



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA

VULNERABILIDADE DE PEIXES DE BICO, ATUNS E AFINS À
EXPLORAÇÃO COMERCIAL NO OCEANO ÍNDICO

Cesar Augusto da Silva Santana

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco como exigência à obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Humber Agrelli de Andrade
Orientador

Recife,
Julho / 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

S232v Santana, Cesar Augusto da Silva
Vulnerabilidade de peixes de bico, atuns e afins à exploração comercial no
Oceano Índico / Cesar Augusto da Silva Santana. – 2018.
85 f. : il.

Orientador: Humber Agreli de Andrade.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aqüicultura, Recife, BR-PE,
2018.

Inclui referências e apêndice(s).

1. Atum (Peixe) 2. Avaliação de riscos ecológicos 3. Pesca 4. Oceano Índico
I. Andrade, Humber Agreli de, orient. II. Título

CDD 639

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA

**VULNERABILIDADE DE PEIXES DE BICO, ATUNS E AFINS À
EXPLORAÇÃO COMERCIAL NO OCEANO ÍNDICO**

Cesar Augusto da Silva Santana

Dissertação julgada adequada para a obtenção do título de mestre em Recursos Pesqueiros e Aquicultura. Defendida e aprovada em ____/____/____ pela seguinte Banca Examinadora:

Prof. Dr. Humber Agreli de Andrade

Orientador

DEPAq / UFRPE

Prof. Dr. Francisco Marcante Santana da Silva

Orientador

Departamento / Universidade

Prof. Dr^a. Rosângela Paula Teixeira Lessa

Orientadora

DEPAq / UFRPE

Dedicatória

Dedico esse trabalho a meus amados pais Duca e Fernanda (*in memorian*), minha amada esposa Daisyvângela, amados filhos Fernando e Maria Fernanda, amados irmãos Dinha, Fabio, Edu e Leo e toda família, bem como a uma pessoa que se tornou uma segunda mãe em minha vida, Dona Rita Barbosa.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por me fornecer força e inspiração para continuar na caminhada.

Ao Prof Dr. Humber Agrelli de Andrade por me aceitar como orientando, por permitir o meu afastamento para iniciar o doutorado na National University of Ireland Galway (NUIG) na República da Irlanda, mesmo sabendo que isso sacrificaria um tempo precioso a ser utilizado no mestrado, pela sua paciência, bem como a disposição de sempre ajudar e dar o seu melhor para tornar essa dissertação possível.

Ao Prof. Dr. Alfredo Oliveira Gálvez, coordenador do Programa de Pós-graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, pelo apoio incondicional ao meu afastamento para realização do doutorado na Irlanda.

À minha orientadora no Doutorado na NUIG, Dr^a Anne Marie Power, bem como ao diretor do ‘College of Science of the NUIG’, Dr. Donal Leech, por terem permitido e dado o apoio necessário à realização do Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aquicultura.

Ao Dr. Raasay Jones coordenador do programa ‘Government of Ireland Postgraduate Scholarship’ do Irish Research Council, órgão fomentador da minha pesquisa na Irlanda, por ter permitido meu duplo vínculo em programas de pós-graduação na Irlanda e no Brasil

Aos meus amados pais Duca e Fernanda por nunca deixarem de acreditar em mim e terem me dado a base educacional e afetiva para lograr mais essa conquista.

À minha amada esposa Daisyvângela e amados filhos Fernando e Maria Fernanda pelo apoio emocional e compreensão quanto a falta de tempo e a distância.

Aos meus queridos irmãos Sandra, Fabio, Leonardo e Eduardo pelo apoio constante, bem como um agradecimento especial ao meu Irmão Eduardo pelo suporte constante desde a minha ida para o exterior, posso dizer que você tem sido um verdadeiro pai para mim.

A minha segunda mãe Rita Barbosa que por mais de uma década tem me apoiado em relação a minha família, bem como a minha caminhada na vida acadêmica.

Aos amigos do MOE e do Programa de Pós-Graduação.

Aos docentes e funcionários do Departamento de Pesca e Aquicultura.

Ao meu Orientador durante o Bacharelado em Engenharia de Pesca, Professor Dr. José Carlos Nascimento de Barros, que me incentivou no caminho da pesquisa e mostrou que tudo era possível independentemente de qualquer barreira espaço-temporal.

Resumo

Abordagens ecológicas, como a análise de produtividade e susceptibilidade, têm sido utilizadas para avaliar o impacto da pesca industrial sobre estoques pesqueiros e espécies marinhas em geral. A análise de produtividade e susceptibilidade tem sido aplicada frequentemente para esse fim, geralmente em cenários de dados limitados, como por exemplo a exploração comercial de atuns neríticos e peixes de bico no Oceano Índico. Apesar de vários estudos a utilizar a abordagem ecológica para determinar os efeitos da pesca em estoques pesqueiros, pouquíssimos trabalhos visaram às espécies do Oceano Índico. Dentre esses poucos trabalhos, nenhum avaliou o risco ecológico à atuação simultânea dos diversos apetrechos de pesca, limitando-se aos efeitos individuais de cada categoria de pesca a explorar os estoques. O presente estudo apresenta uma crítica às metodologias existentes para avaliação do efeito cumulativo dos apetrechos de pesca e oferece uma alternativa para avaliar o risco ecológico referente à atuação simultânea de diversas categorias de pesca. O objetivo do estudo foi desenvolver uma alternativa para índices cumulativos de susceptibilidade e utilizar esses índices para avaliar o grau de vulnerabilidade das espécies de peixes de bico, atuns e afins à atuação simultânea dos diversos apetrechos de pesca utilizados na exploração comercial no Oceano Índico. Espera-se que essa alternativa seja robusta e possa auxiliar na avaliação de possíveis riscos, aos quais podem estar submetidos espécies e estoques pesqueiros e assim fornecer uma ferramenta que facilite o gerenciamento e preservação de estoques pesqueiros e fauna marinha em geral.

Palavras-chave: PSA, atuns e afins, risco ecológico, efeito cumulativo.

Abstract

Ecological approaches, as for example productivity and susceptibility analysis, have been applied to assess the potential impact of industrial fisheries on fish stocks and marine species. The productivity and susceptibility analysis has been used to achieve this aim, usually in data-limited scenarios, as for example the exploitation of neritic tunas and billfishes in the Indian Ocean. Despite of many studies using the ecological approach to estimate the effects of fisheries, only quite a few studies focused on the Indian Ocean species. Furthermore, none of them have evaluated the effect of all fishery gears operating simultaneously. This study criticizes the current methods of assessing cumulative effects of fishery gears and provide an alternative to evaluate the ecological risk in a multi-fisheries scenario. The aim was to develop an alternative to cumulative susceptibility indexes and to use them for assessing the vulnerability of billfishes, tunas and tunas like to the cumulative effect of several gears taking part of the industrial exploitation in the Indian Ocean. It is expected this alternative to be robust and it might help in evaluating the ecological risks for the effects of fishing, as well as it might be provided as a tool for facilitating the management and preservation of fish stocks and species in general.

Keywords: PSA, tunas and tuna like, ecological risk, cumulative effect.

Lista de Figuras

Figura 1. Área de competência da Indian Ocean Tuna Commission. Fonte: IOTC (2017)	21
Figura 2. PSA Plot para peixes de bico, atuns e afins submetidos à ação simultânea dos apetrechos de pesca utilizados na exploração comercial no Oceano Índico.....	34
Figura 3. PSA plot para peixes de bico, atuns e afins aos efeitos da pesca com espinhel pelágico no Oceano Índico	37
Figura 4. PSA plot para peixes de bico, atuns e afins aos efeitos da pesca com linha e anzol no Oceano Índico.....	38
Figura 5. PSA plot para peixes de bico, atuns e afins aos efeitos da pesca com rede de cerco no Oceano Índico	38
Figura 6. PSA plot para peixes de bico, atuns e afins aos efeitos da pesca com rede de emalhar no Oceano Índico	39
Figura 7. PSA plot para peixes de bico, atuns e afins aos efeitos da pesca com vara e isca viva no Oceano Índico	39
Figura 8. PSA plot para peixes de bico, atuns e afins aos efeitos cumulativos dos apetrechos de pesca utilizados no Oceano Índico, segundo a metodologia de Micheli et al. (2014)	43
Figura 9. PSA plot para peixes de bico, atuns e afins aos efeitos cumulativos dos apetrechos de pesca utilizados no Oceano Índico, segundo a metodologia de Ormseth e Spencer (2011).....	43
Figura 10. Psa plot considerando três regiões de risco ecológico com áreas equivalentes, conforme sugerido na metodologia de Hobday et al. (2007)	44
Figura 11. Probabilidade das espécies ALB, BET, BLM, BUM, SFA e SWO serem consideradas de alto risco em diferentes cenários relativos a utilização de conjuntos diferentes atributos de susceptibilidade, considerando a atuação simultânea de todas as categorias de pesca atuando na exploração das espécies.....	45
Figura 12. Probabilidade das espécies ALB, BET, BLM, BUM, SFA e SWO serem consideradas de alto risco em dois diferentes cenários relativos a utilização de diferentes atributos de susceptibilidade, considerando a pesca com espinhel	

pelágico	46
Figura 13. Psa Plot para as análises sem os atributos de produtividade: L_{max} e r	47
Figura 14. Psa plot considerando três regiões de risco ecológico com áreas equivalentes, conforme sugerido na metodologia de Hobday et al. (2007) e com a exclusão dos atributos de produtividade: L_{max} e r	48
Figuras 15-28. Distribuição geográfica das espécies e áreas de exploração comercial com diversos apetrechos de pesca no Oceano Índico	68
Figura 29. Distribuições de probabilidades dos índices cumulativos de susceptibilidade, relativas às simulações com diferentes atributos de susceptibilidade para as espécies ALB, BET, BUM, BLM, SFA e SWO	84
Figura 30. Distribuições de probabilidades dos índices individuais de susceptibilidade da pesca com espinhel pelágico, relativas às simulações com diferentes atributos de susceptibilidade para as espécies ALB, BET, BUM, BLM, SFA e SWO	85

Lista de Tabelas

Tabela 1. Discriminação dos principais apetrechos de pesca utilizados na exploração comercial na área da IOTC	22
Tabela 2 – Atributos de produtividade, rankings de produtividade e limites entre os rankings	25
Tabela 3 – atributos de susceptibilidade, rankings de susceptibilidade e limites entre os rankings	28
Tabela 4. Espécies listadas em ordem decrescente de vulnerabilidade e risco ecológico aos efeitos da pesca no Oceano Índico	36
Tabela 5. Matriz de correlação dos atributos de susceptibilidade.....	40
Tabela 6. Discriminação dos atributos de susceptibilidade e porcentagem de espécies com escores conservativos para as diversas categorias de pesca	41
Tabela 7. Índices cumulativos de susceptibilidade estimados de acordo com as metodologias FGI (Ormseth e Spencer, 2011); IC (desenvolvida no presente trabalho) e AS (Micheli <i>et al.</i> , 2014).....	42
Tabela 8. Discriminação dos atributos de produtividade e suas referências	62
Tabela 9-23. Valores para os atributos de susceptibilidade referentes à exploração comercial dos peixes de bico, atuns e afins no Oceano Índico	63
Tabela 24. Índices de vulnerabilidade e grau de risco ecológico das espécies analisadas a ação individual das categorias de pesca atuantes na exploração comercial no Oceano Índico.....	82
Tabela 25. Valores médios e desvios padrão para índices de produtividade e susceptibilidade das unidades de análise, obtidos por simulação boot-strap com combinações de (n-1) atributos	83

Sumário

Agradecimentos.....	5
Resumo	6
Abstract	7
Lista de Figuras	8
Lista de Tabelas	10
Introdução	12
Objetivos.....	19
Material e Métodos	20
Resultados.....	34
Discussão	48
Conclusão	52
Referências	53

1. Introdução

Atuns e afins são importantes recursos pesqueiros, explorados em escala industrial, bem como artesanalmente. Há uma preocupação global em relação aos estoques desses recursos, os quais têm sido gerenciados por diversas organizações com jurisdições regionais, como por exemplo, International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT), Indian Ocean Tuna Commission (IOTC), Inter-American Tropical Tuna Commission (IATTC), the Western and Central Pacific Fisheries Commission (WCPFC), and Commission for the Conservation of Southern Bluefin Tuna (CCSBT) (LUCENA-FRÉDOU et al., 2017). As espécies de atuns e afins são classificadas, segundo a IOTC, em 4 diferentes grupos: (i) Atuns neríticos e afins - cavala (*Auxis rochei*), serra (*Auxis thazard*), bonito (*Euthynnus affinis*), bonito oriental (*Thunnus tonggol*), serra-leopardo (*Scomberomorus guttatus*) e serra-tigre (*Scomberomorus commerson*); (ii) Atuns tropicais - albacora-bandolim (*Thunnus obesus*), bonito listrado (*Katsuwonus pelamis*), albacora laje (*Thunnus albacares*); (iii) Atuns de zona temperada - albacora (*Thunnus alalunga*) e (iv) Peixes de bico - espadarte (*Xiphias gladius*), agulhão negro (*Istiompax indica*), agulhão azul (*Makaira nigricans*), agulhão listrado (*Kajikia audax*) e agulhão vela do Indo-Pacífico (*Istiophorus platypterus*), sendo exploradas por diferentes apetrechos de pesca (espinhel pelágico, linha e anzol, rede de cerco, rede de emalhar, e vara e isca viva), bem como por frotas de diversos países, como por exemplo, China, Espanha, Índia, Indonésia, Irã, Japão, Maldivas, Paquistão, Sri Lanka, entre outras (IOTC, 2016, 2017 a, b e c). Segundo os relatórios mais recentes dos grupos de trabalho relativos aos recursos pesqueiros supracitados, nos últimos anos, a captura relativa às diversas espécies variaram na faixa 44.369-446.721 toneladas (detalhes em IOTC, 2016, 2017 a, b e c), sendo alguns estoques classificados como ‘sobrexplorados’ ou ‘sujeitos à sobrexploração’: *Makaira nigricans*, *Istiompax indica*, *Kajikia audax*, *Istiophorus platypterus*, *Thunnus tonggol* e *Scomberomorus commerson*. Cabe ressaltar que esses estoques pertencem aos grupos dos peixes de bico ou dos atuns neríticos, os quais têm as respectivas explorações consideradas limitadas em dados. Robinson (2016), por exemplo, afirma categoricamente que “as populações de atuns neríticos no Oceano Índico, bem como sua exploração, são notoriamente deficientes em dados, incluindo informações sobre captura, esforço de pesca, estrutura etária, biologia e estrutura dos estoques. Punt et al. (2015) alertam que os peixes de bico, com exceção do espadarte, são tipicamente bycatch da pesca industrial e que apresentam um histórico de falta de monitoramento, com deficiência quanto às informações mencionadas acima e com o agravante de haver

problemas na identificação das espécies. Em adição, Lucena-Frédou et al. (2016) ressaltam a necessidade da priorização de pesquisas sobre a biologia dessas espécies, bem como o desenvolvimento de abordagens quantitativas ou semi-quantitativas para a avaliação de seus estoques por meio de um enfoque ecossistêmico.

Recentemente, têm sido desenvolvidas abordagens ecológicas para avaliar os efeitos da pesca sobre estoques pesqueiros e espécies em geral, dentre as quais podemos citar, Productivity and Susceptibility Analysis (PSA) (HOBDAY et al., 2007, 2011) e Sustainability Assessment for Fishing Effects (SAFE) (ZHOU e GRIFFITHS, 2008 e ZHOU et al., 2011). Gilman et al. (2014) argumentam que essas abordagens podem ser utilizadas tanto para categorias de pesca com dados limitados como para aquelas com dados abundantes, com objetivo de determinar o risco ecológico de espécies ou estoques pesqueiros à exploração comercial, considerando o potencial impacto em vários dos componentes do ecossistema. A PSA, por exemplo, tem sido aplicada a diversos estoques pesqueiros em diferentes habitats, no sentido de avaliar a vulnerabilidade dessas unidades de análise aos apetrechos de pesca utilizados na exploração comercial.

No presente estudo, risco ecológico refere-se ao potencial das espécies analisadas estarem sobrexploradas em curto ou longo prazo, observando-se suas respectivas produtividades biológicas, bem como suas interações com os apetrechos de pesca utilizados na exploração comercial no Oceano Índico. Quanto à ‘vulnerabilidade’, além de poder ser considerada como um sinônimo do termo ‘risco ecológico’ definido acima, no presente trabalho, também foi definida como uma variável quantitativa, baseada na qual as espécies analisadas foram classificadas e ordenadas quanto ao nível de risco ecológico.

A PSA é uma abordagem semi-quantitativa, integrante da metodologia ERAEF (Ecological Risk Assessment for Effects of Fishing) criada por Hobday et al. (2007) para lidar com problemas relacionados ao bycatch (captura de fauna acompanhante) na pesca australiana. Segundo Ormseth e Spencer (2011), existem várias versões de PSAs, no entanto todas se baseiam em atributos de produtividade e susceptibilidade aos quais são atribuídos escores (1, 2 ou 3), que são usados para estimar o risco ecológico aos efeitos da pesca.

Os atributos de produtividade podem ser parâmetros e variáveis associadas ao ciclo de vida das espécies, à estratégia de vida e à resiliência frente às adversidades. Como exemplos de atributos de produtividade pode-se citar tamanho máximo, tamanho de primeira maturação, idade de maturação e coeficiente de crescimento de von

Bertalanfy, dentre outros. Já os atributos de susceptibilidade estão relacionados à interação espécie-apetrecho de pesca, como por exemplo, a interseção entre as áreas de distribuição das espécies e de operação da frota, a seletividade dos apetrechos e as estratégias de gerenciamento.

Vários pesquisadores têm utilizado a PSA como ferramenta para seus estudos. Williams et al. (2011), por exemplo, utilizaram a PSA para avaliar o efeito da pesca australiana em habitats bênticos; Arrizabalaga et al. (2001) avaliaram o risco ecológico de espécies-alvo e bycatch à exploração da frota atuneira no Oceano Atlântico; Ormseth e Spencer (2011) avaliaram a vulnerabilidade do bycatch à pesca com redes de arrasto no Alasca; Gallagher et al. (2014) estimaram a vulnerabilidade de tubarões à pesca com espinhel pelágico no Atlântico; Brown et al. (2015) investigaram o risco de cetáceos à pesca com redes de emalhar e espinhel pelágico na zona econômica exclusiva irlandesa; Osio et al. (2015) avaliaram espécies de peixes demersais mediterrâneos quanto ao risco ecológico à pesca com redes de arrasto; Breen et al. (2017) integraram PSA e modelos de distribuição espacial para estudar a interação entre cetáceos e a pesca com diversos apetrechos no nordeste do Atlântico; Lucena-Frédou et al. (2017) estimaram a vulnerabilidade de teleósteos diversos à pesca com espinhel pelágico nos Oceanos Atlântico e Índico e Clarke et al. (2018) investigaram a vulnerabilidade de elasmobrânquios demersais à pesca de camarão com redes de arrasto no leste do Pacífico.

Apesar de poder ser aplicada a cenários diversos, de acordo com Ormseth e Spencer (2011), a análise de produtividade e susceptibilidade é mais útil em cenários de limitação de dados, onde é possível estabelecer o potencial das espécies analisadas à sobreexploração e assim chamar a atenção de tomadores de decisão, quanto à priorização na obtenção de dados, avaliação e pesquisa. Com base nesse argumento, PSA aparece como uma boa alternativa para a análise de várias espécies exploradas no Oceano Índico, consideradas por diversos autores como qualitativa e quantitativamente limitadas em informações (PUNT et al., 2015 e ROBINSON, 2016).

Há diversos estudos em que a PSA é utilizada como abordagem para avaliar os efeitos da pesca na ecologia, mas em poucos se considerou o Oceano Índico. Destacam-se Murua et al. (2009) que investigaram a vulnerabilidade de tubarões e teleósteos à ação de redes de cerco e espinhéis pelágicos na área de atuação da Indian Ocean Tuna Commission (IOTC) e Lucena-Frédou et al. (2017), que investigaram a vulnerabilidade de teleósteos, incluindo os peixes de bico, atuns e afins, aos efeitos da exploração com espinhel pelágico. Nesses trabalhos avaliou-se o risco ecológico das espécies à atuação

individual de categorias de pesca. Porém, as espécies de atuns e afins são exploradas simultaneamente por vários apetrechos de pesca. Portanto, seria de grande utilidade uma investigação que abordasse o efeito cumulativo dos diferentes apetrechos sobre as espécies de peixes de bico, atuns e afins exploradas no Oceano Índico. Robinson (2016) esboçou uma tentativa de avaliar o efeito cumulativo dos apetrechos de pesca utilizados na exploração de atuns neríticos no Oceano Índico, no entanto o estudo, infelizmente, não foi finalizado.

Nos últimos anos, algumas abordagens têm sido desenvolvidas para estimar o efeito cumulativo da exploração de estoques pesqueiros por diversos apetrechos de pesca atuando simultaneamente. Nestas abordagens o ponto crítico tem sido a combinação dos índices de susceptibilidade estimados separadamente para estimar índices cumulativos.

Patrick et al. (2009) propuseram um índice cumulativo de susceptibilidade baseado nos índices individuais, os quais são ponderados de acordo com as percentagens da captura total relativas a cada categoria de pesca analisada. Já Ormseth e Spencer (2011), propuseram a utilização do índice individual de susceptibilidade relativo à pesca de maior proporção na captura total, como sendo a representação do índice geral cumulativo de susceptibilidade para os diferentes apetrechos utilizados simultaneamente na exploração dos estoques pesqueiros ou espécies analisadas.

Micheli et al. (2014) apontam limitações nas metodologias propostas por Patrick et al. (2009) e Ormseth e Spencer (2011) e indicam a necessidade de novos métodos para estimar o risco cumulativo relativo à exploração de um estoque pesqueiro. De acordo com esses autores, os métodos supracitados são incapazes de incrementar o índice cumulativo de susceptibilidade, para refletir, por exemplo, uma mortalidade por pesca mais elevada, provocada por uma nova categoria de pesca que porventura passe a atuar na exploração do estoque. Eles propuseram uma nova metodologia na qual os índices de susceptibilidade das diferentes categorias de pesca (denominados FSS_i , ..., FSS_{NoF} , onde NoF é o número de categorias de pesca consideradas na análise) são considerados coordenadas de um ponto em um espaço multidimensional NoF. Esse índice cumulativo de susceptibilidade, denominado pelos autores por susceptibilidade agregada (AS), é definido como a distância euclidiana do ponto definido acima ao ponto $FSS_i = 1$ ($i = 1, 1, \dots, 1_{NoF}$), acrescida de uma unidade e limitada superiormente ao valor 3: $AS = \min(3, 1 + \sqrt{(F_{ss1} - 1)^2 + (F_{ss2} - 1)^2 + \dots + (F_{ssNOF} - 1)^2})$.

O índice de susceptibilidade cumulativo proposto por Micheli et al. (2014),

parece ser mais adequado do que aqueles citados anteriormente, no sentido de que ele é sempre maior do que os índices individuais de susceptibilidade e assim parece incorporar o efeito de todas as categorias de pesca sobre o estoque ou espécies analisadas. No entanto, entendo que a susceptibilidade agregada de Micheli et al. (2014) apresenta limitações metodológicas, e não expressa adequadamente o nível de susceptibilidade referente à exploração cumulativa de várias categorias de pesca. Como mencionado, os autores supracitados definem os índices individuais de susceptibilidade como as coordenadas de um vetor $\mathbf{u} = (F_{SS1}, F_{SS2}, \dots, F_{SSNOF})$ em um espaço multidimensional NoF. Naturalmente, o índice cumulativo de susceptibilidade deveria ser definido como o módulo do vetor $\mathbf{u}$, $|\mathbf{u}| = \sqrt{F_{SS1}^2 + F_{SS2}^2 + \dots + F_{SSNOF}^2}$, ou seja, a distancia do ponto $\mathbf{u}$ à origem do sistema de coordenadas $\mathbf{o} = (0, 0, \dots, 0_{NoF})$, no entanto, Micheli et al. (2014) definem o índice de susceptibilidade agregada como $AS = \min(3, 1 + \sqrt{(F_{SS1} - 1)^2 + (F_{SS2} - 1)^2 + \dots + (F_{SSNOF} - 1)^2})$, ou seja, utilizam o vetor $\mathbf{o}' = (1, 1, \dots, 1_{NoF})$ como origem do sistema de coordenadas e a distância do ponto $\mathbf{u}$ ao ponto $\mathbf{o}'$ como a base para a estimativa do valor do índice cumulativo de susceptibilidade. Cabe ressaltar que o sistema de coordenadas tratado aqui, não se refere àquele do PSA plot definido por Hobday et al. (2007), o qual trata-se de um espaço bidimensional com origem no ponto (1,1), cujas coordenadas são os índices de produtividade e susceptibilidade.

O índice de susceptibilidade agregada de Micheli et al. (2014) parece ter sido construído por meio de manipulações matemáticas a partir da função $\sqrt{F_{SS1}^2 + F_{SS2}^2 + \dots + F_{SSNOF}^2}$ (módulo do vetor $\mathbf{u}$ supracitado e candidato natural ao índice cumulativo de susceptibilidade), que corrigissem problemas de subestimação e sobrestimação em relação aos valores extremos utilizados como escores em análises de produtividade e susceptibilidade. As manipulações utilizadas aparentemente não foram tão bem-sucedidas, pois os autores reconhecem a fragilidade da função AS quando aplicada a várias categorias de pesca com índices individuais de susceptibilidade elevados. Nesta situação a solução é sempre o valor de limite 3, pois a função $1 + \sqrt{(F_{SS1} - 1)^2 + (F_{SS2} - 1)^2 + \dots + (F_{SSNOF} - 1)^2}$ retorna valores maiores do que 3, os quais são descartados pela função ‘min’ em $AS = \min(3, 1 + \sqrt{(F_{SS1} - 1)^2 + (F_{SS2} - 1)^2 + \dots + (F_{SSNOF} - 1)^2})$.

Em adição, pode ser mostrado também que os índices cumulativos de

susceptibilidade pertencem a um conjunto discreto de valores, que muito frequentemente não incluem os índices cumulativos estimados segundo Micheli et al. (2014).

Para expor a argumentação que sustenta a proposta apresentada neste trabalho começamos com os seguintes questionamentos:

‘O que seriam os índices cumulativos de susceptibilidade?’

Seriam valores utilizados para classificar e ordenar estoques pesqueiros ou as espécies analisadas de acordo com o grau de susceptibilidade aos efeitos de diversas categorias de pesca atuando simultaneamente sobre eles.

‘O que seriam então essas diversas categorias de pesca atuando simultaneamente sobre os estoques pesqueiros?’

As diversas categorias de pesca a atuar sobre os estoques pesqueiros, podem ser agregadas e consideradas como uma entidade única, aqui denominada ‘exploração comercial’, a qual herda e acumula as características inerentes da operação de captura impetrada no sistema, e a ela, podem ser atribuídos os mesmos atributos de susceptibilidade, porventura utilizados nas análises de susceptibilidade das espécies a cada categoria de pesca separadamente. Assim sendo, os índices de susceptibilidade à ‘exploração comercial’ seriam, obviamente, índices cumulativos de susceptibilidade.

Tanto os valores dos índices de susceptibilidade individuais, como dos índices de susceptibilidade cumulativos (índices de susceptibilidade à ‘exploração comercial’, conforme definido acima), são dependentes do número de atributos de susceptibilidade utilizados nas análises, bem como das combinações dos escores de susceptibilidade que possam ser atribuídos a esses atributos.

Para entendimento da argumentação que se segue, consideremos o exemplo do caso hipotético de uma análise de produtividade e susceptibilidade com três atributos de susceptibilidade: A1, A2 e A3. Existem 27 combinações possíveis para atribuir os escores de susceptibilidade (1, 2 ou 3) a esses atributos. No entanto, se considerarmos o índice de susceptibilidade como a média aritmética dos escores de susceptibilidade aplicados aos atributos (Hobday et al., 2007, 2011), dentre os valores das médias aritméticas calculados para cada uma das 27 combinações de escores de susceptibilidade possíveis, apenas sete valores são distintos e consistem no conjunto domínio dos índices de susceptibilidade em uma análise de produtividade e susceptibilidade com três atributos de susceptibilidade definidos. Esse conjunto domínio seria: $D = \{1, 1,33, 1,66, 2, 2,33, 2,66, 3\}$. Com base nesse domínio, podemos apresentar um contra-exemplo mostrando que muitas vezes os índices estimados segundo Micheli et al. (2014), não estão contidos no domínio dos

índices de susceptibilidade. Consideremos, por exemplo, duas categorias de pesca atuando na exploração das espécies, com índices individuais de susceptibilidade 1,66 e 2,33, respectivamente. Se for estimado o índice cumulativo de susceptibilidade de acordo com Micheli et al. (2014), veremos que o seu valor será 2,48, que por sua vez não se encontra no domínio dos índices de susceptibilidade para análises de produtividade e susceptibilidade com três atributos de susceptibilidade definidos. O mesmo ocorre para os pares de índices individuais de susceptibilidade (1,33, 1,33), (1,33, 2,66), (1,33, 2), (1,33, 2,33), (1,33, 2,66), (1,66, 1,66), (1,66, 2), (1,66, 2,33), (1,66, 2,66), (2, 2), (2, 2,66) e (2,33, 2,33), cujos efeitos cumulativos estimados seriam 1,47, 1,74, 2,05, 2,37, 2,69, 1,93, 2,20, 2,48, 2,79, 2,41, 2,94 e 2,88, respectivamente.

A argumentação do parágrafo anterior, leva-nos a pensar sobre a integridade do processo de utilizar PSAs e a função AS para estimar o efeito cumulativo da pesca. Conforme já exposto acima, a susceptibilidade cumulativa pode ser estimada a partir de uma PSA simples aplicada sobre a ‘exploração comercial’ e seus valores estão contidos em um domínio bem definido. Como a susceptibilidade agregada de Micheli et al. (2014) está baseada em índices de susceptibilidades individuais estimados por meio de PSAs, seus valores deveriam ser consistentes com aqueles pertencentes ao domínio dos índices de susceptibilidade para PSAs com um determinado número de atributos de susceptibilidade, pois em caso negativo, tornam-se apenas números sem qualquer significado prático, que não se referem a PSAs. Em adição, como valores adequados devem pertencer ao conjunto domínio supracitado, qualquer valor fora desse conjunto pode estar subestimado ou sobrestimado. Dependendo do caso, esse viés pode levar a estratégias de gerenciamento cautelosas ou não tão cautelosas, que poderão produzir impactos ecológicos ou sociais negativos. Consideremos, por exemplo, o caso de valores sobrestimados, se observarmos o princípio da precaução inerente às abordagens ecológicas, esses valores parecem não ser problema, pois, baseados neles, tomadores de decisão tenderão a utilizar estratégias de gerenciamento mais cautelosas com impacto positivo sobre os estoques pesqueiros explorados. Por outro lado, tais estratégias poderão produzir um impacto social negativo, como por exemplo, sobre os donos de frota, que possivelmente encontrarão dificuldades em honrar todos os compromissos assumidos por terem seus lucros reduzidos, bem como sobre os diversos postos de emprego gerados pela atividade pesqueira, que poderão ser virtualmente perdidos devido a restrições sobre exploração comercial provocadas por estratégias definidas a partir de resultados baseados em índices de susceptibilidade possivelmente sobrestimados. A situação inversa

também pode ocorrer, isto é, estratégias de gerenciamento não tão cautelosas, baseadas em resultados de PSAs com índices de susceptibilidade subestimados, que produzirão impactos positivos de geração de renda e empregos, mas, por outro lado terão um efeito nocivo sobre a saúde dos estoques pesqueiros explorados. Cabe ressaltar ainda, que a função AS de Micheli et al. (2014) também atua aditivamente e indiretamente sobre os escores conferidos aos atributos de susceptibilidade, no entanto alguns desses atributos, como por exemplo, ser ou não ser empregada algum tipo de ‘Estratégia de gerenciamento’, utilizado em Lucena-Frédou et al. (2017), não são passíveis de acumulação. Ao observar essas questões, torna-se claro a importância de índices cumulativos de susceptibilidade adequados à utilização de PSAs, no sentido de torná-las mais robustas para que possam induzir estratégias de sustentabilidade efetivas.

Dado o exposto acima, o objetivo do estudo foi propor uma alternativa para índices cumulativos de susceptibilidade, bem como estimar a vulnerabilidade de peixes de bico, atuns e afins à exploração comercial no Oceano Índico como aplicação. Espera-se que a alternativa proposta seja robusta, no sentido de ser amplamente aplicável a casos com variados atributos de características diversas. Espera-se ainda que os resultados obtidos possam auxiliar na avaliação de possíveis riscos, aos quais podem estar submetidas espécies e estoques pesqueiros de peixes de bico. Em adição, cabe ainda lembrar que pela generalidade do método proposto, o mesmo deve constituir uma ferramenta útil e facilitadora das tomadas de decisões para o gerenciamento e a preservação de estoques pesqueiros e fauna marinha em geral.

2. Objetivos

2.1. Objetivo Geral

- Desenvolver uma abordagem alternativa para índices cumulativos de susceptibilidade, no sentido de avaliar a vulnerabilidade das espécies de peixes de bico, atuns e afins à atuação simultânea dos diversos apetrechos de pesca utilizados na exploração comercial no Oceano Índico.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar o impacto individual dos diversos apetrechos de pesca sobre as espécies de peixes de bico, atuns e afins exploradas no Oceano Índico;
- Realizar análise de produtividade e susceptibilidade (PSA) dos peixes de bico, atuns e afins aos diversos apetrechos de pesca utilizados na área de competência

da IOTC;

- Estimar índices de produtividade, susceptibilidade e vulnerabilidade de peixes de bico, atuns e afins aos diversos apetrechos utilizados na exploração comercial no Oceano Índico;
- Ordenar as espécies analisadas de acordo com valores decrescentes dos índices de vulnerabilidade aos diversos apetrechos utilizados na exploração comercial no Oceano Índico;
- Classificar as espécies analisadas segundo o grau de risco ecológico na área de competência da IOTC;
- Desenvolver metodologia para a estimativa de índices de susceptibilidade das espécies analisadas à atuação simultânea de diversos apetrechos de pesca.

3. Material e Métodos

3.1. Área de estudo

A área de competência da IOTC foi definida como a área de estudo, e, por conseguinte, utilizada como referencial para definições e estimativas dos atributos e variáveis necessárias para a realização desse estudo.

A área supracitada é definida da seguinte maneira no contrato relativo à criação da IOTC (IOTC, 1993):

“A área de competência da Comissão será o Oceano Índico (definida nesse acordo como sendo as áreas estatísticas 51 e 57 da FAO, conforme mostrada no mapa do Apêndice A desse contrato), e mares adjacentes, norte da Convergência Antártica, na medida que seja necessário cobrir tais mares com o propósito de conservação e gerenciamento dos estoques migratórios que saem ou entram no Oceano Índico”.

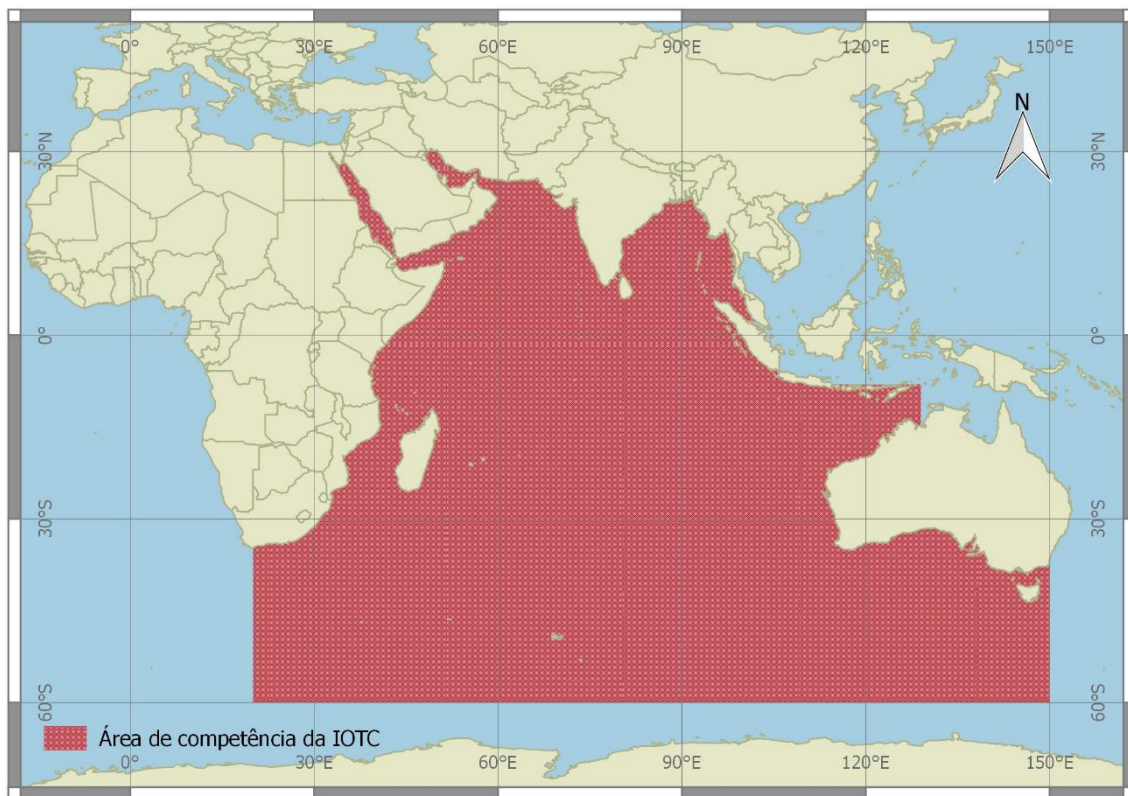


Figura 1. Área de competência da IOTC.

3.2. Espécies analisadas

Para as análises, foram consideradas as principais espécies de peixes de bico, atuns e afins exploradas em escala industrial e artesanal no Oceano Índico, conforme registrado nos relatórios dos grupos de trabalho da IOTC voltados à análise destes grupos de peixes:

- (i) Peixes de bico (IOTC, 2017 a): espadarte (*Xiphias gladius*), agulhão negro (*Istiompax indica*), agulhão azul (*Makaira nigricans*), agulhão listrado (*Kajikia audax*) e agulhão vela do Indo-Pacífico (*Istiophorus platypterus*);
- (ii) Atuns tropicais e de zona temperada (IOTC, 2016, 2017 b): albacora-bandolim (*Thunnus obesus*), bonito listrado (*Katsuwonus pelamis*), albacora laje (*Thunnus albacares*) e albacora (*Thunnus alalunga*);
- (iii) Atuns neríticos e afins (IOTC, 2017 c): cavala (*Auxis rochei*), serra (*Auxis thazard*), bonito (*Euthynnus affinis*), bonito oriental (*Thunnus tonggol*), serra-leopardo (*Scomberomorus guttatus*) e serra-tigre (*Scomberomorus commerson*).

3.3. Apetrechos de pesca

Os apetrechos de pesca analisados quanto ao impacto individual e cumulativo sobre as espécies mencionadas acima, foram aqueles utilizados na exploração industrial e artesanal no Oceano Índico (Tabela 1), conforme descrito nas informações suplementares sobre as espécies capturadas na área da IOTC (IOTC, 2017 d).

Tabela 1 – Discriminação dos principais apetrechos de pesca utilizados na exploração comercial das espécies capturadas na área da IOTC.

Espécie	Apetrecho de Pesca
<i>Thunnus albacares</i>	Espinhel pelágico, linha e anzol, rede de cerco, rede de emalhar, e vara e isca viva
<i>Katsuwonus pelamis</i>	Espinhel pelágico, rede de cerco, rede de emalhar, vara e isca viva.
<i>Thunnus obesus</i>	Espinhel pelágico, redes de cerco e redes de emalhar.
<i>Thunnus alalunga</i>	Espinhel pelágico e rede de cerco.
<i>Thunnus tonggol</i>	Rede de cerco e rede de emalhar.
<i>Euthynnus affinis</i>	Linha e anzol, rede de cerco, rede de emalhar e vara e isca viva.
<i>Auxis thazard</i>	Linha e anzol, rede de cerco, rede de emalhar e vara e isca viva.
<i>Auxis rochei</i>	Linha e anzol e rede de cerco e rede de emalhar.
<i>Scomberomorus guttatus</i>	Linha e anzol e rede de emalhar.
<i>Scomberomorus commerson</i>	Linha e anzol e rede de emalhar.
<i>Makaira nigricans</i>	Espinhel pelágico, linha e anzol e rede de emalhar.
<i>Istiompax indica</i>	Espinhel pelágico, linha e anzol e rede de emalhar.
<i>Kajikia audax</i>	Espinhel pelágico, linha e anzol e rede de emalhar.
<i>Istiophorus platypterus</i>	Espinhel pelágico, linha e anzol e rede de emalhar.
<i>Xiphias gladius</i>	Espinhel pelágico, linha e anzol e rede de emalhar.

3.4. Análise de produtividade e susceptibilidade (PSA)

Foram realizadas análises de produtividade e susceptibilidade, de acordo com a metodologia para a avaliação de risco ecológico aos efeitos da pesca (ERAEF), descrita por Hobday et al. (2007, 2011). Segundo os autores, a análise de produtividade e susceptibilidade é o segundo nível da ERAEF. Trata-se de uma análise semi-qualitativa na qual a determinados atributos de produtividade e susceptibilidade de uma unidade de análise (peixes de bico, atuns ou afins explorados na área da IOTC, no caso desse estudo)

são atribuídos escores, baseados em valores que determinam limites entre rankings de produtividade e susceptibilidade. Os escores que variam de 1 a 3, são usados para classificar os atributos de produtividade e susceptibilidade: o escore 1 significa produtividade ou susceptibilidade baixa, escore 2, produtividade ou susceptibilidade moderada, enquanto o escore 3, produtividade ou susceptibilidade elevada. Após a atribuição dos escores aos atributos, são estimados índices de produtividade (média aritmética ou ponderada dos escores dos atributos de produtividade) e de susceptibilidade (média aritmética ou ponderada dos escores dos atributos de susceptibilidade). Os índices de produtividade e susceptibilidade são utilizados para produzir um gráfico bidimensional denominado PSA Plot, no qual regiões de menor ou maior risco ecológico aos efeitos da pesca podem ser identificadas, permitindo, portanto, a classificação das espécies envolvidas na análise, de acordo com o grau de risco relativo a determinada categoria de pesca. Índices de produtividade elevados (próximos a 3) em conjunto com índices de susceptibilidade baixos (próximos a 1) significam baixo risco, por outro lado índices de produtividade baixos (próximos a 1) em conjunto com índices de susceptibilidade elevados (próximos a 3) significam risco elevado. Valores intermediários para ambos os índices significam risco moderado.

No presente trabalho, foram realizadas PSAs distintas para avaliar o impacto individual das principais categorias de pesca sobre as espécies capturadas no Oceano Índico. Os atributos de susceptibilidade utilizados na avaliação do impacto individual dessas categorias de pesca foram combinados conforme metodologia descrita mais abaixo e esses resultados utilizados para estimar o impacto cumulativo dos diversos apetrechos atuando simultaneamente sobre as espécies por meio de uma nova PSA.

3.5. Atributos de produtividade

Foram utilizados como atributos de produtividade os atributos descritos em Hobday et al. (2007, 2011) e / ou Lucena-Fredou et al. (2017):

- i. Idade de primeira maturação – A_{50} (anos): idade em que 50% dos indivíduos atingem a maturidade gonadal pela primeira vez;
- ii. Idade máxima - A_{max} (anos): idade máxima observada;
- iii. Fecundidade – Fec (milhões de oócitos): ponto médio da faixa informada para o número de oócitos por indivíduos por período de desova;

- iv. Tamanho máximo - $L_{\max}$ (cm): comprimento furcal máximo (para os peixes de bico comprimento mandíbula inferior-furca);
- v. Tamanho de primeira maturação - L_{50} (cm): comprimento em que 50% dos indivíduos atingem a maturidade gonadal pela primeira vez;
- vi. Coeficiente de crescimento de von Bertalanffy - k (ano^{-1}): taxa na qual um indivíduo atinge o tamanho máximo;
- vii. Razão entre o tamanho na primeira maturação e o tamanho máximo - $L_{50}/L_{\max}$: descreve investimento somático e reprodutivo;
- viii. Taxa intrínseca de crescimento populacional - r (indivíduos/tempo): determina o crescimento populacional máximo na ausência de exploração.

Os valores dos atributos de produtividade para as espécies estudadas foram obtidos, em sua maioria, da meta-análise realizada por Lucena-Frédou et al. (2016), a qual versa sobre características do ciclo vital e padrões de pesca de teleósteos diversos. Os atributos não relacionados na meta-análise supracitada, foram extraídos dos estudos de: Collette e Nauen (1983); Nakamura (1985); Griffiths et al. (2011); Chiang et al. (2011); Darvishi et al. (2012); Ghosh et al. (2012); Ganga et al. (2012); Kopf et al. (2012); Jasmine et al. (2013); Quratulan et al. (2016) e Yasemi et al. (2017), de documentos oficiais de instituições encarregadas da conservação das espécies: Collette et al. (2011 a, b, c, d, e); IOTC (2017 d) e ICCAT (2016), bem como de bases de dados científicas públicas (FISHBASE, 2017). Os valores para a taxa intrínseca de crescimento populacional foram estimados conforme Robinson (2016), a partir da equação: $r = 2\omega M$, onde $\omega = 0,87$ é um fator que relaciona o F_{RMS} à mortalidade natural (M) em teleósteos (ZHOU et al., 2013). A mortalidade natural foi estimada segundo a equação empírica de Then et al. (2015): $M = 4.811K^{0.73}L_{\infty}^{-0.33}$. Os valores para os atributos de produtividade obtidos da literatura supracitada estão disponíveis no Apêndice 1.

Na Tabela 2 já constam os atributos e os rankings de produtividade e limites entre eles. Caso haja número suficiente de estoques a serem analisados, é possível estimar estatisticamente limites específicos entre os rankings de produtividade conforme o cenário analisado (ROBINSON, 2016). Como nessa análise são consideradas apenas 15

espécies, utilizamos limites estimados por Hobday et al. (2007, 2011) e / ou Lucena-Fredou et al. (2017), os quais foram derivados de espécies com enorme variedade de parâmetros relativos ao ciclo vital e produtividade, entre as quais estão incluídas a maior parte das espécies analisadas no presente trabalho.

Tabela 2 – Atributos de produtividade, rankings de produtividade e limites entre os rankings.

Atributo	Produtividade (escore)		
	Baixa (1)	Moderada (2)	Elevada (3)
Idade na maturação (A_{50})	> 15 anos	5-15 anos	< 5 anos
Idade máxima ($A_{\max}$)	> 14 anos	8-14 anos	< 8 anos
Fecundidade (Fec)	< 1.03 milhões de oócitos	1.03-2.88 milhões de oócitos	> 2.88 milhões de oócitos
Tamanho máximo ($L_{\max}$)	> 200 cm	100-200 cm	< 100 cm
Tamanho de primeira maturação (L_{50})	> 105 cm	40-105 cm	< 40 cm
$L_{50}/L_{\max}$	> 0,55	0,51-0,55	< 0,51
k	< 0,27	0,27-0,36	> 0,36
r	< 0,26	0,26-0,48	> 0,48

3.6. Atributos de susceptibilidade

Foram utilizados como atributos de susceptibilidade aqueles descritos em Hobday et al. (2007, 2011) e / ou Lucena-Fredou et al. (2017): (i) percentagem da área de distribuição da espécie sujeita à pesca na área de competência da IOTC ('Disponibilidade'); (ii) percentagem da distribuição vertical da espécie sujeita à ação do apetrecho de pesca ('Encontrabilidade'); (iii) percentagem de indivíduos capturados com comprimento maior do que o comprimento de primeira maturação ('% > L_{50} ') e (iv) a existência ou não de medidas de gerenciamento referentes às espécies analisadas ('Estratégias de gerenciamento'), cujos possíveis valores foram definidos como '10', '20' e '30', no caso da ausência de estratégias de gerenciamento, existência de medidas indiretas de gerenciamento e existência de medidas diretas de gerenciamento, respectivamente. Além disso, foram incluídos entre os parâmetros de susceptibilidade o status das espécies na International Union for Conservation of Nature ('Status IUCN'), cujos possíveis valores foram definidos como '30', para o status 'Least concern' (LC), '20', para o status 'Data deficient', e '10', para os status 'Near threatened' (NT), 'Vulnerable' (VU), 'Endangered' (EN) e 'Critically endangered' (CR) e o índice de

qualidade dos dados sobre a captura estimado pela IOTC ('Dados IOTC'), cujos valores pertencem ao intervalo [1, 3]. Os valores para os atributos de susceptibilidade utilizados nesse estudo estão disponíveis no Apêndice 2.

Cabem comentários sobre os atributos adotados. Os atributos de susceptibilidade utilizados por Hobday et al. (2011) em sua metodologia ('Disponibilidade' e 'Encontrabilidade' no caso desse estudo), estão indiretamente relacionados à quantidade de indivíduos removidos ou capturados, e particularmente ao coeficiente de capturabilidade, podendo, portanto, indicar uma maior ou menor exposição das espécies aos apetrechos utilizados na sua exploração. Lucena-Frédou et al. (2017) argumentam que estoques pesqueiros submetidos a estratégias de gerenciamento estão menos susceptíveis à sobrepesca em relação àqueles que não estão sujeitos a qualquer tipo de regulação, justificando assim a sua utilização como atributo de susceptibilidade. Obviamente, o atributo ' $\% > L_{50}$ ' reflete a seletividade dos apetrechos de pesca. Apetrechos pouco seletivos em relação ao tamanho de primeira maturação penalizam mais fortemente os imaturos, o que para alguns pesquisadores é inadequado. O status IUCN das espécies foi incluído entre os atributos de susceptibilidade, porque espécies sujeitas a um elevado risco, como 'Near threatened', 'Vulnerable', 'Endangered' ou 'Critically Endangered', estariam mais susceptíveis aos efeitos adversos dos apetrechos de pesca se tomado como válido o disposto na IUCN. A qualidade dos dados IOTC sobre a captura também foi incluída entre os atributos, na tentativa de se considerar deficiências amostrais e incertezas quanto à confiabilidade das estimativas. Dados equivocados podem levar a avaliações pouco robustas a respeito das populações, bem como a estratégias de gerenciamento inadequadas e ineficientes.

Os valores para o atributo 'Disponibilidade' foram estimados com o auxílio do programa de código aberto Quantum GIS 2.18 Las Palmas (QGIS Developer Team, 2014). Inicialmente camadas (*shape files*) relativas às distribuições geográficas das espécies foram obtidas no website da IUCN (IUCN, 2017), enquanto que camadas referentes às áreas de atuação dos diferentes apetrechos de pesca na área da IOTC foram criadas a partir de arquivos Keyhole Markup Language (KLM) produzidos com o software Google Earth, tendo como base as coordenadas geográficas disponibilizadas no website da IOTC, em planilhas sobre a captura das espécies para fins de avaliação dos estoques (IOTC, 2016 a, 2017 e, f, g). Posteriormente, para cada espécie e cada apetrecho de pesca atuando separadamente em sua exploração, foram criadas camadas correspondentes a interseções entre as camadas supracitadas, ou seja, distribuição geográfica da espécie e área de

atuação do apetrecho de pesca na área da IOTC. Assim, foi possível estimar as porcentagens das áreas de distribuição de cada espécie no Oceano Índico, sujeitas à ação individual de cada um dos apetrechos de pesca considerados nessa análise, ou seja, os valores para o atributo ‘Disponibilidade’. Mapas ilustrando as distribuições das espécies na área da IOTC e respectivas áreas de exploração estão disponíveis no Apêndice 3.

Os valores para o atributo ‘Encontrabilidade’ foram estimados da seguinte maneira: distribuições das espécies na coluna d’água foram obtidas em base de dados científicos (FISHBASE, 2017 a), enquanto que as distribuições verticais dos apetrechos de pesca foram extraídas de folhetos informativos sobre as técnicas de pesca utilizadas pela frota atuneira (FAO, 2017). Com base nesses valores, foram determinados os valores para o atributo, ou seja, as porcentagens das áreas de distribuição das espécies na coluna d’água sujeitas à ação de cada um dos apetrechos de pesca utilizados na análise.

Os valores do atributo ‘% > L₅₀’ foram estimados a partir de planilhas sobre frequência de tamanho (período 2010-2015), disponibilizadas para fins de avaliação de estoque na webpage da IOTC (IOTC, 2016 b, 2017 h, i, j, k, l).

Com relação ao atributo ‘Status IUCN’, as classificações das espécies foram obtidas no website da IUCN, ‘Red List’ de espécies ameaçadas (IUCN, 2017 a).

Os valores para o atributo ‘Dados IOTC’ foram estimados com base nos valores atribuídos à qualidade dos dados de captura, os quais também foram obtidos nas planilhas sobre a captura das espécies para fins de avaliação dos estoques, disponíveis no website da IOTC (IOTC, 2016 a, 2017 e, f, g). A cada entrada individual de dados sobre a captura (cada linha da planilha de dados), a IOTC atribui escores relativos à qualidade. Os escores definem uma ordem crescente de qualidade, onde os escores ‘0’ ou ‘1’ significam dados de qualidade duvidosa, o escore ‘2’, qualidade moderada e o escore ‘3’, boa qualidade. Os valores utilizados para esse atributo de produtividade foram a média aritmética dos escores atribuídos a cada entrada individual de dados na planilha de captura IOTC, considerando cada espécie e cada apetrecho usado em sua exploração.

Aos atributos indisponíveis por limitações nos dados, foi atribuído o valor ‘100’, no caso dos atributos ‘Disponibilidade’ e ‘Encontrabilidade’, ou o valor ‘0’, no caso dos atributos ‘% > L₅₀’, ‘Estratégias de gerenciamento’, ‘Status IUCN’ e ‘Dados IOTC’, os quais retornarão o escore mais conservativo, ou seja, aquele relativo a uma alta susceptibilidade aos efeitos da pesca (escore 3), opção alinhada com o conceito de abordagem precautória frente a incertezas, inerente à ERAEF.

Os limites entre os rankings de susceptibilidade relativos aos atributos

‘Disponibilidade’, ‘Encontrabilidade’ e ‘% > L₅₀’ foram obtidos de Lucena-Fredou et al. (2017). Para o atributo ‘Qualidade dos dados IOTC’, os limites foram definidos como 90% e 70% do escore máximo que poderia ser atribuído à qualidade dos dados (escore 3). Os rankings de susceptibilidade para o atributo ‘Status IUCN’ foram definidos da seguinte maneira: baixa susceptibilidade para a categoria ‘30’; susceptibilidade moderada para a categoria ‘20’ e elevada susceptibilidade para qualquer categoria diferente das citadas anteriormente. A Tabela 3 detalha os atributos, bem como os scores e limites entre os rankings de susceptibilidade.

Tabela 3 – Atributos de susceptibilidade, rankings de susceptibilidade e limites entre os Rankings

Atributo	Susceptibilidade (escore)		
	Baixa (1)	Moderada (2)	Elevada (3)
Disponibilidade	< 25% do estoque ocorre na área de pesca	25-50% do estoque ocorre na área de pesca	> 50% do estoque ocorre na área de pesca
Encontrabilidade	< 25% do estoque ocorre nas profundidades cobertas pelos apetrechos de pesca	25-50% do estoque ocorre nas profundidades cobertas pelos apetrechos de pesca	> 50% do estoque ocorre nas profundidades cobertas pelos apetrechos de pesca
% > L ₅₀	> 95 %	50-95%	< 50 %
Estratégias de gerenciamento	30	20	<20
Status IUCN	30	20	<20
Dados IOTC	> 2,7	2,1-2,7	< 2,1

3.1. Índices de produtividade e susceptibilidade

Os índices de produtividade e de susceptibilidade, relativos a cada apetrecho de pesca atuando separadamente, foram definidos como sendo a média ponderada dos escores atribuídos aos atributos de produtividade e de susceptibilidade, respectivamente. Foi utilizada a escala de peso e exatamente a mesma metodologia descrita em Lucena-Fredou et al. (2017), ou seja, uma escala de peso variando de 1 a 3, onde o peso padrão é o 2.

No caso da produtividade o peso 3 foi atribuído a ‘L_{max}’, ‘k’ e ‘r’, que segundo os autores citados no parágrafo anterior, explicam a maior parte das diferenças entre as espécies, enquanto que para os demais foi atribuído o peso padrão. Para os atributos de susceptibilidade foi utilizado o peso padrão 2 para todos os atributos com exceção do

atributo ‘Estratégias de gerenciamento’, ao qual foi atribuído peso 1, devido aos mesmos motivos citados pelos autores supracitados, ou seja, a grande dificuldade em saber se as medidas de gerenciamento estão realmente sendo cumpridas pelas diversas frotas atuando no Oceano Índico.

3.2. Impacto cumulativo

No presente trabalho, propomos um método para determinar índices cumulativos de susceptibilidade (IC), que diferentemente das metodologias citadas anteriormente, atua sobre valores dos atributos de susceptibilidade referentes a cada categoria individual de pesca, da seguinte maneira:

Seja a matriz $[a_{ij}]_{m \times n}$, onde m = número de categorias de pesca atuantes na exploração de determinada espécie e n = número de atributos de susceptibilidade utilizados na PSA, a qual denominaremos MSI (matriz susceptibilidade individual). As linhas da matriz definida acima correspondem aos valores dos atributos de susceptibilidade de cada uma das categorias de pesca a explorar determinada espécie, onde a_{in} = valores dos atributos de susceptibilidades. Como no caso desse estudo $n = 6$, então, a_{i1} = valor do atributo ‘Disponibilidade’, a_{i2} = valor do atributo ‘Encontrabilidade’, a_{i3} = valor do atributo ‘% > L_{50} ’, a_{i4} = valor do atributo ‘Estratégias de gerenciamento’, a_{i5} = valor do atributo ‘Status IUCN’, a_{i6} = valor do atributo ‘Dados IOTC’.

Definimos, então, a transformação $T_{ag}([a_{ij}]_{m \times 6}) = [c_{ij}]_{1 \times 6} = (\sum_{i=1}^m a_{i1}, \sum_{i=1}^m a_{i2}, \min(a_{i3}), \min(a_{i4}), \min(a_{i5}), \min(a_{i6}))$, que transforma a MSI no vetor VSA (vetor susceptibilidade agregada), cujas coordenadas herdaram ou acumulam os valores da MSI, e, portanto, podem ser consideradas como valores referentes à atuação simultânea de todas as categorias de pesca consideradas na PSA. A essas coordenadas (atributos) é possível atribuir normalmente escores de susceptibilidade, conforme metodologia proposta por Hobday et al (2007, 2011), e então, a partir desses escores, calcular índices de susceptibilidade conforme descrito acima no item ‘3.7 Índices de produtividade e susceptibilidade’, que nesse caso serão índices cumulativos de susceptibilidade (IC).

Observe que os efeitos cumulativos são incorporados por meio dos somatórios das coordenadas referentes aos atributos ‘Disponibilidade’ e ‘Encontrabilidade’, enquanto que as demais coordenadas do vetor VSA referem-se aos valores dos atributos que retornam o escore mais conservativo, dentre aqueles das diversas categorias de pesca atuantes.

3.3. PSA plot, área do PSA plot e regiões de risco

No presente trabalho, os índices de produtividade e susceptibilidade foram representados graficamente num plano cartesiano (PSA plot) com origem no ponto $\mathbf{o}'' = (3,1)$, índices de produtividade representados no eixo das abscissas (x) e índices de susceptibilidade no eixo das ordenadas (y). A área total do PSA plot foi definida como sendo a área do quadrado com vértices nos pontos (1,1), (1,3), (3,1) e (3,3). A área total do PSA plot foi dividida em três diferentes regiões de risco (baixo, moderado e alto), delimitadas pelos seguintes arcos de circunferência com centros na origem do PSA plot: AB e CD, onde $A = (3,2)$, $B = (2,1)$, $C = (3,3)$ e $D = (1,1)$ são pontos do PSA plot. A região mais próxima da origem foi definida como de risco baixo (produtividade elevada e susceptibilidade baixa), a região mais afastada da origem foi definida como de risco alto (produtividade baixa e susceptibilidade elevada), enquanto que a região entre as duas anteriormente citadas foi definida como de risco moderado (produtividade e susceptibilidade moderadas). Obviamente, as espécies foram classificadas observando-se sua localização nas respectivas regiões de risco. Para adequada visualização, os PSAs plots foram rotacionados em 180° .

No presente trabalho, foi utilizada uma abordagem alternativa quanto à definição das regiões de risco. As regiões de risco foram definidas com base nos valores dos escores 1, 2 e 3 utilizados em PSAs. O motivo para a utilização dessa abordagem foi considerarmos a metodologia descrita por Hobday et al. (2007) um pouco confusa e contraditória em relação à determinação das regiões de risco. Inicialmente esses autores definem a vulnerabilidade (overall risk) de uma espécie a determinada categoria de pesca, como a distância euclidiana da sua localização no PSA plot à origem do PSA plot, a qual é definida pelos autores como o ponto $\mathbf{o}' = (1,1)$. Eles também sugerem que as regiões de risco no PSA plot sejam definidas com base na divisão da área total do PSA plot, ou seja, a área do quadrado definido pelos pontos (1,1), (1,3), (3,1) e (3,3), em três regiões de áreas equivalentes, considerando que com esse design as espécies estudadas apresentam probabilidades equivalentes de serem consideradas de risco baixo, moderado ou elevado. Posteriormente, eles utilizam a origem do sistema cartesiano $\mathbf{o} = (0,0)$ para estimar as vulnerabilidades das espécies analisadas, contrariando a definição de vulnerabilidade estabelecida por eles anteriormente, e definem os limites entre as regiões de risco como os percentis 33,33 (2,64) e 66,66 (3,18) da distribuição de todos os valores possíveis de vulnerabilidade, os quais eles estimam como 2,64 e 3,18, respectivamente. Cabe ressaltar que esses valores são impossíveis se definirmos a vulnerabilidade como a distância

euclidiana à origem do PSA plot definido pelos autores.

3.4. Vulnerabilidade

No presente trabalho, os índices de vulnerabilidade das espécies à exploração no Oceano Índico foram estimados medindo-se a distância euclidiana do ponto (p, s) a à origem do PSA plot, ou seja, $V = \sqrt{(p - 3)^2 + (s - 1)^2}$, onde p e s são os índices de produtividade e susceptibilidade, estimados durante a realização das PSAs.

Os índices de vulnerabilidade foram utilizados para classificar as espécies quanto ao grau de vulnerabilidade à atuação individual e simultânea dos apetrechos de pesca considerados nesse estudo.

3.5. Avaliação de incertezas

De acordo Edwards et al. (2012), é bastante importante uma avaliação adequada da incerteza em análises com dados limitados. Hobday et al. (2007, 2011) sugerem algumas maneiras de estimar incertezas referentes à análise de produtividade e susceptibilidade, como por exemplo:

- (i) Identificar os atributos de produtividade e susceptibilidade com valores não observados, ou seja, aqueles que receberam o escore conservativo (escore máximo por desconhecimento do valor do atributo), considerando todas as unidades de análise (em nosso caso, todas as espécies), visto que um número elevado de atributos sem valores informados, pode levar a um número elevado de falsos positivos, de acordo com a abordagem precaucionaria utilizada na PSA;
- (ii) observar a correlação entre os atributos de produtividade, pois atributos fortemente correlacionados podem viesar os resultados;
- (iii) estimar desvios padrão de todos os valores de índices de produtividade e susceptibilidade estimados por técnica de reamostragem na qual os índices são estimados para todas as combinações de (n-1) atributos dentro de cada unidade de análise. O desvio padrão seria a medida de incerteza, pois não é esperado que a eliminação de um atributo de produtividade ou susceptibilidade tenha um grande efeito sobre os respectivos índices de produtividade e susceptibilidade.

A abordagem descrita acima foi empregada para avaliar a incerteza relacionada às PSAs utilizadas na determinação do impacto cumulativo dos diversos apetrechos de pesca atuantes na exploração comercial no Oceano Índico.

3.6. Análise de sensibilidade

Foram realizadas análises para testar a sensibilidade das PSAs a mudanças nos métodos de determinação dos índices cumulativos de susceptibilidade e limites entre as regiões de risco, bem como à utilização de diferentes conjuntos de atributos de susceptibilidade e omissão de atributos de produtividade fortemente correlacionados, conforme descrito a seguir.

3.6.1. Índices cumulativos de susceptibilidade

Os índices cumulativos de susceptibilidade também foram estimados de acordo com as metodologias propostas por Ormseth e Spencer (2011) e Micheli et al. (2014). Esses índices foram utilizados para determinar o risco ecológico das espécies à atuação simultânea dos diversos apetrechos de pesca utilizados na exploração comercial no Oceano Índico. Os resultados obtidos utilizando-se as metodologias acima, foram comparados àqueles obtidos de acordo com a metodologia proposta no presente estudo.

3.6.2. Limites entre as regiões de risco

O risco ecológico das espécies à atuação simultânea das diversas categorias de pesca também foi estimado considerando a sugestão de Hobday et al (2007), no que diz respeito à divisão da área total do PSA plot em três regiões de risco com áreas equivalentes. Os resultados obtidos de acordo com a metodologia acima foram comparados àqueles obtidos nesse estudo.

3.6.3. Atributos de susceptibilidade

Foram realizadas simulações, no sentido de verificar se a utilização de um diferente conjunto de atributos de susceptibilidade influenciaria na classificação de algumas espécies consideradas de risco moderado no presente estudo, no entanto, classificadas como de risco elevado por Lucena-Frédou et al. (2017), apesar desses autores investigarem apenas a pesca com espinhel pelágico. Ao observar que no presente estudo, foram utilizados a maioria dos atributos de susceptibilidade presentes em Lucena-Frédou et al. (2017), com exceção dos atributos 'Mortalidade pós-captura' e 'Z/k', os quais nesse estudo foram substituídos pelos atributos 'Status IUCN' e 'Dados IOTC',

foram estabelecidos dois diferentes cenários:

- (i) Cenário A – foram utilizados todos os atributos de susceptibilidade considerados nesse estudo, acrescidos dos atributos ‘Mortalidade pós-captura’ e ‘Z/k’ utilizados por Lucena-Frédou et al. (2017) e
- (ii) Cenário B – Foram utilizados apenas os atributos de susceptibilidade considerados por Lucena-Frédou et al. (2017), ou seja, os atributos ‘Status IUCN’ e ‘Dados IOTC’ utilizados nesse estudo foram substituídos pelos atributos ‘Mortalidade pós-captura’ e ‘Z/k’ de Lucena-Frédou et al. (2017).

As simulações foram realizadas utilizando-se todas as combinações possíveis de escores, considerando constantes os escores atribuídos aos atributos de susceptibilidade considerados nesse estudo e variando os escores atribuídos aos atributos ‘Mortalidade pós-captura’ e ‘Z/k’ utilizados por Lucena-Frédou et al. (2017), até a utilização de todas as combinações possíveis desses escores.

Considerando que após as simulações, tornaram-se conhecidas todas as combinações de escores possíveis para os dois cenários, foram construídas distribuições de probabilidades dos índices cumulativos de susceptibilidade das seis espécies consideradas de alto risco por Lucena-Frédou et al. (2017): *Thunnus obesus*, *Thunnus alalunga*, *Makaira nigricans*, *Istiompax indica*, *Istiophorus platyperus* e *Xiphias gladius*, a partir das quais puderam ser estimadas quais seriam as probabilidades das espécies supracitadas serem consideradas de alto risco nesses dois cenários.

Como Lucena-Frédou et al. (2017) consideraram apenas o espinhel pelágico em seu estudo, as mesmas simulações descritas acima foram utilizadas para o caso das PSAs realizadas apenas para o espinhel pelágico, no sentido de verificar a influência dos atributos de susceptibilidade supracitados nos resultados tão distintos obtidos nesse estudo e naquele de Lucena-Frédou et al. (2017), respectivamente.

3.6.4. Atributos de produtividade

O risco ecológico das espécies à atuação simultânea das diversas categorias de pesca também foi estimado com a exclusão de alguns atributos de produtividade fortemente correlacionados, no sentido de testar a influência desses atributos sobre os

resultados obtidos no presente estudo. Em adição, o caso tratado no presente item também foi combinado com aquele tratado no item ‘4.4.2. Limites entre as regiões de risco’, no sentido de verificar a sensibilidade das análises à combinação dessas duas situações.

4. Resultados

4.1. Vulnerabilidade à ação simultânea das categorias de pesca

Foram analisadas 15 espécies de teleósteos, pertencentes a quatro diferentes grupos: (i) peixes de bico; (ii) atuns tropicais e de zona temperada e (iii) atuns neríticos e afins. Na figura 3 é mostrado o PSA plot relativo à análise de risco ecológico aos efeitos cumulativos da pesca no Oceano Índico. Observa-se índices de produtividade variando de 1.35 a 2.65 e índices cumulativos de susceptibilidade na faixa de valores de 2.09 a 2.82.

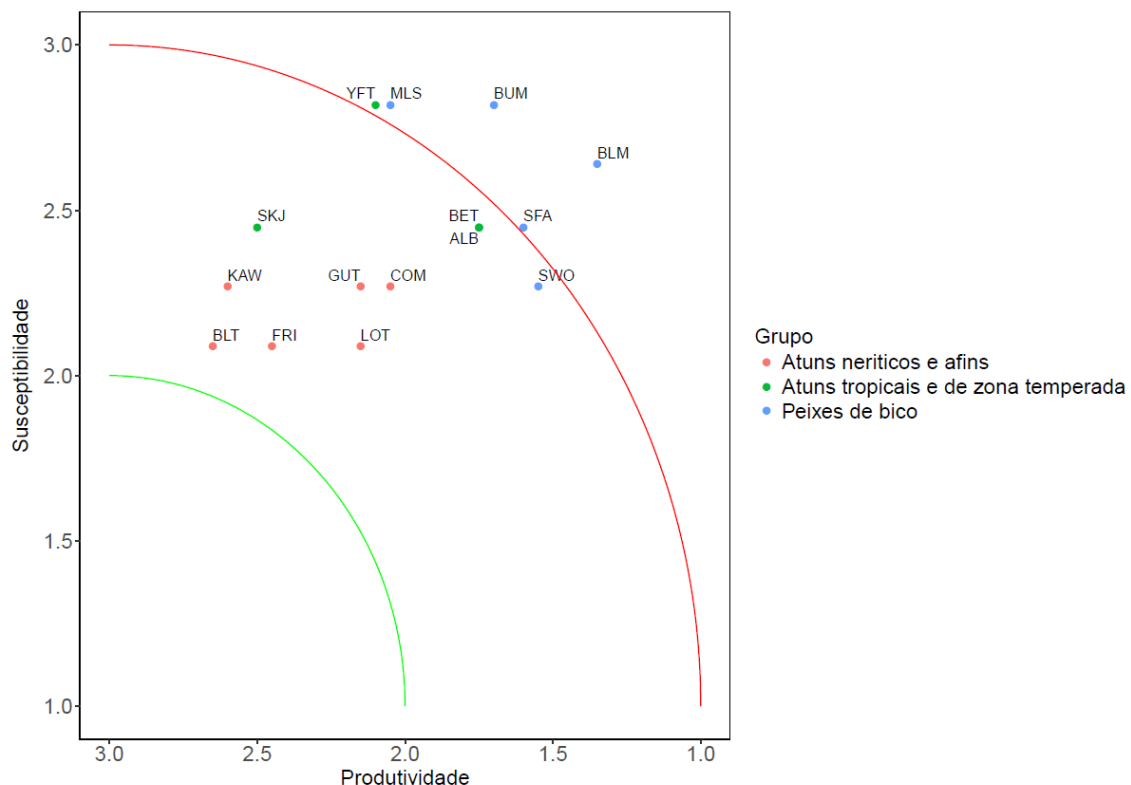


Figura 2. PSA Plot para peixes de bico, atuns e afins submetidos à ação simultânea dos apetrechos de pesca utilizados na exploração comercial no Oceano Índico.

Os índices de vulnerabilidade e os graus de risco ecológico aos efeitos cumulativos da pesca das espécies analisadas de acordo com a metodologia desenvolvida no presente trabalho são apresentados na Tabela 4. Observa-se que o *Istiompax indica* (agulhão negro) ocupa o topo do ranking decrescente de vulnerabilidade, em conjunto com três outras espécies de peixes de bico: *Makaira nigricans* (agulhão azul), *Kajikia*

audax (agulhão listrado) e *Istiophorus platypterus* (agulhão vela do Indo-Pacífico) e outra do grupo dos atuns tropicais: *Thunnus albacares* (albacora laje). Essas cinco espécies são consideradas como de risco ecológico alto aos efeitos cumulativos da pesca no Oceano Índico, enquanto as demais 12 espécies são consideradas de risco ecológico moderado.

O Grupo dos peixes de bico parece ser o mais vulnerável à exploração comercial no Oceano Índico, com a maioria das espécies a ocupar as cinco primeiras posições do ranking decrescente de vulnerabilidade apresentado. Por outro lado, os atuns neríticos e afins parecem ser os menos vulneráveis, e ocupam as cinco últimas posições do mesmo ranking.

Tabela 4. Espécies listadas em ordem decrescente de vulnerabilidade e risco ecológico aos efeitos da pesca no Oceano Índico.

Espécie	Grupo	P*	IC*	V*	Risco ecológico
<i>Istiompax indica</i>	Peixes de bico	1,35	2,64	2,33	Alto
<i>Makaira nigricans</i>	Peixes de bico	1,70	2,82	2,24	Alto
<i>Kajikia audax</i>	Peixes de bico	2,05	2,82	2,05	Alto
<i>Thunnus albacares</i>	Atuns tropicais / zona temperada	2,10	2,82	2,03	Alto
<i>Istiophorus platypterus</i>	Peixes de bico	1,60	2,45	2,02	Alto
<i>Xiphias gladius</i>	Peixes de bico	1,55	2,27	1,93	Moderado
<i>Thunnus obesus</i>	Atuns tropicais / zona temperada	1,75	2,45	1,91	Moderado
<i>Thunnus alalunga</i>	Atuns tropicais / zona temperada	1,75	2,45	1,91	Moderado
<i>Scomberomorus commerson</i>	Atuns neríticos e afins	2,05	2,27	1,59	Moderado
<i>Katsuwonus pelamis</i>	Atuns tropicais/zona temperada	2,50	2,45	1,53	Moderado
<i>Scomberomorus guttatus</i>	Atuns neríticos e afins	2,15	2,27	1,53	Moderado
<i>Thunnus tonggol</i>	Atuns neríticos e afins	2,15	2,09	1,38	Moderado
<i>Euthynnus affinis</i>	Atuns neríticos e afins	2,60	2,27	1,33	Moderado
<i>Auxis thazard</i>	Atuns neríticos e afins	2,45	2,09	1,22	Moderado
<i>Auxis rochei</i>	Atuns neríticos e afins	2,65	2,09	1,14	Moderado

* P – Índice de produtividade, IC – Índice cumulativo de susceptibilidade e V – Índice de vulnerabilidade.

4.2. Impacto individual das categorias de pesca

Os índices de vulnerabilidade e o nível de risco ecológico das espécies à ação individual das diversas categorias de pesca atuantes na exploração comercial são detalhados no apêndice 4, enquanto gráficos relativos às PSAs de cada uma dessas categorias de pesca analisadas individualmente estão ilustrados nas figuras 3-7 abaixo. As análises mostram que a maioria das espécies foram consideradas de risco moderado. Apenas o agulhão negro foi considerado de risco alto para todos os apetrechos de pesca atuando na sua exploração (espinhel pelágico, linha e anzol e redes de emalhar).

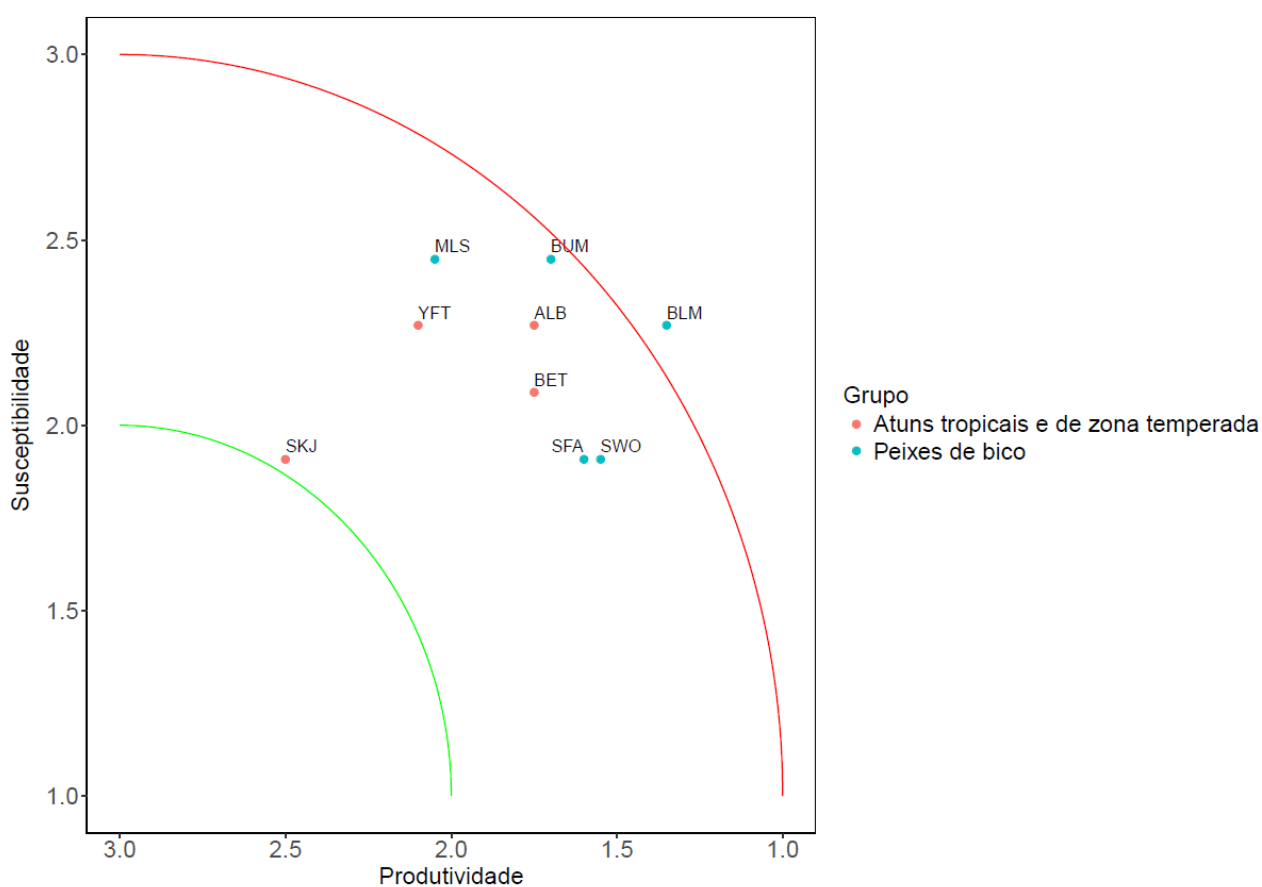


Figura 3. PSA plot para peixes de bico, atuns e afins aos efeitos da pesca com espinhel pelágico no Oceano Índico.

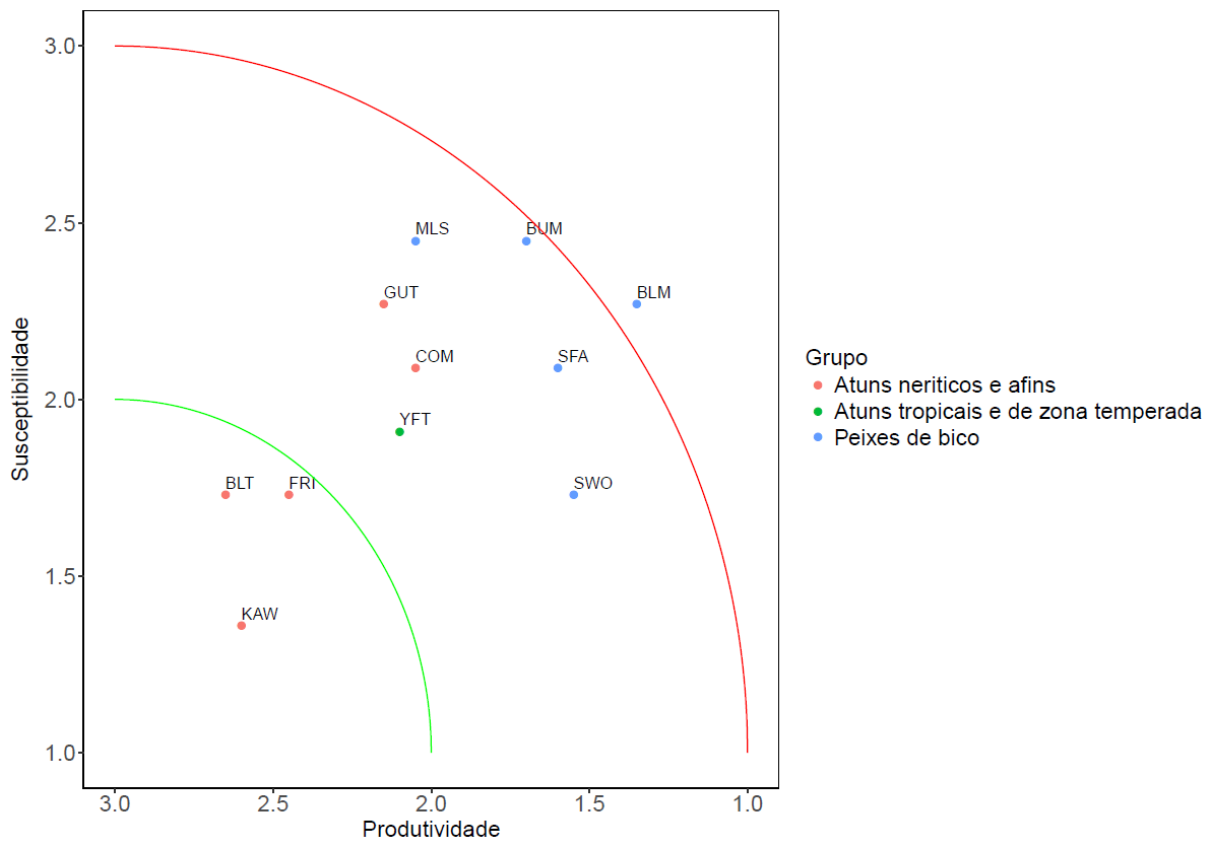


Figura 4. PSA plot para peixes de bico, atuns e afins aos efeitos da pesca com linha e anzol no Oceano Índico.

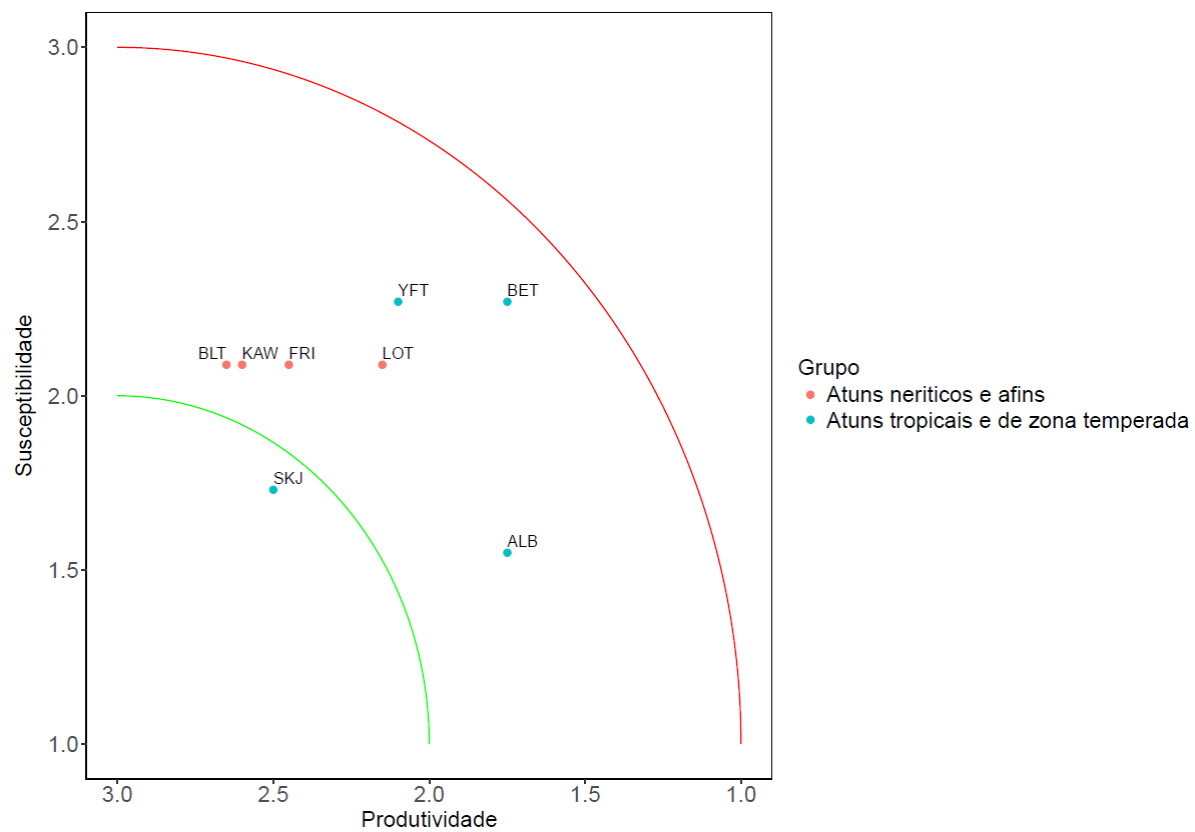


Figura 5. PSA plot para peixes de bico, atuns e afins aos efeitos da pesca com rede de cerco no Oceano Índico.

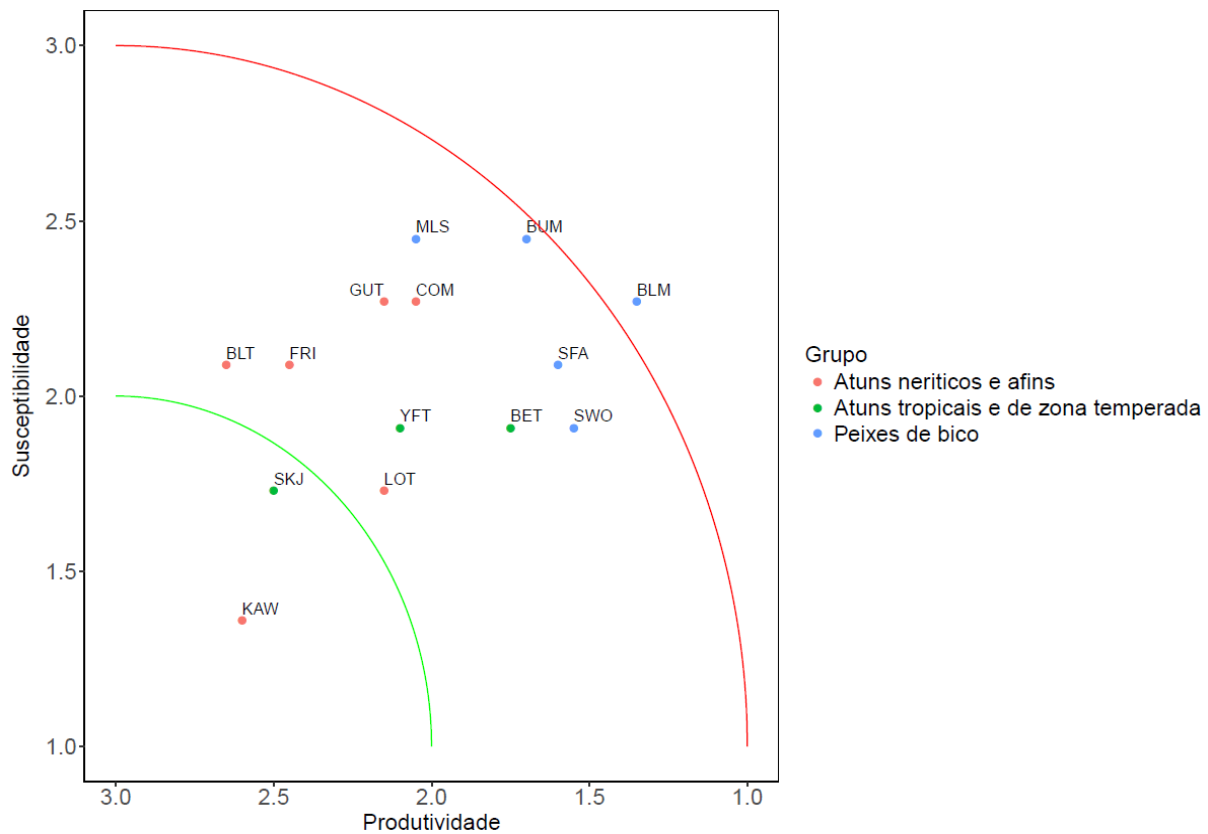


Figura 6. PSA plot para peixes de bico, atuns e afins aos efeitos da pesca com rede de emalhar no Oceano Índico.

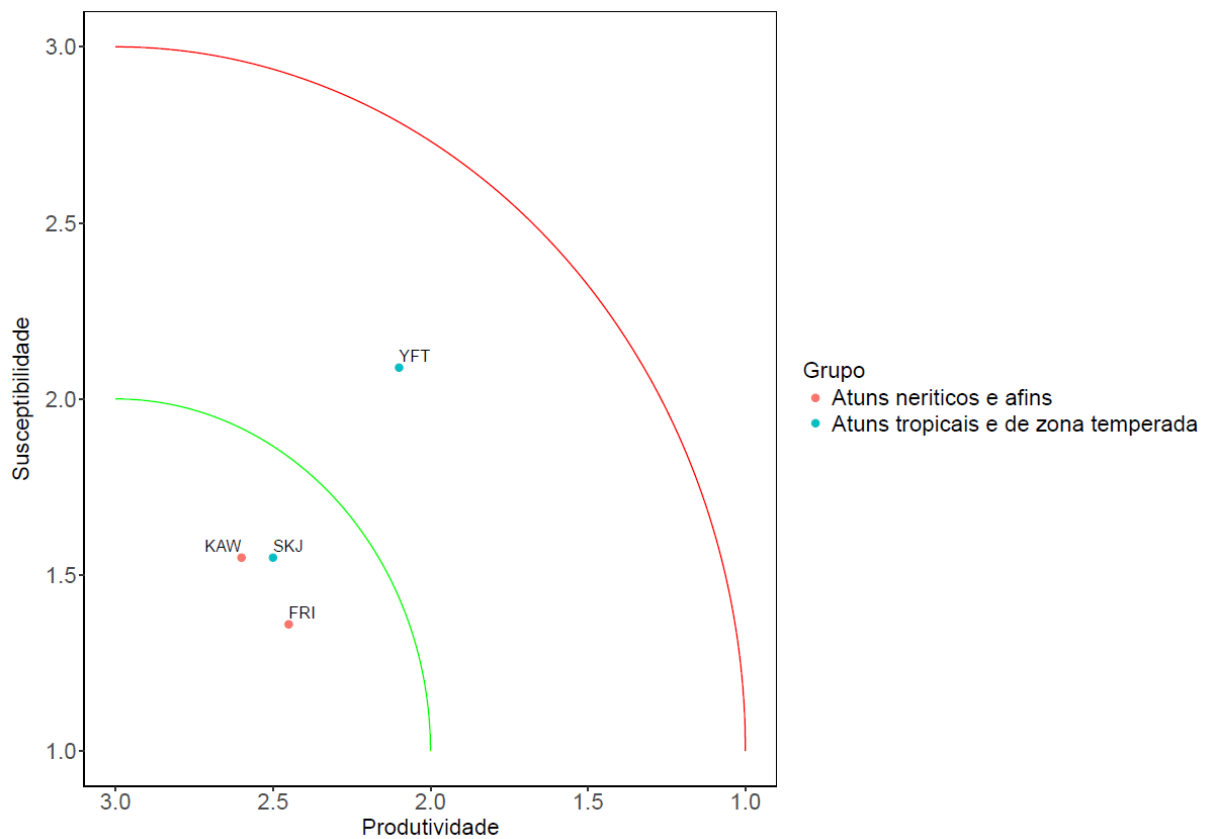


Figura 7. PSA plot para peixes de bico, atuns e afins aos efeitos da pesca com vara e isca viva no Oceano Índico.

4.3. Avaliação de incertezas

Quanto à reamostragem utilizando todas as combinações de (n-1) atributos, foram obtidos os seguintes valores médios e desvios padrão para os atributos de produtividade e susceptibilidade, respectivamente, $2,02 \pm 0,40$ e $2,42 \pm 0,30$. Os valores médios supracitados foram estimados considerando todas as unidades de análise. Os valores relativos a cada espécie individualmente são mostrados no apêndice 5.

Com relação a correlação entre atributos, a tabela 5 mostra a matriz de correlação entre os atributos de produtividade. Se considerarmos atributos fortemente correlacionados aqueles com um coeficiente de correlação superior a 0,70, então observa-se que, respectivamente, os atributos $L_{\max}$ -r, $L_{\max}$ - L_{50} , $L_{\max}$ - $A_{\max}$, L_{50} -r e k-r estão fortemente correlacionados.

Tabela 5. Matriz de correlação dos atributos de susceptibilidade

	A_{50}	$A_{\max}$	Fec	$L_{\max}$	L_{50}	k	r	$L_{50}/L_{\max}$
A_{50}	1	0,40	0,01	0,56	0,55	-0,64	-0,66	0,09
$A_{\max}$	0,40	1	-0,06	0,70	0,64	-0,39	-0,50	0,03
Fec	0,01	-0,06	1	0,32	0,50	0,04	-0,19	0,27
$L_{\max}$	0,56	0,70	0,32	1	0,90	-0,68	-0,78	-0,16
L_{50}	0,55	0,64	0,50	0,90	1	-0,60	-0,71	0,20
k	-0,64	-0,39	0,04	-0,68	-0,60	1	0,76	0,16
r	-0,66	-0,50	-0,19	-0,78	-0,71	0,76	1	0,25
$L_{50}/L_{\max}$	0,09	0,03	0,27	-0,16	0,20	0,16	0,25	1

Considerando as quinze espécies analisadas quanto aos efeitos cumulativos da pesca no Oceano Índico, nenhum dos atributos de produtividade recebeu escore conservativo. Em relação aos atributos de susceptibilidade, os atributos ‘Encontrabilidade’, ‘% > L_{50} ’ e ‘Dados IOTC’ receberam o escore conservativo. O maior nível de incerteza foi observado nas análises referentes as categorias de pesca ‘Linha e anzol’ e ‘Rede de emalhar’, para as quais todos os atributos supracitados receberam escore conservativo. Considerando essas categorias de pesca, respectivamente, 45% e 36% (‘Disponibilidade’), 64% e 36% (‘% < L_{50} ’) e 45% e 36% (‘Dados IOTC’), das espécies receberam escore conservativo. Com relação as categorias de pesca ‘Rede de cerco’ e ‘Vara e isca viva’, apenas o atributo ‘Dados IOTC’ recebeu escore conservativo (25% das espécies em ambas as categorias). Nenhum atributo recebeu escore conservativo nas análises relativas ao ‘Espinhel pelágico’. A tabela 6 discrimina os atributos de susceptibilidade e percentagem de espécies com escores conservativos para as diversas categorias de pesca analisadas.

Tabela 6. Discriminação dos atributos de susceptibilidade e percentagem de espécies com escores conservativos para as diversas categorias de pesca.

Categoria de pesca:	Atributos de susceptibilidade					
Espinhel pelágico	‘Disponibilidade’	‘% > L ₅₀ ’	‘Estratégia de gerenciamento’	‘Dados IOTC’	‘Status IUCN’	‘Encontrabilidade’
Espécies com escores atribuídos	9	9	9	9	9	9
Espécies com escore conservativo	0	0	0	0	0	0
% espécies com escore conservativo	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Categoria de pesca:	Atributos de susceptibilidade					
Linha e anzol	‘Disponibilidade’	‘% > L ₅₀ ’	‘Estratégia de gerenciamento’	‘Dados IOTC’	‘Status IUCN’	‘Encontrabilidade’
Espécies com escores atribuídos	6	4	11	6	11	11
Espécies com escore conservativo	5	7	0	5	0	0
% espécies com escore conservativo	45%	64%	0 %	45%	0 %	0 %
Categoria de pesca:	Atributos de susceptibilidade					
Rede de emalhar	‘Disponibilidade’	‘% > L ₅₀ ’	‘Estratégia de gerenciamento’	‘Dados IOTC’	‘Status IUCN’	‘Encontrabilidade’
Espécies com escores atribuídos	9	9	14	9	14	14
Espécies com escore conservativo	5	5	0	5	0	0
% espécies com escore conservativo	36%	36%	0 %	36%	0 %	0 %
Categoria de pesca:	Atributos de susceptibilidade					
Rede de cerco	‘Disponibilidade’	‘% > L ₅₀ ’	‘Estratégia de gerenciamento’	‘Dados IOTC’	‘Status IUCN’	‘Encontrabilidade’
Espécies com escores atribuídos	8	8	8	6	8	8
Espécies com escore conservativo	0	0	0	2	0	0
% espécies com escore conservativo	0%	0%	0%	25%	0 %	0 %
Categoria de pesca:	Atributos de susceptibilidade					
Vara e isca viva	‘Disponibilidade’	‘% > L ₅₀ ’	‘Estratégia de gerenciamento’	‘Dados IOTC’	‘Status IUCN’	‘Encontrabilidade’
Espécies com escores atribuídos	4	4	4	3	4	4
Espécies com escore conservativo	0	0	0	1	0	0
% espécies com escore conservativo	0%	0%	0%	25%	0 %	0 %

4.4. Análise de sensibilidade

4.4.1. Índices cumulativos de susceptibilidade

A Tabela 7 apresenta os índices cumulativos de susceptibilidade estimados de acordo com as metodologias de Ormseth e Spencer (2011) e Micheli et al. (2014), respectivamente. As figuras 8 e 9 apresentam os PSA plots para as análises de produtividade e susceptibilidade à atuação simultânea das categorias de pesca, com índices cumulativos de susceptibilidade estimados de acordo com as metodologias supracitadas.

Tabela 7. Índices cumulativos de susceptibilidade estimados de acordo com as metodologias FGI (Ormseth e Spencer, 2011); IC (desenvolvida no presente trabalho) e AS (Micheli *et al.*, 2014).

Espécie	Grupo	Susceptibilidade		
		FGI	IC	AS
<i>Thunnus albacares</i>	Atuns tropicais e de zona temperada	2,27	2,82	3,00
<i>Katsuwonus pelamis</i>	Atuns tropicais e de zona temperada	1,91	2,45	2,48
<i>Thunnus obesus</i>	Atuns tropicais e de zona temperada	2,09	2,45	2,91
<i>Thunnus alalunga</i>	Atuns tropicais e de zona temperada	2,27	2,45	2,38
<i>Thunnus tonggol</i>	Atuns neríticos e afins	2,09	2,09	2,31
<i>Euthynnus affinis</i>	Atuns neríticos e afins	2,09	2,27	2,32
<i>Auxis thazard</i>	Atuns neríticos e afins	2,09	2,09	2,74
<i>Auxis rochei</i>	Atuns neríticos e afins	2,09	2,09	2,71
<i>Scomberomorus commerson</i>	Atuns neríticos e afins	2,09	2,27	2,67
<i>Scomberomorus guttatus</i>	Atuns neríticos e afins	2,27	2,27	2,80
<i>Makaira nigricans</i>	Peixes de bico	2,45	2,82	3,00
<i>Istiompax indica</i>	Peixes de bico	2,27	2,64	3,00
<i>Kajikia audax</i>	Peixes de bico	2,45	2,82	3,00
<i>Istiophorus platypterus</i>	Peixes de bico	2,09	2,45	2,79
<i>Xiphias gladius</i>	Peixes de bico	1,91	2,27	2,48

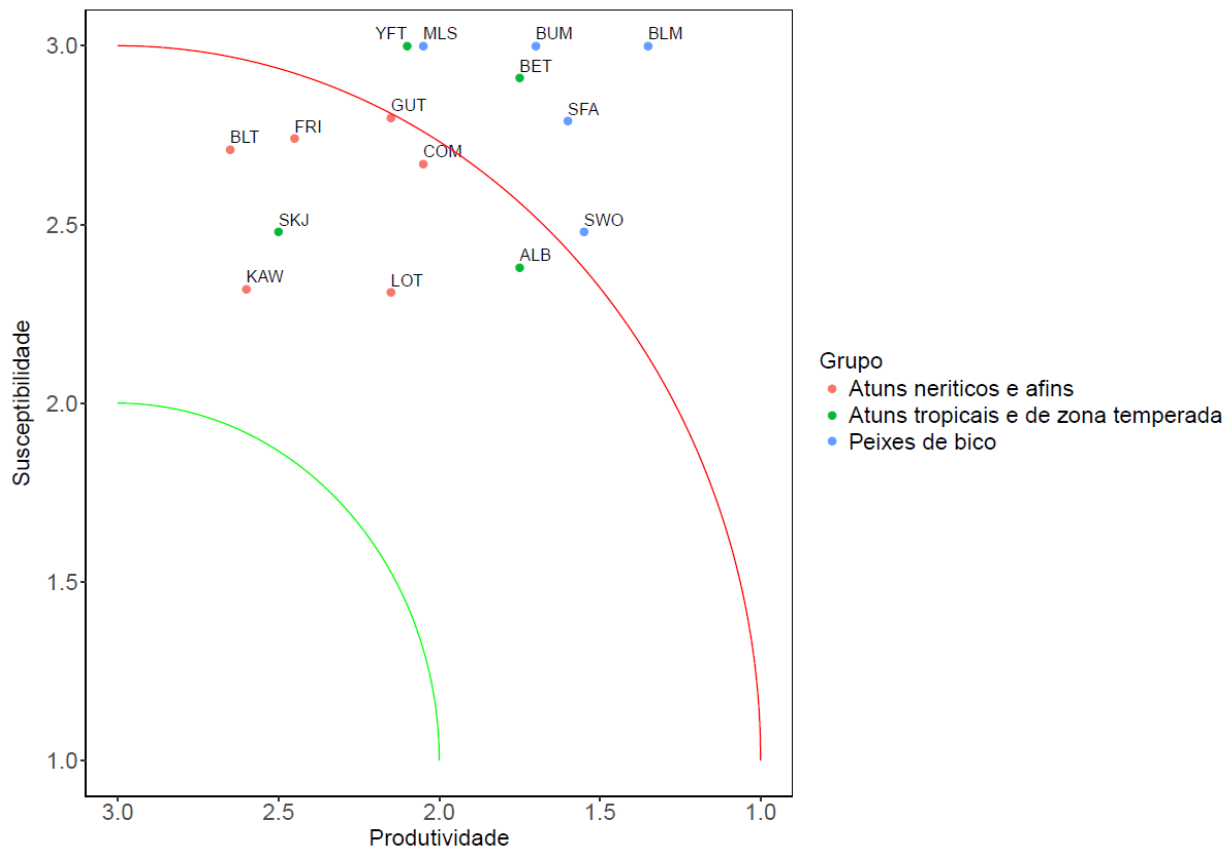


Figura 8. PSA plot para peixes de bico, atuns e afins aos efeitos cumulativos dos apetrechos de pesca utilizados no Oceano Índico, segundo a metodologia de Micheli et al. (2014).

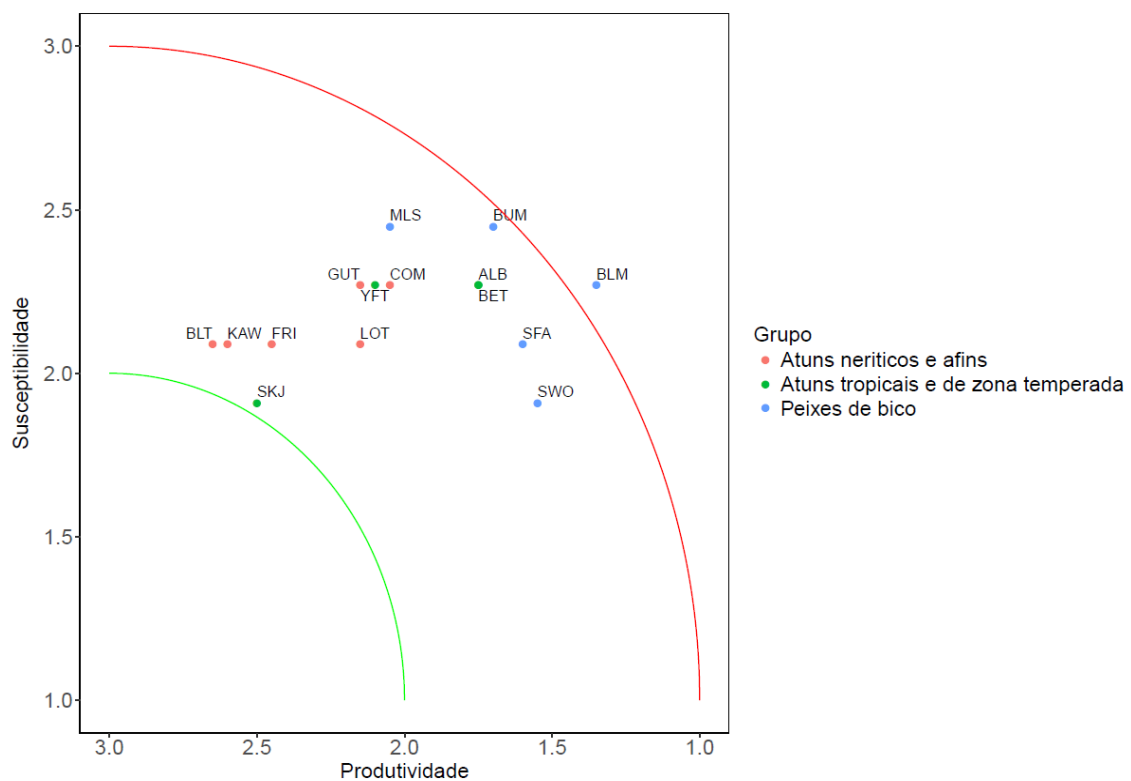


Figura 9. PSA plot para peixes de bico, atuns e afins aos efeitos cumulativos dos apetrechos de pesca utilizados no Oceano Índico, segundo a metodologia de Ormseth e Spencer (2011).

Se considerarmos a susceptibilidade agregada de Micheli et al. (2014) para a realização da PSA, observa-se que sete espécies, em vez das cinco obtidas de acordo com o IC (Figura 2) desenvolvido no presente estudo, são consideradas como altamente vulneráveis: *Istiompax indica*, *Makaira nigricans*, *Kajikia audax*, *Istiophorus platypterus* do grupo dos peixes de bico e *Thunnus albacares* e *Thunnus obesus* do grupo dos atuns tropicais e de zona temperada. As demais nove espécies são consideradas de risco moderado. Se for utilizada a pesca de maior impacto (ORMSETH e SPENCER, 2011) como metodologia para estimar o índice de susceptibilidade cumulativa, apenas a espécie *Istiompax indica* é considerada de risco elevado, sendo todas as demais consideradas de risco moderado.

4.4.2. Limite entre as regiões de risco

Se considerarmos as regiões de risco ecológico no PSA plot, conforme sugerido por Hobday et al. (2007, 2011), ou seja, se dividirmos a área total do PSA plot em três regiões de áreas iguais, a região do PSA plot onde $V \geq 1,84$ será considerada de alto risco e, portanto, os resultados referentes ao grau de vulnerabilidade das espécies analisadas no presente trabalho, mudam completamente (figura 10). Nesse caso, além das cinco espécies consideradas inicialmente de alto risco, mais outras três também o serão: *Thunnus obesus*, *Thunnus alalunga* e *Xiphias gladius*. As espécies *Auxis thazard* e *Auxis rochei* anteriormente consideradas de risco moderado passam à categoria de baixo risco.

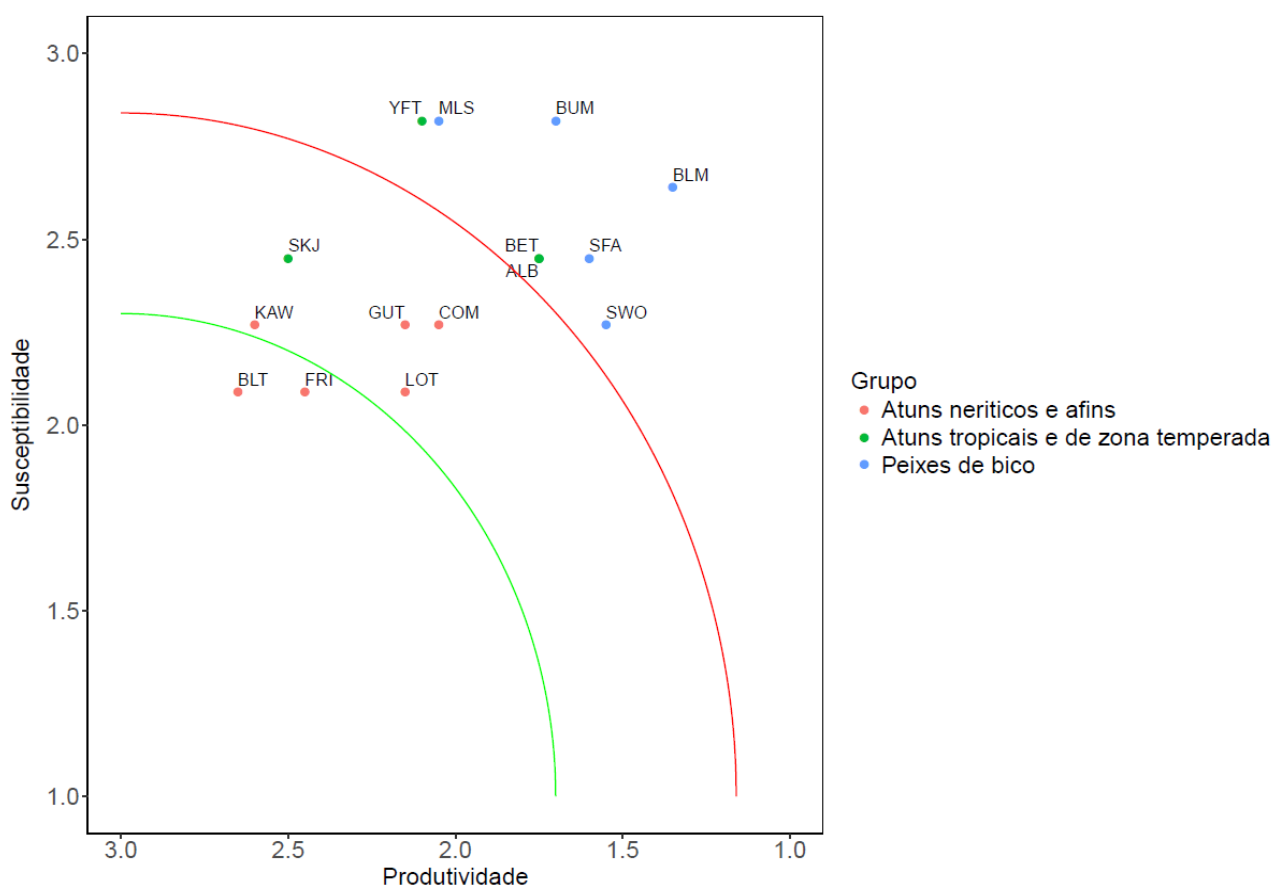


Figura 10. Psa plot considerando três regiões de risco ecológico com áreas equivalentes, conforme sugerido na metodologia de Hobday et al. (2007).

4.4.3. Atributos de susceptibilidade

As distribuições de probabilidades dos índices cumulativos de susceptibilidade das seis espécies consideradas de alto risco em Lucena-Frédou et al. (2017): *Thunnus obesus*, *Thunnus alalunga*, *Makaira nigricans*, *Istiompax indica*, *Istiophorus platyperus* e *Xiphias gladius*, considerando os cenários A e B definidos no item ‘3.6.3. Atributos de Susceptibilidade’, são apresentadas no apêndice 6.

Observando que as espécies supracitadas são consideradas de alto risco para índices de susceptibilidade maiores do que 2,56, 2,56, 2,51, 2,13, 2,43 e 2,38, respectivamente, foram estimadas as probabilidades de índices cumulativos maiores do que esses valores (figura 11).

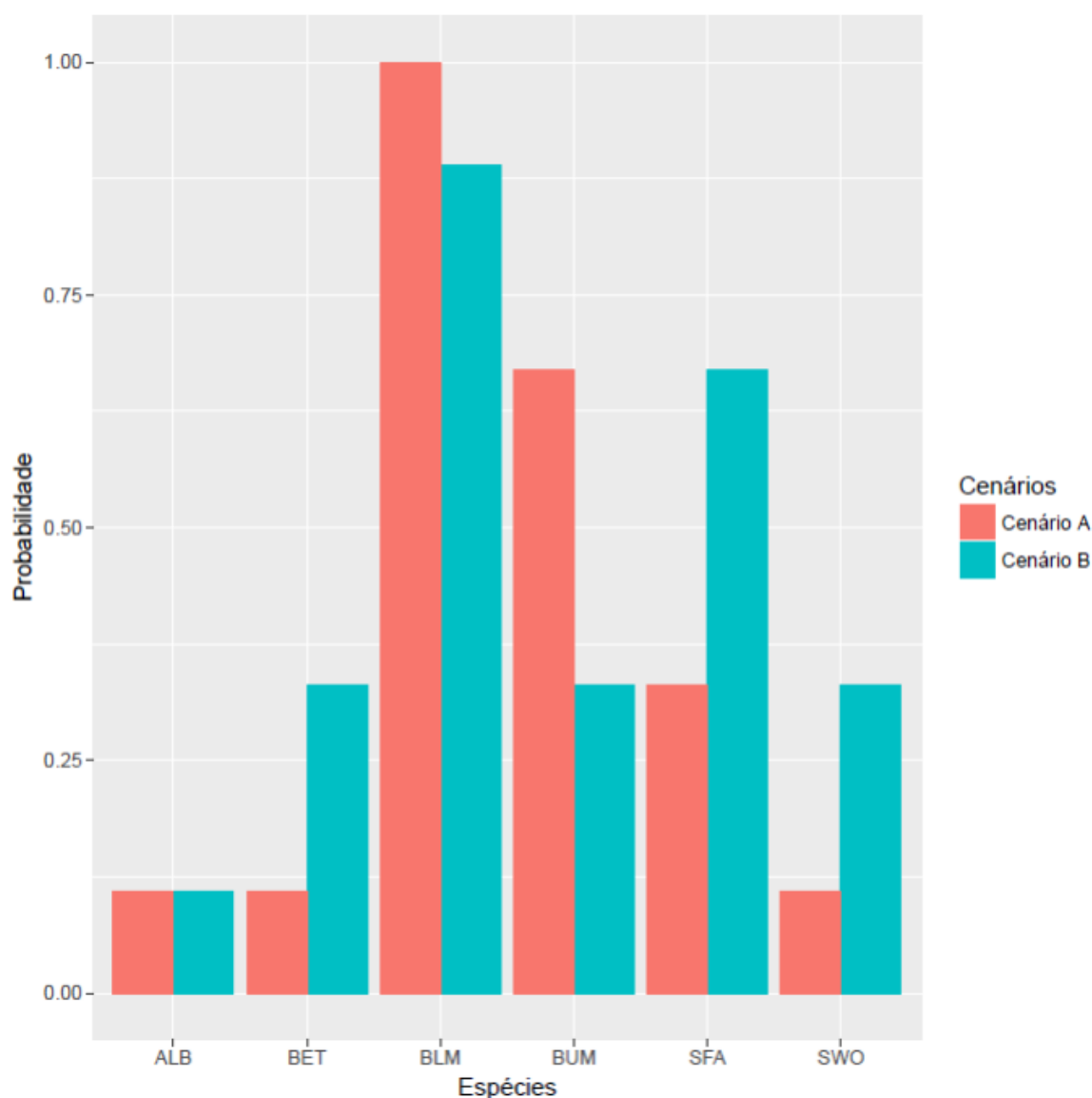


Figura 11. Probabilidade das espécies ALB, BET, BLM, BUM, SFA e SWO serem consideradas de alto risco em dois diferentes cenários relativos a utilização de diferentes atributos de susceptibilidade, considerando a atuação simultânea de todas as categorias de pesca atuando na exploração das espécies.

Verifica-se que há plausibilidade das seis espécies serem consideradas de alto risco em ambos os cenários. As probabilidades das espécies ALB, BET, BLM, BUM, SFA E SWO serem

consideradas de risco elevado no cenário A são, respectivamente, 0,11, 0,11, 1, 0,67, 0,33 e 0,11. Considerando-se o cenário B as probabilidades são, respectivamente, 0,11, 0,33, 0,89, 0,33, 0,67 e 0,33. A plausibilidade é maior no cenário B para as espécies *Thunnus obesus*, *Istiophorus platyperus* e *Xiphias gladius*, por outro lado a plausibilidade é maior para as espécies *Makaira nigricans* e *Istiompax indica* (evento certo) no cenário A. A plausibilidade referente a espécie *Thunnus alalunga* é independente do cenário utilizado.

Considerando as análises relativas à atuação individual do espinhel pelágico, as distribuições de probabilidades dos índices de susceptibilidade das espécies supracitadas ao espinhel pelágico, considerando os cenários A e B, são apresentadas no apêndice 7. A probabilidade dessas espécies serem consideradas de risco alto, devido à atuação do espinhel pelágico são apresentadas na figura 12.

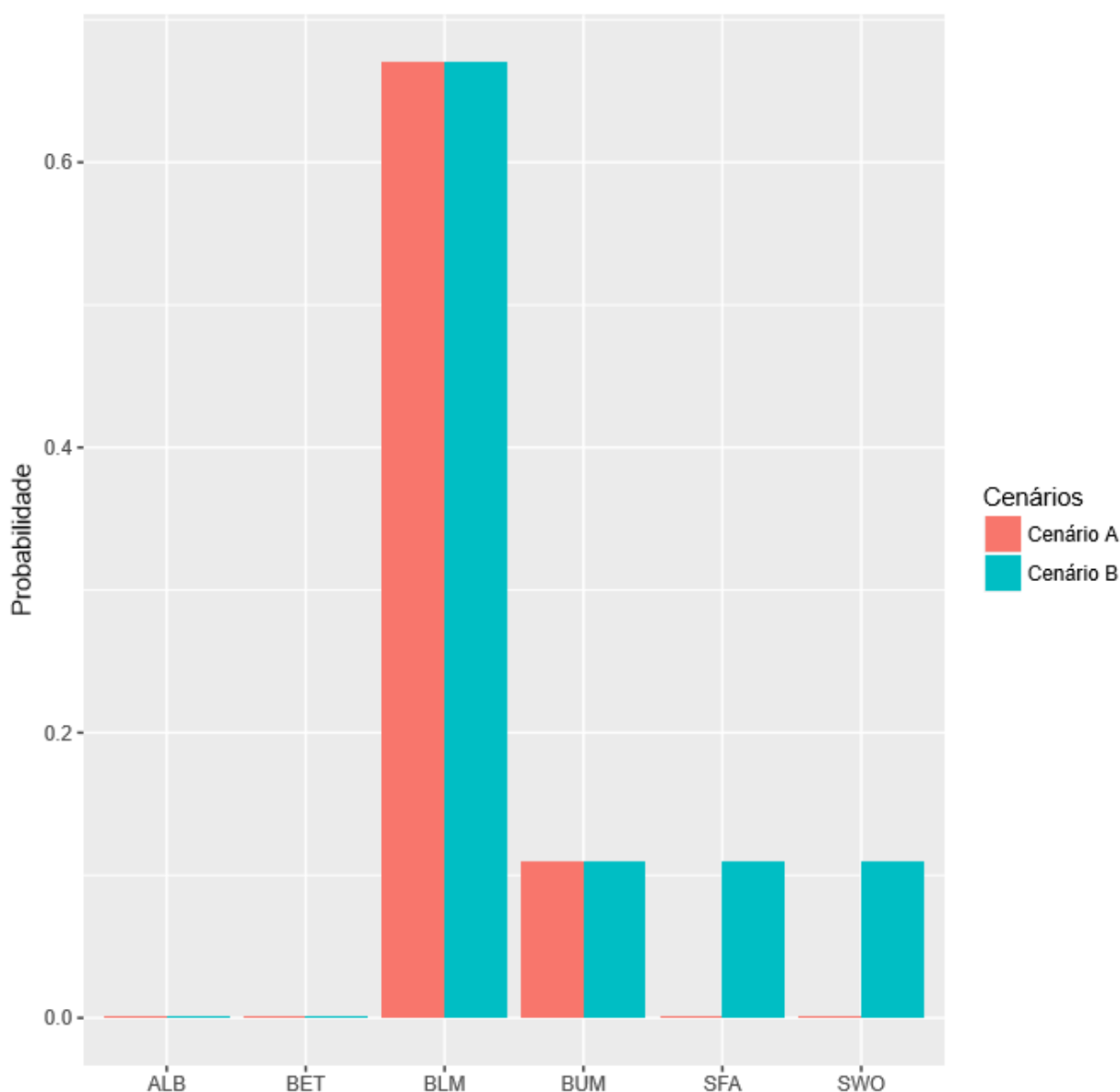


Figura 12. Probabilidade das espécies ALB, BET, BLM, BUM, SFA e SWO serem consideradas de alto risco em dois diferentes cenários relativos a utilização de diferentes atributos de susceptibilidade, considerando a pesca com espinhel pelágico.

Considerando-se o cenário A, observa-se que há plausibilidade de apenas as espécies *Istiompax indica* ($p = 0,67$) e *Makaira nigricans* ($p = 0,11$) serem consideradas de alto risco, por outro lado para o cenário B, são plausíveis em serem consideradas de alto risco, as duas espécies citadas anteriormente com probabilidades idênticas àsquelas do cenário A, bem como as espécies *Istiophorus platyperus* e *Xiphias gladius*, ambas com probabilidade de 0,11.

4.4.4. Atributos de produtividade

As análises foram repetidas com a exclusão dos atributos L_{max} , e r , os quais na avaliação de incertezas foram considerados como fortemente correlacionados entre si, bem como com outros atributos de susceptibilidade, conforme se segue: L_{max} - r , L_{max} - L_{50} , L_{max} - A_{max} , L_{50} - r e k - r . A figura 12 apresenta o PSA plot relativo a essas análises sem os atributos supracitados.

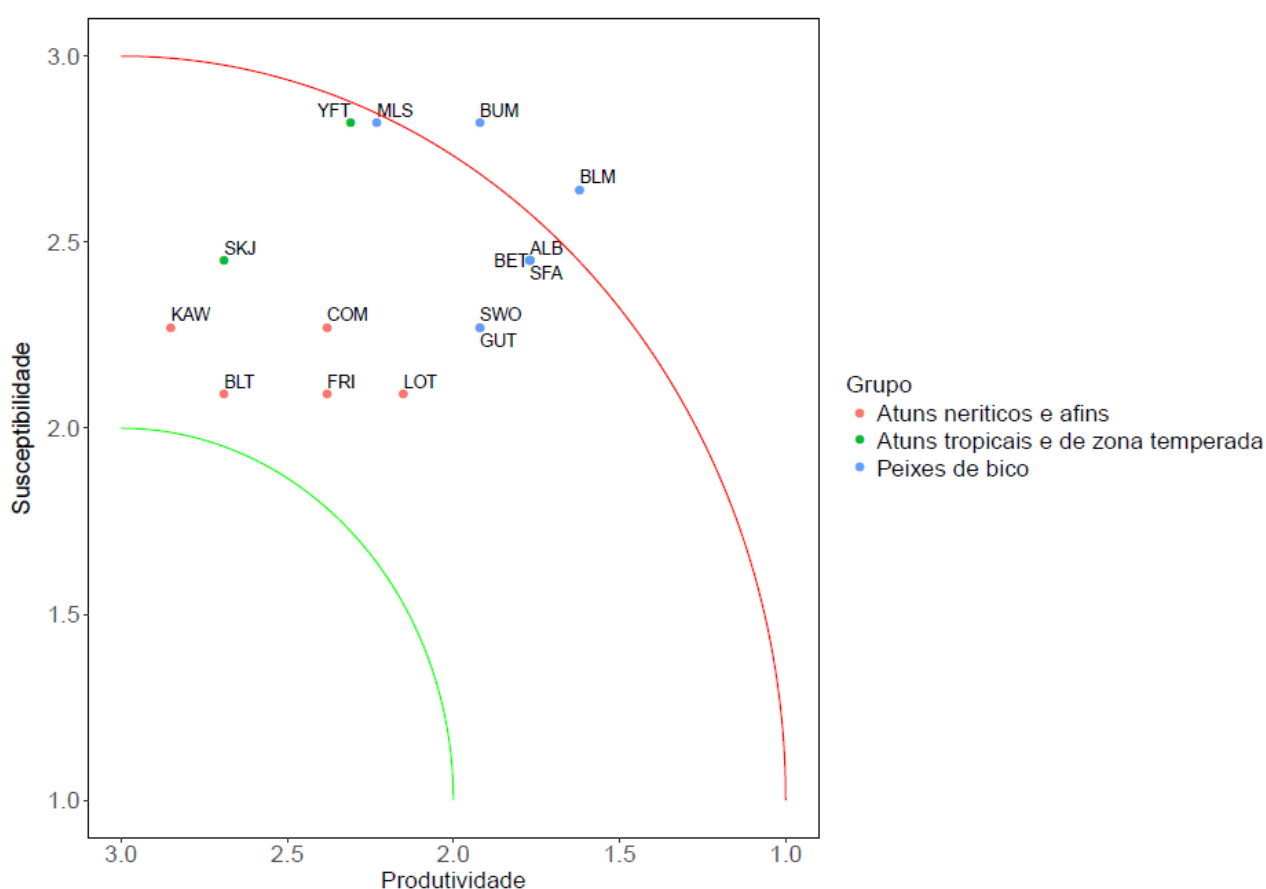


Figura 13. Psa Plot para as análises sem os atributos de produtividade: L_{max} e r .

Verifica-se que sem os atributos em questão, apenas as espécies *Istiompax indica* e *Makaira nigricans* permanecem na região de alto risco. As demais espécies anteriormente consideradas de alto risco passam a ser consideradas de risco moderado (*Thunnus albacares*, *Kajikia audax* e *Istiophorus platyperus*).

4.4.5. Atributos de produtividade e limites entre as regiões de risco

Se os casos descritos nos itens 4.4.2. e 4.4.4. são combinados, ou seja, os atributos L_{max} , e r são excluídos da análise, bem como a área total do PSA plot é dividida em três regiões de áreas equivalentes, obtém-se os seguintes resultados: além das cinco espécies consideradas inicialmente de alto risco, mais outras duas também o serão: *Thunnus obesus* e *Thunnus alalunga*. As espécies *Auxis thazard*, *Auxis rochei* e *Euthynnus affinis* anteriormente consideradas de risco moderado passam à categoria de baixo risco. Os resultados estão ilustrados na figura 14 abaixo.

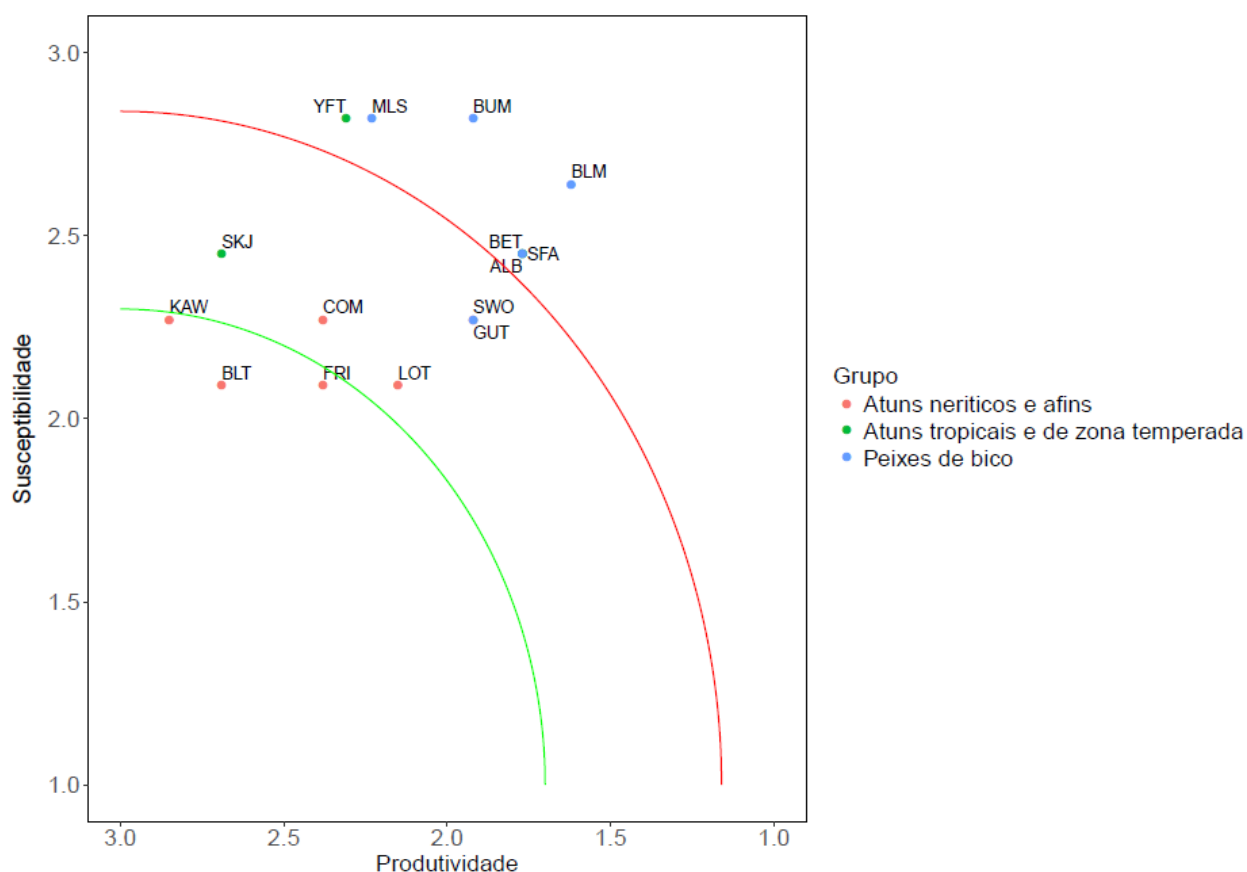


Figura 14. Psa plot considerando três regiões de risco ecológico com áreas equivalentes, conforme sugerido na metodologia de Hobday et al. (2007) e com a exclusão dos atributos de produtividade: L_{max} e r .

5. Discussão

Ao descreverem a metodologia ‘Análise de risco ecológico aos efeitos da pesca’, Hobday et al. (2007, 2011) sugerem que uma maneira de testar a robustez da análise seria comparar os resultados com aqueles oriundos de outras fontes de dados e até mesmo com avaliação de estoques pesqueiros. Comparamos os resultados obtidos no presente trabalho àqueles de Lucena-Frédou et al. (2017), que estudaram a vulnerabilidade de teleósteos capturados por espinhel pelágico nos Oceanos Atlântico e Índico também utilizando PSA, bem como à situação atual dos estoques das espécies segundo avaliação da IOTC (IOTC, 2016, 2017 a, b, c) e à classificação IUCN quanto ao risco de extinção (IUCN, 2017 a).

Se considerarmos como de alto risco, aquelas espécies que tiveram seus estoques classificados como ‘sobrexplorado’ ou ‘sujeito à sobreexploração’, o presente estudo corrobora com a classificação atual dos estoques de peixes de bico, atuns e afins na área da IOTC, em relação a maioria das espécies classificadas como de alto risco, ou seja, quatro espécies dentre as seis classificadas como tal: *Makaira nigricans*, *Istiompax indica*, *Kajikia audax* e *Istiophorus platypterus*. Em relação às demais espécies classificadas como de alto risco pela IOTC: *Thunnus tonggol* e *Scomberomorus commerson*, o presente trabalho classificou-as como sendo de risco moderado, no entanto, cabe ressaltar que a IOTC salienta a má qualidade dos dados disponíveis para avaliação dessas duas espécies. Quanto ao risco de extinção, a IUCN (2017) classificou duas espécies como sendo de alto risco (critically endangered, endangered ou vulnerable): *Thunnus obesus* e *Makaira nigricans*, enquanto no presente estudo, apenas a última espécie anteriormente citada.

O presente estudo classificou 5 espécies como de alto risco ecológico aos efeitos cumulativos da pesca no Oceano Índico, enquanto em Lucena-Frédou et al. (2017), seis espécies são consideradas de alto risco aos efeitos da pesca com espinhel pelágico no Oceano Índico. Esse estudo corrobora com Lucena-Frédou et al. (2017) em relação a três dessas espécies: *Makaira nigricans*, *Istiompax indica* e *Istiophorus platypterus*. A espécie *Thunnus albacares* foi classificada em nosso estudo como de alto risco ecológico, por outro lado, foi classificada como de risco moderado por Lucena-Frédou et al. (2017). Apesar de Lucena-Frédou et al. (2017) considerarem apenas o espinhel pelágico em suas análises, as outras três espécies classificadas por eles como de risco elevado, foram consideradas de risco moderado pelo presente estudo: *Thunnus obesus*, *Thunnus alalunga* e *Xiphias gladius*.

Observou-se por meio de análise de sensibilidade realizada nesse estudo, que a inclusão de atributos de susceptibilidade utilizados por Lucena-Frédou et al. (2017), mas não utilizados no presente trabalho, tornaria plausível a classificação das espécies *Thunnus obesus*, *Thunnus alalunga* e *Xiphias gladius* como espécies com risco ecológico elevado. Entretanto, cabe ressaltar que em ambos os cenários a plausibilidade das espécies *Thunnus obesus*, *Thunnus alalunga* e *Xiphias gladius* não serem consideradas de alto risco (complemento da probabilidade em serem consideradas de alto risco), conforme foi estabelecido nesse estudo, são bastante elevadas, sendo inclusive maiores do que a plausibilidade de serem consideradas de alto risco.

Se considerarmos apenas a pesca com espinhel pelágico, conforme as análises realizadas por Lucena-Frédou et al. (2017), observa-se resultados totalmente diversos em relação àqueles desses autores. Apenas a espécie *Istiompax indica* é considerada de alto risco ecológico em comparação às seis espécies em Lucena-Frédou et al. (2017), bem como em relação às seis espécies consideradas sobreexploradas ou sujeita à sobreexploração pela IOTC. Cabe ressaltar, no entanto, que a IOTC utiliza na avaliação dos estoques, valores de captura relativos a todos os apetrechos atuando na exploração das espécies, além disso na avaliação mais recente apenas duas espécies foram classificadas como

sobrexploradas, uma delas é justamente o *Istiompax indica*.

Assim como no caso da atuação simultânea dos apetrechos de pesca atuantes na exploração das espécies, foi mostrado por meio de análise de sensibilidade, que, para o caso da pesca com espinhel pelágico, a inclusão de atributos de susceptibilidade utilizados por Lucena-Frédou et al. (2017), mas não utilizados no presente trabalho, tornaria plausível a classificação de apenas duas espécies como de risco elevado no cenário A e de quatro espécies no cenário B. Cabe ressaltar que as simulações, inclusive, indicam a não plausibilidade das espécies *Thunnus alalunga* e *Thunnus obesus* serem consideradas de alto risco em ambos os cenários e da espécie *Xiphias gladius* ser considerada de alto risco no cenário A, o que diverge completamente dos resultados apresentados em Lucena-Frédou et al. (2017) para pesca com espinhel pelágico.

Observando a grande divergência entre os resultados obtidos nesse estudo para a pesca com o espinhel pelágico e àqueles obtidos em Lucena-Frédou et al. (2017), que permanece evidente mesmo com simulações realizadas durante a análise de sensibilidade, acreditamos que tais divergências possivelmente estejam relacionadas a informações divergentes quanto aos valores dos atributos utilizados na realização das PSAs.

Se considerarmos as regiões de risco ecológico no PSA plot, conforme proposto por Hobday et al. (2007), ou seja, se dividirmos a área total do PSA plot em três regiões de áreas iguais, os resultados referentes ao grau de vulnerabilidade das espécies analisadas no presente trabalho, parecem ser sensíveis a mudanças nos limites entre as regiões de risco conforme estabelecido por Hobday et al. (2007), nesse caso, além das cinco espécies consideradas inicialmente de alto risco, mais outras três também o serão: *Thunnus obesus*, *Thunnus alalunga* e *Xiphias gladius*, as quais também foram consideradas de alto risco por Lucena-Frédou et al. (2017). Esses resultados também corroboram com aqueles obtidos de acordo com a metodologia de Micheli et al. (2014) para índices cumulativos de susceptibilidade, com exceção da espécie *Thunnus alalunga*, considerada de risco moderado. No entanto, cabe ressaltar que os resultados supracitados referem-se a PSAs com limites entre regiões de risco distintos entre si.

Ainda com relação aos limites entre as regiões de risco, entendo que tanto os limites utilizados no presente estudo como aqueles sugeridos por Hobday et al. (2007) são adequados para serem utilizados em PSAs. Ambos os limites são fixos e independem do número de espécies ou atributos considerados no estudo. Cabe ressaltar que ambas as abordagens produziram resultados consistentes, por exemplo, com a avaliação dos estoques pesqueiros realizada pela IOTC em 2017. A diferença entre essas duas abordagens é que os resultados baseados na sugestão de Hobday et al. (2007) são mais precautórios quando comparados com os resultados obtidos de acordo com os limites entre regiões de risco definidos no presente trabalho. Cabe ressaltar, também, que o método dos quantis, utilizado em Lucena-Frédou et al. (2017) para definição das regiões de risco, parece não ser

robusto, pois os resultados obtidos com essa abordagem são extremamente dependentes do número de espécies analisadas, podendo ser uma fonte de ambiguidade, ou seja, uma espécie pode ser considerada simultaneamente de alto risco e de risco moderado ou baixo dependendo do número de espécies consideradas no estudo.

A análise de sensibilidade mostra divergências entre os resultados obtidos no presente estudo e aqueles obtidos com a exclusão de atributos de produtividades fortemente correlacionados, indicando que a correlação entre atributos pode realmente ser uma fonte de incerteza em PSAs. Se $L_{\max}$ e r forem excluídos dos atributos de susceptibilidade apenas duas espécies são consideradas de alto risco: *Makaira nigricans* e *Istiompax indica*, em vez das cinco espécies consideradas anteriormente. No entanto, cabe ressaltar que os atributos $L_{\max}$ e r são considerados extremamente importantes e de grande peso no cálculo dos índices de produtividade. Talvez se em vez de excluir os atributos $L_{\max}$ e r , fossem excluídos os outros atributos de produtividade com eles correlacionados, as divergências entre os resultados seriam mais suaves.

Entendo que os índices cumulativos de susceptibilidade desenvolvidos no presente trabalho, conseguem incorporar de forma indireta diferentes esforços de pesca, por meio dos atributos de susceptibilidade agregada. Na maioria dos casos esses índices foram maiores do que os índices estimados segundo a metodologia desenvolvida por Ormseth e Spencer (2011), indicando a incorporação de efeitos cumulativos. Em relação a um índice cumulativo de susceptibilidade sempre maior do que os valores dos índices individuais de susceptibilidade, conforme sugerido por Micheli et al. (2014), entendo que, devido a estrutura da análise de produtividade e susceptibilidade baseada em limites entre os rankings de susceptibilidade, o índice cumulativo de susceptibilidade desenvolvido nesse estudo, a depender dos atributos de susceptibilidade utilizados, é capaz de incorporar, apenas de uma forma limitada, seja direta ou indiretamente, o efeito cumulativo de diversas categorias de pesca atuando simultaneamente no sistema ou de uma nova modalidade de pesca que porventura passe a atuar na exploração das espécies. Se, por exemplo, a pelo menos um dos atributos individuais de susceptibilidade passíveis acumulação for atribuído o escore máximo, então o atributo de susceptibilidade agregada não conseguirá incorporar efeitos cumulativos, assumindo também o máximo escore. Além disso, se nenhum dos atributos individuais receberem o escore máximo, uma outra limitação do índice aqui proposto, seria quando o atributo de susceptibilidade agregada não consegue superar o limite para uma categoria de susceptibilidade superior àquela do atributo individual de maior escore dentre as categorias de pesca analisadas, assumindo esse mesmo escore, não incorporando assim efeitos cumulativos. Observando o exposto acima e também que alguns dos atributos de susceptibilidade não são passíveis de acumulação, algumas vezes o índice cumulativo aqui proposto não consegue incorporar efeitos cumulativos, assumindo valores equivalentes àqueles da pesca de maior impacto de Ormseth e Spencer (2011),

como se o índice proposto por esses autores fosse um caso particular do IC proposto nesse estudo.

Em comparação ao índice cumulativo proposto por Micheli et al. (2014), entendo que o IC é mais estável em relação a várias categorias de pesca com valores elevados dos índices individuais de susceptibilidade. O IC atua sobre os atributos de susceptibilidade das categorias de pesca analisadas, não havendo, portanto, problemas de sobrestimação em relação ao máximo escore que a ele pode ser atribuído.

Os valores para os índices cumulativos estimados de acordo com a metodologia apresentada no presente trabalho foram maiores ou iguais àqueles estimados segundo a metodologia estabelecida por Ormseth e Spencer (2011) e menores do que aqueles estimados segundo Micheli et al. (2014), $FGI \leq IC < AS$, com exceção daquele estimado para a espécie *Thunnus alalunga*, o qual foi maior do que aqueles estimados segundo as outras duas metodologias referidas nesse parágrafo ($FGI < AS < IC$). Provavelmente, isso se deve ao fato de valores estimados de acordo com Michele et al. (2014), conforme já mostrado anteriormente, muitas vezes não pertencerem ao domínio dos índices de susceptibilidade de PSAs com determinado número de atributos de susceptibilidade, estando, nesses casos, subestimados ou sobrestimados em relação a valores do domínio, podendo, assim, apresentarem uma dualidade de comportamento quando comparados a índices estimados de acordo com a estrutura intrínseca das análises de produtividade e susceptibilidade, como é o caso do IC proposto por esse estudo.

Os índices de produtividade estimados no presente trabalho encontram-se na faixa 1,5-2,69 e parecem consistentes, crescendo das espécies maiores e de maior longevidade para aquelas menores e de menor longevidade.

Os valores $2,02 \pm 0,40$ e $2,42 \pm 0,30$ obtidos na reamostragem, utilizando todas as combinações de (n-1) atributos, podem ser considerados de média e baixa dispersão com coeficientes de variação de 19,8% e 12,40%, respectivamente. Assim sendo, podemos considerar que os escores de produtividade e susceptibilidade são robustos à eliminação de um único atributo.

Gostaria de ressaltar que durante as análises, constatou-se que diversas espécies foram capturadas fora da área definida pela IUCN como seu habitat. Observando esse fato, talvez fosse conveniente uma revisão em relação a esse aspecto por parte da IUCN.

6. Conclusão

Observando o exposto acima, conclui-se que as espécies mais vulneráveis à atuação simultânea dos diversos apetrechos de pesca na exploração comercial no Oceano Índico são aquelas pertencentes ao grupo dos peixes de bico com 4 espécies consideradas de alto risco: *Makaira nigricans*, *Istiompax indica*, *Kajikia audax* e *Istiophorus platypterus*.

Em adição, A análise de produtividade e susceptibilidade parece exibir resultados plausíveis com aqueles obtidos utilizando-se outras metodologias de avaliação de estoques pesqueiros e,

portanto, pode ser uma ferramenta útil para avaliar o risco ecológico aos efeitos da pesca, em cenários de dados limitados como a exploração comercial de peixes de bico e atuns neríticos no Oceano Índico.

O índice cumulativo de susceptibilidade desenvolvido no presente estudo também parece ser adequado, conseguindo, observadas suas limitações, incorporar efeitos cumulativos. A expressão de efeitos cumulativos pode ser reforçada, se for possível a utilização de mais atributos de susceptibilidade passíveis de acumulação.

Cabe ressaltar, porém, a necessidade de análises para determinar os limites mais adequados entre as regiões de risco ecológico, bem como para tornar a metodologia mais robusta, no que diz respeito à total incorporação de efeitos cumulativos e incertezas.

7. Referências

- ARRIZABALAGA, H., DE BRUYN, P., DIAZ, G.A., MURUA, H., CHAVANCE, P., DE MOLINA, A.D., GAERTNER, D., ARIZ, J., RUIZ, J., KELL, L.T. Productivity and susceptibility analysis for species caught in Atlantic tuna fisheries. **Aquatic Living Resources**, v. 24, p. 1-12, 2011.
- BREEN, P., BROWN, S., REID, D., ROGAN, E. Where is the risk? Integrating a spatial distribution model and a risk assessment to identify areas of cetacean interaction with fisheries in northeastern. **Atlantic. Ocean & Coastal Management**, v. 136, p. 148-155, 2017.
- BROWN, S.L., REID, D., ROGAN, E. Spatial and temporal assessment of potential risk to cetaceans from static fishing gears. **Marine Policy**, v. 51, p. 267-280, 2015.
- CHIANG, W-C., HSU, H-H., FU1, S-C., CHEN, S-C, SUN, C-L., CHEN, W-Y., LIU,D-C., SU, W-C. Reproductive biology of longtail tuna (*Thunnus tonggol*) from coastal waters off Taiwan. **IOTC-2011-WPNT01-30**. Chennai, 2011. Disponível em: <http://www.iotc.org/documents/reproductive-biology-longtail-tuna-thunnus-tonggol-coastal-waters-taiwan>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.
- CLARKE, T.M., ESPINOZA, M., CHAVES, R.R., WEHRTMANN,I.S. Assessing the vulnerability of demersal elasmobranchs to a data-poor shrimp trawl fishery in Costa Rica, Eastern Tropical Pacific. **Biological Conservation**, v. 217, p. 321-328, 2018.
- COLLETTE, B.B., NAUEN, C.E. FAO Species Catalogue, 2 Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date, **FAO Fisheries Synopsis**, vol 2, nº 125. Rome, 1983. 137p.
- COLLETTE, B., DI NATALE, A., FOX, W., JUAN JORDA, M., MIYABE, N., NELSON, R., SUN, C., UOZUMI, Y. *Thunnus tonggol*. **The IUCN Red List of Threatened Species 2011: e.T170351A6763691**. 2011 a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2011->

2.RLTS.T170351A6763691.en>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

COLLETTE, B., ACERO, A., AMORIM, A.F., BOUSTANY, A., CANALES RAMIREZ, C., CARDENAS, G., CARPENTER, K.E., DE OLIVEIRA LEITE JR., N., DI NATALE, A., FOX, W., FREDOU, F.L., GRAVES, J., GUZMAN-MORA, A., VIERA HAZIN, F.H., JUAN JORDA, M., KADA, O., MINTE VERA, C., MIYABE, N., MONTANO CRUZ, R., NELSON, R., OXENFORD, H., SALAS, E., SCHAEFER, K., SERRA, R., SUN, C., TEIXEIRA LESSA, R.P., PIRES FERREIRA TRAVASSOS, P.E., UOZUMI, Y. & YANEZ, E. *Auxis thazard*. **The IUCN Red List of Threatened Species 2011: e.T170344A6757270.** 2011 b. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2011-2.RLTS.T170344A6757270.en>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

COLLETTE, B., ACERO, A., AMORIM, A.F., BOUSTANY, A., CANALES RAMIREZ, C., CARDENAS, G., CARPENTER, K.E., DE OLIVEIRA LEITE JR., N., DI NATALE, A., FOX, W., FREDOU, F.L., GRAVES, J., GUZMAN-MORA, A., VIERA HAZIN, F.H., JUAN JORDA, M., KADA, O., MINTE VERA, C., MIYABE, N., MONTANO CRUZ, R., NELSON, R., OXENFORD, H., SALAS, E., SCHAEFER, K., SERRA, R., SUN, C., TEIXEIRA LESSA, R.P., PIRES FERREIRA TRAVASSOS, P.E., UOZUMI, Y. & YANEZ, E. *Auxis rochei*. **The IUCN Red List of Threatened Species 2011: e.T170355A6765188.** 2011 c. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2011-2.RLTS.T170355A6765188.en>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

COLLETTE, B., CHANG, S.-K., DI NATALE, A., FOX, W., JUAN JORDA, M., MIYABE, N. & NELSON, R. *Scomberomorus commerson*. **The IUCN Red List of Threatened Species 2011: e.T170316A6745396.** 2011 d. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2011-2.RLTS.T170316A6745396.en>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

COLLETTE, B., DI NATALE, A., FOX, W., JUAN JORDA, M. & NELSON, R. *Scomberomorus guttatus*. **The IUCN Red List of Threatened Species 2011: e.T170311A6742170.** 2011 e. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2011-2.RLTS.T170311A6742170.en>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

DARVISHI, M. KAYMARAM, F., PARAFKANDEH, F., SALARPOURI, A. Estimating Growth and Mortality Parameters of Narrow-Barred Spanish Mackerel (*Scomberomorus commerson*) in the Iranian Waters of the Persian Gulf and Oman Sea. **Journal of the Persian Gulf**, v. 3, nº 10, p. 57-62, 2012.

EDWARDS, C.T.T. Review of data-poor assessment methods for New Zealand fisheries. **New**

Zealand Fisheries Assessment Report, v. 27, p. 24, 2015.

FAO. Fishing Gear type. 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/fishery/geartype/search/en>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

FISHBASE. *Scomberomorus commerson* (Lacepède, 1800), Narrow-barred Spanish mackerel. 2017. Disponível em: <<http://www.fishbase.org/summary/Scomberomorus-commerson.html>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

FISHBASE. 2017 a. Disponível em: <<http://www.fishbase.org/search.php>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

GALLAGHER, A.J., ORBENSEN, E.S., HAMMERSCHLAG, N., SERAFY, J.E. Vulnerability of oceanic shark as pelagic longline bycatch. **Global Ecology and Conservation**, v. 1, p. 50-59, 2014.

GANGA, U., ELAYATHU, M.N.K., PRAKASAN, D., SHANIS, C.P.R., AKHILESH, K.V., RETHEESH, T.B. Resource dynamics of the Indo-Pacific sailfish *Istiophorus platypterus* (Shaw, 1792) from the south-eastern Arabian Sea. **Indian Journal of Fisheries**, v. 59(3), p. 61-64, 2012.

GILMAN, E., OWENS, M., KRAFT, T. Ecological risk assessment of the Marshall Islands longline tuna fishery. **Marine Policy**, v. 44, p. 239-255, 2014.

GHOSH, S., SIVADAS, M., ABDUSSAMAD, E.M., ROHIT, P., KOYA, K.P.S., JOSHI, K.K., CHELLAPPAN, A., RATHINAM, M.M., PRAKASAN, D., SEBASTINE, M. Fishery, population dynamics and stock structure of frigate tuna *Auxis thazard* (Lacepede, 1800) exploited from Indian waters. **Indian Journal of Fisheries**, v. 59(2), p. 95-100, 2012.

GRIFFITHS, S.P., FRY, G.C., MANSON, F.J., LOU, D.C. Age and growth of longtail tuna (*Thunnus tonggol*) in tropical and temperate waters of the central Indo-Pacific. **IOTC-2011-WPNT01-16**. Chennai, 2011. Disponível em: <http://www.iotc.org/documents/age-and-growth-longtail-tuna-thunnus-tonggol-tropical-and-temperate-waters-central-indo>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

HOBDAY, A.J., SMITH, A.D.M., WEBB, H., DALEY, R., WAYTE, S., BULMAN, C., DOWDNEY, J., WILLIAMS, A., SPORCIC, M., DAMBACHER, J., FULLER, M., WALKER, T. Ecological Risk Assessment for the Effects of Fishing: Methodology. 2007. 174p. **Report R04/1072**. Australian Fisheries Management Authority, Canberra.

HOBDAY, A.J., SMITH, A.D.M., STOBUTZKI, I.C., BULMAN, C., DALEY, R., DAMBACHER, J.M., DENG, R.A., DOWDNEY, J., FULLER, M., FURLANI, D., GRIFFITHS, S.P., JOHNSON, D.,

KENYON, R., KNUCKEY, I.A., LING, S.D., PITCHER, R., SAINSBURY, K.J., SPORCIC, M., SMITH, T., TURNBULL, C., WALKER, T.I., WAYTE, S.E., WEBB, H., WILLIAMS, A., WISE, B.S., ZHOU, S. Ecological risk assessment for the effects of fishing. **Fisheries Research**, v. 108, p. 372–384, 2011.

ICCAT. ICCAT Manual. International Commission for the Conservation of Atlantic Tuna. In: **ICCAT Publications [on-line]**. 2016. Disponível em: <<http://www.iccat.int/en/ICCATManual.asp>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

IOTC. The Agreement for the Establishment of the Indian Ocean Tuna Commission. **105th Session of the Council of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)**. 1993. Disponível em: <<http://www.iotc.org/about-iotc/basic-texts>>. Acesso em: 5 agosto 2017.

IOTC. Report of the Sixth Session of the IOTC Working Party on Temperate Tunas. **IOTC-2016-WPTmT06-R[E]**. Shanghai, 2016. Disponível em: <<http://www.iotc.org/documents/report-sixth-working-party-temperate-tunas>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

IOTC. Catch and Effort - All vessels. **IOTC-2016-WPTmT06-DATA07**. 2016 a. Disponível em: <<http://www.iotc.org/documents/catch-and-effort-all-vessels-7>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

IOTC. Size frequency data - Albacore tuna. **IOTC-2016-WPTmT06-DATA09**. 2016 b. Disponível em: <<http://www.iotc.org/documents/size-frequency-data-albacore-tuna>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

IOTC. Report of the 15th Session of the IOTC Working Party on Billfish. **IOTC-2017-WPB15-R[E]**. San Sebastian, 2017 a. Disponível em: <<http://www.iotc.org/meetings/15th-working-party-billfish-wpb15>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

IOTC. Report of the 19th Session of the IOTC Working Party on Tropical Tunas. **IOTC-2017-WPTT19-R[E]**. Seychelles, 2017 b. Disponível em: <<http://www.iotc.org/documents/report-19th-session-iotc-working-party-tropical-tunas>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

IOTC. Report of the 7th Session of the IOTC Working Party on Neritic Tunas. **IOTC-2017-WPNT07-R[E]**. Maldives, 2017 c. Disponível em: <<http://www.iotc.org/documents/report-7th-session-iotc-working-party-neritic-tunas>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

IOTC. Status summary for species of tuna and tuna-like species under the IOTC mandate, as well as other species impacted by IOTC fisheries. **Supporting Information**. 2017 d. Disponível em: <http://www.iotc.org/science/status-summary-species-tuna-and-tuna-species-under-iotc-mandate->

well-other-species-impacted-iotc>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

IOTC. Catch and Effort - All vessels. **IOTC-2017-WPTT19-DATA07**. 2017 e. Disponível em: < <http://www.iotc.org/documents/catch-and-effort-all-vessels-9>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

IOTC. Catch and Effort - All gears. **IOTC-2017-WPNT07-DATA07_Rev1**. 2017 f. Disponível em: < <http://www.iotc.org/documents/catch-and-effort-data-all-gears-2>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

IOTC. Catch and Effort - All gears. **IOTC-2017-WPB15-DATA07**. 2017 g. Disponível em: < <http://www.iotc.org/documents/catch-and-effort-data-all-gears-4>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

IOTC. Size frequency data - Bigeye tuna (BET). **IOTC-2017-WPTT19-DATA09_Rev2**. 2017 h. Disponível em: < <http://www.iotc.org/documents/size-frequency-data-bigeye-tuna-bet>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

IOTC. Size frequency data - Skipjack tuna (SKJ). **IOTC-2017-WPTT19-DATA10_Rev3**. 2017 i. Disponível em: <<http://www.iotc.org/documents/size-frequency-data-skipjack-tuna-skj>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

IOTC. Size frequency data - Yellowfin tuna (YFT). **IOTC-2017-WPTT19-DATA11_Rev2**. 2017 j. Disponível em: < <http://www.iotc.org/documents/size-frequency-data-yellowfin-tuna-yft>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

IOTC. Size frequency data - neritic tunas. **IOTC-2017-WPNT07-DATA09_Rev1**. 2017 k. Disponível em: <<http://www.iotc.org/documents/size-frequency-data-neritic-tunas-1>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

IOTC. Size frequency data - billfish species. **IOTC-2017-WPB15-DATA09**. 2017 l. Disponível em: < <http://www.iotc.org/documents/size-frequency-data-billfish-species-0>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

IUCN. Spatial Data Download. Red List Spatial Data. 2017. Disponível em: <<http://www.iucnredlist.org/technical-documents/spatial-data>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species. 2017 a. Disponível em: <<http://www.iucnredlist.org/>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

JASMINE, S., ROHIT, P., ABDUSSAMAD, E.M., KOYA, K.P.S., JOSHI, K.K., KEMPARAJU, S., PRAKASAN, D., ELAYATHU, M.N.K., SEBASTINE, M. Biology and fishery of the bullet tuna,

- Auxis rochei* (Risso, 1810) in Indian waters. **Indian Journal of Fisheries**, v. 60(2), p. 13-20, 2013.
- KOPF, R.K., DAVIE, P.S., BROMHEAD, D.B., YOUNG, J.W. Reproductive biology and spatiotemporal patterns of spawning in striped marlin *Kajikia audax*. **Journal of Fish Biology**, v. 81, 1834–1858, 2012.
- LUCENA FRÉDOU, F., FRÉDOU, T., GAERTNER, D., KELL, L., POTIER, M., BACH, P., TRAVASSOS, P., HAZIN, F., MÉNARD, F. Life history traits and fishery patterns of teleosts caught by the tuna longline fishery in the South Atlantic and Indian Oceans. **Fisheries Research**, v. 179, p. 308–321, 2016.
- LUCENA-FRÉDOU, F., KELL, L., FRÉDOU, T., GAERTNER, D., POTIER, M., BACH, P., TRAVASSOS, P., HAZIN, F., MÉNARD, F. Vulnerability of teleost caught by the pelagic tuna longline fleets in South Atlantic and Western Indian Oceans. **Deep Sea Research II**, v. 140, p. 230-241, 2017.
- MICHEL, F., DE LEO, G., BUTNER, C., MARTONE, R.G., SHESTER, G. A risk-based framework for assessing the cumulative impact of multiple fisheries. **Biological Conservation**, v. 176, p. 224-235, 2014.
- MURUA, H., ARRIZABALAGA, H., HUANG, J.J.H.-W., ROMANOV, E., BACH, P., DE BRUYN, P., CHAVANCE, P. DE MOLINA, A.D., PIANED, R., ARIZ, J., RUIZ, J. Ecological Risk Assessment (ERA) for species caught in fisheries managed by the Indian Ocean Tuna Commission (IOTC): a first attempt. **IOTC-2009-WPEB-20**. 2009. Disponível em: <<http://www.iotc.org/documents/ecological-risk-assessment-species-caught-iotc-fisheries-h-murua-h-arrizabalaga-j-julia>>. Acesso em: 23 janeiro 2018.
- NAKAMURA, I. FAO species catalogue Billfish of the world. An annotated and illustrated catalogue of marlins, sailfishes, spearfishes, and swordfishes known to date. **FAO Fisheries. Synopsis**, v. 5, n° 125. Rome, 1985. 65p.
- ORMSETH, O.A. e SPENCER, P.D. An assessment of vulnerability in Alaska groundfish. **Fisheries Research**, v. 112, p. 127-133, 2011.
- OSIO, g.C., ORIO, A., MILLAR, C.P. Assessing the vulnerability of Mediterranean demersal stocks and predicting exploitation status of un-assessed stocks. **Fisheries Research**, v. 171, p. 110-121, 2015.
- PATRICK, W.S., SPENCER, P., ORMSETH, O., COPE, J., FIELD, J., KOBAYASHI, D., GEDAMKE, T., CORTÉS, E., BIGELOW, K., OVERHOLTZ, W., LINK, J., LAWSON, P. Use of

Productivity and Susceptibility Indices to Determine Stock Vulnerability, with Example Applications to Six U.S. Fisheries. 2009. 90 p. **NOAA Tech. Memo. NMFSF/SPO-101**, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C.

PUNT, A.R., SU, NAN-JAY, SUN, CHI-LUN. Assessing billfish stocks: A review of current methods and some future directions. **Fisheries Research**, v. 166, p. 103-118, 2015.

QGIS Developer Team. **Quantum GIS 2.18 Las Palmas**. GNU General Public License. Oracle America Inc. 2014.

QURATULAN, A., SABRI, B., LEVENT, B. Length Based Growth Estimation of Most Commercially Important Scombridae from Offshore Water of Pakistan Coast in the Arabian Sea. **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 16, p. 155-167, 2016.

ROBINSON, J. Ecological risk assessment (ERA) for neritic tunas in the IOTC area of competence. **IOTC-2016-WPNT06-16**. 2016. Disponível em: <<http://www.iotc.org/documents/productivity-susceptibility-analysis-neritic-tuna-species>>. Acesso em: 5 dezembro 2017.

THEN, A.Y., HOENIG, J.M., HALL, N.G., HEWITT, D.A. Evaluating the predictive performance of empirical estimators of natural mortality rate using information on over 200 fish species. **ICES Journal of Marine Science**, v. 72(1), p. 82–92, 2015.

WILLIAMS, A., DOWDNEY, J., SMITH, A.D.M., HOBDAI, A.J., FULLER, M. Evaluating impacts of fishing on benthic habitats: A risk assessment framework applied to Australian fisheries. **Fisheries Research**, v. 112, p. 154-167, 2011.

YASEMI, M., BAJGAN, A.N., PARSA, M. Determining the growth and mortality parameters of longtail tuna (*Thunnus tonggol* Bleeker, 1851) using length frequency data in coastal waters of the northern Persian Gulf and Oman Sea, Iran. **International Aquatic Research**, v. 9, p. 215-224, 2017.

ZHOU, S., GRIFFITHS, S.P. Sustainability Assessment for Fishing Effects (SAFE): a new quantitative ecological risk assessment method and its application to elasmobranch bycatch in an Australian trawl fishery. **Fisheries Research**, v. 91, p. 56–68, 2008.

ZHOU, S., SMITH, A.D.M., FULLER, M. Quantitative ecological risk assessment for fishing effects on diverse data-poor non target species in a multi-sector and multi-gear fishery. **Fisheries Research**, v. 112, p. 168-178, 2011.

ZHOU, S., PASCOE, S., DOWLING, N., HADDON, M., KLAER, N., LARCOMBE, J., SMITH, T.,

THEBAUD, O., VIEIRA, S., WAYTE, S. Quantitatively defining biological and economic reference points in data poor fisheries. 2013. **Final Report on FRDC Project 2010/044**. Canberra, Australia. 306p.

Apêndices

Apêndice 1. Valores atribuídos aos atributos de produtividade, considerando as diversas espécies analisadas.

Tabela 8. Discriminação dos atributos de produtividade e suas referências.

Espécies	L _{max} (cm)	Referência	L ₅₀ (cm)	Referência	k (ano ⁻¹)	Referência
YFT	240	Lucena-Fredou et al. (2016)	77,8	Lucena-Fredou et al. (2016)	0,3	Lucena-Fredou et al. (2016)
SKJ	110	Lucena-Fredou et al. (2016)	41	Lucena-Fredou et al. (2016)	0,5	Lucena-Fredou et al. (2016)
BET	200	Lucena-Fredou et al. (2016)	118,6	Lucena-Fredou et al. (2016)	0,15	Lucena-Fredou et al. (2016)
ALB	164	Lucena-Fredou et al. (2016)	87	Lucena-Fredou et al. (2016)	0,126	Lucena-Fredou et al. (2016)
LOT	125	Griffiths et al. (2009)	60	Chiang et al. (2011)	0,3	Yasemi et al. (2017)
KAW	100	Lucena-Fredou et al. (2016)	37,7	Lucena-Fredou et al. (2016)	0,5	Lucena-Fredou et al. (2016)
FRI	62	Collette et al. (2011 b)	29,7	Ghosh et al. (2012)	1,2	Ghosh et al. (2012)
BLT	50	Collette e Nauen (1983)	23,6	Jasmine et al. (2013)	0,61	Jasmine et al. (2013)
COM	240	IOTC (2017 d)	86,3	IOTC (2017 d)	0,45	Darvishi et al. (2012)
GUT	76	Collette et al. (2011 e)	52	Collette et al. (2011 e)	1,049	Quraturan et al. (2016)
BUM	430	Lucena-Fredou et al. (2016)	206,8	Lucena-Fredou et al. (2016)	0,14	Lucena-Fredou et al. (2016)
BLM	360	Lucena-Fredou et al. (2016)	222,5	Lucena-Fredou et al. (2016)	0,09	Lucena-Fredou et al. (2016)
MLS	314	Lucena-Fredou et al. (2016)	189	Lucena-Fredou et al. (2016)	0,485	Lucena-Fredou et al. (2016)
SFA	350	Lucena-Fredou et al. (2016)	166	Lucena-Fredou et al. (2016)	0,142	Lucena-Fredou et al. (2016)
SWO	455	Lucena-Fredou et al. (2016)	148	Lucena-Fredou et al. (2016)	0,08	Lucena-Fredou et al. (2016)
Espécies	A ₅₀ (anos)	Referência	A _{max} (anos)	Referência	Fec (x 10 ⁶ oócitos)	Referência
YFT	2,4	Lucena-Fredou et al. (2016)	9	Lucena-Fredou et al. (2016)	2,6	ICCAT (2016)
SKJ	2	Lucena-Fredou et al. (2016)	10	Lucena-Fredou et al. (2016)	1,4	ICCAT (2016)
BET	3	Lucena-Fredou et al. (2016)	8	Lucena-Fredou et al. (2016)	4,6	ICCAT (2016)
ALB	5,5	Lucena-Fredou et al. (2016)	13	Lucena-Fredou et al. (2016)	2,5	ICCAT (2016)
LOT	2	Collette et al. (2011 a)	19	Griffiths et al. (2009)	1,55	Collette et al. (2011 a)
KAW	0,62	Lucena-Fredou et al. (2016)	6	Lucena-Fredou et al. (2016)	2,5	Collette & Nauen (1983)
FRI	0,59	Ghosh et al. (2012)	4	Collette et al. (2011 b)	0,807	Ghosh et al. (2012)
BLT	2	Collette et al. (2011 c)	5	Collette et al. (2011 c)	0,067	Collette & Nauen (1983)
COM	2	Collette et al. (2011 d)	22	Collette et al. (2011 d)	1,5	Fishbase (2017)
GUT	2	Collette et al. (2011 e)	16	Collette et al. (2011 e)	1	Collette et al. (2011 e)
BUM	3	Lucena-Fredou et al. (2016)	28	Lucena-Fredou et al. (2016)	5,19	ICCAT (2016)
BLM	3,5	Lucena-Fredou et al. (2016)	20	Lucena-Fredou et al. (2016)	40	Nakamura (1985)
MLS	2,5	Lucena-Fredou et al. (2016)	8,5	Lucena-Fredou et al. (2016)	3,12	Kopf et al. (2012)
SFA	5	Lucena-Fredou et al. (2016)	12	Lucena-Fredou et al. (2016)	2,1	Ganga et al. (2012)
SWO	4	Lucena-Fredou et al. (2016)	18	Lucena-Fredou et al. (2016)	3,5	Nakamura (1985)

Apêndice 2. Valores atribuídos aos atributos de susceptibilidade, considerando as diversas espécies e apetrechos de pesca analisados.Tabela 9. Valores para os atributos de susceptibilidade referentes à exploração comercial do *Thunnus albacares* no Oceano Índico.

Atributos de susceptibilidade	Espinhel pelágico		Linha		Redes de cerco		Redes de emalhar		Vara e isca viva		Cumulativo	
	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore
Disponibilidade	99,14	3	15,18	1	39,71	2	21,5	1	3	1	178,53	3
Encontrabilidade	60,24	3	1,2	1	100	3	11,65	1	1,2	1	174,29	3
% > L50	99,29	1	91,62	2	12,76	3	57,19	2	4,14	3	4,14	3
Estratégias de gerenciamento	30	1	30	1	30	1	30	1	30	1	30	1
Status IUCN	10	3	10	3	10	3	10	3	10	3	10	3
Dados IOTC	2,53	2	1,17	3	2,87	1	0,93	3	1,66	3	0,93	3

Tabela 10. Valores para os atributos de susceptibilidade referentes à exploração comercial do *Katsuwonus pelamis* no Oceano Índico.

Atributos de susceptibilidade	Espinhel pelágico		Redes de cerco		Redes de emalhar		Vara e isca viva		Cumulativo	
	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore
Disponibilidade	97,73	3	35,31	2	20,37	1	3	1	156,41	3
Encontrabilidade	61,54	3	100	3	11,54	1	1,15	1	174,23	3
% > L50	98,95	1	89,27	2	20,59	3	81,43	2	20,59	3
Estratégias de gerenciamento	30	1	30	1	30	1	30	1	30	1
Status IUCN	30	1	30	1	30	1	30	1	30	1
Dados IOTC	2,64	2	2,85	1	0,56	3	1,64	3	0,56	3

Tabela 11. Valores para os atributos de susceptibilidade referentes à exploração comercial do *Thunnus obesus* no Oceano Índico.

Atributos de susceptibilidade	Espinhel pelágico		Redes de cerco		Redes de emalhar		Cumulativo	
	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore
Disponibilidade	99,76	3	37,14	2	30,78	2	167,68	3
Encontrabilidade	60	3	100	3	12	1	172	3
% > L50	75,04	2	1,94	3	0	3	0	3
Estratégias de gerenciamento	30	1	30	1	30	1	30	1
Status IUCN	30	1	30	1	30	1	30	1
Dados IOTC	2,55	2	2,9	1	1,61	3	1,61	3

Tabela 12. Valores para os atributos de susceptibilidade referentes à exploração comercial do *Thunnus alalunga* no Oceano Índico.

Atributos de susceptibilidade	Espinhel pelágico		Redes de cerco		Cumulativo	
	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore
Disponibilidade	99,37	3	18,18	1	117,55	3
Encontrabilidade	33,33	2	50	2	83,33	3
% > L50	59,97	2	98,43	1	59,97	2
Estratégias de gerenciamento	30	1	30	1	30	1
Status IUCN	10	3	10	3	10	3
Dados IOTC	2,66	2	2,98	1	2,66	2

Tabela 13. Valores para os atributos de susceptibilidade referentes à exploração comercial do *Thunnus tonggol* no Oceano Índico.

Atributos de susceptibilidade	Rede de cerco		Redes de emalhar		Cumulativo	
	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore
Disponibilidade	1,54	1	7,28	1	8,82	1
Encontrabilidade	100	3	12,05	1	112,05	3
% > L50	51,59	2	60,75	2	51,29	2
Estratégias de gerenciamento	30	1	30	1	30	1
Status IUCN	20	2	20	2	20	2
Dados IOTC	1,25	3	1,56	3	1,25	3

Tabela 14. Valores para os atributos de susceptibilidade referentes à exploração comercial do *Euthynnus affinis* no Oceano Índico.

Atributos de susceptibilidade	Linha e anzol		Redes de cerco		Redes de emalhar		Vara e isca viva		Cumulativo	
	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore
Disponibilidade	17	1	5,77	1	14,37	1	3,02	1	40,16	2
Encontrabilidade	1,5	1	100	3	15	1	1,5	1	118	3
% > L50	97,54	1	15,5	3	96,12	1	55,61	2	15,5	3
Estratégias de gerenciamento	30	1	30	1	30	1	30	1	30	1
Status IUCN	30	1	30	1	30	1	30	1	30	1
Dados IOTC	1,6	3	0,69	3	1,32	3	1,78	3	0,69	3

Tabela 15. Valores para os atributos de susceptibilidade referentes à exploração comercial do *Auxis thazard* no Oceano Índico.

Atributos de susceptibilidade	Linha e anzol		Redes de cerco		Redes de emalhar		Vara e isca viva		Cumulativo	
	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore
Disponibilidade	4,61	1	4,97	1	8,06	1	1,16	1	18,8	1
Encontrabilidade	6,67	1	100	3	66,67	3	6,67	1	180,01	3
% > L50	0*	3	32,28	3	0*	3	96,03	1	0	3
Estratégias de gerenciamento	30	1	30	1	30	1	30	1	30	1
Status IUCN	30	1	30	1	30	1	30	1	30	1
Dados IOTC	0*	3	0*	3	0*	3	0*	3	0	3

Tabela 16. Valores para os atributos de susceptibilidade referentes à exploração comercial do *Auxis rochei* no Oceano Índico.

Atributos de susceptibilidade	Linha e anzol		Redes de cerco		Redes de emalhar		Cumulativo	
	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore
Disponibilidade	4,54	1	4,89	1	7,45	1	16,88	1
Encontrabilidade	6,67	1	100	3	66,67	3	173,34	3
% > L50	0*	3	46,51	3	0*	3	0	3
Estratégias de gerenciamento	30	1	30	1	30	1	30	1
Status IUCN	30	1	30	1	30	1	30	1
Dados IOTC	0*	3	0*	3	0*	3	0	3

Tabela 17. Valores para os atributos de susceptibilidade referentes à exploração comercial do *Scomberomorus commerson* no Oceano Índico.

Atributos de susceptibilidade	Linha e anzol		Redes de emalhar		Cumulativo	
	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore
Disponibilidade	7,93	1	7,33	1	15,26	1
Encontrabilidade	3	1	33,33	2	36,33	2
% > L50	40,26	3	47,63	3	40,26	3
Estratégias de gerenciamento	30	1	30	1	30	1
Status IUCN	10	3	10	3	10	3
Dados IOTC	0,44	3	1,37	3	0,44	3

* Valores indisponíveis por limitação dos dados

Tabela 18. Valores para os atributos de susceptibilidade referentes à exploração comercial do *Scomberomorus guttatus* no Oceano Índico.

Atributos de susceptibilidade	Linha e anzol		Redes de emalhar		Cumulativo	
	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore
Disponibilidade	100*	3	100*	3	200	3
Encontrabilidade	3	1	8,11	1	8,11	1
% > L50	0*	3	0*	3	0	3
Estratégias de gerenciamento	30	1	30	1	30	1
Status IUCN	20	2	20	2	20	2
Dados IOTC	0*	3	0*	3	0	3

Tabela 19. Valores para os atributos de susceptibilidade referentes à exploração comercial do *Makaira nigricans* no Oceano Índico.

Atributos de susceptibilidade	Espinhel pelágico		Linha e anzol		Redes de emalhar		Cumulativo	
	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore
Disponibilidade	99,83	3	100*	3	100*	3	299,83	3
Encontrabilidade	50	2	1,5	1	15	1	66,5	3
% > L50	6,15	3	0*	3	0*	3	0	3
Estratégias de gerenciamento	30	1	30	1	30	1	30	1
Status IUCN	10	3	10	3	10	3	10	3
Dados IOTC	2,56	2	0*	3	0*	3	0	3

Tabela 20. Valores para os atributos de susceptibilidade referentes à exploração comercial do *Istiompax indica* no Oceano Índico.

Atributos de susceptibilidade	Espinhel pelágico		Linha e anzol		Redes de emalhar		Cumulativo	
	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore
Disponibilidade	92,93	3	100*	3	100*	3	292,93	3
Encontrabilidade	50	2	1,5	1	15	1	66,5	3
% > L50	4,43	3	0*	3	0*	3	0	3
Estratégias de gerenciamento	30	1	30	1	30	1	30	1
Status IUCN	20	2	20	2	20	2	20	2
Dados IOTC	2,66	2	0*	3	0*	3	0	3

* Valores indisponíveis por limitação dos dados

Tabela 21. Valores para os atributos de susceptibilidade referentes à exploração comercial do *Kajikia audax* no Oceano Índico.

Atributos de susceptibilidade	Espinhel pelágico		Linha e anzol		Redes de emalhar		Cumulativo	
	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore
Disponibilidade	100	3	100*	3	100*	3	300	3
Encontrabilidade	50	2	1,5	1	15	1	66,5	3
% > L50	12,13	3	0*	3	0*	3	0	3
Estratégias de gerenciamento	30	1	30	1	30	1	30	1
Status IUCN	10	3	10	3	10	3	10	3
Dados IOTC	2,57	2	0*	3	0*	3	0	3

Tabela 22. Valores para os atributos de susceptibilidade referentes à exploração comercial do *Istiophorus platyperus* no Oceano Índico.

Atributos de susceptibilidade	Espinhel pelágico		Linha e anzol		Redes de emalhar		Cumulativo	
	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore
Disponibilidade	100	3	100*	3	100*	3	100	3
Encontrabilidade	50	2	1,5	1	15	1	66,5	3
% > L50	56,67	2	0*	3	0*	3	0	3
Estratégias de gerenciamento	30	1	30	1	30	1	30	1
Status IUCN	30	1	30	1	30	1	30	1
Dados IOTC	2,2	2	0*	3	0*	3	0	3

Tabela 23. Valores para os atributos de susceptibilidade referentes à exploração comercial do *Xiphias gladius* no Oceano Índico.

Atributos de susceptibilidade	Espinhel pelágico		Linha e anzol		Redes de emalhar		Cumulativo	
	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore	Valor	Escore
Disponibilidade	97,8	3	10	1	30,47	2	138,27	3
Encontrabilidade	36,36	2	0,55	1	5,45	1	42,36	2
% > L50	56,04	2	0*	3	0*	3	0	3
Estratégias de gerenciamento	30	1	30	1	30	1	30	1
Status IUCN	30	1	30	1	30	1	30	1
Dados IOTC	2,63	2	0,2	3	0,86	3	0,2	3

* Valores indisponíveis por limitação dos dados

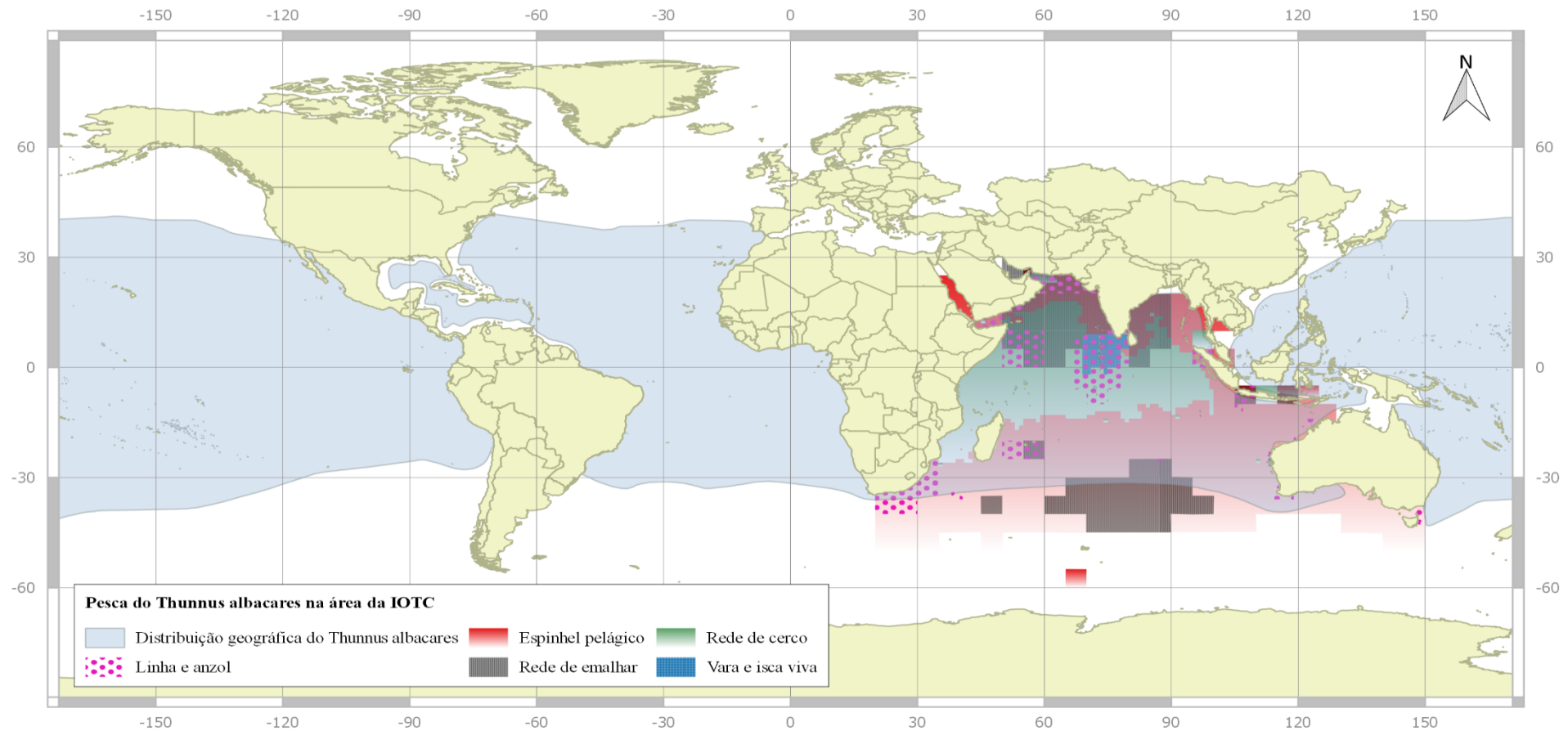
Apêndice 3. Distribuição geográfica das espécies e área de atuação dos apetrechos de pesca na área da IOTC.Figura 15. Distribuição geográfica do *Thunnus albacares* e exploração comercial na área da IOTC

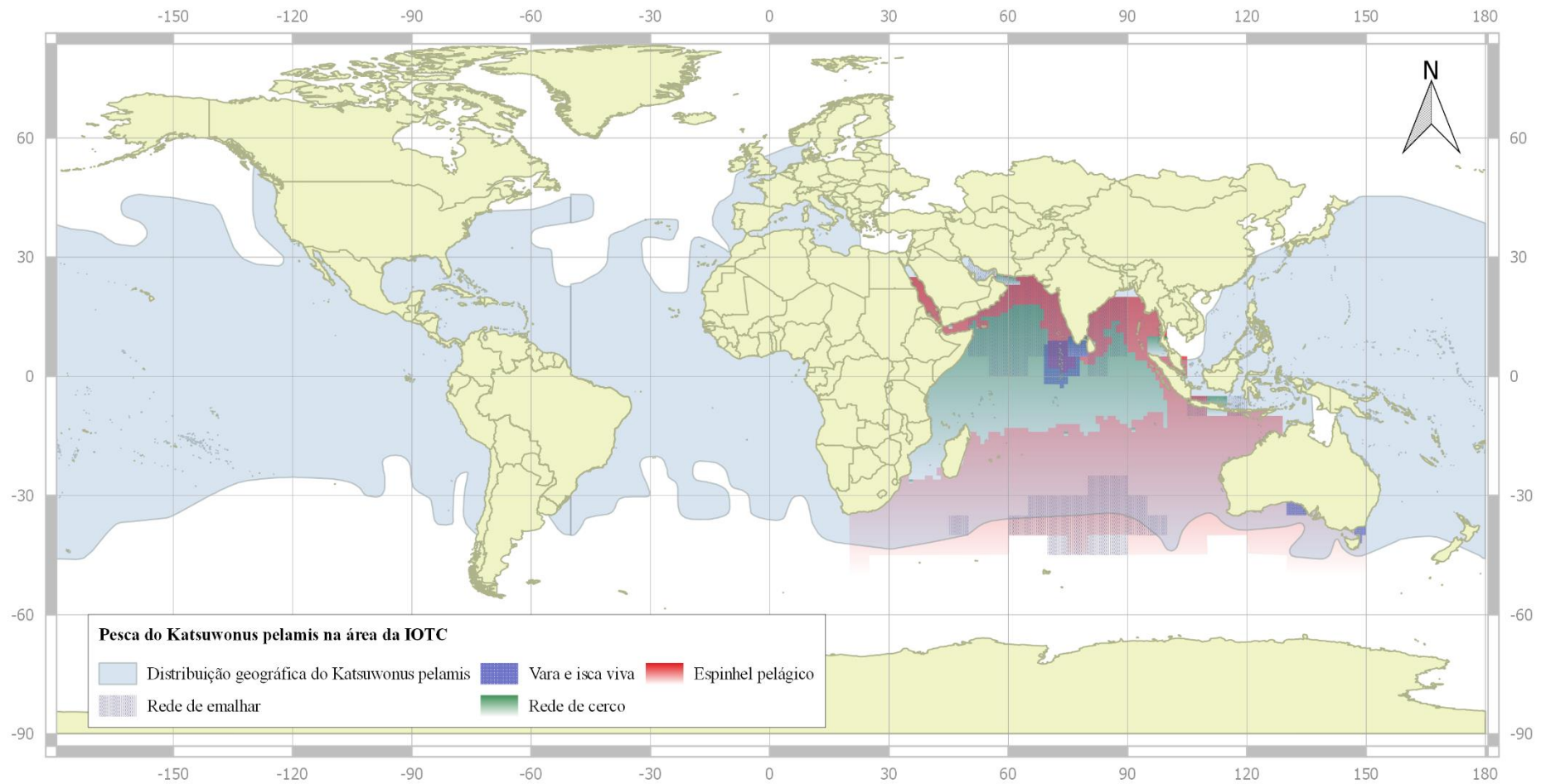
Figura 16. Distribuição geográfica do *Katsuwonus pelamis* e exploração comercial na área da IOTC

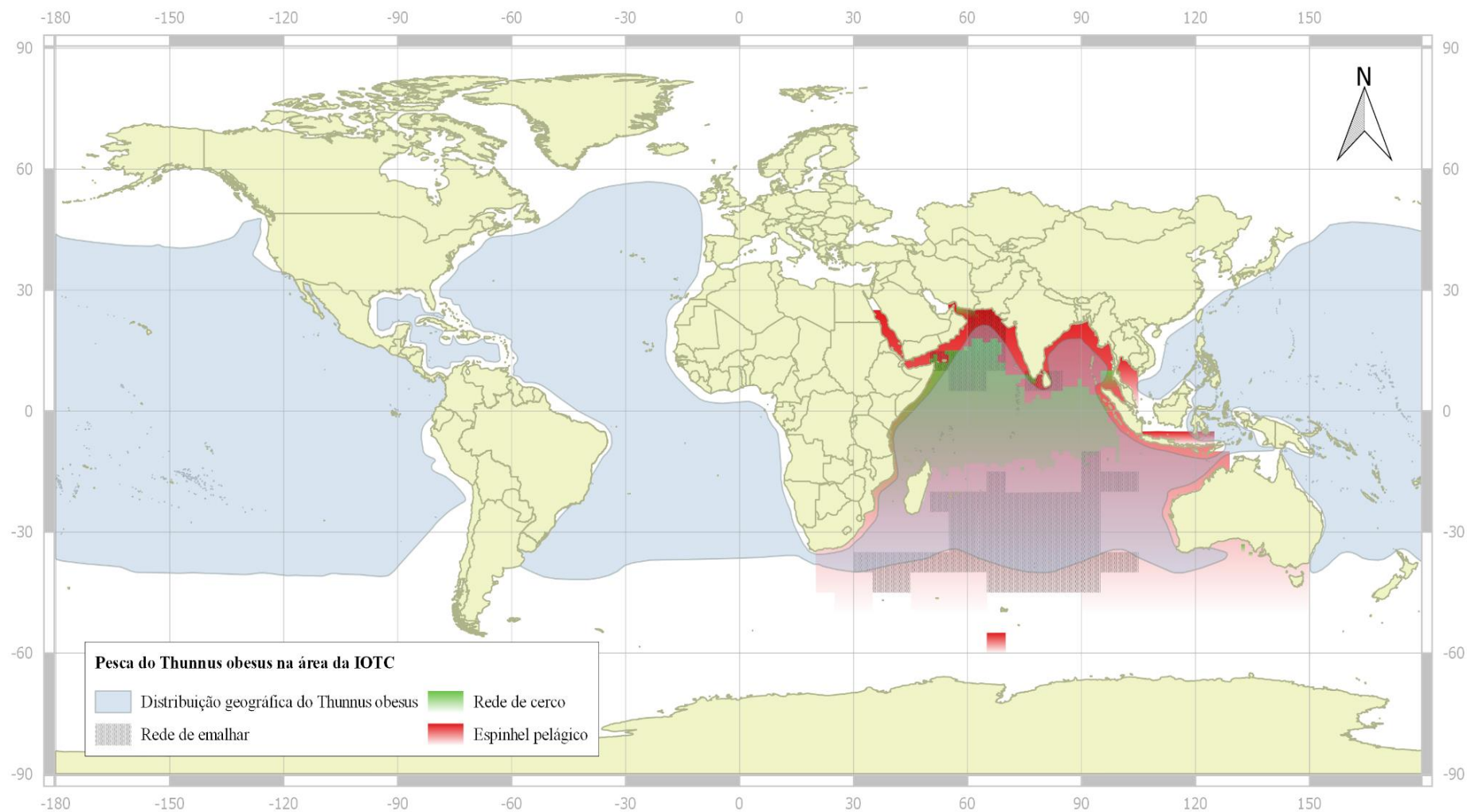
Figura 17. Distribuição geográfica do *Thunnus obesus* e exploração comercial na área da IOTC

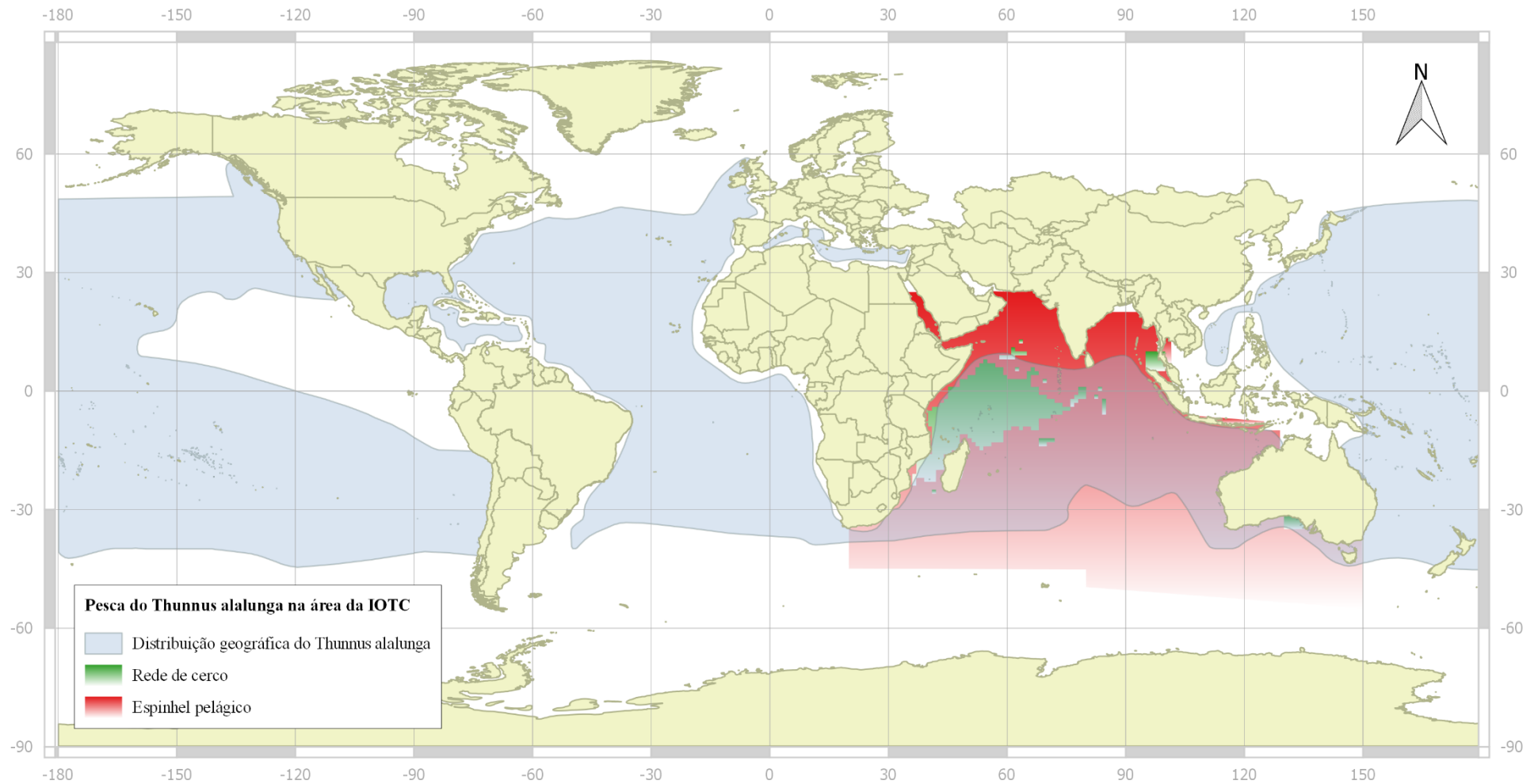
Figura 18. Distribuição geográfica do *Thunnus alalunga* e exploração comercial na área da IOTC

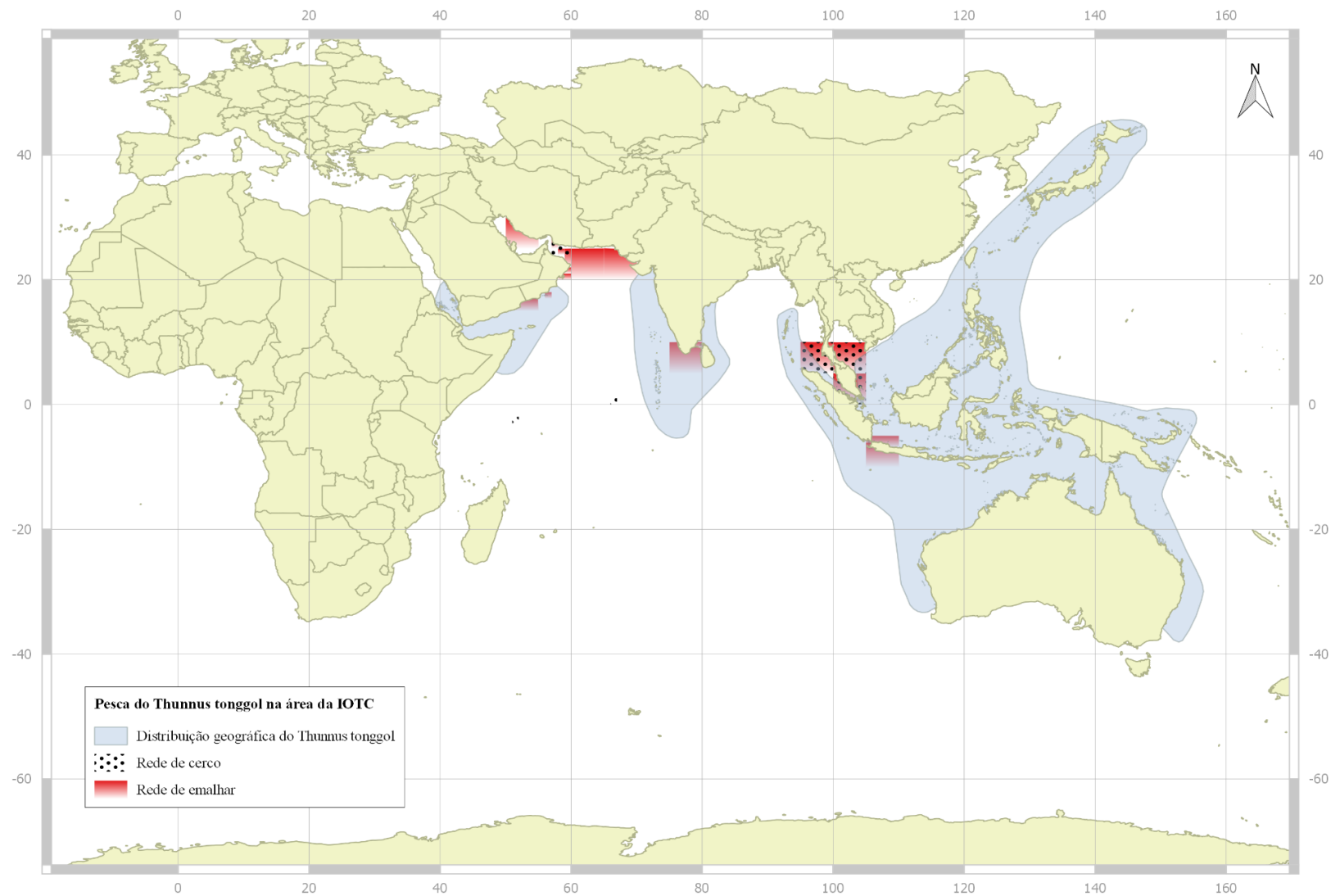
Figura 19. Distribuição geográfica do *Thunnus tonggol* e exploração comercial na área da IOTC

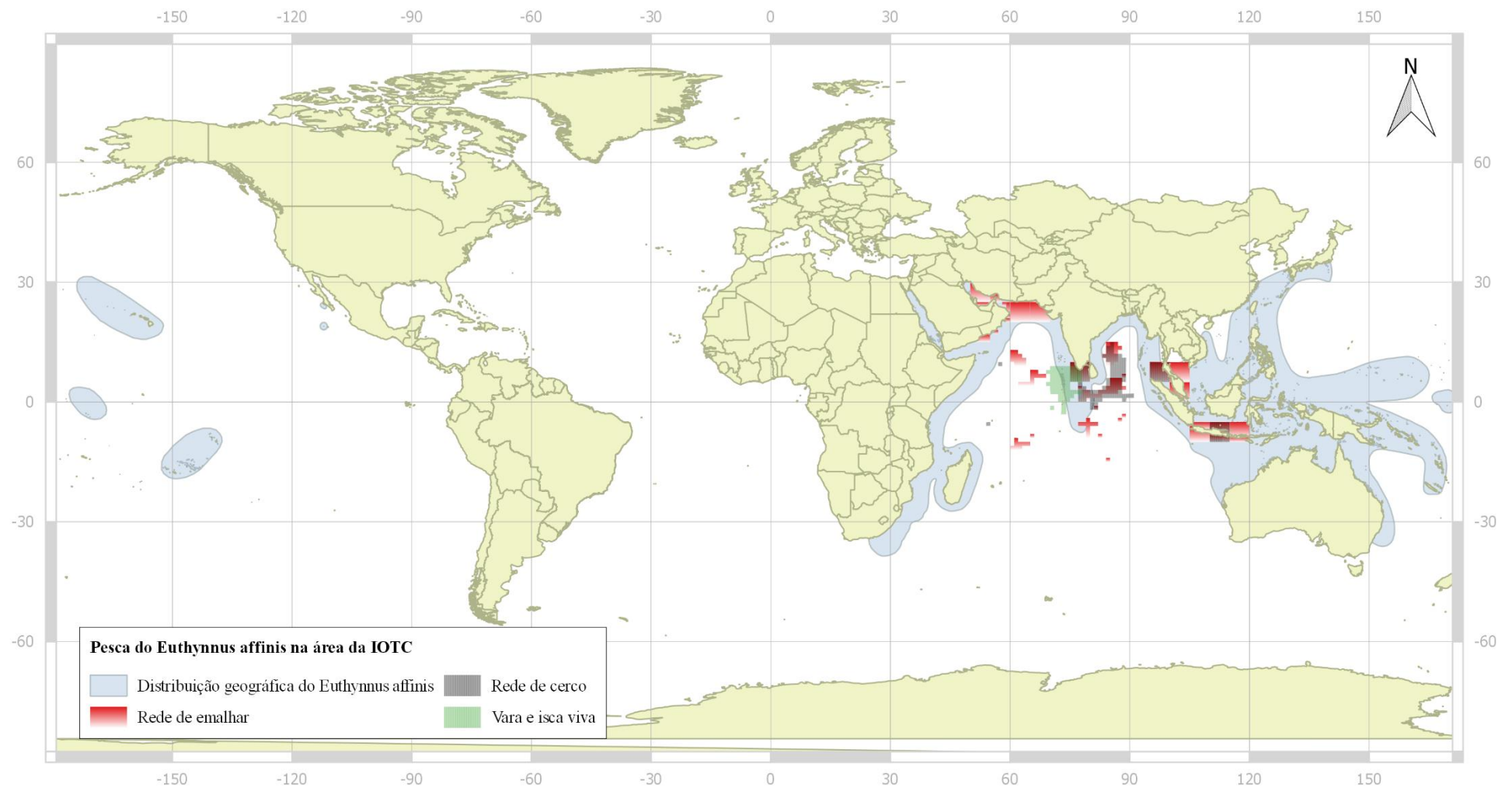
Figura 20. Distribuição geográfica do *Euthynnus affinis* e exploração comercial na área da IOTC

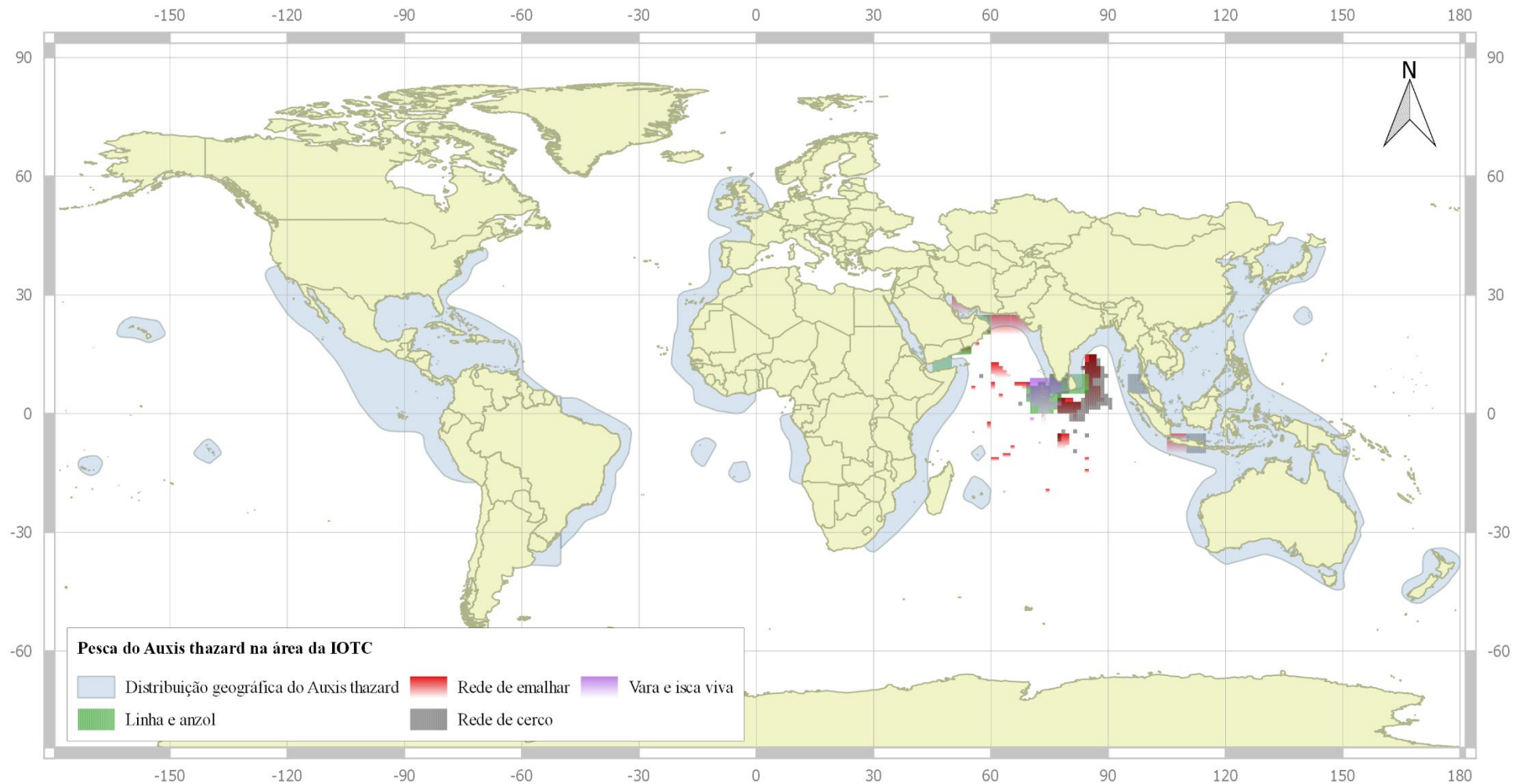
Figura 21. Distribuição geográfica do *Auxis thazard* e exploração comercial na área da IOTC

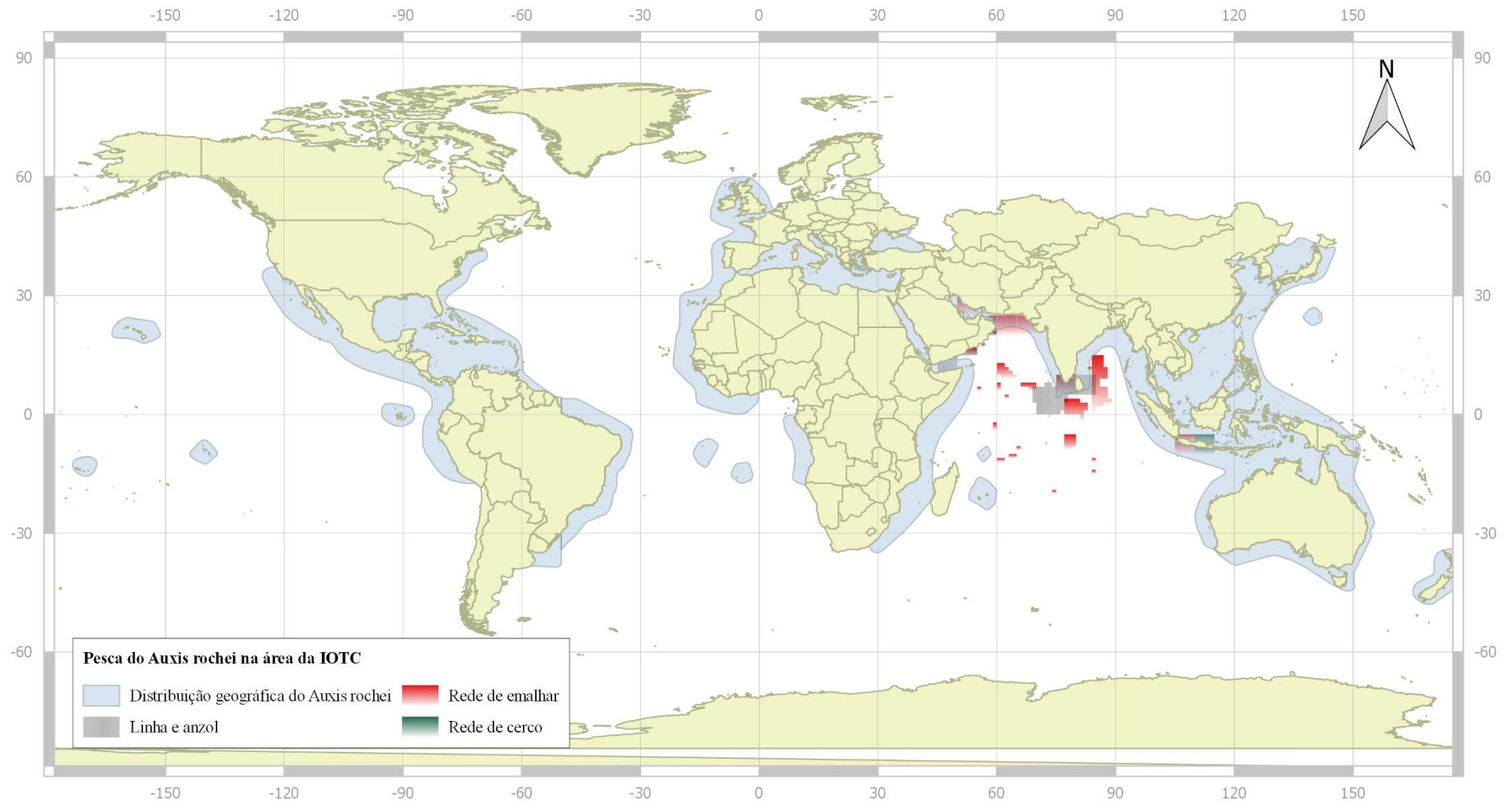
Figura 22. Distribuição geográfica do *Auxis rochei* e exploração comercial na área da IOTC

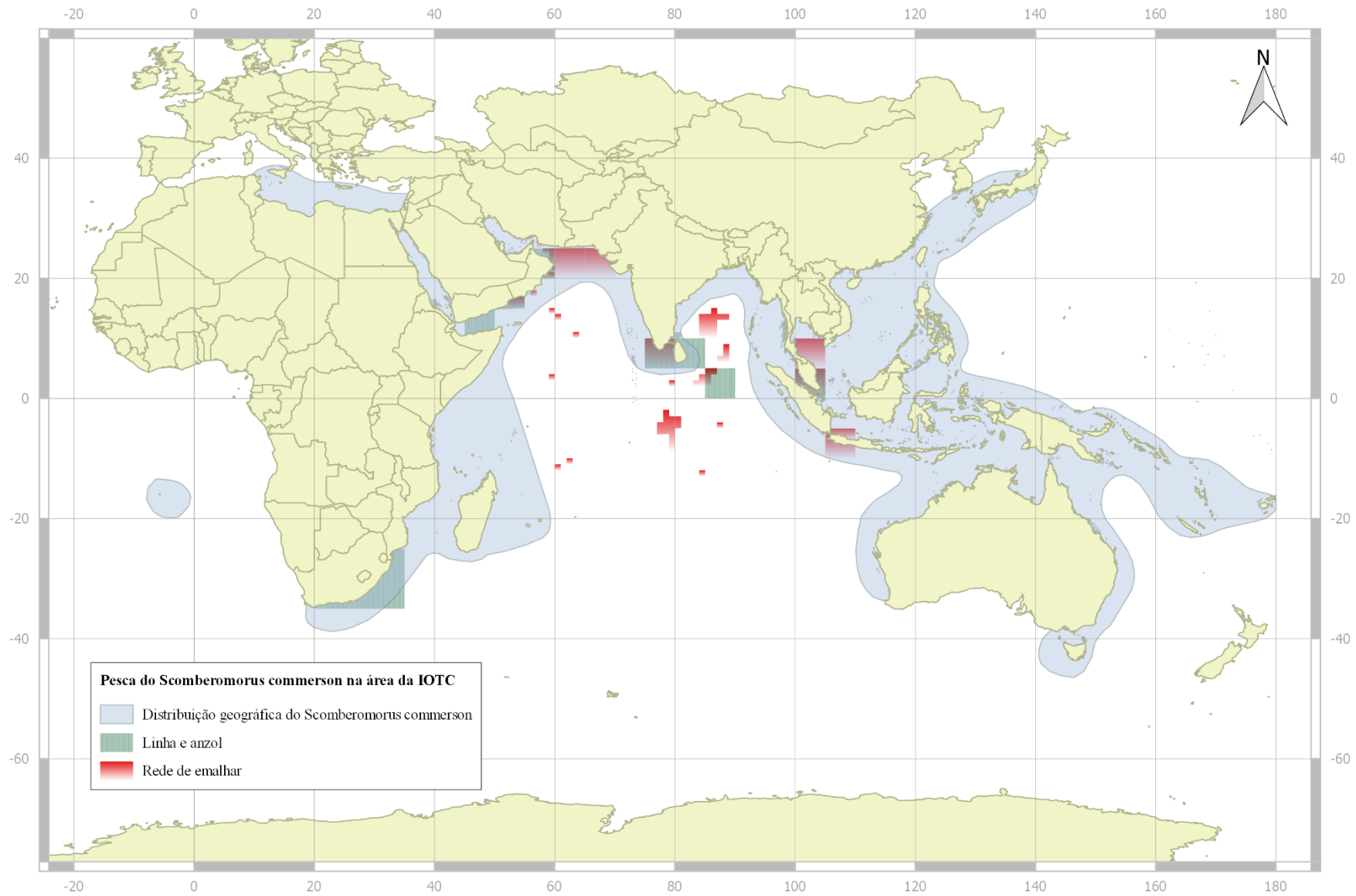
Figura 23. Distribuição geográfica do *Scomberomorus commerson* e exploração comercial na área da IOTC

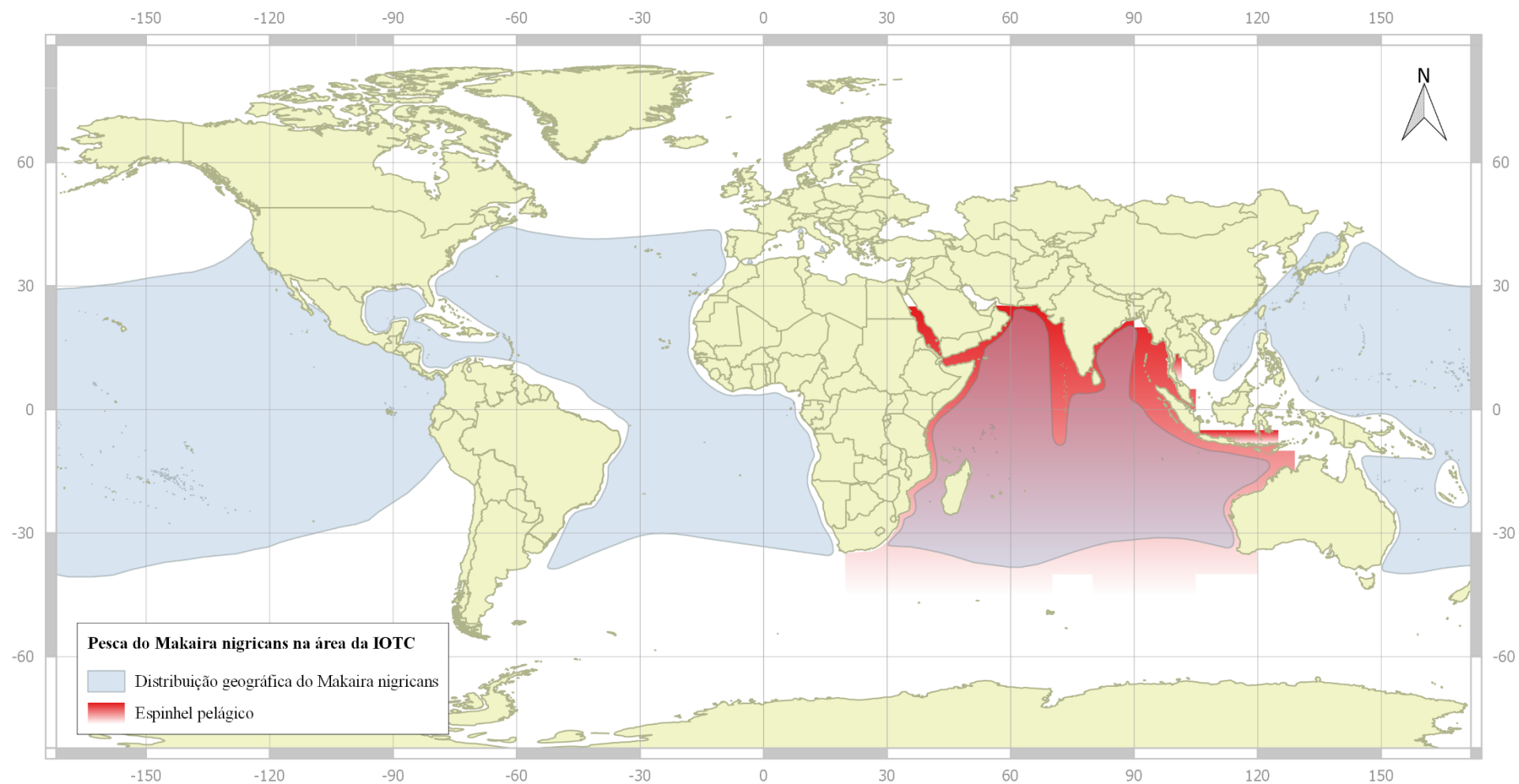
Figura 24. Distribuição geográfica do *Makaira nigricans* e exploração comercial na área da IOTC

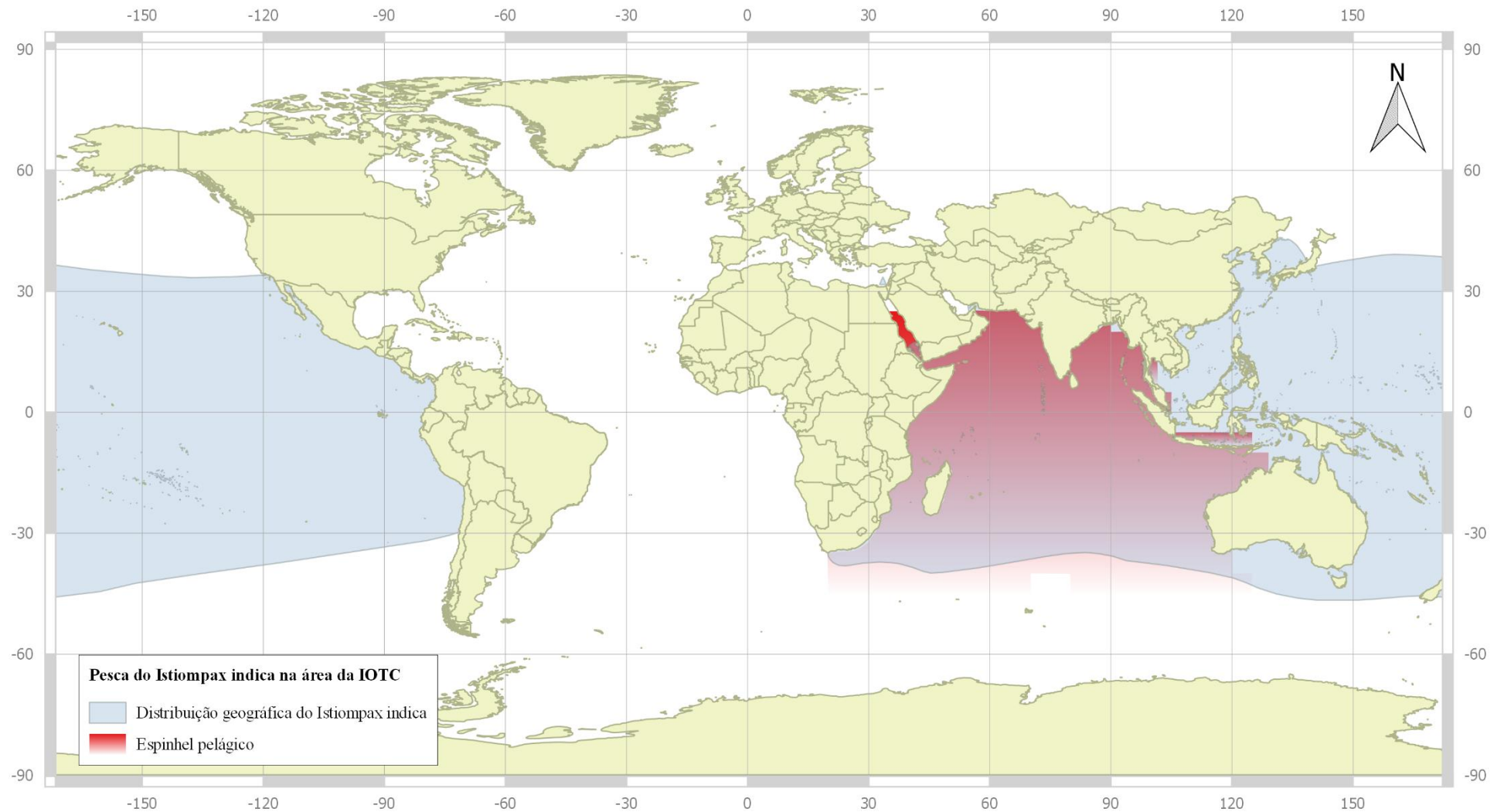
Figura 25. Distribuição geográfica do *Istiompax indica* e exploração comercial na área da IOTC

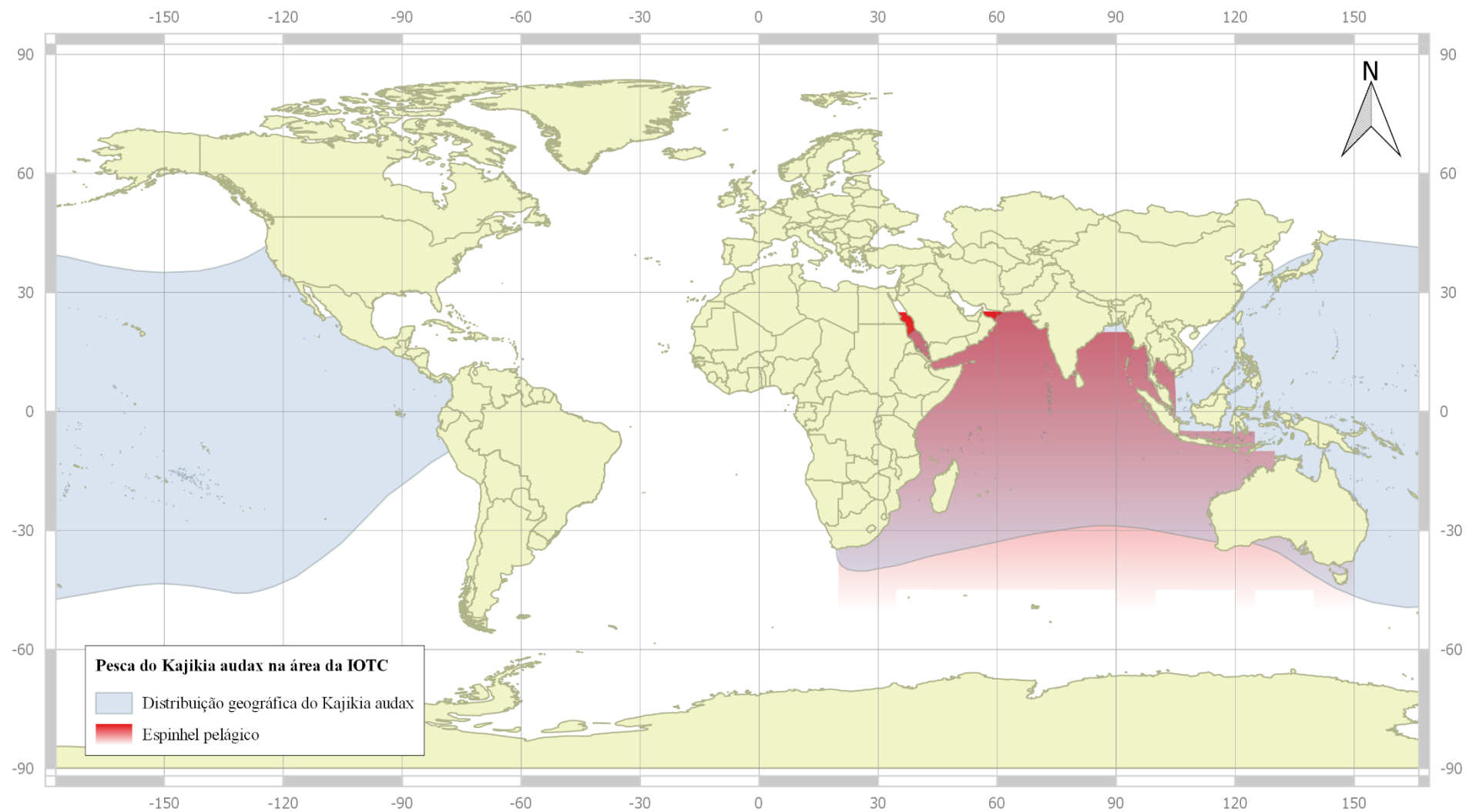
Figura 26. Distribuição geográfica do *Kajikia audax* e exploração comercial na área da IOTC

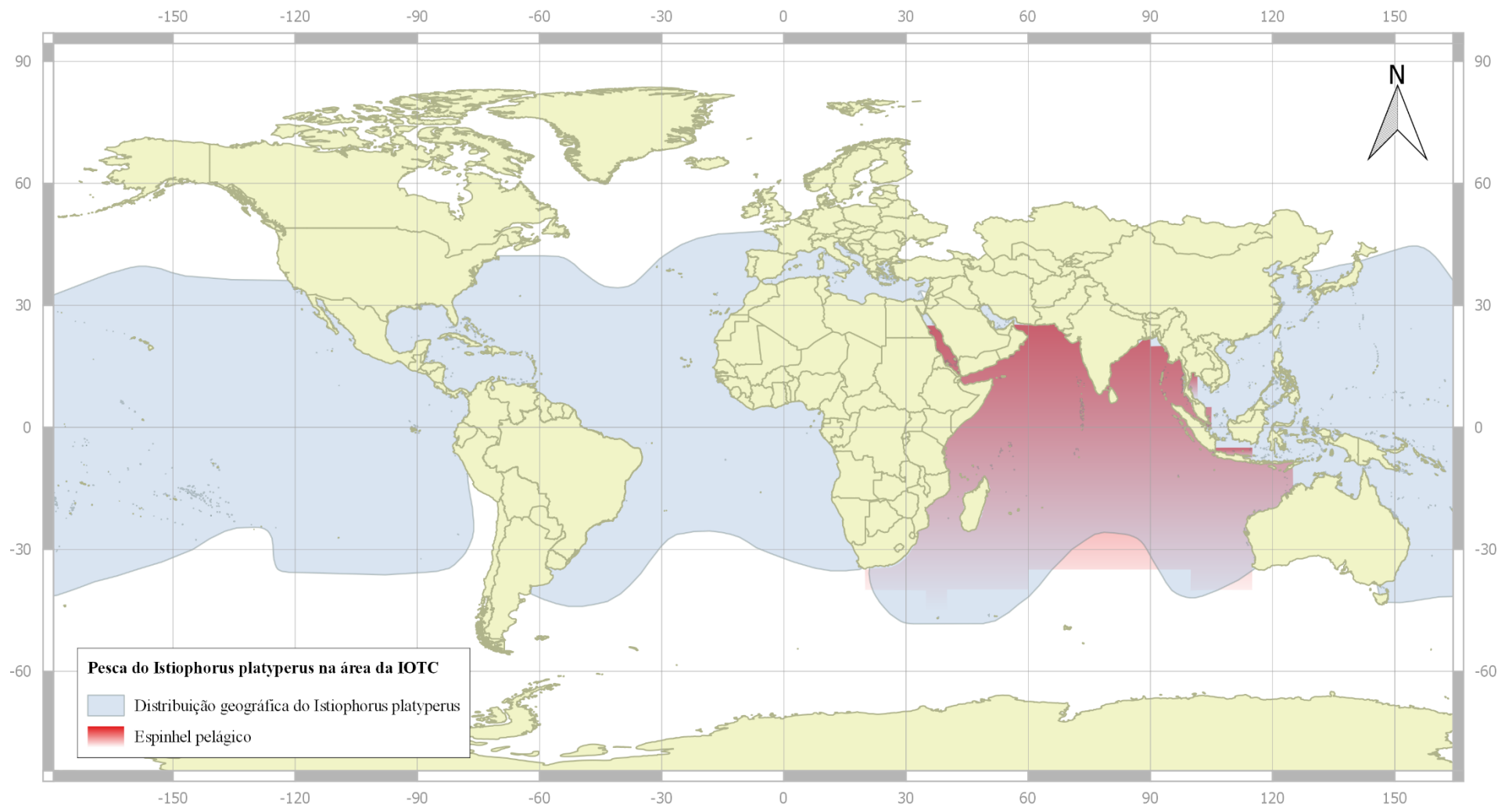
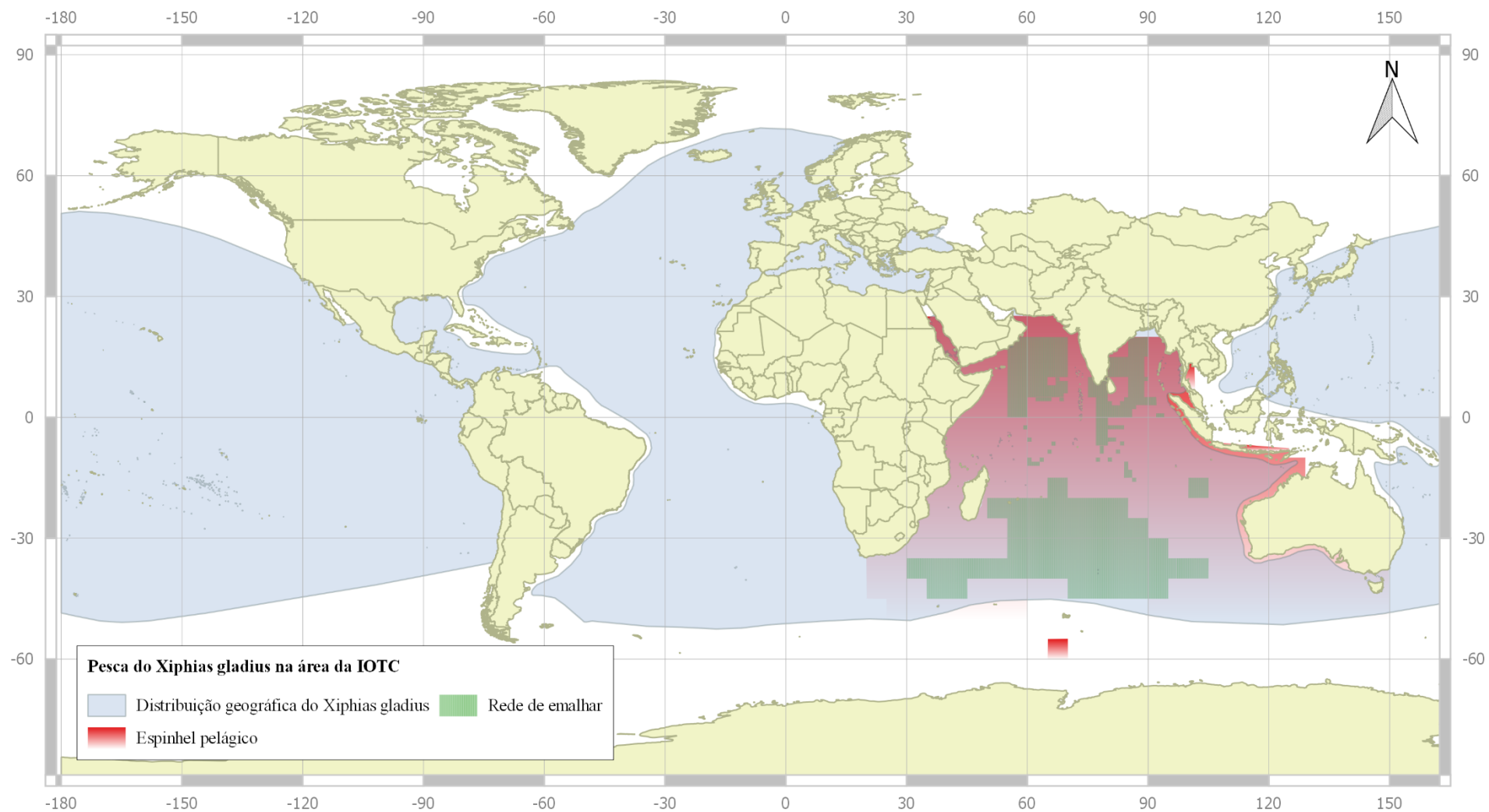
Figura 27. Distribuição geográfica do *Istiophorus platyperus* e exploração comercial na área da IOTC

Figura 28. Distribuição geográfica do *Xiphias gladius* e exploração comercial na área da IOTC 16

Apêndice 4. Índices de vulnerabilidade e grau de risco ecológico das espécies, considerando a atuação individual dos apetrechos de pesca.

Tabela 24. Índices de vulnerabilidade e grau de risco ecológico das espécies analisadas à ação individual das diversas categorias de pesca atuantes na exploração comercial no Oceano Índico

Espécie	Vulnerabilidade e Risco ecológico									
	Espinhel pelágico		Linha e anzol		Rede de cerco		Rede de emalhar		Vara e isca viva	
YFT	1,56	Moderado	1,28	Moderado	1,56	Moderado	1,28	Moderado	1,41	Moderado
SKJ	1,04	Moderado	n	n	0,88	Baixo	0,88	Baixo	0,74	Baixo
BET	1,66	Moderado	n	n	1,78	Moderado	1,55	Moderado	n	n
ALB	1,78	Moderado	n	n	1,37	Moderado	n	n	n	n
LOT	n	n	n	n	1,38	Moderado	1,12	Moderado	n	n
KAW	n	n	0,54	Baixo	1,16	Moderado	0,54	Baixo	0,68	Baixo
FRI	n	n	0,91	Baixo	1,22	Moderado	1,22	Moderado	0,66	Baixo
BLT	n	n	0,81	Baixo	1,14	Moderado	1,14	Moderado	n	n
COM	n	n	1,45	Moderado	n	n	1,59	Moderado	n	n
GUT	n	n	1,53	Moderado	n	n	1,53	Moderado	n	n
BUM	1,95	Moderado	1,95	Moderado	n	n	1,95	Moderado	n	n
BLM	2,08	Alto	2,08	Alto	n	n	2,08	Alto	n	n
MLS	1,73	Moderado	1,73	Moderado	n	n	1,73	Moderado	n	n
SAF	1,67	Moderado	1,77	Moderado	n	n	1,77	Moderado	n	n
SWO	1,71	Moderado	1,62	Moderado	n	n	1,71	Moderado	n	n

n - A categoria de pesca não é listada pela IOTC como uma das principais categorias a explorar comercialmente a espécie.

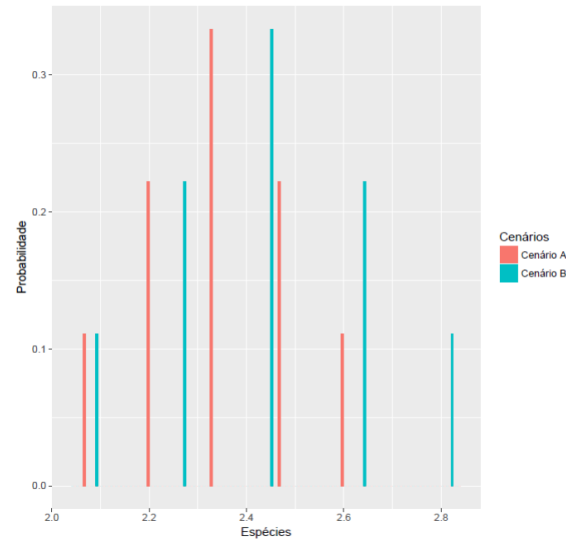
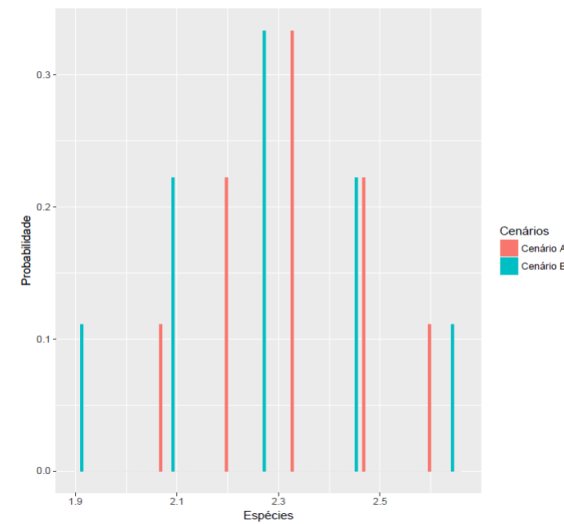
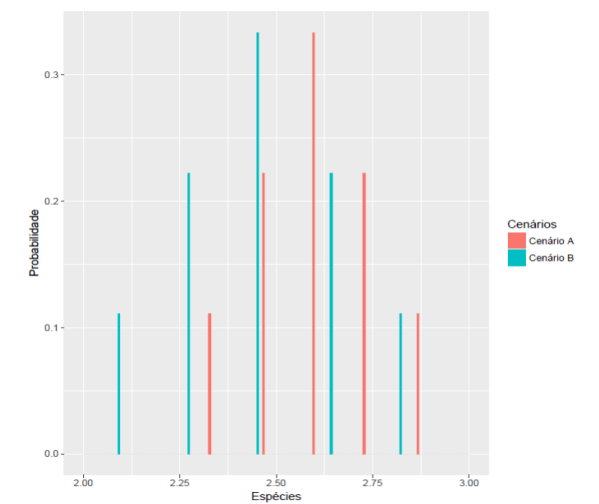
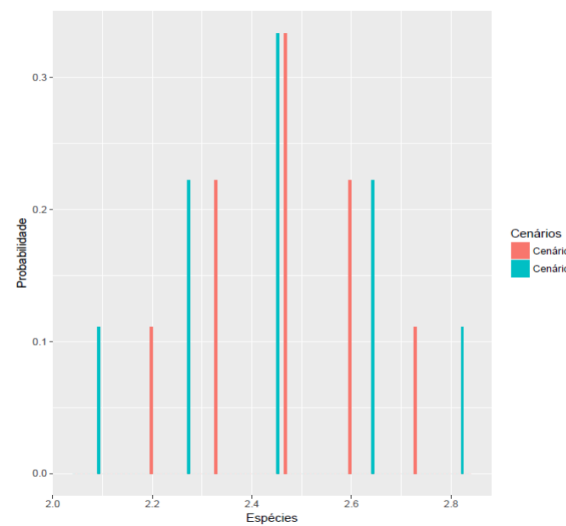
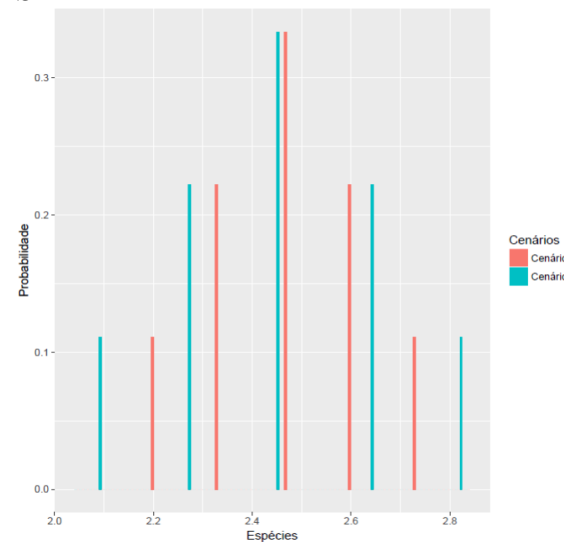
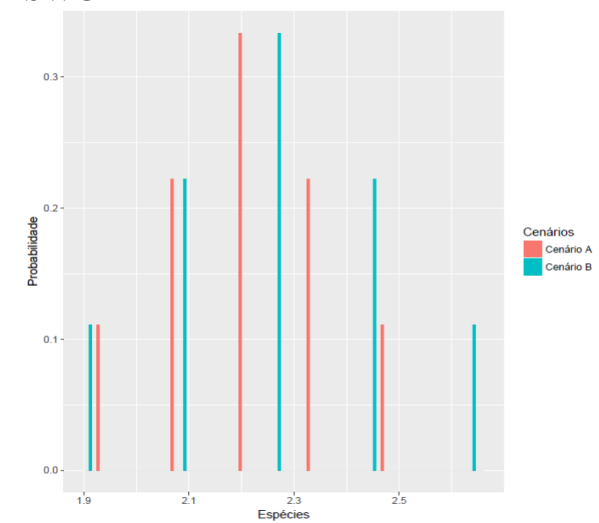
Apêndice 5. Análise de sensibilidade considerando todas as combinações de (n-1) atributos de produtividade e susceptibilidade.

Tabela 25. Valores médios e desvios padrão para índices de produtividade e susceptibilidade das unidades de análise, obtidos por simulação boot-strap com combinações de (n-1) atributos.

	ESPÉCIES														
	YFT	SKJ	BET	ALB	LOT	KAW	FRI	BLT	COM	GUT	BUM	BLM	MLS	SFA	SWO
Índices de produtividade	2,00	2,44	1,61	1,72	2,06	2,56	2,39	2,61	2,06	2,06	1,56	1,17	1,94	1,56	1,39
	2,11	2,56	1,72	1,72	2,28	2,56	2,39	2,61	2,28	2,28	1,78	1,39	2,06	1,56	1,61
	2,11	2,44	1,61	1,72	2,17	2,67	2,61	2,83	2,17	2,28	1,56	1,17	1,94	1,56	1,39
	2,29	2,59	1,71	1,71	2,18	2,71	2,35	2,59	2,35	2,00	1,82	1,41	2,24	1,71	1,65
	2,11	2,56	1,83	1,72	2,17	2,56	2,39	2,61	2,17	2,17	1,78	1,39	2,17	1,67	1,61
	2,00	2,44	1,83	1,72	2,06	2,56	2,61	2,61	2,06	2,28	1,56	1,39	2,17	1,44	1,39
	2,12	2,41	1,88	1,88	2,18	2,53	2,35	2,59	2,00	2,00	1,82	1,41	1,88	1,71	1,65
	1,94	2,41	1,71	1,71	2,00	2,53	2,35	2,59	2,00	2,00	1,65	1,41	1,88	1,53	1,65
Média	2,09	2,48	1,74	1,74	2,13	2,58	2,43	2,63	2,13	2,13	1,69	1,34	2,03	1,59	1,54
Desv Pad	0,11	0,07	0,10	0,06	0,09	0,07	0,11	0,08	0,13	0,13	0,12	0,11	0,14	0,09	0,13
	ESPÉCIES														
	YFT	SKJ	BET	ALB	LOT	KAW	FRI	BLT	COM	GUT	BUM	BLM	MLS	SFA	SWO
Índices de susceptibilidade	2,78	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	2,56	2,11	2,78	2,56	2,78	2,33	2,11
	2,78	2,33	2,33	2,56	2,11	2,11	1,89	1,89	2,11	2,11	2,78	2,56	2,78	2,33	2,11
	3,00	2,60	2,60	2,60	2,20	2,40	2,20	2,20	2,40	2,40	3,00	2,80	3,00	2,60	2,40
	2,78	2,33	2,33	2,56	1,89	2,11	1,89	1,89	2,11	2,11	2,78	2,56	2,78	2,33	2,11
	2,78	2,78	2,78	2,33	2,11	2,56	2,33	2,33	2,11	2,33	2,78	2,78	2,78	2,78	2,56
	2,78	2,33	2,33	2,33	1,89	2,11	1,89	1,89	2,33	2,56	2,78	2,56	2,78	2,33	2,33
Média	2,82	2,45	2,45	2,45	2,09	2,27	2,09	2,09	2,27	2,27	2,81	2,63	2,81	2,45	2,27
Desv Pad	0,09	0,19	0,19	0,13	0,17	0,19	0,22	0,22	0,19	0,19	0,09	0,12	0,09	0,19	0,19

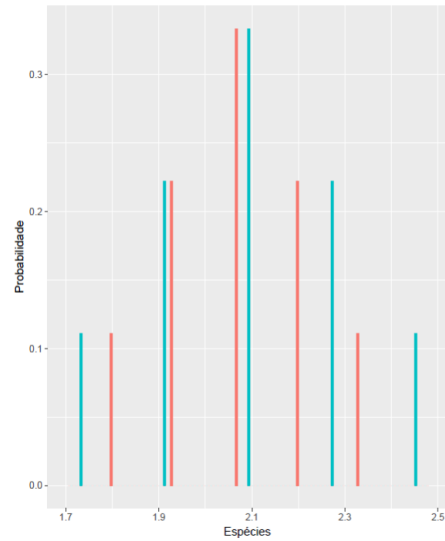
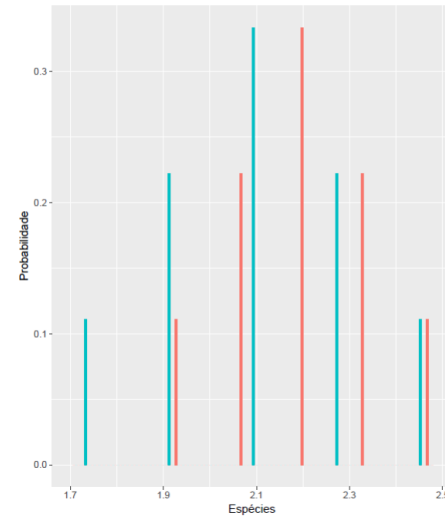
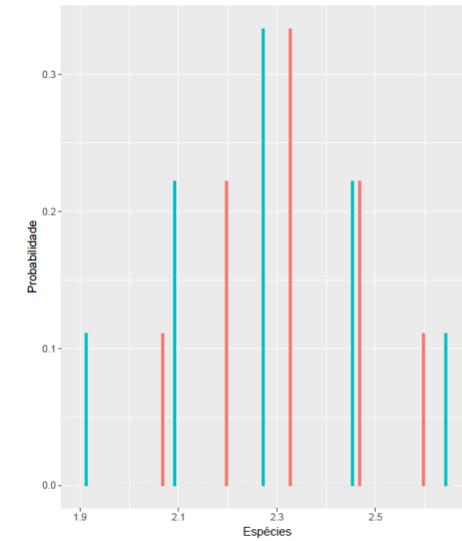
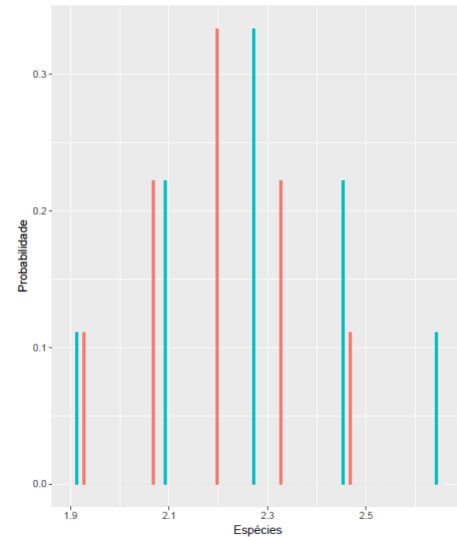
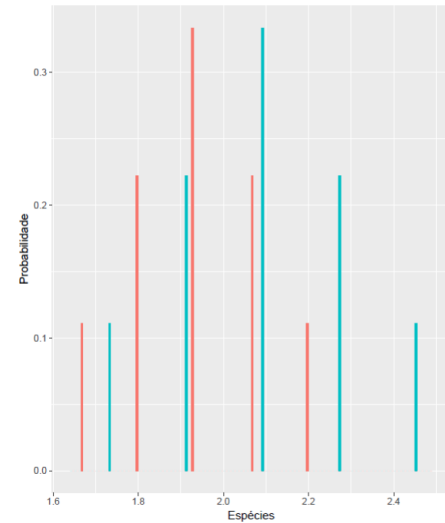
Apêndice 6. Distribuições de probabilidades dos índices cumulativos de susceptibilidade, obtidas em simulações realizadas no presente estudo.

Figura 29. Distribuições de probabilidades dos índices cumulativos de susceptibilidade, relativas às simulações com diferentes atributos de susceptibilidade para as espécies ALB, BET, BUM, BLM, SFA e SWO.

BET**ALB****BUM****BLM****SFA****SWO**

Apêndice 7. Distribuições de probabilidades dos índices individuais de susceptibilidade, obtidas em simulações realizadas no presente estudo.

Figura 30. Distribuições de probabilidades dos índices individuais de susceptibilidade da pesca com espinhel pelágico, relativas às simulações com diferentes atributos de susceptibilidade para as espécies ALB, BET, BUM, BLM, SFA e SWO.

BET**ALB****BUM****BLM****SFA****SWO**