver uma responsabilidade e um risco muito grande para o pesquisador ao tentar extrapolar estes dados para a realidade. Estas incertezas também geram uma falta de credibilidade nos resultados alcançados.

A modelagem é uma ferramenta de grande importância nos trabalhos de prevenção. Porém, ela também apresenta grandes limitações. Segundo Giacomini (2007) a tradição histórica da modelagem na ecologia é marcada pela perseguição de um ideal representado pelos modelos da Física. Não é de se surpreender, dada a relativa simplicidade dos modelos físicos, seu histórico mais antigo, e seu incomparável poder de previsão e generalização.

A Ecologia, assim como outros ramos da ciência, tem se dedicado incansavelmente à utilização de métodos quantitativos e modelos matemáticos que expliquem fenômenos de forma objetiva e permitam o conhecimento acerca de regras gerais ou “leis” que governem os sistemas estudados. Tal obsessão, embora louvável, teve como um dos seus efeitos o estabelecimento de uma aparente necessidade por modelos passíveis de solução analítica,

que possam ser usados como provas matemáticas. Tais modelos foram, e continuam sendo, empregados com sucesso na Física. Porém, na Ecologia, a história tem sido um pouco diferente. Sistemas ecológicos não são como os sistemas estudados pelos físicos. Os modelos lineares, por não se aplicarem a muitas das situações não lineares e complexas observadas na natureza, têm falhado em demonstrar dinâmicas realistas e em confirmar a existência de regras gerais. Neste sentido, historicamente, o realismo biológico foi deixado de lado em troca da conveniência matemática (Giacomini, 2007).

Na predição e análise de risco de bioinvasões, várias áreas de pesquisa são sobrepostas e assim, a biologia, a ecologia, a matemática, a física, a geografia, a estatística e outras, devem se somar, construindo uma multidisciplinariedade que deve ser usada como ferramenta maior destes trabalhos.

Ferramentas importantes para trabalhos de predição e análise de risco são a análise dos vetores de dispersão (Belz *et al.*, 2012), com um estudo aprofundado da “causa” (acidental ou intencional), das “rotas” (os caminhos pelos quais a espécie é transportada – corredores de bioinvasão), dos “vetores” (as formas pelas quais a espécie é transportada), do “tempo associado ao vetor” (como os vetores operam no tempo em termos de frequência, duração e período), da “biota associada ao vetor” (descrição da biota associada ao vetor em termos de diversidade, densidade e condição) e da “força do vetor” (número de invasões estabelecidas por meio do vetor em uma região geográfica).

Outra ferramenta importante é a modelagem matemática, que mesmo com as limitações de qualquer modelo, produzem resultados de grande valia. Vinculada à modelagem, a espacialização dos dados de forma objetiva e organizada também é uma ferramenta de grande valia. Neste sentido, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm um importante papel e vários pesquisadores que trabalham com espécies invasoras têm aplicado esta tecnologia a seus dados como Miller & Ignácio (1994) e Haltuch *et al.* (2000).

Além disso, a análise de risco deve acrescentar, em uma mesma interpretação, componentes ambientais, sociais e econômicos, que podem ser divididos em blocos de características semelhantes (Belz & Sebastiany, 2012).

É importante comentar, ainda, que a análise de risco não pode ser aplicada de forma isolada, pois não deve ser a única estratégia de contenção de introdução de espécies invasoras. Vale destacar aqui a importância de programas de prevenção, controle e erradicação de espécies exóticas como ferramentas de monitoramento e avaliações periódicas.

Vale ressaltar também que as análises de risco não são estáticas e nem produtos fixos, podendo estar sujeitas a modificações de informações conforme dados sobre alterações ambientais e novas descobertas sobre as características biológicas e ecológicas das espécies sejam descobertos.

Segundo Bonford e Glover (2004), os impactos potenciais de peixes exóticos podem ser classificados em três categorias principais:

1. Impactos ambientais, como a redução da biodiversidade, inclusive de espécies em ameaçadas, levando a sua extinção, assim como a desestabilização do ecossistema.

2. Impactos econômicos, como a redução da produtividade agrícola ou pesqueira, com aumento dos custos de produção, custos do controle de danos e de efeitos do comércio.

3. Impactos sociais e políticos, como danos estéticos, preocupações dos consumidores e repercussões políticas.

#### 4 Diretrizes internacionais

A análise de risco inclui a avaliação de risco (processo pelo qual são avaliadas as evidências biológicas ou outras evidências científicas e econômicas para determinar se uma espécie exótica se tornará invasora) e o gerenciamento de riscos (avaliação e seleção de estratégias para reduzir o risco de introdução e disseminação de uma espécie invasora) (Genovesi et al., 2010). Para uma análise eficiente, normativas foram desenvolvidas para assegurar a eficácia destas avaliações.

Os principais acordos internacionais relacionados aos riscos associados à importação de animais vivos são a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB); Convenção Internacional de Proteção de Plantas (IPPC); Organização Mundial de Saúde Animal (OIE); e Organização Mundial do Comércio (OMC) (CBD, 2010). Uma nação deve ser uma Parte no acordo para a aplicação dos regulamentos.

##### 4.1 CDB - Convenção sobre Diversidade Biológica

De acordo com CDB (2010), O Artigo oitavo da CDB declara que “Cada Parte contratante deve Impedir que se introduzam, controlar ou erradicar espécies exóticas que ameacem os ecossistemas, habitats ou espécies. Os artigos da CDB são legalmente vinculados para as partes. As partes deverão traduzir este artigo na legislação nacional para impedir a introdução de espécies exóticas.

## 4.2 OIE – Organização Mundial de Saúde Animal

A OIE é um órgão de referência da OMC quanto aos padrões relacionados à saúde animal e zoonoses, atuando na atualização destes padrões frente aos avanços científicos, com base em procedimentos transparentes e democráticos.

Independentemente de serem importados animais terrestres ou aquáticos, os princípios da avaliação de riscos da entrada de uma espécie em um país tem a mesma fundamentação teórica. A padronização destas avaliações, sua calibração e consolidação se se faz necessária para que a análise seja eficaz.

OIE – A Organização Mundial da Saúde Animal, sediada em Paris, define padrões e recomendações para a saúde animal e zoonoses. Editado pela OIE, o “*Handbook on import risk analysis for animals and animal products*” (Murray 2004a, 2004b) se destina a análise de risco de animais e produtos animais, sendo apresentado em dois volumes, o primeiro aborda métodos qualitativos e o segundo métodos quantitativos. A OIE também desenvolveu códigos referentes a saúde animal e zoonoses de animais terrestres (OIE, 2019a) e aquáticos (OIE, 2019b), assim como métodos para a avaliação e classificação de riscos sanitários relacionados a entrada de animais em um determinado país. Os riscos avaliados conforme os códigos da OIE são representados por doenças ou infecções.

A OIE tem como objetivo principal, por meio da análise de risco de importação, fornecer aos países importadores um método objetivo e defensável de avaliar os riscos de doenças associados à importação de animais aquáticos, produtos de animais aquáticos, material genético de animais aquáticos, alimentos para animais, produtos biológicos e material patológico (OIE, 2016). A análise de risco neste caso não se destina a avaliar o risco de invasão de uma espécie a ser importada, sendo os critérios predominantemente sanitários e não ecológicos.

O país exportador deve receber razões claras e objetivas para a imposição de condições de importação ou indeferimento. Portanto, o processo deve ser transparente e rastreável, para que se possa distinguir entre fatos e julgamentos de valor (OIE, 2016).

## 4.3 FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) é uma organização em âmbito mundial de referência na área de alimentos, que trata de temas

como aditivos, resíduos de remédios veterinários e defensivos agrícolas em alimentos, assim como contaminantes e higiene, entre outros aspectos. O órgão define padrões e recomendações para o setor de alimentos, agricultura e pecuária.

No âmbito do tema tratado neste documento, a principal diretriz da FAO relacionada a espécies invasoras, embora não diretamente direcionada, consiste na análise de risco de pragas (ARP), a qual fornece fundamentos para as medidas fitossanitárias para uma área de A análise de risco de pragas, inicialmente determina se a espécie avaliada é uma praga e se o resultado for positivo, avalia a probabilidade de introdução, disseminação, magnitude dos danos em uma dada área, por meio de um protocolo que considera evidências científicas e econômicas. Para pragas que apresentem risco inaceitável, são sugeridas estratégias de manejo para a diminuição do risco, as quais podem resultar em regulações fitossanitárias (FAO, 2007).

O processo de análise de risco de pragas pode ser utilizado para avaliar organismos não reconhecidos previamente como pragas (tais como plantas, agentes de controle biológico ou outros organismos benéficos, organismos vivos modificados), pragas reconhecidas, vias de ingresso e revisão de políticas fitossanitárias. Envolve criteriosa coleta de informações, documentação, incerteza e a consistência consiste em três Fases (FAO, 2007):

Etapa 1: determinar se o organismo em avaliação é uma praga, definir a área de abrangência geográfica da avaliação de risco, avaliar a existência de avaliações prévias para o organismo alvo e conclusão;

Etapa 2: análise de risco, enquadramento da praga como quarentenária ou não praga, avaliada sua introdução e disseminação; identificação da área em perigo e avaliar a probabilidade de introdução e disseminação de pragas quarentenárias; avaliar se plantas para plantio são ou serão a principal fonte de infestação de pragas não quarentenárias, em comparação a outras fontes de infestação; avaliação de impactos econômicos; de impactos econômicos e ambientais de pragas quarentenárias; avaliação de impactos econômicos potenciais de pragas não quarentenárias, associados ao uso proposto das plantas para plantio na área (incluindo análise de limiares de infestação e nível de tolerância); conclusão

Etapa 3: Esta etapa definirá quais medidas fitossanitárias apropriadas estão disponíveis e ou são viáveis para reduzir o risco identificado a um limiar aceitável, além de considerar a relação custo-benefício das medidas. O risco identificado será comunicado na forma de um processo interativo entre Organização Nacional de Proteção Fitossanitária e as partes interessadas.

#### 4.4 Acordo da OMC sobre a Aplicação de Medidas Sanitárias e Fitossanitárias (Acordo SPS).

O Acordo SPS orienta os membros da OMC a utilizar padrões, diretrizes e recomendações internacionais, quando existentes, para estabelecer suas medidas sanitárias. As medidas do acordo devem ser obrigatoriamente fundamentadas em uma avaliação de risco apropriada às circunstâncias ou extraída de padrões desenvolvidos pela OIE ou pelo IPPC, sendo estritamente destinadas à proteção da vida ou a saúde humana, animal ou vegetal, com base em fundamentação científica. Além disso, não podem consistir em uma restrição arbitrária ou injustificadamente disfarçada ao comércio.

Uma medida SPS é aplicada para proteger a vida ou a saúde humana, animal ou vegetal dos riscos de biossegurança decorrentes de pragas ou doenças ou para limitar o impacto econômico e ambiental. Compreendem legislações, requisitos ou procedimentos que podem afetar direta ou indiretamente o comércio internacional. Um dos requisitos é a análise de risco de pragas ou doenças. A avaliação de risco consiste em avaliar a probabilidade de entrada, estabelecimento ou disseminação de uma praga ou doença em um país ou território, importador, membro da OMC, de acordo com as medidas SPS que podem ser aplicadas e as potenciais consequências biológicas e econômicas associadas (OMC, 1995).

A transparência é um requisito fundamental a ser atendido pelo Acordo SPS, sendo os membros da OMC obrigados a notificar outros membros a respeito das regulamentações sanitárias ou fitossanitárias propostas, ou alterações naquelas existentes, que não sejam congruentes com um padrão internacional, surtindo em efeito significativo no comércio de outros membros da OMC.

## 5 Modelos adotados em outros países

Simons e DePoorter (2009), ressaltaram oito temas-chave decisivos para uma adequada triagem e avaliação de risco prévia a importação de animais vivos no comércio internacional: 1) Avaliação de riscos e tomada de decisão; 2) Progressão da invasão biológica e abordagem de avaliação de risco; 3) Conceitos e ferramentas técnicas para avaliação de riscos; 4) Lacunas no quadro regulatório internacional; 5) Implementação nacional, abordagens estratégicas, capacidade. 6) Avaliações de risco subnacionais e regionais; 7) Conscientização e envolvimento das partes interessadas e 8) Requisitos de informação e compartilhamento. A avaliação de risco consiste em apenas um destes itens,

sendo necessário além do desenvolvimento de modelos, assegurar que sejam aplicados, com regulamentação jurídica, resultando num processo claro, cientificamente embasado e transparente.

Diferentes modelos de análise de risco foram desenvolvidos para a tomada de decisão quanto a importação de animais. Nesta seção é apresentada uma breve revisão sobre modelos desenvolvidos por instituições de pesquisas e órgãos governamentais, sendo alguns adotados em processos de avaliação de riscos de importação de espécies por membros da OMC.

## 5.1 Austrália

Na Austrália, atualmente, o órgão governamental responsável pela análise de risco de importação de animais exóticos é o Departamento de Agricultura. Este órgão desenvolve políticas que permitem a importação segura de animais exóticos, inclusive de material genético e outros produtos de origem animal, com base em análises de risco de biossegurança, levando em consideração as obrigações internacionais da Austrália firmadas com o Acordo da Organização Mundial do Comércio (OMC) sobre a aplicação de medidas sanitárias e fitossanitárias (Acordo SPS), Convenção Internacional de Proteção Fitossanitária (IPPC), Organização Mundial de Saúde Animal (OIE) e Organização Mundial da Saúde (OMS). Estas políticas são atualizadas com base em avanços científicos sobre o tema, assim como na alteração da distribuição geográfica de doenças.

A comunicação das partes interessadas é realizada com base em Avisos de biossegurança e por meio da disponibilização de todas as informações referentes ao processo de análise de risco e um portal *on line*, chamado Condições de Importação de Biossegurança da Austrália (BICON), onde as partes interessadas podem se registrar. Neste site é possível buscar informações referentes às condições de importação, utilizando palavras chaves, uma categoria taxonômica (ordem a espécie) ou um código tarifário.

No final da década de 1990, um protocolo intitulado *Import Risk Analysis on Non-viable Salmonids and Non-salmonid Marine Finfish* foi desenvolvido pelo Australian Quarantine and Inspection Service (AQIS, 1999) para cumprir com obrigações referentes à aplicação de medidas sanitárias e fitossanitárias (Acordo SPS), a pedido da OMC, especialmente destinado a avaliação de risco de doenças.

Posteriormente, um modelo de análise de risco de importação de peixes exóticos marinhos e estuarinos foi desenvolvido por Bonford e Glover (2004) para o *Department of Environment and Heritage*, o qual foi extinto em 2007 e substituído pelo *Department of the Environment and Water Resources*. Os autores fizeram uma revisão sobre impactos relacionados aos peixes exóticos na Austrália e concluíram que há escassez de conhecimento científico apropriado referente aos fatores relacionados aos impactos de peixes exóticos que subsidiem o desenvolvimento de modelos quantitativos de avaliação de riscos. No entanto, identificaram uma série dos fatores relacionados às espécies de peixes exóticos, que indicam um certo grau de risco de impactos da introdução, os quais listados a seguir:

- a) causaram impactos adversos em outros locais;
- b) apresentam estratégias comportamentais e ecológicas semelhantes com espécies filogeneticamente relacionadas, que causam impactos em outros lugares;
- c) possuem hábito alimentar generalista;
- d) pertencem a guilda piscívora;
- e) alteram ou causam danos à vegetação aquática
- f) agitam os sedimentos, aumentando a turbidez
- g) tem potencial de causar lesões físicas em outras espécies;
- h) vetores de doenças ou parasitas até então ausentes na Austrália;
- i) têm parentes próximos entre os peixes endêmicos da Austrália
- j) apresenta histórico de rápida dispersão logo após a sua introdução em novos ambientes;
- k) ocorre em áreas com correspondência climática com a Austrália;

Apesar dos fatores identificados, nem sempre estas informações estão disponíveis. Desta forma, o modelo desenvolvido por Bonford e Glover (2004) teve como base os seguintes fatores:

- (i) Número de eventos de introdução: o número de introduções bem-sucedidas conhecidas das espécies em todo o mundo, expressas como uma proporção do número total de introduções – de acordo com o Fishbase (2004), excluindo a Austrália.
- (ii) Correspondência climática: as correspondências climáticas foram calculadas no CLIMATE a partir das distribuições de espécies no Fishbase (2004) excluindo faixas australianas.
- (iii) História do estabelecimento de populações exóticas em outros lugares;

- (iv) Tamanho da área de distribuição geográfica no exterior: o tamanho da área de distribuição geográfica no exterior foi obtido mediante o número de primeira latitude pela primeira quadricula de longitude em que uma ocorrência da espécie é registrada no Fishbase (2004), excluindo a Austrália.
- (v) Grupo taxonômico: taxas de sucesso para introduções mundiais em nível de família ou gênero da espécie em avaliação, indicando assim um componente filogenético potencial de risco da espécie alvo da avaliação. Escore de risco de gênero com base na proporção de introduções bem-sucedidas registradas mundialmente para todas as espécies do mesmo gênero que as espécies avaliadas. Escore de risco da família segue o mesmo princípio.

Posteriormente, Bonford (2006) refinou e recalibrou os modelos propostos anteriormente para vertebrados, inclusive peixes de água-doce

O documento Biosecurity Import Risk Analysis Guidelines (BIRA) publicado pelo Department of Agriculture and Water Resource (2016) descrevem o processo seguido pelo governo australiano relativo à análise de risco de importação. O risco é determinado pela combinação da probabilidade de entrada, estabelecimento e disseminação de uma doença ou praga. Esses dois componentes de probabilidade e consequência são combinados para fornecer uma estimativa dos riscos de cada doença ou praga associada a um bem importado e se esses riscos atendem as regulamentações australianas denominadas ALOP (Australia's appropriate level of protection); ou se forem necessárias medidas sanitárias ou fitossanitárias. O BIRA deve ser conduzido quando as medidas de gerenciamento de riscos não foram estabelecidas ou existem medidas baseadas nas probabilidades e consequências da entrada, estabelecimento ou disseminação em avaliações pretéritas.

## 5.2 Inglaterra e outros países europeus

Verbrugge, et al. (2012) destaca que apesar de terem sido desenvolvidos padrões de avaliação de risco pela Organização Europeia e Mediterrânea de Proteção de Plantas (EPPO), servindo de modelo para adaptação ou desenvolvimento de novos protocolos de avaliação de riscos, os instrumentos regulatórios para os estados membros da União Europeia não são uniformes, muitas vezes sem vinculativa jurídica.

Na Europa, o Reino Unido é referência em análise de risco, sendo o CEFAS (Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science), a instituição governamental que atua em pesquisa, consultoria, monitoramento e treinamento nesta área. O CEFAS é uma agência executiva do DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs), que exerce importante papel na análise de risco, possuindo uma equipe de pesquisadores especializada no desenvolvimento e aprimoramento de *kits* de análises de risco de

organismos marinhos e de água doce, auxiliando na tomada de decisão de solicitações de importação no Reino Unido. Dentre as contribuições desta equipe, destaca-se o trabalho pioneiro de Copp et al. (2009), que adaptaram um protocolo de avaliação de riscos, originalmente desenvolvido para ervas daninhas (WRA) da Austrália e Nova Zelândia por Pheloung et al. (1999), para peixes de água doce (Kit de Pontuação de Invasão de Peixe, FISK) e aplicou os procedimentos de calibração utilizados por Gordon et al. (2008) para determinar a pontuação limiar entre risco médio e alto.

O processo de análise de risco no Reino Unido até a década de 2010 consistia em duas etapas básicas: a primeira consistia numa avaliação preliminar abrangendo 14 perguntas para determinar a necessidade de uma avaliação detalhada; já a segunda consistia em uma avaliação mais detalhada por meio de 51 perguntas para determinar potencial de entrada e estabelecimento de uma espécie, sua capacidade de dispersão, assim como os impactos econômicos, ambientais, sociais e na saúde humana, além de módulos adicionais permitem identificar atributos invasivos, caminhos de introdução, vulnerabilidade dos receptores, quantificar impactos econômicos, resumir riscos e incertezas, assim como selecionar opções de gerenciamento (Verbrugge et al., 2010).

Oito tópicos são considerados nas perguntas do FI-ISK (Tricarico et al., 2010):

- I. Cultivo: a espécie é adaptada para fins de aquacultura ou ornamental?
- II. Clima / distribuição: a tolerância reprodutiva das espécies é adequada ao clima na área de avaliação do risco?
- III. Atributos invasivos: em sua faixa naturalizada há impactos em estuários, águas costeiras ou valor natural?
- IV. Características indesejáveis: representa um risco para a saúde humana? É um potencial competidor com espécies nativas?
- V. Alimentação: A espécie é um predador voraz? É planctívora ou detritívora?)
- VI. Reprodução: Poderá ocorrer hibridização natural com espécies nativas? A espécie é altamente fecunda, iteropátrica ou tem uma estação de desova prolongada?)
- VII. Dispersão: A espécie apresenta estágios de vida susceptíveis de serem dispersos involuntariamente? Os adultos são conhecidos como migradores?
- VIII. Atributos de persistência: A espécie é tolerante a uma ampla gama de condições de qualidade da água, especialmente depleção de oxigênio e alta temperatura? As espécies possuem inimigos naturais eficazes na área potencial de invasão?

Novas versões deste *kit* foram adaptadas para anfíbios, para peixes e invertebrados marinhos, e também para invertebrados de água doce, sendo publicadas no site do CEFAS

([www.cefas.co.uk](http://www.cefas.co.uk)): Freshwater Fish Invasiveness Scoring Kit (FISK), Marine Fish Invasiveness Scoring Kit (MFISK), Marine Invertebrate Invasiveness Scoring Kit (MI-ISK), Freshwater Invertebrate Invasiveness Scoring Kit (FI-ISK), Amphibian Invasiveness Scoring Kit (AmphISK) (Simons e DePoorter, 2009). No entanto, tais versões infelizmente não estão mais disponíveis para download.

O risco de invasão de lagostins não nativos das famílias Astacidae, Cambaridae, Parastacidae) foi avaliado por Tricarico et al. (2010), que obtiveram o limiar estatístico de  $\geq 16$  para diferenciar espécies de alto e médio risco.

Em contraponto a tendência anterior de realizar avaliações de risco com ferramentas específicas para cada grupo taxonômico, uma ferramenta unificada para qualquer táxon foi desenvolvida e atualizada ao cenário de mudanças climáticas. O Aquatic Species Invasiveness Screening Kit (AS-ISK), também adaptado de Pheloung et al. (1999) por Copp et al. (2016), substituiu cinco dos kits pretéritos, os quais foram desenvolvidos especificamente para peixes de água doce e marinhos e invertebrados desenvolvidos anteriormente, FISK, MFISK, FI-ISK, MI-ISK. Nesta versão foram incorporadas perguntas e orientações do módulo genérico de triagem de riscos do Esquema Europeu de Análise de Riscos de Espécies Não-Nativas (ENSARS) em um único aplicativo, aplicável a todas as zonas climáticas, todos os ambientes aquáticos plantas e animais, independentemente do ecossistema (água marinha, fresca e salobra) Um total de 49 perguntas básicas sobre os traços biogeográficos e históricos e suas interações biológicas e ecológicas. Uma das inovações desta ferramenta consiste em uma seção adicional contendo um total de seis perguntas, a qual permite que o avaliador preveja como um cenário de mudanças climáticas poderia influenciar os riscos de introdução, estabelecimento, dispersão e impacto de uma espécie.

O modelo inglês foi amplamente utilizado no resto da Europa. A calibração do FISK para um país do norte da Europa, onde as temperaturas médias estão entre as mais baixas do continente foi realizada por Puntila et al. (2013). A área de risco compreendeu o sul da Finlândia. O limiar entre risco "médio" e "alto" foi (22,5) encontrado pelos autores foi muito elevado quando comparado ao original para o Reino Unido (19), o que demonstra que esta ferramenta requer calibração adequada para que se possa avaliar em áreas geográficas distintas.

O risco de estabelecimento de 27 espécies de lagostins amplamente comercializadas na República Tcheca foi avaliado por Patoka et al. (2014), por meio do Kit de Pontuação de Invasividade de Invertebrados de Água Doce desenvolvido pelos ingleses. Destas, cinco espécies foram categorizadas como de alto risco, sendo a maior pontuação para o *Procambarus fallax f. virginialis*. Os autores verificaram que os lagostins nativos da América do Norte apresentaram risco significativamente maior do que a de

lagostins provenientes de outras partes do mundo e salientam a necessidade regulamentação para a comercialização destes organismos na República Tcheca.

Piria et al. (2016), avaliou o risco de o potencial de invasão de 40 espécies de peixes de água doce introduzidas e translocadas para a Croácia e Eslovênia mediante o Kit FISK versão 2, obtendo um limiar de calibração estatisticamente significativo de 11,75, o qual permitiu discriminar as espécies exóticas que representam risco de serem invasivas e aquelas que apresentavam um risco médio ou baixo de invasividade. Das 40 espécies avaliadas pelos autores 33 foram enquadradas em 'alto risco'. A ferramenta foi considerada válida para avaliar os riscos de introduções tanto na Croácia e como Eslovênia.

O risco invasão de peixes exóticos marinhos na costa sudoeste da Anatólia na Turquia, migrantes do Mar Vermelho para o leste do Mediterrâneo através do Canal de Suez, foi avaliado por Bilge et al. (2019), para 45 espécies, por meio do Kit de Triagem de Espécies Aquáticas (AS-ISK). Foram identificados limiares de 18,5 para avaliação básica de riscos e 29,5 e para a avaliação com base em cenários de mudanças climáticas, permitindo classificar 14 espécies como de alto risco e 28 como risco médio. Outra avaliação (Tarkan et al., 2014) compreendeu 35 espécies de peixes não nativos e translocados introduzidos na Turquia (Anatólia e Trácia), resultando num limiar de 23, que distinguiu com confiabilidade peixes potencialmente invasivos (alto risco) e potencialmente não invasivos (risco médio a baixo) para Anatólia (Ásia) e Trácia ( Europa).

Após ser aplicado para avaliar o risco de invasão de grandes áreas, como um país, o FISK foi utilizado por Ferincz et al. (2016) para avaliar o risco de invasão de peixes de água doce não nativos na bacia de drenagem do Lago Balaton, na Hungria. A calibração revelou um limiar de 11.4, para distinguir espécies com 'alto risco' de invasão de espécies classificadas como 'risco médio'.

### 5.3 Brasil

No Brasil, as ferramentas inglesas de análise de risco estão sendo utilizadas em nível acadêmico. Visando avaliar o potencial de invasão de *Procambarus clarkii* no Brasil, com registros no Estado de São Paulo, Loureiro et al. (2013) categorizou esta espécie usando o Kit de Pontuação de Invasibilidade de Invertebrados de Água Doce (Tricarico et al., 2010). A avaliação de risco realizada neste estudo revelou a alta capacidade de *P. clarkii* para estabelecer com sucesso populações e se tornar invasivo no Brasil. Mediante a avaliação, atingiu 41 pontos, o que indica um risco muito alto de invasão de outros ecossistemas aquáticos continentais brasileiros, embora hoje esteja restrita ao estado de São Paulo.

Com a finalidade de fundamentar decisões dos gestores públicos quanto espécies exóticas de interesse na aquicultura, especialmente na região costeira do Estado do Rio Grande do Sul, Troca & Vieira (2012) classificaram o potencial invasor das espécies exóticas cultivadas na região mediante a aplicação do protocolo Fish Invasiveness Screening Kit – FISK. Os autores constataram que *Ctenopharyngodon idella*, *Cyprinus carpio*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *H. nobilis*, *Ictalurus punctatus* e *Oreochromis niloticus* apresentaram alto potencial invasor (pontuação entre 22 e 38), enquanto *Pseudoplatystoma fasciatum*, *P. corruscans*, *Piaractus mesopotamicus* e *Hoplias lacerdae* apresentaram médio potencial invasor (pontuação entre 9 e 15).

#### 5.4 México

Mendoza et al. (2015), avaliou cerca de 368 espécies de peixes de aquário de água doce comumente importadas e produzidas no México, primeiramente por meio de consulta a relatórios e bases de dados sobre espécies invasoras, sendo que destas, 30 foram submetidas à análise de risco usando o Fish Invasiveness Screening Kit (FISK). O resultado apontou para um total de 17 espécies classificadas em categoria de alto risco, especialmente espécies dos gêneros *Xiphophorus*, *Pterygoplichthys* e *Poecilia*, em sua maioria com representantes nativos da Ásia, América Central e do Sul, algumas com histórico de invasão no México.

#### 5.5 Modelo de Análise de Risco Adotado

Conhecido o fato de que a maioria das espécies invasoras dificilmente são erradicáveis dos ecossistemas, o trabalho menos custoso e mais eficaz é o da prevenção ou da diminuição da capacidade de dispersão destas espécies. Impedir a entrada de uma nova espécie invasora ou retardar sua dispersão é possível e desejável, ainda que somente para dispor de mais tempo para que possam surgir métodos e opções de combate mais eficazes que os disponíveis atualmente.

Dentro da planificação de possíveis medidas de prevenção e controle de expansão de espécies, ter à disposição uma ferramenta capaz de identificar o potencial invasor de uma espécie e o grau de vulnerabilidade de um determinado ambiente a ser colonizado é de grande relevância. Com isto, há a possibilidade de detectar as zonas mais sensíveis, permitindo assim focalizar a atenção e os esforços.

O modelo que será analisado e calibrado neste trabalho foi desenvolvido por pesquisadores brasileiros e apresentado na “Oficina de avaliação de risco de introdução de

peixes e invertebrados aquáticos no Brasil.” Realizada de 22 a 25 de outubro de 2018. Durante a oficina, vários pesquisadores convidados discutiram e deram sugestões para melhoria deste modelo proposto. Mas ficou clara a necessidade de aplicar o modelo para mais espécies para efetuar sua calibração.

#### 1.1.1 Âmbito de aplicação

Quando se desenvolve uma análise de risco para espécies invasoras, vários enfoques podem ser dados. Pode-se focar no risco de introdução da espécie, no risco analisado de forma mais abrangente, contemplando as consequências da introdução da espécie, etc. Porém, neste trabalho, o método procura identificar o potencial de risco da espécie se tornar invasora, após ter sido introduzida no ambiente. O método foi desenvolvido para espécies de invertebrados marinhos e dulcícolas e para peixes. Porém com pequenos ajustes e alterações nas questões formuladas, o modelo também poderia ser aplicado para outras análises de risco, como por exemplo, a análise de risco de dispersão de uma determinada espécie após já ter se tornado invasora em um determinado ecossistema.

#### 1.1.2 Desenho de componentes

Para o desenho do índice, foi priorizada ao máximo a utilização de parâmetros e variáveis cujos dados pudessem ser obtidos com relativa facilidade e que pudessem ser quantificados de forma rápida e precisa. O índice tem uma estrutura múltipla, integrada por blocos de temas específicos. Cada bloco possui um número determinado de perguntas, que podem ter as respostas positiva, negativa ou indefinida. Para cada uma destas respostas é atribuído um peso. Ao final estes pesos são somados, gerando o índice final.

O modelo foi desenvolvido para que qualquer técnico consiga respondê-lo. Para isso não é necessário um conhecimento prévio sobre a espécie, mas todas as respostas têm que ser baseadas em dados científicos e nunca em dados presumíveis. Desta forma, é aconselhável que para cada resposta se tenha pelo menos três referências de artigos científicos que sustentem a afirmação. Em caso de não se encontrar referências, a resposta será “indefinido” e por medida de precaução, esta resposta também terá um peso, sendo que para que o modelo tenha validade é necessário que acima de 80% das perguntas sejam respondidas.

A criação do modelo e a definição dos critérios baseou-se no trabalho de Copp et al, (2005), que estabeleceu parâmetros para análise de risco de espécies de peixes invasores.

### 1.1.3 Modelo de Análise de Risco para Invertebrados Marinhos e Dulcícolas

O índice para invertebrados tem uma estrutura múltipla, integrada por quatro blocos: Bloco 1 - Características biológicas e ecológicas. Bloco 2 - Aspectos biogeográficos. Bloco 3 - Aspectos sociais e econômicos. Bloco 4 - Características potencializadoras de risco. Cada bloco ainda é dividido em grupos, de acordo com características semelhantes. Assim, o bloco 1 é dividido em três grupos (mecanismos reprodutivos, interações ecológicas e ecofisiologia), o bloco 2 tem um grupo (distribuição e histórico), o bloco 3 tem dois grupos (importância econômica do táxon e impactos em atividades sociais, de recreação e/ou turismo) e o bloco 4 tem quatro grupos (contaminação por patógenos e parasitas, atributos de persistência, uso e comércio e ambiente receptor).

Cada grupo é composto de perguntas cujas respostas podem ser sim, não ou desconhecido, totalizando 44 questões. O peso de cada resposta varia de acordo com cada questão. O peso de cada pergunta foi considerado a partir de uma escala de zero a dez pontos e o resultado pode variar entre 0-157 pontos.

#### BLOCO 1 – CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS E ECOLÓGICAS:

Este bloco refere-se aos aspectos biológicos e ecológicos da espécie analisada e é composto pelas questões descritas no (Quadro I), com seus pesos correspondentes.

Quadro I - Bloco 1 – Características biológicas e ecológicas: questões e pontuação referente a análise de risco para invertebrados.

	Grupos	Códigos	Questões	Pesos		
				Sim	Não	Desconhecido
Bloco 1	Mecanismo Reprodutivo	1.01	O táxon é capaz de realizar fragmentação e/ou reprodução assexuada?	3	0	1.5
		1.02	O táxon é hermafrodita?	1	0	0.5
		1.03	O táxon faz incubação da prole?	1	0	0.5
		1.04	O táxon apresenta reprodução sexuada múltiplas vezes ao longo do ano?	5	0	2.5
		1.05	O táxon possui grande capacidade natural de dispersão, levando em conta a dispersão larval e migrações?	5	0	2.5
	Interação Ecológica	2.01	O táxon é onívoro ou generalista e/ou oportunista (come mais de um item alimentar)?	5	0	2.5
		2.02	O táxon defende os recursos (ninho ou alimento) e/ou seu território?	1	0	0.5
		2.03	O táxon forma agregados ou colônias de grande extensão?	1	0	0.5
		2.04	O táxon possui mecanismos de defesa contra predação?	1	0	0.5
		2.05	O táxon é predador ou competidor agressivo?	3	0	1.5
		2.06	O táxon não tem inimigos naturais no Brasil?	1	0	0.5
		2.07	O táxon não depende de outro organismo em qualquer momento do ciclo de vida?	1	0	0.5
		2.08	O táxon mantém associações com outros organismos epibiontes e/ou endobiontes?	1	0	0.5
	Ecofisiologia	3.01	O táxon (em qualquer estágio de vida) é bastante resistente ao transporte?	5	0	2.5
		3.02	O táxon é capaz de viver em ambientes com grandes variações de temperatura?	5	0	2.5
3.03		O táxon é capaz de viver em ambientes com grandes variações de salinidade para águas marinhas ou pH para águas continentais?	3	0	1.5	

Este bloco compreende as seguintes questões:

Questão 1.01 – O táxon é capaz de realizar fragmentação e/ou reprodução assexuada?

A reprodução é uma peça chave para que uma espécie se torne invasora. Os diferentes tipos de reprodução assexuada como fragmentação, gemulação, regeneração, possibilitam que uma espécie se reproduza mesmo sem a presença de um parceiro. Isto aumenta o risco desta espécie se tornar invasora.

Questão 1.02 – O táxon é hermafrodita?

No hermafroditismo, não são necessários parceiros de sexos opostos para se reproduzirem. Ou seja, apenas um indivíduo sozinho pode gerar descendentes, tornando esta espécie mais apta a se reproduzir em um novo ambiente, aumentando seu potencial invasor.

Questão 1.03 – O táxon faz incubação da prole?

A incubação de ovos ou esporos torna a espécie mais resistente a situações adversas do meio, tornando a espécie mais apta a se adaptar a diferentes situações e aumentando seu potencial invasor.

Questão 1.04 – O táxon apresenta reprodução sexuada múltiplas vezes ao longo do ano?

Uma espécie que se reproduz de forma contínua ao longo do ano produz mais descendentes e com isso aumenta as chances de sobrevivência e dispersão no meio, aumentando seu potencial invasor. Pressão de propágulos - um dos fatores que explica invasões biológicas de forma consistente. Quanto maior o número de eventos de introdução e maior o número de propágulos, maiores as oportunidades de adaptação e invasão. Esta questão tem alta relevância na análise.

Questão 1.05 – O táxon possui grande capacidade natural de dispersão, levando em conta a dispersão larval e migrações?

Espécies com maior capacidade de dispersão, como por exemplo espécies que possuem parte de seu ciclo de vida planctônico, possuem maior chance de chegar a outros ambientes e assim colonizar diferentes ambientes, aumentando seu potencial invasor.

Questão 2.01 – O táxon é onívoro ou generalista e/ou oportunista (come mais de um item alimentar)?

Espécies que consomem mais de um tipo de alimento tem maior facilidade de adaptação a condições ambientais e, portanto, vantagens adaptativas quando introduzidas a novos ambientes.

Questão 2.02 – O táxon defende os recursos (ninho ou alimento) e/ou seu território?

Registro de comportamento agressivo do táxon, seja referente à defesa de ninhos, se os constroem, ou ao território ocupado. Essa capacidade aumenta as chances de sobrevivência do táxon num ambiente novo e contribui para o risco.

Questão 2.03 – O táxon forma agregados ou colônias de grande extensão?

A formação de agregados ou colônias aumenta o impacto de uma invasão biológica em função da dominância do espaço e de sítios importantes para outras espécies. Em função de ser característica comum a muitas espécies, a pontuação é baixa.

Questão 2.04 – O táxon possui mecanismos de defesa contra predação?

Espécies pouco predadas tem maiores chances de sobreviver e se estabelecer em um novo ambiente, aumentando assim seu potencial invasor.

Questão 2.05 – O táxon é predador ou competidor agressivo?

Espécies predadoras ou competidoras agressivas podem causar mais impactos no ambiente onde forem introduzidas, aumentando assim seu potencial invasor e sua chance de sobrevivência no ambiente.

Questão 2.06 – O táxon não tem inimigos naturais no Brasil?

Neste caso, se a resposta for positiva e o táxon não apresentar inimigos naturais o risco é maior, pois sem inimigos naturais a espécie tem uma maior chance de sobreviver e se estabelecer no ambiente. Como é difícil não ter nenhum inimigo natural, a pontuação é baixa.

Questão 2.07 – O táxon não depende de outro organismo em qualquer momento do ciclo de vida?

Um táxon que não depende de outros para sobreviver, como em casos de simbiose ou parasitismo, tem mais chances de sobreviver em um novo ambiente, aumentando seu potencial invasor.

Questão 2.08 – O táxon mantém associações com outros organismos epibiontes e/ou endobiontes?

Com associações entre espécies, o táxon pode ser introduzido e se tornar invasor com a introdução de outras espécies associadas a ele, aumentando assim o risco de introdução.

Questão 3.01 – O táxon (em qualquer estágio de vida) bastante resiste ao transporte?

Sabemos que muitos dos vetores de introdução e dispersão de espécies invasoras se utilizam da água como meio (água de lastro, água de iscas vivas, aquários, etc.). Caso a espécie resista a este transporte, ela tem um alto potencial invasor. Este item tem uma pontuação elevada.

Questão 3.02 – O táxon é capaz de viver em ambientes com grandes variações de temperatura?

A tolerância a condições variáveis de temperatura confere a espécies a capacidade de sobreviver em condições adversas, sejam de causa antrópica ou natural, aumentando a capacidade de adaptação, as áreas geográficas em que podem ocorrer e o nível de risco à invasão biológica.

Questão 3.03 – O táxon é capaz de viver em ambientes com grandes variações de salinidade para águas marinhas ou pH para águas continentais?

A tolerância a condições variáveis de salinidade confere a espécies a capacidade de sobreviver em condições adversas, sejam de causa antrópica ou natural, aumentando a capacidade de adaptação, as áreas geográficas em que podem ocorrer e o nível de risco à invasão biológica. Esta questão tem uma pontuação menor do que a anterior porque é mais comum existirem espécies com capacidade de tolerar alterações de salinidade (eurialinas).

## BLOCO 2 – ASPECTOS BIOGEOGRÁFICOS

Este bloco refere-se aos aspectos biogeográficos, incluindo dados sobre distribuição da espécie e histórico de dispersão. Neste bloco a questão 4.03 é a mais relevante e que caracteriza a maior pontuação do modelo (Quadro II).

Quadro II - Bloco 2 – Aspectos biogeográficos: questões e pontuação referente a análise de risco para invertebrados.

	Grupos	Códigos	Questões	Pesos		
				Sim	Não	Desconhecido
Bloco 2	Distribuição e histórico	4.01	O táxon apresenta histórico de introduções em algum lugar do mundo?	7	0	2
		4.02	Há registros de que o táxon esteja estabelecido fora de sua área de ocorrência natural?	7	0	2
		4.03	Há registro de que o taxon seja invasor em outros ambientes naturais em algum lugar do mundo?	10	0	5
		4.04	O táxon pode sofrer dispersão pelo deslocamento em associação com outros organismos vivos (peixes, tartarugas, aves, etc)?	1	0	0.5
		4.05	O táxon pode ser disperso pelo deslocamento de substrato não vivo ao qual está associado?	1	0	0.5
		4.06	O táxon tolera ou se beneficia pelo distúrbio ambiental?	3	0	1.5
		4.07	O taxon pode ser encontrado em substratos artificiais na sua região de origem ou em outras áreas onde ele já tenha sido introduzido?	3	0	1,5

Este bloco compreende as seguintes questões:

**Questão 4.01** – O táxon apresenta histórico de introduções em algum lugar do mundo?

O fato de a espécie já ter sido introduzida em outras regiões demonstra que ela está presente em vetores de introdução e pode sobreviver a ultrapassagem desta primeira barreira geográfica, aumentando seu potencial invasor. A resposta “indefinida” neste caso tem um peso menor, pois muitos destes casos de introdução não são facilmente encontrados na literatura científica.

**Questão 4.02** – Há registros de que o táxon esteja estabelecido fora de sua área de ocorrência natural?

Se neste caso, mais do que introduzida, a espécie tem registro de estabelecida em outras regiões, o risco também é elevado, pois demonstra que ela teve a capacidade de ultrapassar não somente a barreira geográfica, mas também a barreira ambiental, sobrevivendo e gerando descendentes no novo ambiente. A resposta “indefinida” neste caso tem um peso menor, pois muitos destes casos de introdução não são facilmente encontrados na literatura científica.

**Questão 4.03** – Há registro de que o taxon seja invasor em outros ambientes naturais em algum lugar do mundo?

O histórico de invasão em outros lugares é o indicador mais consistente do potencial de invasão biológica, pois tende a se repetir em novos ambientes onde o táxon for introduzido. Por isso tem alto valor de pontos na análise de risco.

**Questão 4.04** – O táxon pode sofrer dispersão pelo deslocamento em associação com outros organismos vivos (peixes, tartarugas, aves, etc)?

Neste caso, outros animais podem facilitar a dispersão desta espécie para novos ambientes, aumentando assim seu potencial invasor.

**Questão 4.05** – O táxon pode ser disperso pelo deslocamento do substrato ao qual está associado?

Espécies podem ser dispersas juntamente com o substrato onde vivem. Por exemplo, o transporte de areia para outras regiões pode transportar junto espécies como moluscos bivalves. Neste caso é aumentado o risco de dispersão para novos ambientes, aumentando o potencial invasor da espécie.

**Questão 4.06** – O táxon tolera ou se beneficia pelo distúrbio ambiental?

Espécies que toleram ou se beneficiam de perturbações ambientais tem maiores chances de sobreviver em diferentes ambientes. Dos mais preservados aos mais alterados. Isto é uma característica de muitas espécies invasoras.

**Questão 4.07** – O táxon pode ser encontrado em substratos artificiais na sua região de origem ou em outras áreas onde ele já tenha sido introduzido?

O fato do táxon ser capaz de colonizar substratos artificiais aumenta seu potencial invasor e conseqüentemente seu potencial de risco.

### **BLOCO 3 – ASPECTOS SOCIAIS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS**

Este bloco refere-se aos aspectos sociais, econômicos e ambientais ligados à espécie analisada e é composto pelas questões descritas na (Quadro III), com seus pesos correspondentes.

Quadro III - Bloco 3 – Aspectos sociais, econômicos e ambientais: questões e pontuação referente a análise de risco para invertebrados.

	Grupos	Códigos	Questões	Pesos		
				Sim	Não	Desconhecido
Bloco 3	Importância Econômica do Táxon	5.01	O táxon pode ser (ou é) utilizado na aquicultura (produção em grande escala)?	5	0	2.5
		5.02	O táxon pode ser (ou é) utilizado no aquarofilia?	5	0	2.5
		5.03	O táxon já causou impacto em sistemas econômicos (aquicultura, aquarofilia, turismo, pesca, navegação) na região ou em outras fora de sua distribuição natural?	10	0	2
		5.04	Há ocorrência deste táxon em ambientes próximos aos seus cultivos (ou existem registros de fuga de sistema de cultivo - introdução involuntária)?	7	0	1
	Impacto em Atividades Sociais de recreação e/ou Turismo	6.01	O táxon pode trazer algum prejuízo à saúde pública ou colocar pessoas em risco?	5	0	0.5
		6.02	O táxon é de interesse na atividade de pesca amadora (ex. Isca)?	3	0	1.5
		6.03	Há algum registro de explosões populacionais deste táxon?	7	0	3.5
	Impacto Ambiental	7.01	Este táxon causa algum impacto no ambiente natural onde está estabelecido, fora de sua distribuição natural? (ex. bioturbação e engenharia de ecossistemas)	7	0	3.5
		7.02	Esse táxon modifica o habitat em sua região de origem(engenheiro de ecossistemas, bioturbação, modificação por herbivoria, etc)?	5	0	2.5

Este bloco compreende as seguintes questões:

**Questão 5.01** – O táxon pode ser (ou é) utilizado na aquicultura (produção em escala)?

O fato de a espécie ter um potencial produtivo aumenta seu risco de se tornar invasora porque mais pessoas terão interesse em produzi-la, introduzindo em novas regiões e aumentando sua dispersão.

**Questão 5.02** – O táxon pode ser (ou é) utilizado na aquariofilia?

O número de ocorrências de espécies de invertebrados de aquário em ambientes naturais é crescente e a indústria de animais ornamentais está em franco crescimento. Algumas pessoas despejam o conteúdo de aquários em ambientes externos, gerando riscos a espécies nativas e outros impactos secundários. Espécies usadas tanto na aquariofilia como na aquicultura têm muitas oportunidades de introdução a novos ambientes.

**Questão 5.03** – O táxon já causou impacto em sistemas econômicos (aquicultura, aquariofilia, turismo, pesca, navegação) na região ou em outras fora de sua distribuição natural?

Uma característica das espécies invasoras é de também causar impactos econômicos. Se uma espécie já tem registros destes impactos econômicos isto aumenta seu potencial invasor.

**Questão 5.04** – Há ocorrência deste táxon em ambientes próximos aos seus cultivos (ou existem registros de fuga de sistemas de cultivo - introduções involuntárias)?

No caso de espécies que são cultivadas, se já houve registros de escape destes sistemas de cultivo isto aumenta seu potencial de risco, pois pode ocorrer o mesmo se for introduzida e cultivada em outras regiões.

**Questão 6.01** – O táxon pode trazer algum prejuízo à saúde pública ou colocar pessoas em risco?

Além dos impactos ambientais, uma característica das espécies invasoras é de causar também impactos econômicos e sociais. Problemas de saúde pública são grandes impactos sociais e espécies que possuem este potencial devem ter um alto risco. A resposta “indefinido” porém, não tem um valor muito alto porque faltam informações deste tipo para muitas espécies.

**Questão 6.02** – O táxon é de interesse na atividade de pesca amadora (ex. Isca)?

A pesca esportiva é um importante vetor de introdução e dispersão de espécies. Pescadores com interesse na pesca de uma determinada espécie podem introduzi-la intencionalmente em novas regiões, aumentando sua dispersão. Por isto em caso de resposta positiva, o risco deve ser aumentado.

**Questão 6.03** – Há algum registro de explosões populacionais deste táxon?

Espécies com alto potencial de adaptação e dispersão muitas vezes se aproveitam de condições do meio para expandirem de forma rápida e intensa suas populações. Espécies com este potencial tem maiores chances de se tornarem invasoras.

**Questão 7.01** – Este táxon causa algum impacto no ambiente natural onde está estabelecido, fora de sua distribuição natural? (ex. bioturbação e engenharia de ecossistemas?)

Se o táxon causa impacto sobre espécies nativas, em sua área de ocorrência ou em áreas onde foi introduzido, existe a possibilidade de causar os mesmos impactos ao ser introduzido na região analisada. Por este motivo, se a resposta for sim, isto aumenta o potencial invasor da espécie.

**Questão 7.02** – Esse táxon modifica o habitat em sua região de origem (engenheiro de ecossistemas, bioturbação, modificação por herbivoria, etc)?

No caso da espécie já ter sido introduzida e estar estabelecida em outra região diferente da sua região de origem, se ela causa impacto nesta nova região, independentemente de ser considerada invasora, é porque ela tem potencial para alterar o habitat e conseqüentemente tem um alto potencial invasor.

#### BLOCO 4 – CARACTERÍSTICAS POTENCIALIZADORAS DE RISCO

Este bloco refere-se as características da espécie e do ambiente receptor que potencializam o risco de bioinvasão. Ele é composto pelas questões descritas na (Quadro IV), com seus pesos correspondentes.

Quadro IV – Características potenciais de risco: questões e pontuação referente a análise de risco para invertebrados.

	Grupos	Códigos	Questões	Pesos		
				Sim	Não	Desconhecido
Bloco 4	Contaminação por Patógenos e Parasitas	8.01	O táxon transmite alguma doença ou parasita para espécies da fauna?	5	0	1
		8.02	Existem registros de epidemias neste táxon, causadas por vírus, protozoários, fungos ou outros parasitas?	5	0	0.5
	Atributos de Persistência	9.01	O táxon possui alguma estratégia de resistência a situações adversas atípicas?	5	0	1
		9.02	O táxon apresenta crescimento individual rápido, comparado com táxons similares (ex. Corais, cracas, camarões, siris, bivalves)?	3	0	1.5
		9.03	Este táxon é usado para alimentação humana?	1	0	0.5
		9.04	O taxon é colonial?	3	0	1.5
	Uso de Comércio	10.01	Existem cultivos ou lojas legalizadas que comercializam este táxon (aquariofila)?	1	0	0.5
		10.02	Existe comercialização deste táxon para alimentação humana?	3	0	1.5
		10.03	Existem cultivos ou lojas que comercializam de forma irregular este táxon?	3	0	1.5
	Ambiente Receptor	11.01	A amplitude de temperaturas da atual distribuição conhecida da espécie inclui as temperaturas presentes no Brasil?	3	0	1.5
		11.02	A amplitude de salinidade para ambientes marinhos e pH para ambientes continentais da atual distribuição conhecida da espécie inclui as salinidades e pH presentes no Brasil?	3	0	1.5
		11.03	Existem espécies do mesmo gênero no Brasil?	1	0	0.5

Este bloco compreende as seguintes questões:

**Questão 8.01** – O táxon transmite alguma doença ou parasita para espécies da fauna?

Um dos impactos da invasão biológica é a contaminação de espécies nativas com enfermidades ou parasitas, por isso o nível de risco aumenta caso haja registro do táxon como vetor. Como é uma informação difícil de obter, no caso de a resposta ser “indefinido”, o valor é reduzido.

**Questão 8.02** – Existem registros de epidemias neste táxon, causadas por vírus, protozoários, fungos ou outros parasitas?

Seja em sua região de origem, ou em outras regiões onde foi introduzido, se o táxon é sujeito a epidemias ele pode impactar a fauna nativa de onde está sendo avaliado por desequilibrar o ambiente. Como é uma informação difícil de obter, no caso da resposta ser “indefinido”, o valor é reduzido.

**Questão 9.01** – O táxon possui alguma estratégia de resistência a situações adversas atípicas?

Estratégias de resistência a condições adversas são comuns a muitas espécies exóticas invasoras e lhes conferem vantagens adaptativas, aumentando seu potencial invasor. Como é uma informação difícil de obter, no caso de a resposta ser “indefinido”, o valor é reduzido.

**Questão 9.02** – O táxon apresenta crescimento individual rápido, comparado com táxons similares (ex. Corais, cracas, camarões, siris, bivalves)?

O crescimento rápido tende a permitir a reprodução do táxon em curto espaço de tempo, assim como o uso intensivo de recursos em competição com a fauna nativa, aumentando assim seu potencial invasor.

**Questão 9.03** – Este táxon é usado para alimentação humana?

O interesse humano pelo táxon, seja comercial ou para subsistência, aumenta a pressão de propágulos e cria oportunidades de introdução e de invasão em novos ambientes.

**Questão 9.04** – O táxon é colonial?

Um táxon colonial tem mais chances de sobreviver e se reproduzir em condições adversas, aumentando sua chance de sobreviver em um novo ambiente e consequentemente aumentando o risco da espécie se tornar invasora.

**Questão 10.01** – Existem cultivos ou lojas legalizadas que comercializam este táxon (ex. aquariorfilia)?

O interesse em comercializar a espécie aumenta sua chance de ser dispersada para outras regiões. Porém o comércio legal tende a ser regulamentado e fiscalizado, sendo a pontuação baixa para uma resposta afirmativa (em relação ao comércio informal é ilegal).

**Questão 10.02** – Existe comercialização deste táxon para alimentação humana?

No caso de interesse neste táxon para alimentação humana, ocorre um maior interesse em seu cultivo, o que aumenta as chances de dispersão para outras regiões.

**Questão 10.03** – Existem cultivos ou lojas que comercializam de forma irregular este táxon?

O comércio irregular é de difícil fiscalização e controle, aumentando assim o risco da espécie se tornar invasora. .

**Questão 11.01** – A amplitude de temperaturas da atual distribuição conhecida da espécie inclui as temperaturas presentes no Brasil?

Se a variação de temperatura da região de origem e da região estudada são semelhantes, aumentam as chances da espécie sobreviver e se estabelecer neste novo ambiente, aumentando seu potencial de risco.

**Questão 11.02** – A amplitude de salinidade para ambientes marinhos e pH para ambientes continentais da atual distribuição conhecida da espécie inclui as salinidades e pH presentes no Brasil?

Se a variação de salinidade da região de origem e da região estudada são semelhantes, aumentam as chances da espécie sobreviver e se estabelecer neste novo ambiente, aumentando seu potencial de risco.

**Questão 11.03** – Existem espécies do mesmo gênero no Brasil?

O fato de existirem outras espécies do mesmo gênero na região de análise do risco indica uma maior chance de sobrevivência da espécie na região, já que outro táxon bem próximo já vive em condições favoráveis. Além disso, existe a possibilidade de hibridação interespecífica, o que pode gerar impactos para as espécies nativas.

## EXPRESSÃO DE CÁLCULO

O resultado da análise é dado pelo somatório de todas as pontuações, sendo caracterizado como:

Risco Muito Baixo (Valores menores ou iguais a 10)

Risco Baixo (Valores entre 11 e 40)

Risco Moderado (Valores entre 41 e 60)

Risco Alto (Valores entre 61 e 80)

Risco Muito Alto (Valores entre 81 e 152)

### 1.1.4 Modelo de Análise de Risco para Peixes

O índice para peixes tem uma estrutura múltipla, integrada por quatro blocos: Bloco 1 - Características biológicas e ecológicas. Bloco 2 - Aspectos biogeográficos. Bloco 3 - Aspectos sociais e econômicos. Bloco 4 - Características potencializadoras de risco. Cada bloco ainda é dividido em grupos, de acordo com características semelhantes. Assim, o bloco 1 é dividido em três grupos (mecanismos reprodutivos, interações ecológicas e ecofisiologia), o bloco 2 tem um grupo (distribuição e histórico), o bloco 3 tem dois grupos (importância econômica do táxon e impactos em atividades sociais, de recreação e/ou turismo) e o bloco 4 tem três grupos (contaminação por patógenos e parasitas, atributos de persistência e atores sociais envolvidos).

Cada grupo é composto de perguntas cujas respostas podem ser sim, não ou desconhecido, totalizando 28 questões. O peso de cada resposta varia de acordo com cada questão. O peso de cada pergunta foi considerado a partir de uma escala de zero a dez pontos e o resultado pode variar entre 0-157 pontos.

### **BLOCO 1 – CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS E ECOLÓGICAS**

Este bloco refere-se aos aspectos biológicos e ecológicos da espécie analisada e é composto pelas questões descritas na (Quadro I), com seus pesos correspondentes.

Quadro I - Características biológicas e ecológicas: questões e pontuação referente a análise de risco para peixes.

	Grupos	Códigos	Questões	Pesos		
				Sim	Não	Desconhecido
Bloco I	Mecanismos Reprodutivos	1.01	O táxon apresenta cuidado parental (por exemplo, constrói ninhos, oculta ou agrupa os ovos em pedras, na vegetação ou outro substrato, ou os pais cuidam dos ovos, alevinos e jovens?	5	0	2.5
		1.02	o táxon é vivíparo, ovovivíparo ou partenogenético	5	0	2.5
		1.03	o táxon consegue se reproduzir mais de uma vez ao longo do ano?	5	0	2.5
		1.04	Há registro de que o táxon seja capaz de realizar hibridização interespecífica?	3	0	1.5
	Interações ecológicas	2.01	O táxon é onívoro ou generalista e/ou oportunista?	5	0	2.5
		2.02	O táxon defende os recursos, tais como alimento ou território?	3	0	1.5
		2.03	O táxon forma agregados ou cardumes?	3	0	1.5
		2.04	O táxon é agressivo, forte competidor e/ou predador de outros organismos?	5	0	2.5
		2.05	Há evidências ou registro que o táxon causa extinção local e/ou outros impactos em escala de habitat?	10	0	2
	Ecofisiologia	3.01	O táxon é capaz de viver em habitats com baixo nível de oxigênio dissolvido na água?	4	0	2
		3.02	O táxon é capaz de viver em ambientes com grande amplitude de variáveis físico-químicas ou ocupa diferentes ambientes?	4	0	2

Este bloco compreende as seguintes questões:

**Questão 1.01** – O táxon apresenta cuidado parental (por exemplo, constrói ninhos, oculta ou agrupa os ovos em pedras, na vegetação, ou outro substrato, ou os pais cuidam dos ovos, alevinos e jovens)?

Cuidado parental - aumenta a taxa de sobrevivência dos alevinos, contribui para o crescimento populacional, facilitando o estabelecimento do táxon em ambientes naturais.

**Questão 1.02** – O táxon é vivíparo, ovovivíparo ou partenogenético?

Estas estratégias reprodutivas conferem mais vantagens competitivas ao táxon, aumentando suas chances de sobrevivência e conseqüentemente de estabelecimento e dispersão.

**Questão 1.03** – O táxon consegue se reproduzir mais de uma vez ao longo do ano?

Uma espécie que se reproduz mais de uma vez ao ano produz mais descendentes e com isso aumenta as chances de sobrevivência e dispersão no meio, aumentando seu potencial invasor. Pressão de propágulos - um dos fatores que explica invasões biológicas de forma consistente. Quanto maior o número de eventos de introdução e maior o número de propágulos, maiores as oportunidades de adaptação e invasão. Esta questão tem alta relevância na análise.

**Questão 1.04** – Há registro de que o táxon seja capaz de realizar hibridação interespecífica?

A hibridação entre espécies é um dos impactos da introdução de espécies exóticas: a) o táxon sob análise tem histórico de hibridação com outras espécies? b) outras espécies do gênero ocorrem no país? A questão deve ser respondida afirmativamente se as duas considerações forem verdadeiras, o risco é alto para espécies nativas.

Caso somente uma resposta seja afirmativa, a questão deve ser deixada em branco e justificada nas referências. A resposta deve ser negativa caso as duas considerações

sejam negadas, ou seja, quando não houver registro de hibridação nem espécies congêneres.

Deve-se considerar o país como unidade, uma vez introduzida a espécie não há limitações legais para seu trânsito interno e o estado passa a funcionar como via de introdução para novas áreas.

**Questão 2.01** – O táxon é onívoro ou generalista e/ou oportunista?

Espécies que consomem mais de um tipo de alimento tem maior facilidade de adaptação a condições ambientais e, portanto, vantagens adaptativas quando introduzidas a novos ambientes.

**Questão 2.02** – O táxon defende os recursos (ninho ou alimento) e/ou seu território?

Registro de comportamento agressivo do táxon, seja referente à defesa de ninhos, se os constroem, ou ao território ocupado. Essa capacidade aumenta as chances de sobrevivência do táxon num ambiente novo e contribui para o risco.

**Questão 2.03** – O táxon forma agregados ou cardumes?

A formação de cardumes ou vida em grupos aumenta o impacto de uma invasão biológica em função da dominância do espaço e de sítios importantes para outras espécies. Em função de ser característica comum a muitas espécies, a pontuação é baixa.

**Questão 2.04** – O táxon é agressivo, forte competidor e/ou predador de outros organismos?

Espécies predadoras ou competidoras agressivas podem causar mais impactos no ambiente onde forem introduzidas, aumentando assim seu potencial invasor e sua chance de sobrevivência.

**Questão 2.05** – Há evidências ou registro que o táxon causa extinção local e/ou outros impactos em escala de habitat?

A homogeneização biótica é um dos impactos ambientais mais importantes da introdução de espécies invasoras. Portanto, se ocorre este impacto causado por este táxon em outras regiões, isto aumenta o potencial de risco.

**Questão 3.01** – O táxon é capaz de viver em habitats com baixo nível de oxigênio dissolvido na água?

Tolerância do táxon a condições ambientais adversas ou difíceis - peixes que toleram essas condições tendem a ter mais facilidade de adaptação a ambientes diversos, inclusive ambientes degradados ou sujeitos à poluição. Esse fator aumenta a facilidade de adaptação e, portanto, o risco de invasão.

**Questão 3.02** – O táxon é capaz de viver em ambientes com grande amplitude de variáveis físico-químicas ou ocupa diferentes ambientes?

A tolerância a condições variáveis de salinidade e temperatura confere a espécies a capacidade de sobreviver em condições adversas, sejam de causa antrópica ou natural, aumentando a capacidade de adaptação, as áreas geográficas em que podem ocorrer e o nível de risco à invasão biológica.

## **BLOCO 2 – ASPECTOS BIOGEOGRÁFICOS**

Este bloco refere-se aos aspectos biogeográficos, incluindo dados sobre distribuição da espécie e histórico de dispersão. Neste bloco a questão 4.03 é a mais relevante e que caracteriza a maior pontuação do modelo (Quadro II).

Quadro II – Aspectos biogeográficos: questões e pontuação referente a análise de risco para peixes.

	Grupos	Códigos	Questões	Pesos		
				Sim	Não	Desconhecido
Bloco 2	Distribuição e Histórico	4.01	O táxon foi detectado fora da sua área de distribuição original?	7	0	2
		4.02	Há registro de que o táxon esteja estabelecido fora da área de ocorrência natural historicamente conhecida?	7	0	2
		4.03	Há registro de que a espécie, linhagem ou população seja invasora em outros ambientes naturais em algum lugar do mundo?	10	0	2

Quadro III – Aspectos sociais e econômicos: questões e pontuação referente a análise de risco para peixes.

	Grupos	Códigos	Questões	Pesos		
				Sim	Não	Desconhecido
Bloco 3	Importância econômica	5.01	O táxon pode ser (ou é) utilizado na aquicultura (produção em escala)?	5	0	1
		5.02	O táxon pode ser (ou é) utilizado na aquarofilia?	7	0	1
		5.03	Há registros de ocorrência do táxon em ambientes próximos às áreas de criação (soltura ou escape de estruturas de aquicultura, viveiros, tanques-rede e/ou "pesque-pagues")?	8	0	3
	Impacto em atividades sociais, de recreação e/ou turismo	6.01	O táxon pode trazer algum prejuízo à saúde pública ou colocar pessoas em risco?	3	0	0.5
		6.02	O táxon é visado na pesca amadora?	5	0	1

Este bloco compreende as seguintes questões:

**Questão 4.01** – O táxon foi detectado fora da sua área de distribuição original?

O fato de a espécie já ter sido introduzida em outras regiões demonstra que ela está presente em vetores de introdução e pode sobreviver a ultrapassagem desta primeira barreira geográfica, aumentando seu potencial invasor. A resposta “indefinida” neste caso tem um peso menor, pois muitos destes casos de introdução não são facilmente encontrados na literatura científica.

**Questão 4.02** – Há registro de que o táxon esteja estabelecido fora da área de ocorrência natural historicamente conhecida?

Se neste caso, mais do que introduzida, a espécie tem registro de estabelecida em outras regiões, o risco também é elevado, pois demonstra que ela teve a capacidade de ultrapassar não somente a barreira geográfica, mas também a barreira ambiental, sobrevivendo e gerando descendentes no novo ambiente. A resposta “indefinida” neste caso tem um peso menor, pois muitos destes casos de introdução não são facilmente encontrados na literatura científica.

**Questão 4.03** – Há registro de que a espécie, linhagem ou população seja invasora em outros ambientes naturais em algum lugar do mundo?

O histórico de invasão em outros lugares é o indicador mais consistente do potencial de invasão biológica, pois tende a se repetir em novos ambientes onde o táxon for introduzido. Por isso tem alto valor de pontos na análise de risco.

### **BLOCO 3 – ASPECTOS SOCIAIS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS**

Este bloco refere-se aos aspectos sociais, econômicos e ambientais ligados à espécie analisada e é composto pelas questões descritas no (Quadro III), com seus pesos correspondentes.

Este bloco compreende as seguintes questões:

**Questão 5.01** – O táxon pode ser (ou é) utilizado na aquicultura (produção em escala)?

O fato de a espécie ter um potencial produtivo aumenta seu risco de se tornar invasora porque mais pessoas terão interesse em produzi-la, introduzindo em novas regiões e aumentando sua dispersão.

**Questão 5.02** – O táxon pode ser (ou é) utilizado na aquariorfilia?

O número de ocorrências de espécies de peixes de aquário em ambientes naturais é crescente e a indústria de peixes ornamentais está em franco crescimento. Algumas pessoas despejam o conteúdo de aquários em ambientes externos, gerando riscos a espécies nativas e outros impactos secundários. Espécies usadas tanto na aquariofilia como na aquicultura têm muitas oportunidades de introdução a novos ambientes.

**Questão 5.03** – Há registros de ocorrência do táxon em ambientes próximos às áreas de criação (soltura ou escape de estruturas de aquicultura, viveiros, tanques-rede e/ou "pesque-pague")?

No caso de espécies que são cultivadas, se já houve registros de escape destes sistemas de cultivo isto aumenta seu potencial de risco, pois pode ocorrer o mesmo se for introduzida e cultivada em outras regiões.

**Questão 6.01** – O táxon pode trazer algum prejuízo à saúde pública ou colocar pessoas em risco?

Além dos impactos ambientais, uma característica das espécies invasoras é de causar também impactos econômicos e sociais. Problemas de saúde pública são grandes impactos sociais e espécies que possuem este potencial devem ter um alto risco. A resposta “indefinido”, porém, não tem um valor muito alto porque faltam informações deste tipo para muitas espécies.

**Questão 6.02** – O táxon é visado e/ou apreciado na pesca amadora?

A pesca esportiva é um importante vetor de introdução e dispersão de espécies. Pescadores com interesse na pesca de uma determinada espécie podem introduzi-la intencionalmente em novas regiões, aumentando sua dispersão. Por isto em caso de resposta positiva, o risco deve ser aumentado.

#### **BLOCO 4 – CARACTERÍSTICAS POTENCIALIZADORAS DE RISCO**

Este bloco refere-se a características da espécie e do ambiente receptor que potencializam o risco de bioinvasão. Ele é composto pelas questões descritas na (Quadro IV), com seus pesos correspondentes.

Quadro IV – Características potencializadoras de risco: questões e pontuação referente a análise de risco para peixes.

	Grupos	Códigos	Questões	Pesos		
				Sim	Não	Desconhecido
Bloco 4	Contaminação por patógenos e parasitas	7.01	Há registro de táxon transmitir alguma doença ou parasita para espécies aquáticas de fauna?	7	0	1
		7.02	Existem registros de epidemias neste táxon (ou no gênero), causadas por vírus, protozoários, fungos ou parasitas em outras regiões?	5	0	1
	Atributos de Persistência	8.01	O táxon possui alguma estratégia de resistência a situações adversas ou adaptação acessória (como por exemplo, os ovos suportam dessecação ou tem respiração aérea facultativa)?	7	0	1
		8.02	O táxon apresenta maturidade sexual precoce, alta taxa reprodutiva ou longevidade?	5	0	1
		8.03	Este táxon é usado para alimentação humana (tanto para subsistência quanto comercial)?	5	0	1
	Atores sociais envolvidos	9.01	Existe criação ou comercialização legalizada deste táxon?	1	0	0.5
		9.02	Existe criação ou comercialização irregular ou ilegal deste táxon?	5	0	2.5
		9.03	O táxon é cultivado em tanques-rede?	8	0	3
		9.04	O táxon apresenta histórico de introdução repetidas fora da área de distribuição original (introduções internacionais)?	10	0	2

Este bloco compreende as seguintes questões:

**Questão 7.01** – Há registro do táxon transmitir alguma doença ou parasita para espécies aquáticas da fauna?

Um dos impactos da invasão por peixes exóticos é a contaminação de espécies nativas com enfermidades ou parasitas, por isso o nível de risco aumenta caso haja registro do táxon como vetor. Como é uma informação difícil de obter, no caso de a resposta ser “indefinido”, o valor é reduzido.

**Questão 7.02** – Existem registros de epidemias neste táxon (ou no gênero), causadas por vírus, protozoários, fungos ou outros parasitas em outras regiões?

Seja em sua região de origem, ou em outras regiões onde foi introduzido, se o táxon é sujeito a epidemias ele pode impactar a fauna nativa de onde está sendo avaliado por desequilibrar o ambiente. Como é uma informação difícil de obter, no caso da resposta ser “indefinido”, o valor é reduzido.

**Questão 8.01** – O táxon possui alguma estratégia de resistência a situações adversas ou adaptação acessória (como por exemplo, os ovos suportam dessecação ou tem respiração aérea facultativa)?

Estratégias de resistência a condições adversas são comuns a muitas espécies exóticas invasoras e lhes conferem vantagens adaptativas, aumentando seu potencial invasor. Como é uma informação difícil de obter, no caso de a resposta ser “indefinido”, o valor é reduzido.

**Questão 8.02** – O táxon apresenta maturidade sexual precoce, alta taxa reprodutiva ou longevidade?

O crescimento rápido tende a permitir a reprodução do táxon em curto espaço de tempo, assim como o uso intensivo de recursos em competição com a fauna nativa, aumentando assim seu potencial invasor.

**Questão 8.03** – Este táxon é usado para alimentação humana (tanto para subsistência quanto comercial)?

O interesse humano pelo táxon, seja comercial ou para subsistência, aumenta a pressão de propágulos e cria oportunidades de introdução e de invasão em novos ambientes.

**Questão 9.01** – Existe criação ou comercialização legalizada deste táxon?

O interesse em comercializar a espécie aumenta sua chance de ser dispersada para outras regiões. Porém o comércio legal tende a ser regulamentado e fiscalizado, sendo a pontuação baixa para uma resposta afirmativa (em relação ao comércio informal é ilegal).

**Questão 9.02** – Existe criação ou comercialização irregular ou ilegal deste táxon?

O comércio informal e ilegal (sem licenciamento e fiscalização) são vetores importantes de introdução de espécies, portanto esta questão contribui para o aumento do risco.

**Questão 9.03** – O táxon é cultivado em tanques-rede?

O escape de peixes de tanques-rede é comum e configura vetor de introdução de espécies, por isso contribui para o aumento do risco.

**Questão 9.04** – O táxon apresenta histórico de introduções repetidas fora da área de distribuição original (introduções intencionais)?

Introduções repetidas fora de sua área de distribuição original, mesmo que não se caracterizem como bioinvasões, demonstram a capacidade do táxon em se dispersar e, também, demonstram a capacidade do táxon em utilizar diferentes vetores para se dispersar. Isto aumenta seu potencial de risco.

O resultado da análise é dado pelo somatório de todas as pontuações, sendo caracterizado como:

Risco Muito Baixo (Valores menores ou iguais a 10)

Risco Baixo (Valores entre 11 e 40)

Risco Moderado (Valores entre 41 e 60)

Risco Alto (Valores entre 61 e 80)

Risco Muito Alto (Valores entre 81 e 157)

#### 1.1.5 Calibração dos Modelos

A transparência quanto aos aspectos metodológicos, normativas e incertezas são essenciais para a legitimidade de qualquer método de avaliação de riscos e aumentam a aceitação entre tomadores de decisão, assim como as partes interessadas (Matthews et al., 2017). A calibração do modelo envolverá quatro etapas: seleção de espécies para a

calibração, revisão bibliográfica sistemática para subsidiar a resposta das questões, calibração e sensibilidade do modelo, incerteza e acurácia. Uma abordagem complementar e alternativa, multivariada, também será realizada para a calibração do modelo. Avaliações de risco por meio de método qualitativo não requerem habilidades matemáticas de modelagem, o que permite que sejam realizadas para a tomada de decisões de rotina (OIE, 2016). No entanto é necessário que o modelo seja previamente calibrado, utilizando uma robusta base de dados sobre espécies conhecidas *a priori* como invasoras e não invasoras, para que se possa determinar a sensibilidade do modelo, incerteza e acurácia.

#### 1.1.5.1 Seleção de espécies invasoras e não invasoras a priori

As espécies que serão utilizadas para calibrar o modelo serão selecionadas com base nos seguintes quatro critérios (A a D), utilizados por Tricarino et al. (2010), com a adição de um quinto critério (E):

- A. Nativo / Sem impacto - Espécies nativas no Brasil sem interesse econômico, ou seja, nunca exportado; sem registros de impactos ambientais e econômicos.
- B. Não nativo / Impacto desconhecido - espécies não nativas do Brasil, para as quais não há informações conclusivas disponíveis sobre os impactos.
- C. Não nativo / Impacto na fonte - espécies não nativas do Brasil com impactos na área de origem.
- D. Não nativo / Impacto conhecido - espécies não nativas com impactos conhecidos no Brasil ou em outros países da América do Sul.
- E. Nativo / Impacto conhecido - Espécies nativas no Brasil com registros de impactos ambientais, econômicos e ou de saúde pública no Brasil ou em outros países.

Como fontes de busca de espécies candidatas serão pesquisadas as seguintes fontes: Lopes et al. (2009), Latini et al. (2016), Vilizzi et al., (2019), Mendoza et al. (2015), Patoka et al. (2014), Tricarico et al. (2010), entre outras. Além destas serão também consultados os registros de pedido de importação de PETs junto ao IBAMA, e Pets disponíveis no mercado brasileiro em lojas virtuais, assim como a base de dados Global Invasive Species Database (GISD), Fishbase, Invasive Species Specialist Group (ISSG), Database on Introduction of Aquatic Species (DIAS), Global Biodiversity Information Facility (GBIF), Inter-American Biodiversity Information Network (IABIN), Nonindigenous Aquatic Species (NAS), National Exotic Marine and Estuarine Species Information System (NEMESIS), Nonindigenous Species Database Network (NISBase) e European Network on Alien Invasive Species (NOBANIS).

Também serão consultados especialistas em peixes e invertebrados quando necessário para a avaliação das espécies selecionados. O número amostral mínimo será de 100 espécies, mas espécies adicionais poderão ser avaliadas, desde que sejam obtidas as informações consistentes para responder as questões dos blocos dos modelos.

#### 1.1.5.2 Revisão bibliográfica e Resposta das Questões

Para responder as questões dos modelos será realizada previamente uma revisão bibliográfica sistemática, a qual possibilitará mapear publicações sobre as espécies selecionadas, de forma a sintetizar o conhecimento referente às mesmas.

Segundo Kitchenham (2004), a revisão bibliográfica sistemática permite consolidar evidências e resultados de estudos prévios referentes a um determinado tema alvo; identificar lacunas e resultados de pesquisas recentes, que possam subsidiar o avanço científico; e por fim fornecer embasamento e modelos teóricos para novos temas em pesquisa, assim como refutar, validar ou criar hipóteses.

A revisão será realizada conforme o roteiro proposto por Conforto et al. (2011), com adaptações à presente proposta de calibração de modelos.

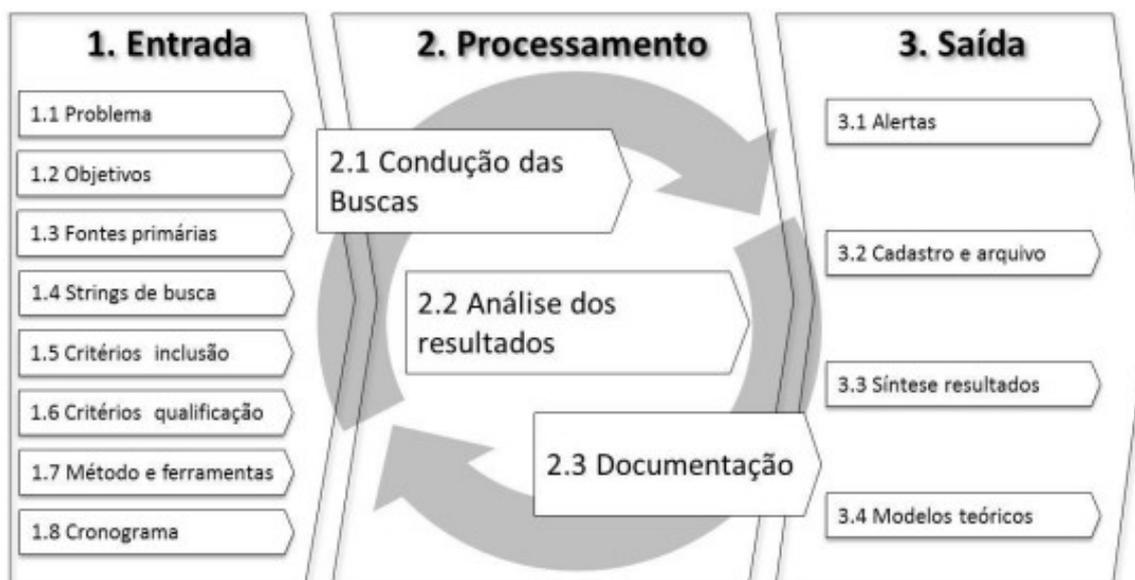


Figura 1. Modelo para condução da revisão bibliográfica sistemática – RBS Roadmap. Fonte: Conforto et al. (2011)

#### 1.1.5.3 Calibração e Sensibilidade

A análise da sensibilidade do modelo será realizada por meio da análise da curva característica de operação do receptor (ROC, Receiver Operating Characteristic) e da área da curva (AUC, Area Under the Curve), proposto por Copp et al. (2005), e utilizado por Gordon et al. (2008), Tricarico et al. (2010) e Vilizzi et al., (2019). Esta curva consiste na expressão gráfica de sensibilidade *versus* especificidade, a qual possibilita avaliar a eficiência do modelo em distinguir duas categorias, neste caso espécies com alto risco de invasão e espécies com baixo risco de invasão.

A área da curva (AUC) resulta da agregação de todos os limiares da ROC, correspondendo à acurácia da ROC, que normalmente varia de 0,5 a 1.0, sendo quanto mais próximo de 1.0 (100% de precisão do modelo), ou seja, melhor a capacidade de diferenciar espécies invasoras e não invasoras. A área máxima (1), significa que a relação sensibilidade e especificidade é igual a 1, sem ocorrência de "falsos positivos" (espécies não invasoras a priori enquadrados em alto risco) nem 'falsos negativos' (espécies invasoras a priori enquadrados em baixo risco). Por outro lado, se igual a 0,5, então o teste não é exato, não podendo distinguir invasoras *a priori* de alto risco de não invasoras *a priori* de baixo risco.

Diferenças entre as pontuações (dados logaritimizadas) das espécies classificados *a priori* em não invasivos e invasivos, serão testadas por meio de testes de aleatorização (10000 permutações), sobre matrizes de semelhança (distância euclidiana), considerando o fator (invasor a priori e não invasor a priori), por meio do *software* MULTIV (Pillar, 2011).

A calibração será realizada com base nos pesos definidos na oficina. Posteriormente uma nova calibração será realizada com ajustes de peso caso a acurácia não seja satisfatória, sendo assim todo o processo repetido para a nova versão com pesos ajustados. Os pesos da segunda versão também serão comparados por meio de testes de aleatorização.

#### 1.1.5.4 Incerteza

Incertezas podem ocorrer em três níveis de acordo com Verbrugge et al. (2010): a incerteza metodológica, resultado das limitações do procedimento de análise de risco; incerteza de revisão, como erros humanos e subjetividade, e a incerteza de dados ou lacunas de conhecimento.

Para cada resposta relacionada a uma questão aplicada à uma determinada espécie será atribuída um nível de certeza, de acordo com a seguinte escala:

- 1) muito incerto;

- 2) na maioria das vezes incerto;
- 3) na maioria das vezes certo;
- 4) muito certo.

O fator de certeza (FC) para a avaliação de uma dada espécie será obtido por meio da equação:

$FC = \sum (NI_i) / 4 \times NQ$ , onde: onde  $NI_i$  é o nível de certeza para a questão  $i$ , 4 é o nível máximo de certeza, e  $NQ$  é o número total de questões do modelo. Os valores FC variam entre 0,25 (ou seja, todas as questões com nível de certeza igual a 1) e no máximo 1 (ou seja, todas as questões com nível de certeza igual a 4).

Diferenças entre as incertezas média (dados logaritizados) das espécies classificados, e as incertezas entre questões e blocos para espécies *a priori* em não invasivos e invasivos, serão também testadas por meio de testes de aleatorização (10000 permutações), sobre matrizes de semelhança (distância euclidiana), considerando o fator (invasor *a priori* e não invasor *a priori*), por meio do *software* MULTIV (Pillar, 1997). A incerteza da segunda e da primeira versão, com diferentes pesos, também serão comparadas por meio de testes de aleatorização.

#### 1.1.5.5 Acurácia

Três medidas de acurácia serão empregadas, de acordo com Smith et al. (1999):

- 1) para espécies invasoras *a priori*,  $A_i = (I_r/I_t) \times 100$ , onde: onde  $I_r$  é o número de táxons invasivos *a priori* que foram rejeitados pelo modelo (ou seja, alto risco), e o total número de táxons invasivos *a priori* selecionados.
- 2) para espécies não invasoras *a priori*,  $A_n = (N_a/N_t) \times 100$ , onde:  $N_a$  é o número de táxons não invasivos *a priori* aceito pelo modelo (ou seja, risco baixo e médio) e  $N_t$  o número total de táxons não invasivos *a priori* rastreados.
- 3) para todas espécies,  $A_o = (N_a + N_i) / (N_t + I_t)$

Para as três medidas, valores > 50% são indicadores da precisão do modelo.

#### 1.1.5.6 Abordagem complementar multivariada

A análise de componentes principais (PCA) dos escores obtidos mediante as respostas das questões dos blocos do modelo, também será utilizada para determinar as espécies que provavelmente serão introduzidas, assumindo que as características das espécies introduzidas no futuro se assemelhem às das espécies introduzidas até o momento. Esta abordagem, adotada por Clavero (2011), permite calcular a probabilidade

de introdução, com base na proporção de espécies vizinhas (no espaço definido pelo PCA) que serão introduzidas no Brasil, juntamente com métricas relacionadas a diferentes estágios de invasão. A Análise de Componentes Principais (PCA), é um dos métodos multidimensionais mais utilizados em limnologia, o qual encontra componentes, que resultam de combinações lineares das variáveis analisadas, agregando o máximo de variância presentes em um conjunto de dados multivariados (Bini, 2004; Valentin, 1995). Além disso, é possível verificar quais variáveis estão correlacionados aos componentes que melhor explicam a variação dos dados originais.

A calibração será realizada com base nos pesos definidos na oficina. Posteriormente uma nova calibração será realizada com ajustes de peso caso a acurácia não seja satisfatória, sendo assim todo o processo repetido para a nova versão com pesos ajustados.

## 2 Resultados preliminares

Uma lista preliminar de espécies potenciais para a calibração do modelo já foi elaborada, mas devido sua extensão e necessidade de consolidação optamos por não a inserir neste documento, mas pode ser examinada no link do *google drive* disponibilizado pelos representantes do IBAMA, neste projeto:

[https://drive.google.com/open?id=16dJiUW4QcmH\\_ntV9oDMUkEo0rJcRGoJF](https://drive.google.com/open?id=16dJiUW4QcmH_ntV9oDMUkEo0rJcRGoJF)

## 3 Referências

Belz, C. E. & Sebastiany, J. B. 2012. Análise de Risco de Introdução de Moluscos Aquáticos Invasores. In. Moluscos Límnicos Invasores no Brasil: biologia, prevenção e controle. Porto Alegre, Ed. Redes, 324 – 329p.

Belz, C. E. 2006. Análise de risco de bioinvasão por *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857): um modelo para a bacia do rio Iguaçu, Paraná. Tese de Doutorado, Pós-Graduação em Zoologia, Universidade Federal do Paraná, Brasil, 102pp.

Belz, C. E.; Darrigran, G. ; Netto, O. S. M.; Boeger, W. A.; Ribeiro Junior, P. J. 2012. Analysis of Four Dispersion Vectors in Inland Waters: The Case of the Invading Bivalves in South America. Journal of Shellfish Research, v. 31, p. 777-784.

Bini, L. M. Análises multivariadas e limnologia: exploração, síntese e inferência de um mundo aquático complexo. CEM Bicudo, DC Bicudo. Amostragem em Limnologia, RiMa, São Carlos, p. 73-107, 2004

Bilge, G., Filiz, H., Yapici, S., Tarkan, A. S., & Vilizzi, L. (2019). A risk screening study on the potential invasiveness of Lessepsian fishes in the south-western coasts of Anatolia. Acta Ichthyologica et Piscatoria, 49(1): 23-31.

Bilge, G., Filiz, H., Yapici, S., Tarkan, A. S., & Vilizzi, L. (2019). A risk screening study on the potential invasiveness of Lessepsian fishes in the south-western coasts of Anatolia.

Acta Ichthyologica et Piscatoria, 49(1).

Bomford, Mary. Risk assessment models for establishment of exotic vertebrates in Australia and New Zealand. Canberra: Invasive Animals Cooperative Research Centre, 2008.

Bomford, Mary; GLOVER, Julie. Risk assessment model for the import and keeping of exotic freshwater and estuarine finfish. Commonwealth of Australia, 2004.

Bureau of Rural Sciences 2004. CLIMATE Software Manual Version 2. Bureau of Rural Sciences, Canberra.

Clavero, M. (2011). Assessing the risk of freshwater fish introductions into the Iberian Peninsula. *Freshwater Biology*, 56(10), 2145-2155.

Convention on Biological Diversity. (2010). *Pets, Aquarium, and terrarium species: best practices for addressing risks to biodiversity*. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity.

Conforto, E. C., Amaral, D. C., & Silva, S. D. (2011). Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. Trabalho apresentado, 8º Congresso Brasileiro de *Inovação e Gestão de Desenvolvimento do Produto*.

Copp, G.H.; Garthwaite, R.; Gozlan, R.E. 2005. Risk identification and assessment of non-native freshwater fishes: a summary of concepts and perspectives on protocols for the UK. *J. Appl. Ichthyol.* 21, 371-373 pp.

Copp GH, Vilizzi L, Mumford J, Fenwick GV, Godard MJ, Gozlan RE. 2009. Calibration of FISK, an invasive-ness screening tool for non-native freshwater fishes. *Risk Analysis* 29:457–467.

Copp, G. H., Vilizzi, L., Tidbury, H., Stebbing, P. D., Tarkan, A. S., Miossec, L., & Gouletquer, P. (2016). Development of a generic decision-support tool for identifying potentially invasive aquatic taxa: AS-ISK. *Management of Biological Invasions*, 7(4), 343-350.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION OF THE UNITED NATIONS). International standards for phytosanitary measures 1 to 29 (2007 edition). ISPM No. 2 Framework for pest risk analysis, 2007, 27-41.

Ferincz, Á., Staszny, Á., Weiperth, A., Takács, P., Urbányi, B., Vilizzi, L., ... & Copp, G. H. (2016). Risk assessment of non-native fishes in the catchment of the largest Central-European shallow lake (Lake Balaton, Hungary). *Hydrobiologia*, 780(1), 85-97.

Genovesi, P., Scalera, R., Brunel, S., Roy, D., & Solarz, W. (2010). Towards an early warning and information system for invasive alien species (IAS) threatening biodiversity in Europe. European Environment Agency, Copenhagen, 47.

Giacomini, H. C. 2007. Sete motivações teóricas para o uso da modelagem baseada no indivíduo em ecologia. *Acta Amazônica* 37(3): 431– 446.

Gordon DR, Onderdonk DA, Fox AM, Stocker RK. Consistent accuracy of the Australian weed risk assessment system across varied geographies. *Diversity & Distributions*, 2008;14:234–242.

Guilam MCR. 1996. O conceito de risco - sua utilização pela epidemiologia, engenharia e ciências sociais [dissertação]. Rio de Janeiro (RJ): Escola Nacional de Saúde Pública.

- Haltuch, M. A.; Berkman, P. A. & Garton, D. W. 2000. Geographic information system (GIS) analysis of ecosystem invasion: exotic mussels in Lake Erie. *Limnol. Oceanogr.* 45(8): 1778-1787.
- Jasanoff, S. 1993. Bridging the two cultures of the risk analysis. *Risk Analysis* 1(1): 11-27.
- Johnson, L. E., Ricciardi, A., & Carlton, J. T. (2001). Overland dispersal of aquatic invasive species: a risk assessment of transient recreational boating. *Ecological applications*, 11(6), 1789-1799.
- Keller, R. P., Lodge, D. M., & Finnoff, D. C. (2007). Risk assessment for invasive species produces net bioeconomic benefits. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(1), 203-207.
- Kitchenham, B. Procedures for performing systematic reviews, Joint Technical Report Software Engineering Group, Department of Computer Science, Keele University, United King and Empirical Software Engineering, National ICT Australia Ltd., Australia, 2004.
- LATINI, A. O. et al. Espécies exóticas invasoras de águas continentais no Brasil. Brasília: MMA, p. 791, 2016.
- Lockwood, J.L. , Hoopes, M.F. and Marchetti, M.P. 2007: Invasion ecology. Oxford: Blackwell.
- Lopes, Rubens M., and Daniela Rimoldied Cunha. Informe sobre as espécies exóticas invasoras marinhas no Brasil. No. 574.5 INF. 2009.
- Loureiro, T. G., Anastácio, P. M., Bueno, S. L., Araujo, P. B., Souty-Grosset, C., & Almerão, M. P. (2015). Distribution, introduction pathway, and invasion risk analysis of the North American crayfish *Procambarus clarkii* (Decapoda: Cambaridae) in Southeast Brazil. *Journal of Crustacean Biology*, 35(1), 88-96.
- Matthews, J., van der Velde, G., Collas, F. P., de Hoop, L., Koopman, K. R., Hendriks, A. J., & Leuven, R. S. (2017). Inconsistencies in the risk classification of alien species and implications for risk assessment in the European Union. *Ecosphere*, 8(6), e01832.
- Miller, A. H. & Ignacio, A. 1994. An approach to identify potencial zebra mussel colonization in large water bodies using best available data and a Geografic Information System. In: *Proceedings of the Fourth International Zebra Mussel Conference*. Madison, Wisconsin.
- Mendoza, R., Luna, S., & Aguilera, C. (2015). Risk assessment of the ornamental fish trade in Mexico: analysis of freshwater species and effectiveness of the FISK (Fish Invasiveness Screening Kit). *Biological Invasions*, 17(12), 3491-3502.
- Murray, N. (2004a). Handbook on import risk analysis for animals and animal products: quantitative risk assessment (Vol. 1). Office international des épizooties.
- Murray, N. (2004b). Handbook on import risk analysis for animals and animal products: quantitative risk assessment (Vol. 2). Office international des épizooties.
- NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL). 2002. Predicting invasions of nonindigenous plants and plant pest. National Academy Press. Washington, D.C.
- Patoka, J., Kalous, L., & Kopecký, O. (2014). Risk assessment of the crayfish pet trade based on data from the Czech Republic. *Biological Invasions*, 16(12), 2489-2494.
- Pheloung PC, Williams PA, Halloy SR. A weed risk assessment model for use as a biosecurity tool evaluating plant introductions. *Journal of environmental Management*, 1999; 57:239–251.

Pillar, V. P. "Multivariate exploratory analysis and randomization testing with MULTIV." *Coenoses* (1997): 145-148.

Piria, M., Povž, M., Vilizzi, L., Zanella, D., Simonović, P., & Copp, G. H. (2016). Risk screening of non-native freshwater fishes in Croatia and Slovenia using the Fish Invasiveness Screening Kit. *Fisheries Management and Ecology*, 23(1), 21-31.

Puntilla, R., Vilizzi, L., Lehtiniemi, M., & Copp, G. H. (2013). First application of FISK, the freshwater fish invasiveness screening kit, in northern Europe: example of southern Finland. *Risk Analysis*, 33(8), 1397-1403.

Simons, S. A., & DePoorter, M. (2009). Best Practices in Pre-Import Risk Screening for Species of Live Animals in International Trade: Proceedings of an Expert Workshop on Preventing Biological Invasions, University of Notre Dame, Indiana, USA, 9–11 April 2008. Global Invasive Species Programme. (26 May 2015).

Smith CS, Lonsdale WM, Fortune J (1999) When to ignore advice: invasion predictions and decision theory. *Biol Invasions* 1:89–96. <https://doi.org/10.1023/A:1010091918466> Snape, R. H., & Orden, D. (2001). Integrating import risk and trade benefit analysis. *The Economics of Quarantine and the SPS Agreement*, 174.

Tarkan, A. S., Vilizzi, L., Top, N., Ekmekçi, F. G., Stebbing, P. D., & Copp, G. H. (2017). Identification of potentially invasive freshwater fishes, including translocated species, in Turkey using the Aquatic Species Invasiveness Screening Kit (AS-ISK). *International Review of Hydrobiology*, 102(1-2), 47-56.

Tricarico, E., Vilizzi, L., Gherardi, F., & Copp, G. H. (2010). Calibration of FI-ISK, an invasiveness screening tool for nonnative freshwater invertebrates. *Risk Analysis: An International Journal*, 30(2), 285-292.

VALENTIN, Jean Louis. Agrupamento e ordenação. *Oecologia brasiliensis*, v. 2, n. 1, p. 2, 1995.

Verbrugge, L. N. H., Leuven, R. S., & Velde, G. (2010). Evaluation of international risk assessment protocols for exotic species. Department of Environmental Science, Faculty of Science, Institute for Water and Wetland Research, Radboud University Nijmegen, Heyendaalseweg 135, 6525 AJ Nijmegen, The Netherlands

World Organisation for Animal Health (OIE) (2019). – Terrestrial Animal Health Code

World Organisation for Animal Health (OIE) (2019). – Aquatic Animal Health Code

Vose, D. (2008). *Risk analysis: a quantitative guide*. John Wiley & Sons.

VILIZZI, Lorenzo et al. A global review and meta-analysis of applications of the freshwater Fish Invasiveness Screening Kit. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, p. 1-40, 2019.