

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA E ZOOLOGIA

Mateus Rachevsky de Alencar

Mergulhando em águas pouco conhecidas: uma revisão bibliográfica no estado da arte da
neurobiologia de elasmobrânquios.

Florianópolis

2021

Mateus Rachevsky de Alencar

Mergulhando em águas pouco conhecidas: uma revisão bibliográfica no estado da arte da neurobiologia de elasmobrânquios.

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas

Orientador: Prof. Dr. Renato Hajenius Aché de Freitas

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra

Alencar, Mateus Rachewsky de

Mergulhando em águas pouco conhecidas: uma revisão bibliográfica no estado da arte da Neurobiologia de elasmobrânquios. / Mateus Rachewsky de Alencar ; orientador, Renato Hajenius Aché de Freitas, 2021.
45 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Ciências Biológicas. 2. Elasmobrânquios. 3. Neurobiologia. 4. Revisão bibliográfica. I. Freitas, Renato Hajenius Aché de. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

Este trabalho é dedicado à minha mãe que, mesmo no meio de um turbilhão, fez de tudo para que eu estivesse aqui hoje.

AGRADECIMENTOS

Queria começar agradecendo à minha família. Ao meu pai, por sempre estar perto, mesmo que não morando na mesma casa. Por todas as conversas, fotos, comidas, carinho e parceria. À minha mãe por estar sempre ao meu lado, mesmo depois de todos os meus “surto”, todos os altos e baixos (vários baixos hahaha). Por serem essas pessoas carinhosas e amorosas que me apoiaram sempre. Amo muito vocês!

Agradeço aos muitos amigos que fiz durante a graduação. Ao Marcos, Renato, Bruna, Beatriz, Thaís, Sato, Gabriela, Rafael, Souza. Tive muita sorte de poder estar com vocês nos intervalos de aula, nos rolês aleatórios, nas noites de jogos, na sofrência de estar atolado no final do semestre. Não consigo imaginar minha graduação sem vocês.

À Débora por ser essa pessoa que não só aceita como compartilha das minhas muitas bizarrices. Pelos incontáveis memes, pelas noites de jogos, pelos trabalhos em grupo... por tudo! “Obrigada por estar acordada!”

Ao Felipe por ser esse amigo que prova que amizade não se perde depois do colégio. Desde a primeira série do fundamental até hoje, seguindo forte! Obrigado pelas incontáveis noites jogando lolzinho ou qualquer outra coisa que seja, por compartilhar da minha sede insaciável de vôlei (mesmo que falte ombro e joelho... rip). TBW é o melhor sentimento!

Ao Pedro por ser meu primeiro DM e por aceitar todas minhas ideias malucas de personagem. Por todos os jogos de tabuleiro (ou não) que jogamos juntos! Pena que usa Linux...

A todas as pessoas (aleatórias e conhecidas) que já pisaram naquela quadra de areia/pedra da UFSC comigo para o clássico vôlei desde o sol escaldante até a escuridão completa. Poder dar uma descontraída e uma descontada de emoções naquela pobre bola foi maravilhoso e espero poder voltar a jogar com vocês o quanto antes.

Obrigado ao LABITEL e seus muitos integrantes por me acolherem, mesmo eu sendo uma pessoa quieta e reservada.

Obrigado ao professor Renato que me aceitou no laboratório e me acompanhou nessa jornada, nos altos e baixos, em todas as mudanças de parágrafo, de ideia, até a mudança do projeto inteiro, por causa de uma pandemia! hahahah! Sempre paciente, disposto a ajudar, me motivando e compartilhando todo seu conhecimento. Muito obrigado!

Por fim, queria agradecer a minha vó Lourdes e minha tia-avó Ercília que, mesmo não estando mais comigo, sempre me apoiaram e me deram todo o carinho que eu podia ter pedido e até mais! hahaha. Estão me vendo daí de cima? Eu consegui!

É importante extrair sabedoria de diferentes lugares. Se você levá-la de apenas um lugar, se
tornará rígido e velho.

(Tio Iroh)

RESUMO

Elasmobrânquios são animais de alta importância ecológica, com altas relações entre massa encefálica e peso corporal, apresentando encéfalos com inovações e padrões mantidos pela maioria dos vertebrados. Entender como tal encéfalo se desenvolve e se organiza é um passo importante para compreender como esses animais se comportam e lidam com os mais diversos desafios impostos a eles. Porém, ainda existem poucos trabalhos que abordem a organização das diferentes áreas encefálicas e suas relações com sua ecologia. Uma pesquisa ampla em uma das maiores bases de dados científicas, a Web of Science, confirmou isto. Dos 731 artigos levantados, apenas 37 se encaixavam no perfil deste trabalho. Houve uma produção de trabalhos baixa, porém constante entre 1973 e 2005. A partir de 2006, a produção aumentou muito, em relação aos anos anteriores, e parece seguir assim. Tal produção científica se concentra principalmente nos EUA e Austrália. O Brasil, mesmo com altos índices de riqueza e endemismo de espécies, apresentou apenas dois trabalhos. Poucos artigos exploraram variáveis ontogenéticas ou ambientais, embora a ontogenia seja um fator importante no desenvolvimento das diferentes regiões encefálicas. Os artigos foram categorizados de acordo com seus conteúdos, podendo se encaixar em mais de uma categoria. A maioria foi classificada em “Anatomia”, seguido por “Ecologia”. Artigos mais recentes, muitas vezes foram classificados em duas ou mais categorias, indicando que, mesmo com poucos trabalhos, uma boa variedade de conteúdos está sendo estudada. Quanto às regiões encefálicas, 20 artigos abordaram o encéfalo como um todo e não uma região específica. Houveram trabalhos sobre regiões específicas, mesmo que poucos, com destaque ao cerebelo e ao mesencéfalo. O diencéfalo foi a única área com nenhum trabalho específico, sendo abordado apenas em artigos gerais. Isso pode ter ocorrido devido à função de regulação e produção hormonal dessa região, contudo mais estudos precisam ser feitos sobre o assunto. Um número relativamente baixo ($n=188$) de espécies foi estudado, sendo que a maior parte ($n=66$) apresentava o estado de conservação “Pouco preocupante”, de acordo com a IUCN. Tubarões ($n = 113$) apareceram mais que raias ($n = 75$) e isso pode ter acontecido devido ao maior interesse comercial maior em tubarões. Pesquisadores e agências de fomento, de maneira geral, também dão maior importância e apoio financeiro a projetos com tubarões. De maneira geral, a presente pesquisa encontrou poucos trabalhos na área de organização das diferentes regiões encefálicas e suas relações com aspectos da ecologia de elasmobrânquios. Contudo, também se percebe que, com o passar dos anos, a produção de trabalhos nessa área vem aumentando, fornecendo maiores subsídios para novos estudos na área, mas, naturalmente, ainda existem questionamentos a serem respondidos. Neste contexto, espera-se que o presente estudo tenha fornecido informações e apontado lacunas para instigar novas pesquisas.

Palavras chave: Tubarões; Raias; Sistema nervoso; Neuroecologia.

ABSTRACT

Elasmobranchs are animals of high ecological importance, exhibiting high brain mass to body mass ratios and showing brains with innovations and patterns kept by most vertebrates. Understanding how such brain is developed and organized is an important step to comprehend how these animals behave and deal with all the varied challenges imposed to them. However, there has been relatively little research done into the development of distinct brain areas and their relationship with the ecology of elasmobranchs. To confirm this, a broad search on one of the biggest scientific databases, Web of Science was conducted. Of the 731 articles found on said topic, only 37 fitted the profile of this research. There has been a low, but steady flow of scientific papers produced between 1973 and 2005. From 2006 forward, publications have increased significantly, especially when compared to previous years. This production is concentrated mainly in the USA and Australia. Even though Brazil has high species richness and endemism indexes, there have been only two papers produced on the topic. Only a few articles explored ontogenetic or ecological variables, though ontogeny is an important factor in brain development. The articles were categorized based on their contents, falling in more than one category, should it be deemed necessary. Most of them were classified into "Anatomy", followed by "Ecology". Recent articles tended to fall in more than one category, showing that, even with few papers, a wide array of contents is being studied. As for the encephalic regions, 20 articles approached the brain as a whole and not a specific region. There are papers about specific regions, even if few, with emphasis to the cerebellum and mesencephalon. The diencephalon was the only region that wasn't the focus of an investigation, being analyzed only in "general" articles. This might have happened because of the hormonal production and regulation role of said region, but more research is required. A relatively low number of species (n=188) was found in the articles, with most of them (n=66) being listed as "Least concern" by the IUCN. Sharks (n=113) were more studied than batoids (n=75). That may have due to a bigger commercial interest in sharks. Researchers and fomentation agencies, in general, also give greater importance and financial support to projects and studies regarding sharks. In general, this study has found only a few scientific papers about the development of the different brain regions and their relations with aspects of the ecology of elasmobranchs. However, it was noted that, over time, scientific production in this area has been increasing, providing a greater basis for future studies, but, naturally, there are still questions that need answers. That being said, it is expected that this review has provided information and pointed out gaps in the current state of art of elasmobranch neurobiology, prompting new studies.

Keywords: Sharks; Batoids; Nervous system; Neuroecology

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução do encéfalo de animais vertebrados	15
Figura 2: Regiões encefálicas de elasmobrânquios	19
Figura 3: Fluxograma com as etapas de busca e seleção dos artigos	21
Figura 4: Número de artigos produzidos em intervalos de 5 anos	22
Figura 5: Quantidade de artigos produzidos por cada país entre 1973 e 2020.....	23
Figura 6: Número de artigos em cada categoria geral	25
Figura 7: Quantidade de artigos abordando cada região encefálica.	26
Figura 8: Número de espécies de raia encontradas neste trabalho associadas a cada habitat, de acordo com a FishBase.	27
Figura 9: Número de espécies de tubarão encontradas neste trabalho associadas a cada habitat de acordo com a FishBase.	27
Figura 10: Estado de conservação das espécies de tubarões encontradas neste trabalho, de acordo com a lista vermelha da IUCN.....	28
Figura 11: Estado de conservação das espécies de raia encontradas neste trabalho, de acordo com a lista vermelha da IUCN	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estados de conservação das espécies de acordo com a IUCN	20
Tabela 2: Lista de hábitos de elasmobrânquios de acordo com a FishBase.....	20
Tabela 3: Quantidade de artigos que exploraram variáveis ontogenéticas ou ecológicas.....	24

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
2.1. OBJETIVO GERAL	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. METODOLOGIA.....	17
3.1. PESQUISA DE ARTIGOS	17
3.2. LEITURA DOS ARTIGOS.....	17
3.2.1. Ano de escrita	17
3.2.2. Local de escrita	17
3.2.3. Variável explorada	18
3.2.4. Categoria geral.....	18
3.2.5. Região encefálica estudada	18
3.2.6. Espécies presentes no artigo	19
3.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	21
4. RESULTADOS	21
4.1. ARTIGOS.....	21
4.2. ANO DE ESCRITA.....	22
4.3. LOCAL DE ESCRITA.....	22
4.4. VARIÁVEL EXPLORADA.....	23
4.5. CATEGORIA GERAL.....	24
4.6. REGIÃO ENCEFÁLICA ESTUDADA.....	25
4.7. ESPÉCIES PRESENTES NO ARTIGO	26
5. DISCUSSÃO	28
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
REFERÊNCIAS.....	35

APÊNDICE A – Tabela de espécies de tubarão encontradas neste trabalho	41
APÊNDICE B - Tabela de espécies de raia encontradas neste trabalho	42
APÊNDICE C – Dados dos artigos utilizados nesta revisão.....	43

1. INTRODUÇÃO

Chondrichthyes apresentam aproximadamente 1200 espécies viventes, ocupando uma posição basal na árvore evolucionária dos vertebrados (LAST, 2007). Elasmobrânquios (tubarões e raias) apresentam aproximadamente 1500 espécies, sendo 516 espécies válidas de tubarões e 633 espécies de raias (LAST, 2016). Por ser um grupo muito diverso, os elasmobrânquios apresentam uma grande gama de habitats, podendo ir desde um ambiente completamente pelágico até um ambiente bentônico (CAILLIET, 2005). Devido a isso, eles ocupam diferentes posições na cadeia trófica. Tubarões de maior porte, como *Sphyrna* spp., são considerados predadores de topo, enquanto alguns de menor porte, como *Squatina guggenheim* e *Rhizoprionodon landii* são mesopredadores (BORNATOWSKI, 2014).

Já está bem estabelecido que os efeitos *bottom-up* e *top-down*, quando ocorrem de maneira natural nas cadeias tróficas, são de extrema importância para a manutenção dos ecossistemas (MORAN, 1996). Porém, a retirada não natural, seja gradual ou repentina, de alguma espécie de predador do ambiente pode afetar de maneira drástica o resto da teia alimentar. De acordo com a hipótese da liberação de mesopredadores, com a retirada de um predador de topo, por exemplo, a população de mesopredadores aumenta consideravelmente, enquanto a população de suas presas diminui (SOULÉ, 1998).

Peixes teleósteos e elasmobrânquios possuem estratégias reprodutivas que, em certo modo, podem ser percebidas como opostas. Peixes são r-estrategistas, ou seja, apostam em rápida maturação sexual, colocando centenas de ovos com alta taxa de fecundidade por vez. Isso os torna capazes de repor seus números populacionais com relativa facilidade, mesmo com alta taxa de mortalidade desses ovos, bem como de suas larvas, e a pesca excessiva. (PIANKA, 1970). Elasmobrânquios, por outro lado, são k-estrategistas, apostando em maturação sexual tardia, baixa taxa de fecundidade e crescimento lento (BONFIL, 1994).

A importância ecológica dos elasmobrânquios tem se tornado cada vez mais clara (GOURAGUINE, 2011; STEVENS et. al., 2000) e, apesar disso, os popularmente conhecidos “cações”, estão sendo cada vez mais pescados, seja como fauna acompanhante ou como alvo principal (STEVENS et. al., 2000; VÖGLER; MILESSI; QUIÑONES, 2003). Os condrictes demersais são os mais afetados, devido ao intenso uso de redes de arrasto que não discernem entre o alvo da pesca e fauna acompanhante (HAIMOVICI, 1998). Concomitante a isso, há uma falta de controle na comercialização destes animais e escassez de políticas de conservação dos mesmos (BORNATOWSKI, 2014). Os fatores acima, somados à baixa taxa de reprodução e maturação tardia, fazem com que os elasmobrânquios sejam particularmente vulneráveis à

sobrepesca, pois as populações não têm como repor seus indivíduos na mesma taxa que eles são eliminados, podendo levar até décadas para se recuperarem (STEVENS, 2000). Isso coloca muitas espécies em risco de extinção, ocasionando desequilíbrio nas comunidades em que esses animais estão inseridos (BORNATOWSKI, 2014).

Reduzir as taxas de dita defaunação requer a implementação de políticas de conservação baseadas em dados científicos atuais sobre a taxonomia, ecologia e estado de conservação das espécies. Porém, o entendimento que se tem da biologia básica de muitas espécies é inadequado (SANDOVAL-CASTILLO, 2019). Além disso, as informações existentes, na maioria das vezes, são taxonomicamente (DONALDSON *et al.*, 2016) e geograficamente (MEIJAARD *et al.*, 2015) enviesadas. E, apesar de diversos elasmobrânquios serem vistos como chamativos e economicamente importantes, sendo muitas vezes vistos como predadores sanguinários (MYRICK, 2014). A maioria das espécies de elasmobrânquios ainda é sub-representada na literatura científica (DOMINGUES *et al.*, 2018; SANDOVAL-CASTILLO, 2019)

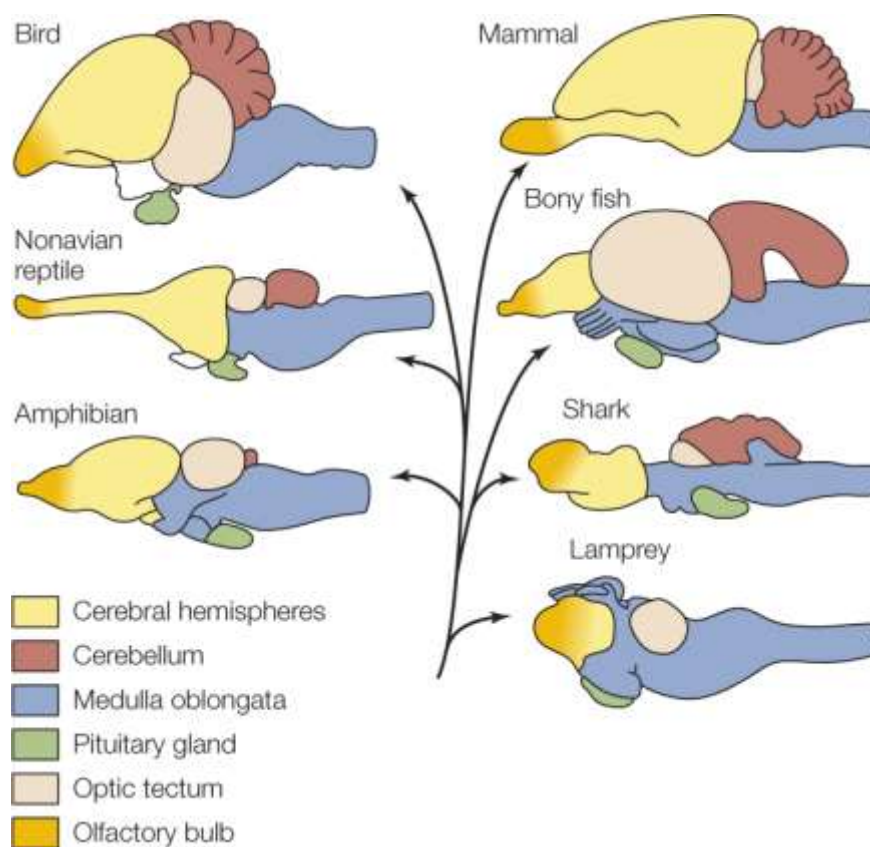
A acessibilidade limitada intrínseca de habitats marinhos torna a coleta de dados biológicos diretos de animais marinhos problemática. Em elasmobrânquios, isso é enfatizado pela baixa densidade de populações e alta mobilidade de boa parte das espécies. (SANDOVAL-CASTILLO, 2019). Tendo isso em mente, encontrar outros meios de investigar a ecologia desses animais pode ser de grande ajuda para cobrir as lacunas que existem nessa área.

Já foram encontradas evidências de que diversos fatores ecológicos, como dieta, habitat e comportamentos sociais, estão relacionados com padrões de organização encefálica (NORTHCUTT, 1977, 1989; YOPAK, 2012a; YOPAK *et al.*, 2007) e que variações no encéfalo, na maioria das vezes, não podem ser explicadas por relações filogenéticas. Tais variações, denominadas de cerebrótipo (CLARK *et al.*, 2001; IWANIUK; HURD, 2005), de maneira geral refletem similaridades ecológicas, onde padrões de organização encefálica semelhantes são encontrados em animais com estilos de vida parecidos em termos de, por exemplo, estratégia de caça, padrão de movimentação, estratégias reprodutivas, etc. Isso é verdadeiro para diversos grupos, como peixes teleósteos (KOTRSCHAL e PALZENBERGER, 1992; HUBER *et al.*, 1997; KOTRSCHAL *et al.*, 1998), aves (IWANIUK e HURD, 2005) e mamíferos (CLARK *et al.*, 2001; DE WINTER e OXNARD, 2001). O mesmo é válido para elasmobrânquios (YOPAK *et al.*, 2007) que, por ocuparem uma grande gama de nichos aquáticos (MUSICK *et al.*, 2004), também apresentam variações encefálicas consideráveis (NORTHCUTT 1977, 1978; YOPAK *et al.*, 2007; YOPAK, 2008;

LINSEY *et al.* 2008) e, também, altas relações de tamanho cerebral e encefalização por tamanho corporal, principalmente se comparados a outros vertebrados ectotérmicos (BAUCHOT *et al.*, 1976).

Os condrites foram os primeiros animais a apresentarem o arquétipo cerebral homólogo de vertebrados (tripartite) (STRIEDTER, 2006), sendo rostrocaudalmente constituído de prosencéfalo (bulbo olfatório, telencéfalo e diencéfalo), mesencéfalo e rombencéfalo (cerebelo e medula oblongata) (YOPAK, 2012a) (Figura 1).

Figura 1: Evolução do encéfalo de animais vertebrados. Adaptado de ZHANG, 2019



O cerebelo é uma região com funções ainda a serem debatidas (MONTGOMERY *et al.*, 2012; PORRILL *et al.*, 2012; BAUMANN *et al.* 2014), porém evidências apontam para funções de modulação de atividades motoras, correção de erros na movimentação e rastreamento/monitoramento de presas (YOPAK, 2012a). Estudos também afirmam que o cerebelo (assim como as “*cerebellar-like structures*”) estão envolvidas na subtração de estímulos sensoriais desnecessários (DEVOR, 2000). O mesencéfalo, por sua vez, é uma região que está associada principalmente ao processamento de informações visuais e também está envolvido na integração de estímulos eletro e mecanosensoriais (YOPAK, 2012a, b). Vale

ressaltar que o mesencéfalo é, muitas vezes tratado como “*brain-stem*” ou “tronco encefálico”, divisão que inclui a medula oblongata e o mesencéfalo. O bulbo olfatório é o responsável por captar informações químicas na água, caracterizando o olfato dos elasmobrânquios. Assim como as outras regiões encefálicas, seu tamanho já foi relacionado com os habitats das espécies estudadas, onde animais pelágicos e de profundidade apresentam um bulbo olfatório maior (indicando maior relevância) e animais associados a recife apresentaram um bulbo reduzido (YOPAK, 2014), indicando que possivelmente estímulos visuais sejam mais importantes. Antigamente, acreditava-se que o telencéfalo era inteiramente dominado por *inputs* olfatórios (KAPPERS, 1906; JOHNSTON, 1911; BÄCKSTRÖM, 1924). Hoje em dia, já foi demonstrado que essa área funciona de maneira similar ao de outros vertebrados (NORTHCUTT, 1989) e que apenas uma porção recebe projeções olfatórias secundárias (SMEETS, 1998; HOFMANN, 2008). Artigos já evidenciaram que o telencéfalo contribui muito para o processamento e modulação de outros sentidos além do olfato, assim como funções cognitivas mais elaboradas (EBBESSON, 1972; SMEETS, 1998; HOFMANN, 2008). Pouco se sabe sobre as funções específicas do diencéfalo (YOPAK, 2012a), mas ela apresenta as mesmas divisões dos outros vertebrados: epitélamo, tálamo e hipotálamo, então se acredita que suas funções também sejam similares (NORTHCUTT, 1989).

Mesmo sendo um grupo chave na evolução do cérebro de vertebrados (YOPAK, 2010), ainda existem poucos dados quanto ao tamanho relativo das diferentes áreas do encéfalo desses animais em relação às outras classes de vertebrados, como peixes teleósteos (YOPAK *et al.*, 2007) e estudos com a proposta de averiguar tais diferenças no tamanho relativo de cada região são escassos sendo que poucos relacionam dados morfológicos com dados funcionais, como a ecologia dos animais. Fazer essa associação pode se mostrar um meio eficaz de prever a ecologia das espécies de elasmobrânquios, mesmo sem ter acesso ao animal em seu habitat natural.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Compilar os dados existentes na base de dados Web of Science sobre a neurobiologia de elasmobrânquios, de modo a analisar o estado da arte desta área de conhecimento.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar se há uma produção de artigos consistente no passar dos anos;
- Identificar onde são produzidos mais artigos;
- Averiguar se há uma região encefálica mais estudada;
- Identificar se relações entre padrões de organização encefálica e ecologia são abordadas.
- Apontar possíveis lacunas no conhecimento da área de organização encefálica de elasmobrânquios.

3. METODOLOGIA

3.1. PESQUISA DE ARTIGOS

A base de dados Web Of Science foi escolhida para buscar os artigos. As palavras-chave “Shark* brain* OR shark* brain* area* OR shark* brain* organization OR shark* brain* region OR ‘cartilaginous fish*’ brain OR elasmobranch* brain*”, nessa ordem, foram colocadas na categoria “Tópico”, sem período de tempo específico. Os artigos foram selecionados baseados no título e no resumo, onde apenas aqueles com dados alométricos, anatômicos, morfológicos, morfométricos, neuroecológicos, de organização encefálica e/ou volumétricos foram incluídos nesta pesquisa.

3.2. LEITURA DOS ARTIGOS

Após a leitura dos artigos, foram extraídas informações a respeito de:

3.2.1. Ano de escrita (n=37)

Ano em que o artigo foi escrito

3.2.2. Local de escrita (n=37)

País em que o primeiro autor residia na data de escrita do artigo.

3.2.3. Variável explorada (n=34)

Para esta revisão, foi analisado se os artigos exploram variáveis ambientais, ontogenéticas ou nenhuma dessas. Um artigo com uma variável ambiental é aquele que leva em consideração o habitat ou a ecologia de cada espécie ao fazer o trabalho, enquanto aqueles com variáveis ontogenéticas focam nas diferenças entre os diferentes estágios de vida de determinada espécie (não apenas uma consequência da amostragem, por exemplo)

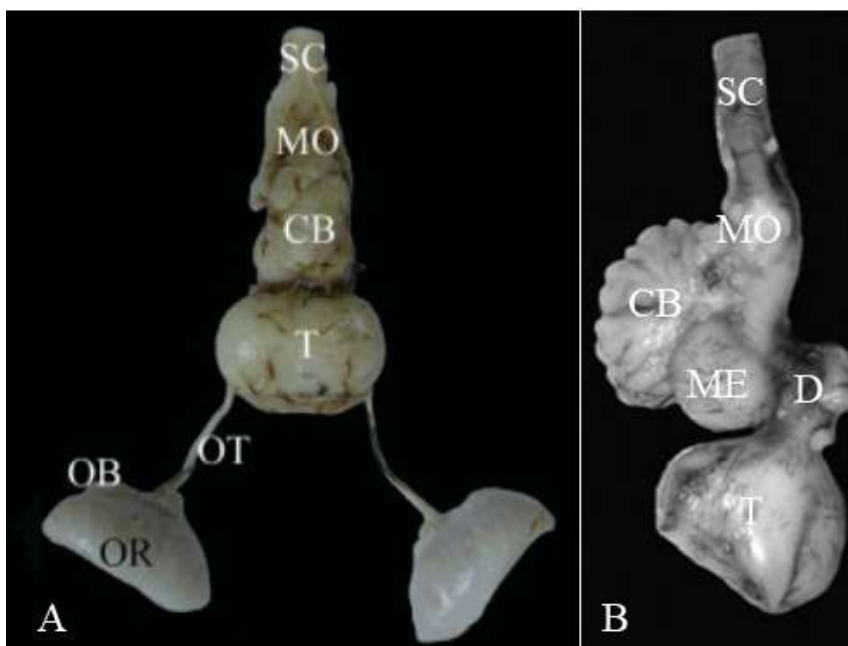
3.2.4. Categoria geral (n=34)

Os artigos foram separados em categorias gerais baseado em seus conteúdos. São elas: Alometria, Anatomia, Ecologia, Evolução, Funcional-Fisiologia e Histologia. Artigos que se enquadraram em mais de uma categoria foram distribuídos de maneira a somar um em cada categoria correspondente.

3.2.5. Região encefálica estudada (n=34)

O encéfalo de elasmobrânquios pode ser dividido em bulbo olfatório, cerebelo, diencéfalo, medula oblongata, mesencéfalo, telencéfalo (Figura 2). Caso o artigo tenha tratado de todas as áreas, ele é classificado como “Geral”.

Figura 2: Regiões encefálicas de elasmobrânquios. (A) Vista superior do encéfalo de *Triaenodon obesus*. (B) Vista lateral do encéfalo de *Carcharodon carcharias*. OR, roseta olfatória; OB, bulbo olfatório; OT, nervo olfatório; T, telencéfalo; D, diencéfalo; ME, mesencéfalo; CB, cerebelo; MO, medula oblongata; SC, medula espinhal. Encéfalos fora de escala.



Fonte: (A) Adaptado de SCHLUESSEL (2008); (B) Adaptado de YOPAK (2012a)

3.2.6. Espécies presentes no artigo (n=34)

Todas as espécies presentes em cada artigo foram anotadas. Além disso, o estado de conservação de cada uma foi averiguado, seguindo as categorias da International Union for Conservation of Nature (IUCN) (Tabela 1). Os hábitos de cada espécie também foram pesquisados, seguindo as categorias da base de dados FishBase (Tabela 2). O número de espécies de tubarões e raias já descritos foi retirado de LAST (2016).

Tabela 1: Estados de conservação das espécies de acordo com a IUCN

Categoria IUCN	Tradução	Abreviação
Data deficient	Dados Insuficientes	DD
Least Concern	Pouco Preocupante	LC
Near Threatened	Quase Ameaçada	NT
Vulnerable	Vulnerável	VU
Endangered	Em perigo	EN
Critically Endangered	Criticamente em Perigo	CR
Extinct in the Wild	Extinta na Natureza	EW
Extinct	Extinta	EX
Not Evaluated	Não Avaliada	NE

Tabela 2: Lista de hábitos de elasmobrânquios de acordo com a FishBase.

Hábito	Definição
Associado a recife	Que vive e se alimenta no ou perto de recifes de coral
Batidemersal	Que tem capacidade de natação livre, mas vive e se alimenta no fundo do mar, em profundidades abaixo dos 200 m
Batipelágico	Que vive e se alimenta na coluna d'água entre 200m e 7000m de profundidade
Bentopelágico	Que vive e se alimenta tanto no fundo quanto na coluna d'água.
Demersal	Que tem capacidade de natação livre, mas vive e se alimenta no fundo do mar
Pelágico	Que vive e se alimenta na coluna d'água entre 0m e 200m de profundidade.

3.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

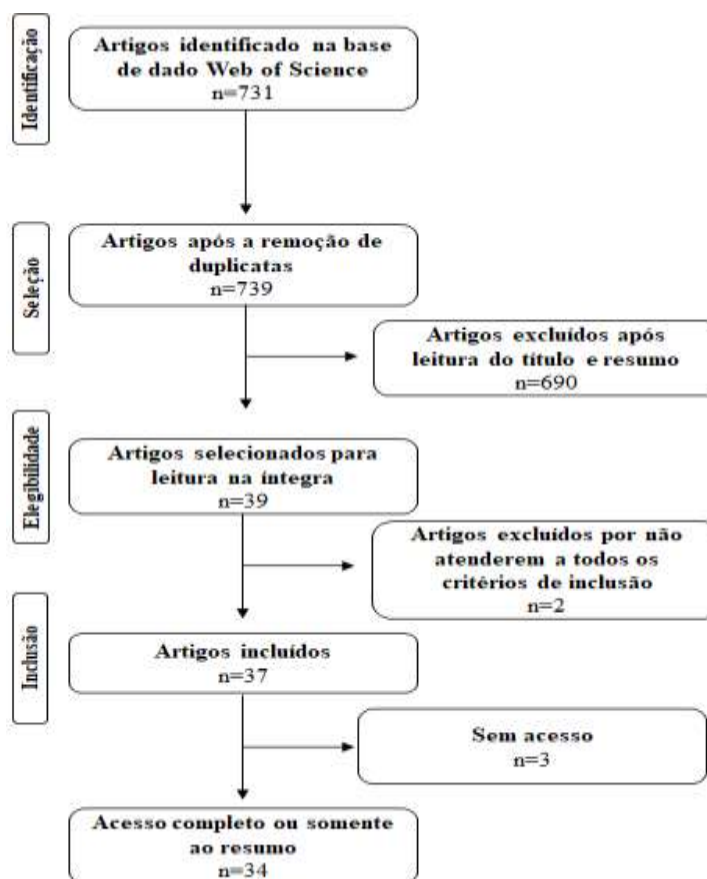
O Teste de Goodman (1964) foi aplicado para identificar se houveram diferenças estatísticas entre as proporções de: artigos em cada categoria geral; regiões encefálicas abordadas nos trabalhos; artigos que exploraram variáveis ontogenéticas ou ambientais (ou nenhuma dessas duas variáveis).

4. RESULTADOS

4.1. ARTIGOS

A pesquisa no Web of Science resultou em 731 artigos, dos quais apenas 37 se enquadraram no perfil deste trabalho. Em dois artigos só foi possível acessar o resumo e não foi possível o acesso do resumo ou do artigo em três (Figura 3).

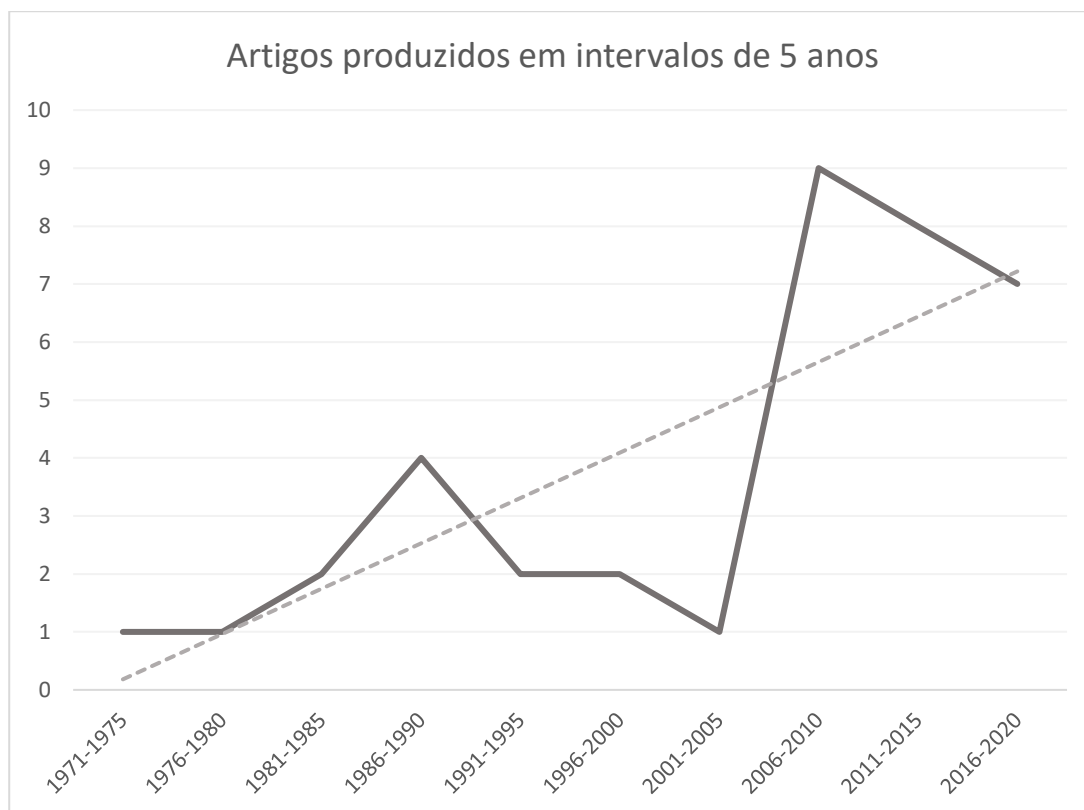
Figura 3: Fluxograma com as etapas de busca e seleção dos artigos



4.2. ANO DE ESCRITA

O artigo mais antigo encontrado foi SMEETS (1973), enquanto o mais recente foi o de LAFOREST (2020). Houve uma produção baixa, porém constante de artigos desde 1973, sendo que, a partir de 2006 ela dispara, conforme demonstrado pela Figura 4.

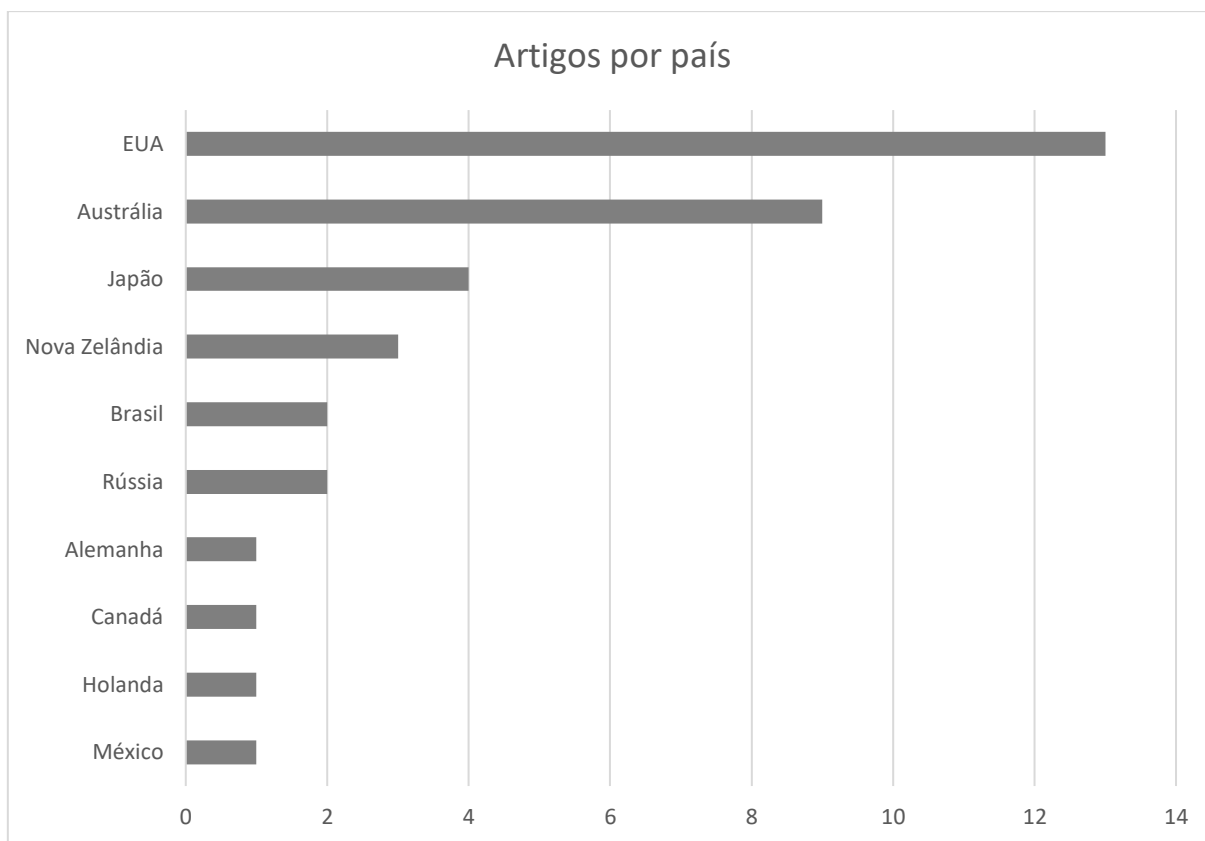
Figura 4: Número de artigos produzidos em intervalos de 5 anos. Linha pontilhada representa a linha de tendência



4.3. LOCAL DE ESCRITA

Foram encontrados 10 países que contribuíram com artigos para a área: Alemanha, Austrália, Brasil, Canadá, Estados Unidos da América (EUA), Holanda, Japão, México, Nova Zelândia e Rússia. EUA foi o país com maior número de artigos produzidos (n=13), seguido pela Austrália (n=7). Os países com menor produção de artigos na área foram Alemanha, Canadá, Holanda e México, com apenas um artigo cada. (Figura 5).

Figura 5: Quantidade de artigos produzidos por cada país entre 1973 e 2020.



4.4. VARIÁVEL EXPLORADA

A grande maioria dos artigos não levou em conta variáveis ambientais ou ontogenéticas em seus resultados. Apesar de não serem parte da metodologia da maioria dos artigos, relações entre as regiões encefálicas e a ecologia dos animais foram exploradas nas discussões de muitos trabalhos. O teste de Goodman ($A=5,82$; $p<0,05$) apontou diferença significativa entre a proporção de artigos na categoria “Nenhuma (a)” e as outras categorias (b). Não houve diferença significativa entre as duas categorias restantes. (Tabela 3)

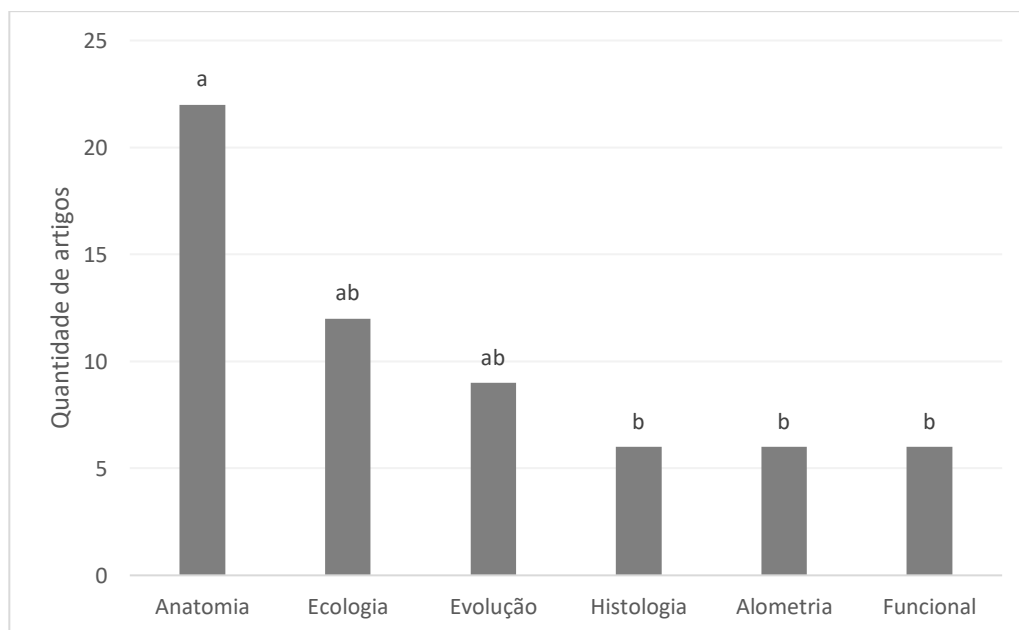
Tabela 3: Quantidade de artigos que exploraram variáveis ontogenéticas ou ecológicas. Letras diferentes indicam diferença significativa entre os dados. (Teste de Goodman 1964, Intervalo de Confiança não inclui o valor zero para A = 5,82; $p < 0,05$)

Variável explorada	Número de artigos
Nenhuma	25 ^a
Ontogenética	5 ^b
Ecológica	4 ^b

4.5. CATEGORIA GERAL

“Anatomia” teve o maior número de representantes, sendo quase o dobro da segunda categoria mais tratada (Ecologia) (Figura 6). Vale a pena ressaltar também que, antes da distribuição de artigos com múltiplas categorias em categorias únicas, anatomia era a única a apresentar artigos ($n=7$) que tratassem exclusivamente dela. As demais categorias estavam sempre acompanhadas de outras. O teste de Goodman ($A=10,17$; $p < 0,05$) apontou diferenças significativas entre a proporção de artigos sobre Anatomia e Alometria/Funcional-Fisiologia, porém não apontou diferenças significativas entre Ecologia/Evolução/Histologia com as outras categorias.

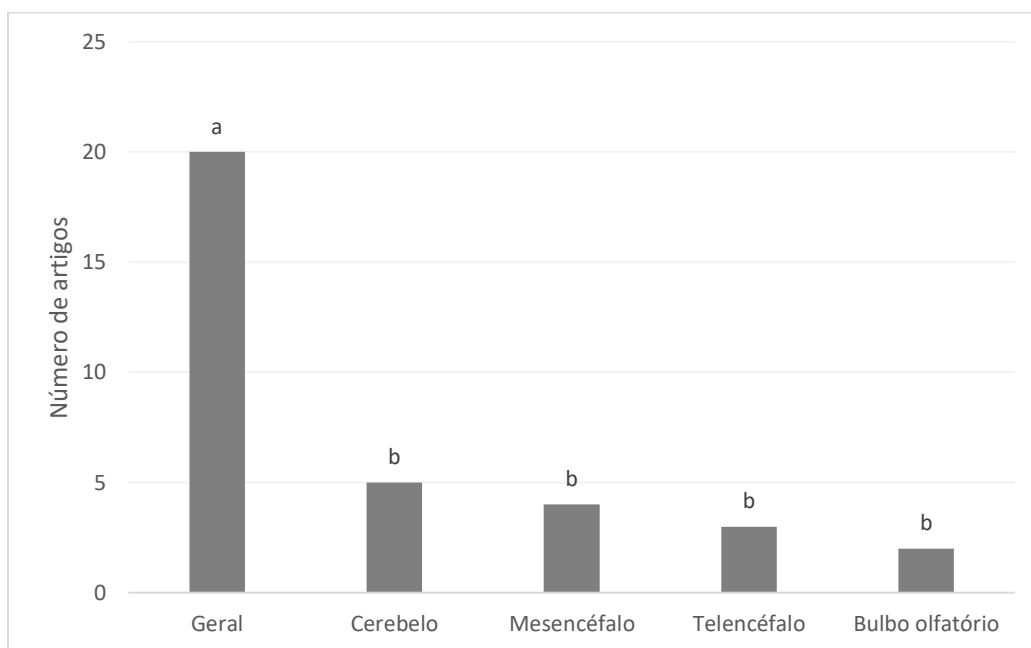
Figura 6: Número de artigos em cada categoria geral. Artigos sem dados foram incluídos na análise, mas não no gráfico. Letras diferentes indicam diferença significativa entre os dados. (Teste de Goodman 1964, Intervalo de Confiança não inclui o valor zero para $A = 10,17$; $p < 0,05$)



4.6. REGIÃO ENCEFÁLICA ESTUDADA

A maioria dos artigos exploraram um pouco de todas as regiões encefálicas não focando em uma área específica e, por isso, foram classificados como “Gerais” ($n=20$). Nota-se que a segunda região mais estudada foi o cerebelo, apesar de ter menos da metade de artigos ($n=5$) que a categoria Geral. O teste de Goodman ($A=9,76$; $p < 0,05$) apontou diferenças significativas entre a proporção de artigos sobre Geral e as demais categorias. Não houve diferença significativa entre a proporção de artigos entre Cerebelo e Mesencéfalo/Telencéfalo/Bulbo olfatório (Figura 7). A região “Diencéfalo” não apresentou artigos focados nela, apesar de ter sido abordada nos artigos gerais.

Figura 7: Quantidade de artigos abordando cada região encefálica. Letras diferentes indicam diferença significativa entre os dados. (Teste de Goodman 1965, Intervalo de Confiança não inclui o valor zero para A = 9,76; $p < 0,05$)



4.7. ESPÉCIES PRESENTES NO ARTIGO

Na presente revisão, foram encontradas 113 (21,9% do total) espécies de tubarão e 75 (11,85% do total) espécies de raia. Foram identificados todos os hábitos de vida nas espécies de tubarões e raias encontradas, porém o hábito “Demersal” foi dominante em raias (Figura 8), enquanto tubarões apresentaram hábitos mais diversos. (Figura 9).

Em ambos os grupos, o estado de conservação da maioria das espécies foi LC (n=41 em tubarões; n=25 em raias). Em tubarões, o segundo estado de conservação com mais representantes foi VU (n=29), seguido por NT (n=19) (Figura 10), enquanto que em raias foi NT (n=13). Entretanto, foi verificado que a quantidade de espécies DD (n=12) foi muito próxima à quantidade de NT, com apenas uma espécie de diferença (Figura 11).

Figura 8: Número de espécies de raia encontradas neste trabalho associadas a cada habitat, de acordo com a FishBase.

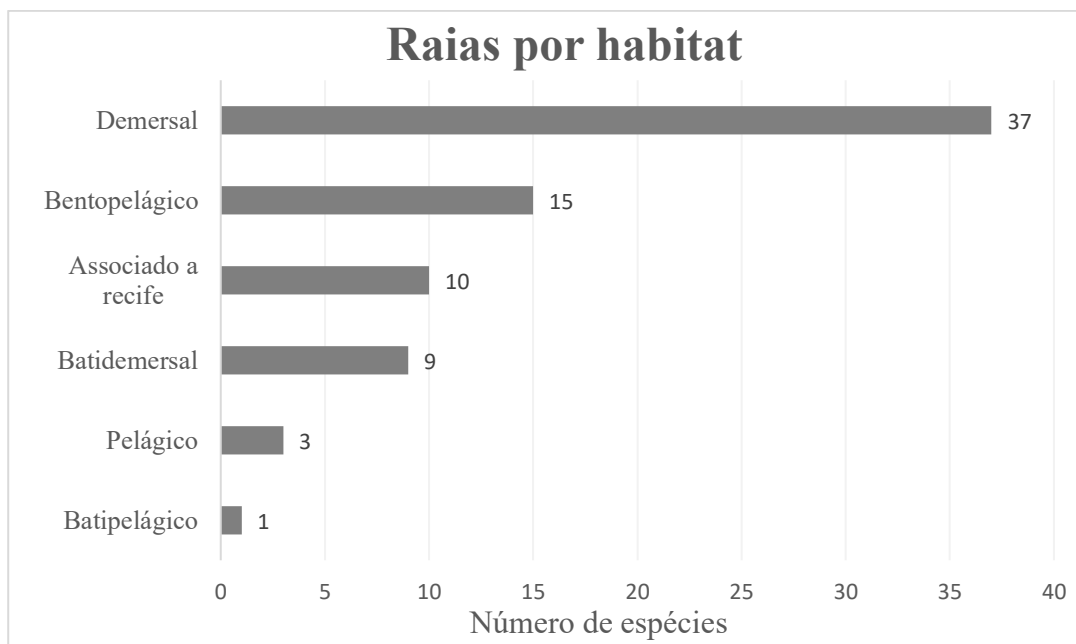


Figura 9: Número de espécies de tubarão encontradas neste trabalho associadas a cada habitat de acordo com a FishBase.

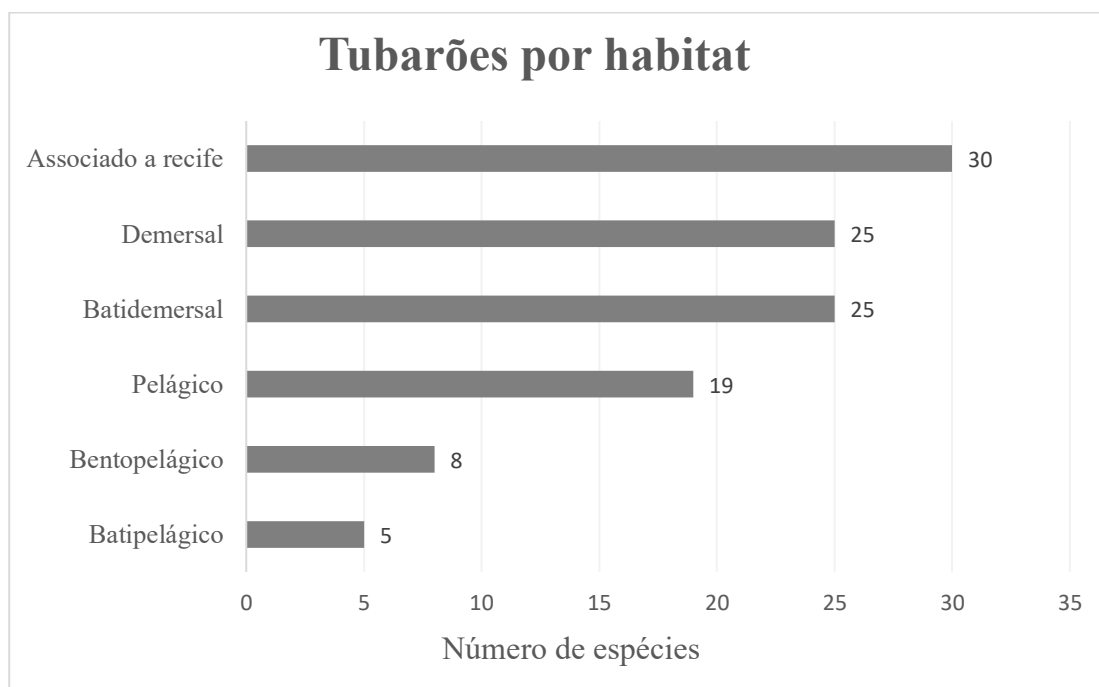


Figura 10: Estado de conservação das espécies de tubarões encontradas neste trabalho, de acordo com a lista vermelha da IUCN.

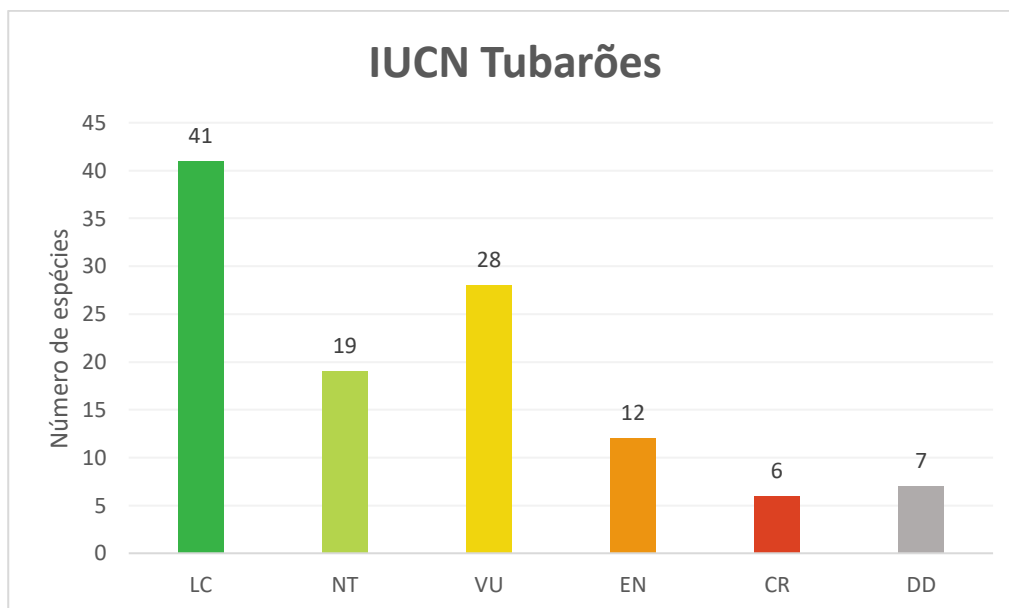
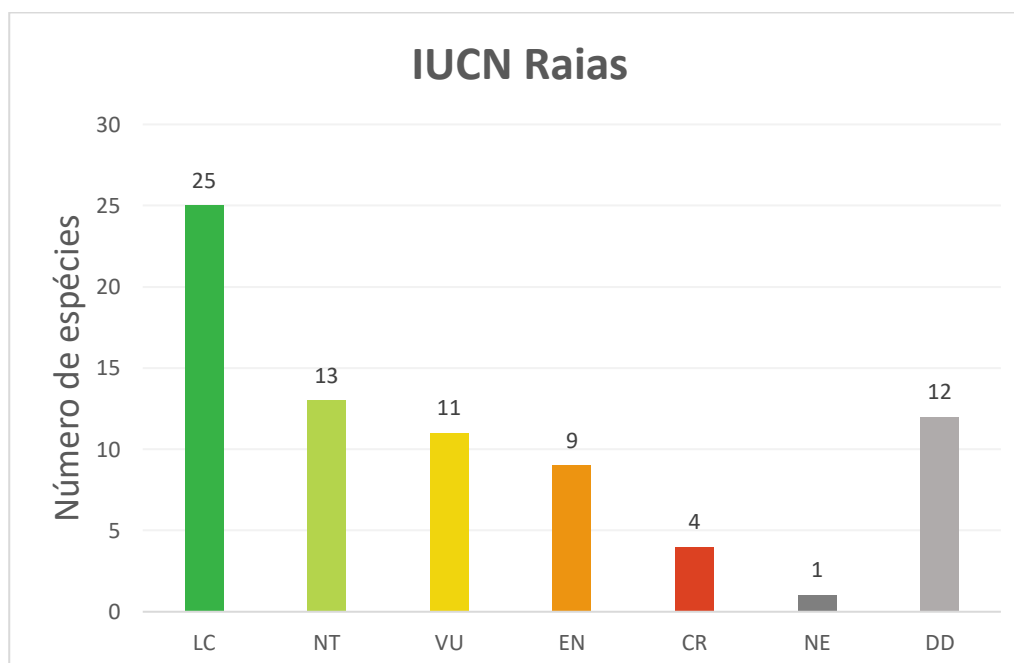


Figura 11: Estado de conservação das espécies de raia encontradas neste trabalho, de acordo com a lista vermelha da IUCN



5. DISCUSSÃO

O presente trabalho apontou que mesmo em uma busca ampla e resultados numerosos ($n=731$), o número de artigos que tratam dos padrões de organização das diferentes regiões encefálicas é baixo ($n=37$), conforme já apontado (*e.g.* LINSEY *et al.*, 2007; PUZDROWSKI,

2009; ARI, 2011; Mull, 2020). Além disso, trabalhos sobre o tema de interesse estavam dissolvidos em um mar de outros temas, como bioquímica/molecular (KATSU *et al.*, 2019) e paleontologia (MAISEY, 2020). Porém, a pesquisa não foi 100% eficaz em encontrar todos os artigos existentes sobre o tema, tendo em vista que os próprios artigos citavam outros trabalhos que não apareceram na pesquisa, especialmente (mas não exclusivamente) os mais antigos (e.g. KAPPERS, 1906; JOHNSTON, 1911; LINSEY, 2006).

5.1. ANO DE ESCRITA

Dos artigos selecionados, percebe-se que há um aumento na produção de trabalhos de 2006 até hoje. Também foi notado o padrão de que artigos mais antigos, como Smeets (1973, 1976), Myagkov (1990, acesso apenas ao resumo) e Puzdrowski (1992), tendem a serem mais descritivos, se enquadrando principalmente na categoria de “Anatomia”, indicando que, possivelmente, foi por volta dessa época que os cérebros de elasmobrânquios começaram a ganhar um pouco de atenção. Em comparação, estudos mais recentes, a partir de 2005, começam a se mostrar mais diversificados, como foi o caso do trabalho de Schluessel (2008) que se enquadrou simultaneamente em “Anatomia”, “Ecologia”, “Evolução” e “Histologia”. Um fator que pode ter colaborado para o aumento recente na produção de artigos são as tecnologias mais avançadas, como microscopia eletrônica (e.g. SCHLUESSEL, 2008) ou reconstruções tridimensionais dos encéfalos no computador (e.g. YOPAK, 2016). Nos anos mais recentes, essas tecnologias se tornaram mais acessíveis, tanto financeiramente quanto pela quantidade de locais que as possuem. Apesar dessa diversificação de conteúdos e metodologias, artigos exclusivamente descritivos continuam a ser desenvolvidos (e.g. VAZ, 2013; DOMÍNGUEZ, 2014) indicando que ainda há certa falta de conhecimento básico do encéfalo das espécies.

5.2. LOCAL DE ESCRITA

Os EUA e a Austrália são inegavelmente os dois principais pólos de produção científica quando se trata de estudar as diferentes regiões encefálicas em elasmobrânquios. Vale a pena ressaltar que o país atribuído ao artigo é aquele em que o primeiro autor residia na data da escrita. Não foi registrado neste trabalho, mas houveram diversas colaborações internacionais, apesar dos EUA e Austrália quase sempre estarem envolvidos. A pesquisadora Kara E. Yopak foi uma grande contribuidora de artigos na área de neurobiologia de elasmobrânquios. Ela começou sua carreira na Austrália e, posteriormente, se mudou para os

EUA. Ela e seus associados são o grupo de pesquisa mais ativo dos últimos anos, o que pode justificar o alto número de trabalhos produzidos nesses dois países. Conforme apontado por Meijaard *et al.*, (2015), o fato da informação estar concentrada em poucos países, pode trazer um viés geográfico, pois podem haver diferenças regionais que não estão sendo registradas. O sudeste do Brasil é um *hotspot* de endemismo, riqueza de espécies e diversidade funcional (LUCIFORA *et al.*, 2011). Infelizmente o Brasil apresentou apenas dois estudos (*e.g.* VAZ, 2013; FONTELLE, 2015), ambos na categoria de “Anatomia”. Tendo em vista a grande riqueza e endemismo de espécies do Brasil, é evidente que ainda há muito a ser explorado, especialmente na área de padrões de organização encefálica de elasmobrânquios.

5.3. VARIÁVEL EXPLORADA

Poucos artigos levaram em conta variáveis ontogenéticas ou ambientais em suas hipóteses. Dos 34 artigos, apenas nove trouxeram a premissa de trabalhar com diferenças nos habitats (LINSEY, 2007, 2017; WONG, 2019; MULL, 2020) ou nos diferentes estágios de desenvolvimento dos elasmobrânquios (YOPAK, 2012a, b, 2014; WONG, 2019; KRISTA, 2020). Apesar disso, dados ecológicos, como habitat e comportamento, foram apresentados na seção de “discussão” de muitos trabalhos, relacionando os resultados obtidos com aspectos da ecologia dos animais. Neste trabalho, foram encontrados poucos artigos que tratavam de ontogenia como o foco principal. Mesmo assim, foram verificadas diferenças nos encéfalos de adultos e juvenis, mostrando que existem mudanças ontogenéticas na importância relativa das diferentes regiões encefálicas (*e.g.* LINSEY, 2007, 2017; WONG, 2019; LAFOREST, 2020). Porém, juntando esses cinco artigos, apenas 10 espécies de elasmobrânquios (*Carcharhinus amblyrhinchos*, *C. falciformis*, *C. leucas*, *C. limbatus*, *C. melanopterus*, *Carcharodon carcharias*, *Dasyatis kuhlii*, *Neotrygon kuhlii*, *Rhizoprionodon terraenovae* e *Sphyrna lewini*) foram estudadas, sendo que sete delas estão presentes no trabalho de Linsey (2007). Dada a grande gama de habitats, comportamentos e estratégias reprodutivas (CARRIER, 2004) distribuídas entre as quase 1150 espécies de elasmobrânquios (LAST, 2016), pode-se ver que ainda falta muita informação espécie-específica.

5.4. CATEGORIA GERAL

Ao classificar os artigos em categorias gerais, foi possível ver a dominância de trabalhos que tratam de anatomia. Como comentado acima, artigos mais antigos eram

principalmente descritivos e temas mais específicos, como “Alometria” ou “Evolução” apareceram em maior quantidade nos artigos mais recentes. Apesar de ter pouco mais da metade dos representantes que “Anatomia” apresenta, nota-se que “Ecologia” vem sendo abordada em mais e mais trabalhos. Artigos que trazem uma perspectiva evolutiva também são bastante relevantes, pois os condrictes foram os primeiros a apresentar o arquétipo cerebral homólogo de vertebrados (STRIEDER, 2006), assim como foram os primeiros a apresentar um cerebelo verdadeiro (STRIEDER, 2005). Mesmo estando em uma posição tão importante na evolução do encéfalo de vertebrados, o presente estudo encontrou apenas nove artigos (SATO, 1983; NORTHCUTT, 1989; SCHLUESSEL, 2008; PUZDROWSKI, 2009; YOPAK, 2010, 2016; MONTGOMERY, 2012, 2019; MULL, 2020) que se enquadraram na categoria “Evolução” dentre os 34 trabalhos analisados. Ainda assim, parece que estudos que tratam da evolução do encéfalo de elasmobrânquios estão sendo produzidos mais recentemente. Entre 1976 e 2005, apenas dois artigos foram encontrados que tratavam de evolução (SATO, 1983; NORTHCUTT, 1989), enquanto entre 2006 e 2020, se encontravam os outros sete.

5.5. REGIÃO ENCEFÁLICA

Semelhanças no padrão de organização das principais áreas encefálicas entre diferentes espécies estão geralmente ligadas a estilos de vida compartilhados entre elas, como habitat e estratégias de obtenção de alimento (YOPAK, 2012a). Na presente revisão, dos 34 artigos analisados, 20 estudaram todas as regiões encefálicas de maneira geral. Isso é interessante, pois, com estudos gerais, pode-se perceber diferenças entre o tamanho ou volume relativo entre as grandes áreas encefálicas.

Os 15 artigos restantes se aprofundaram em regiões específicas. Trabalhos que focam em apenas uma região são muito importantes pois podem trazer descobertas ou utilizar de métodos que, muitas vezes, não seriam possíveis em estudos gerais. Aqui, houve um destaque ao cerebelo e ao mesencéfalo, com cinco e quatro representantes, respectivamente.

É importante que haja estudos mais aprofundados a respeito do cerebelo, tendo em vista que, mesmo sendo os primeiros a apresentarem um cerebelo verdadeiro, sua função em elasmobrânquios ainda é debatida.

Quanto ao mesencéfalo, por se tratar de um centro de processamento de informações, estudos que integram dados dessa área com outras regiões encefálicas são interessantes. Além disso, Linsey *et al.* (2007) constatou que o tamanho do mesencéfalo varia entre juvenis e

adultos, mostrando que há variação ontogenética nesta região. Porém, ainda faltam estudos para determinar tal variação dentro das mais diversas espécies de elasmobrânquios.

O bulbo olfatório é muitas vezes deixado de fora das pesquisas, provavelmente porque foi deixado de fora por Northcutt (1977) em sua metodologia de dissecação, que é amplamente replicada (e.g. YOPAK, 2007, 2008; DOMINGUES, 2014; LAFOREST, 2020). Talvez por isso essa região não tenha sido tão explorada nos artigos “Gerais”. Houveram apenas dois trabalhos específicos sobre o bulbo olfatório nesta revisão e, apesar da região ter sido abordada em alguns dos trabalhos gerais, ainda faltam estudos específicos para consolidar bem esses conhecimentos.

Apesar de existirem evidências que indicam que o telencéfalo não é uma região exclusivamente olfativa, existe outra linha de pensamento que não considera os dados existentes suficientes, afirmando que os argumentos contra a hipótese da orientação olfativa são baseados na ausência de dados e não em evidência factual (HOFMANN, 2012), até chamando o telencéfalo de elasmobrânquios de “*terra incognita*”. Nesta revisão, a falta de artigos específicos sobre o telencéfalo se faz evidente, com apenas 3 trabalhos (STRIEDER, 2006; HOFMANN, 2008, 2012). Vale ressaltar que os trabalhos de telencéfalo e de bulbo olfatório estiveram muito interligados, devido à relação de proximidade entre essas duas regiões.

O diencéfalo foi a única região encefálica que não teve artigos falando exclusivamente dela. Isso pode ter acontecido porque esta região está muito relacionada com a produção de hormônios em outros animais, incluindo os humanos (HERRERO, 2002) e os termos utilizados na pesquisa não abrangiam temas relacionados a hormônios, apesar de diversos artigos da área de bioquímica/molecular terem sido encontrados e descartados para esta pesquisa.

5.6. ESPÉCIES ESTUDADAS

O fato de que foram encontrados mais tubarões do que raias sendo que existem mais espécies de raias descritas do que de tubarão também é registrado em trabalhos de outras áreas, como biologia alimentar (e.g. AGUIAR, 2010), biodiversidade (e.g. BORNATOWSKI *et al.*, 2009; MENEZES, 2011; DE DAVID CHELOTTI, 2020;). Isso pode ocorrer pois há uma preferência histórica para o estudo de tubarões, devido a sua importância econômica e representação na mídia (LAST *et al.*, 2016; DE DAVID CHELOTTI, 2020)

A maior parte das espécies investigadas no âmbito desta revisão foi de estado de conservação “Menos Preocupante” (LC) da IUCN. Muitos dos artigos capturavam os animais *in situ*, de acordo com todas as normativas de seus respectivos países. Isso pode justificar o grande uso de espécies LC nos trabalhos. As espécies de mais difícil obtenção (seja pelo seu habitat ou estado de conservação), por outro lado, eram muitas vezes doadas de alguma coleção ou por outros pesquisadores. Além disso, os dados para grandes revisões, como em Yopak (2007, 2009, 2014) ou Mull (2020) foram reaproveitados de trabalhos anteriores, como os de Northcutt (1977, 1978), sendo que cada artigo novo adiciona novas espécies a esta grande lista. Isso é interessante, pois pode-se criar uma base de dados confiável com os dados de diversas espécies e sem sacrificar novos indivíduos de espécies ameaçadas.

Outra possibilidade para explicar o número elevado de espécies de tubarão são seus habitats. Dentre as 15 espécies de raia mais estudadas pelos artigos desta revisão, oito são demersais e três tanto de associadas a recife quanto bentopelágicas, demonstrando a dominância do hábito demersal desses animais. Já tubarões apresentaram habitats mais diversos, sendo que entre as 15 espécies mais estudadas, seis foram associadas a recife, três foram batidemersais, duas foram pelágicas e bentopelágicas e apenas uma foi demersal. Muito do material obtido para a confecção dos artigos é proveniente da pesca como fauna acompanhante e animais demersais são menos afetados por pescarias que atuam na superfície e na coluna d'água (DE DAVID CHELOTTI, 2020).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa mostrou que, mesmo sendo um grupo chave na evolução do cérebro, apareceram poucos trabalhos sobre o tamanho relativo das diferentes regiões encefálicas dos elasmobrânquios. Vale ressaltar que, apesar de ter sido feita uma ampla busca, artigos mais antigos não tinham seus conteúdos disponíveis na base de dados utilizada, portanto, não puderam ser incluídos nos dados desta revisão. Há também uma grande concentração de produção científica nos EUA e Austrália, enquanto outros países tiveram menos representantes. Foi percebido um grande aumento na produção de artigos da área de 2006 até os dias de hoje, o que, dado o baixo número de artigos encontrados, é promissor. Trabalhos que exploram variáveis ambientais ou ontogenéticas são escassos, porém não menos essenciais, tendo em vista que existem diversas evidências de que fatores como habitat e maturidade dos indivíduos levam a alterações na organização encefálica. Foi visto que a

grande maioria dos artigos traz dados anatômicos e que as outras categorias, apesar de em menor número, estão relativamente bem distribuídas. Também foi notado que a maioria dos artigos explora dois ou mais temas ao mesmo tempo, o que faz com que os trabalhos, mesmo que em baixo número, consigam ser multidisciplinares. Quanto às regiões estudadas, os artigos foram predominantemente gerais, trazendo informações de todas as regiões encefálicas. Houveram, porém, trabalhos que investigaram regiões específicas, principalmente sobre cerebelo e mesencéfalo. O diencéfalo foi a única região que não apresentou trabalhos que tratassem exclusivamente dela, possivelmente por se tratar de um centro de produção de hormônios, sendo levado mais para a área de biologia molecular ou bioquímica. Os trabalhos estudaram uma pequena parcela das espécies já descritas de elasmobrânquios, com enfoque maior nos tubarões. Isso pode ter ocorrido devido aos hábitos mais bem distribuídos dos tubarões, contrastando com as raias que foram predominantemente demersais, sendo de mais difícil acesso para a coleta de material. Além disso, os dados de muitas espécies foram reaproveitados pelos artigos recentes, que adicionavam algumas espécies à lista sem reaver aquelas que já haviam sido trabalhadas por outros autores. Concluindo, a presente pesquisa encontrou poucos artigos na área de neurobiologia de elasmobrânquios, com concentração de trabalhos em poucos países e com poucas espécies representadas nos referidos trabalhos. Porém, mesmo com poucos autores ativos, há uma crescente produção de artigos para subsidiar estudos futuros. Nesse contexto, o presente estudo forneceu informações e apontou lacunas a fim de instigar novas pesquisas nessa área carente de estudos com um grupo taxonômico de grande importância ecológica e com muitas espécies ameaçadas de extinção.

REFERÊNCIAS

- ABELLA, A. J.; SERENA, F. Comparison of elasmobranch catches from research trawl surveys and commercial landings at port of Viareggio, Italy, in the last decade. **Journal of Northwest Atlantic Fishery Science**, v. 35, p. 345-356, 2005
- AGUIAR, A. A.; VALENTIN, J. L. Biologia e ecologia alimentar de elasmobrânquios (Chondrichthyes: Elasmobranchii): uma revisão dos métodos e do estado da arte no Brasil. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 2, p. 464-489, 2010.
- ANDERSON, R. C.; AHMED, H. The shark fisheries of the Maldives. **FAO, Rome, and Ministry of Fisheries, Male, Maldives**, 1993
- ARI, C. Encephalization and brain organization of mobulid rays (Myliobatiformes, Elasmobranchii) with ecological perspectives. **Open Anatomy Journal**, v. 3, p. 1-13, 2011.
- ARONSON, L. R. The central nervous system of sharks and bony fishes with special reference to sensory and integrative mechanisms. In: **Sharks and survival**. Heath, Boston, p. 165–241, 1963.
- BÄCKSTRÖM, K. Contributions to the forebrain morphology in selachians. **Acta Zoologica**, v. 5, n. 1-2, p. 123-240, 1924.
- BAUCHOT, R.; PLATEL, R.; RIDET, J. Brain-body weight relationships in selachii. **Copeia**, 1976.
- BERNAU, N. A. ; PUZDROWSKI, R L.; LEONARD, R. B. Identification of the midbrain locomotor region and its relation to descending locomotor pathways in the Atlantic stingray, *Dasyatis sabina*. **Brain Research**, v. 557, p. 83-94, 1991.
- BONFIL, R. Overview of world elasmobranch fisheries. **FAO Fisheries Technical Paper**, v. 341, p. 103, 1994.
- BORNATOWSKI, H.; ABILHOA, V.; CHARVET-ALMEIDA, P. Elasmobranchs of the Paraná Coast, southern Brazil, south-western Atlantic. **Marine Biodiversity Records**, v. 2, n. 1, 2009.
- BORNATOWSKI, H.; BRAGA, R. R.; VITULE, J. R. S. Threats to sharks in a developing country: The need for effective and simple conservation measures. **Natureza & conservação**, v12.1, p.11-18, 2014.
- CAILLIET, G. M. *et al.* Ecology and Life History Characteristics of Chondrichthyan Fish. In: **Sharks, Rays and Chimaeras: The Status of the Chondrichthyan Fishes. Status Survey**. IUCN, p. 12-16, 2005.
- CAMHI, M. D.; PIKITCH, E. K.; BABCOCK, E. A. The Biology and Ecology of the Shortfin Mako Shark, *Isurus oxyrinchus*. In: **Sharks of the Open Ocean: Biology, Fisheries and Conservation**. Blackwell publishing, p. 87-91, 2009.
- CARRIER, J. C.; PRATT H. L.; CASTRO J. I. Reproductive Biology of Elasmobranchs. In: **Biology of sharks and their relatives**. CRC press, p. 269-286, 2004.

CLARK, Damo. A.; MITRA, P. P.; WANG, S. S. H. Scalable architecture in mammalian brains. **Nature**, v. 411, n. 6834, p. 189–193, 2001.

DE DAVID CHELOTTI, L.; DOS SANTOS, P. R. S. Biodiversity and conservation of marine elasmobranchs in the extreme south of the Brazil, Southwestern Atlantic. **Regional Studies in Marine Science**, v. 38, p. 101371, 2020.

DE WINTER, W.; OXNARD, C. E. Evolutionary radiations and convergences in the structural organization of mammalian brains. **Nature**, v. 409, n. 6821, p. 710-714, 2001.

DEMSKI, L. S.; NORTH CUTT, R. G. The brain and cranial nerves of the white shark: An evolutionary perspective. In: **Great white sharks: The biology of *Carcharodon carcharias***. Academic Press INC, p 121-130, 1996.

DEVOR, A. Is the cerebellum like cerebellar-like structures? **Brain Research Reviews**, v. 34, p. 149–156, 2000.

DOMÍNGUEZ, H. M. M.; BÁRCENAS, R. L.; ISÁIS, M. G. Estudio Morfológico del Cerebro y Pares Craneales de *Diplobatis ommata* (Elasmobranchii: Narcinidae). **Int. J. Morphol.**, v. 32(4), p. 1152-1155, 2014.

DOMINGUES, R. R.; HILSDORF, A. W. S.; GADIG, O. B. F. The importance of considering genetic diversity in shark and ray conservation policies. **Conservation Genetics**, v. 19, p. 501–525, 2018

DONALDSON, M. R. *et al.* Taxonomic bias and international biodiversity conservation research. **FACETS**. Canadian Science Publishing, p. 105-113, 2016

EBBESSON, S. O. New insights into the organization of the shark brain. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 42, n. 1, p. 121-129, 1972.

FONTENELLE, J. P.; CARVALHO, M. R. de. Systematic Implications of Brain Morphology in Potamotrygonidae (Chondrichthyes: Myliobatiformes). **Journal of Morphology**. v. 277, p. 252–263, 2015.

GOODMAN, L. A. Simultaneous confidence intervals for contrasts among multinomial populations. **Ann Math Stat**, v35, p. 716–725, 1964.

GOURAGUINE, A. *et al.* Elasmobranch spatial segregation in the western Mediterranean. **Scientia Marina**, v 75, p. 653-664, 2011.

HAIMOVICI, M. Present state and perspectives for the southern Brazil shelf demersal fisheries. **Fisheries Management and Ecology**, v. 5, p. 277-289, 1998

HERRERO, M. T.; BARCIA, C.s; NAVARRO, J. Functional anatomy of thalamus and basal ganglia. **Childs Nervous System**, v. 18, p. 386–404, 2002.

HOFMANN, M. H.; NORTH CUTT, R. G. Organization of Major Telencephalic Pathways in an Elasmobranch, the Thornback Ray *Platyrrhinoidis triseriata*. **Brain, Behavior and Evolution**, v. 72, p. 307–325, 2008;

HOFMANN, M. H.; NORTH CUTT, R. G. Forebrain Organization in Elasmobranchs. **Brain, Behavior and Evolution**, v. 80, p. 142-151, 2012.

HUBER, R. *et al.* Microhabitat use, trophic patterns, and the evolution of brain structure in African cichlids. **Brain, Behavior and Evolution**, v. 50, n. 3, p. 167-182, 1997.

ITO, H.; YOSHIMOTO, M.; SOMIYA, H. External Brain Form and Cranial Nerves of the Megamouth Shark, *Megachasma pelagios*. **American Society of Ichthyologists and Herpetologists (ASIH)**, v. 1999, n. 1, p. 210-213, 1999.

IWANIUK, A. N.; HURD, P. L. The evolution of cerebrotypes in birds. **Brain, Behavior and Evolution**, v. 65, n. 4, p. 215-230, 2005.

JOHNSTON, J. B. The telencephalon of selachians. **Journal of Comparative Neurology**, v. 21, n. 1, p. 1-113, 1911.

KAPPERS, Cornelius U. A. The Structure of the Telostean and Selachian Brain. **Journal of Comparative Neurology and Psychology**, v. 16, 1906.

KATSU, Y. *et al.* Transcriptional activation of elephant shark mineralocorticoid receptor by corticosteroids, progesterone, and spironolactone. **Science Signaling**, v. 12, 2019.

KOTRSCHAL, K.; PALZENBERGER, M. Neuroecology of cyprinids: comparative, quantitative histology reveals diverse brain patterns. In: **Environmental biology of European cyprinids**. Springer, Dordrecht, 1992. p. 135-152.

KOTRSCHAL, K.; VAN STAADEN, M. J.; HUBER, R. Fish brains: evolution and environmental relationships. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 8, n. 4, p. 373-408, 1998.

KRUSKA, D. C. T. The Brain of the Basking Shark (*Cetorhinus maximus*). **Brain, Behavior and Evolution**, v. 32, p. 353-363, 1988.

LAFOREST, K. V.; PEELE, E. E.; YOPAK, K. E. Ontogenetic Shifts in Brain Size and Brain Organization of the Atlantic Sharpnose Shark, *Rhizoprionodon terraenovae*. **Brain, Behavior and Evolution**, v. 95, p. 162-180, 2020.

LAST, P. R. The state of chondrichthyan taxonomy and systematics. **Marine and freshwater research**, v. 58, p. 7-9, 2007

LAST, P. R. *et al.* Introduction. In: **Rays of the World**. CSIRO Publishing, p. 18-36, 2016.

LISNEY, T. J.; COLLIN, S. P. Brain morphology in large pelagic fishes: a comparison between sharks and teleosts. **Journal of Fish Biology**, v. 68, p. 532-554, 2006.

LINSEY, T. J., BENNETT, M. B.; COLLIN, S. P. Volumetric analysis of sensory brain areas indicates ontogenetic shifts in the relative importance of sensory systems in elasmobranchs. **Raffles Bulletin of Zoology**, v. 55, p. 7-15, 2007.

LINSEY, T. J.; YOPAK K. E.; MONTGOMERY J. C.; COLLIN S. P. Variation in brain organization and cerebellar foliation in chondrichthyans: Batoids. **Brain, Behavior and Evolution**, v. 72, p. 262-282, 2008.

LISNEY, T. J.; YOPAK, K. E.; CAMILIERI-ASCH, V.; COLLIN, S. P. Ontogenetic Shifts in Brain Organization in the Bluespotted Stingray *Neotrygon kuhlii* (Chondrichthyes: Dasyatidae). **Brain, Behavior and Evolution**, v. 89, n. 2, p. 68-83, 2017

LUCIFORA, L. O.; GARCÍA, V. B.; WORM, B. Global diversity hotspots and conservation priorities for sharks. **PLoS one**, v. 6, n. 5, p. e19356, 2011

MAISEY, J. G.; DENTON, J. S. S.; BURROW, C.; PRADE, A. Architectural and ultrastructural features of tessellated calcified cartilage in modern and extinct chondrichthyan fishes. **Journal of Fish Biology**, 2020.

MEIJAARD, E.; CARDILLO, M.; MEIJAARD, E. M., POSSINGHAM, H. P. Geographic bias in citation rates of conservation research. **Conservation Biology** 29, 920–925.2015

MENEZES, N. A. Checklist dos peixes marinhos do Estado de São Paulo, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 11, p. 33-46, 2011.

MONTGOMERY, J. C.; BODZNICK, D.; YOPAK, K. E. The Cerebellum and Cerebellum-Like Structures of Cartilaginous Fishes. **Brain, Behavior and Evolution**, v. 80, p. 152–165, 2012.

MONTGOMERY, J. C.; PERKS, K. Understanding Cerebellum in Vertebrate Neuroethology: From Sensing in Sharks and Electric Fish to Motor Sequences in Movement and Birdsong. **Behavioral Neuroscience**, v. 133, n. 3, p. 267–281, 2019.

MORAN, M. D.; ROONEY, T. P. Top-down cascade from a bitrophic predator in an old-field community. **Ecology**, v. 77.7, p. 2219-2227, 1996.

MULL, C. G.; YOPAK, K. E.; DULVY, N. K. Maternal investment, ecological lifestyle, and brain evolution in sharks and rays. **The American Naturalist**, v. 195, n. 6, p. 1056-1069, 2020.

MUSICK, J. A.; HARBIN, M. M.; COMPAGNO, L. J. V. Historical zoogeography of the Selachii. In: **Biology of Sharks and Their Relatives**. CRC press, p. 33–78, 2004.

MYAGKOV, N. A. The brain sizes of living elasmobranchii as their organization level indicator. I. General analysis. **Journal fur Hirnforschung**, v. 32, n. 5, p. 553-561, 1991.

MYRICK, J. G.; EVANS, S. D. Do PSAs take a bite out of shark week? The effects of juxtaposing environmental messages with violent images of shark attacks. **Science Communication**, v. 36, n. 5, p. 544-569, 2014.

NORTHCUTT, R. G. Elasmobranch central nervous system organization and its possible evolutionary significance. **Integrative and Comparative Biology**, 1977.

NORTHCUTT, R. G. Brain organization in the cartilaginous fishes. **Sensory Biology of Sharks, Skates, and Rays**, p. 507–528, 1978.

NORTHCUTT, R. G. Brain variation and phylogenetic trends in elasmobranch fishes. **Journal of Experimental Zoology**, v. 252, p. 83-100, 1989.

PIANKA, E. R. On r and K-selection. **The american naturalist**, v. 104, n. 940, p. 592-597, 1970.

PUZDROWSKI, R. L.; LEONARD, R. B. Variations in cerebellar morphology of the Atlantic stingray, *Dasyatis sabina*. **Neuroscience Letters**, v. 135, p. 196-200, 1992.

PUZDROWSKI, R. L.; GRUBER, S. Morphologic features of the cerebellum of the Atlantic stingray, and their possible evolutionary significance. **Integrative Zoology**, v. 4, p. 110-122, 2009.

RAYMOND, C. G. Telencephalic Function in Elasmobranchs: A Behavioral Perspective. In: **Comparative Neurology of the Telencephalon**. Plenum press, p. 17-35, 1980

SANDOVAL-CASTILLO, J. Conservation genetics of elasmobranchs of the Mexican Pacific Coast, trends and perspectives. **Advances in Marine Biology**, v 83, p. 115-157, 2019.

SCHLUESSEL, V. *et al.* Morphometric and ultrastructural comparison of the olfactory system in elasmobranchs: the significance of structure-function relationships based on phylogeny and ecology. **Journal of Morphology**, v. 269, p.1365-1386, 2008.

SMEETS, W. J. A. J.; Brain-Stem of Sharks *Scyliorhinus canicula* and *Squalus acanthias*. **Acta Morphologica Neerlando-Scandinavica**, v. 11, n. 4, p. 373, 1973.

SMEETS, W. J. A. J.; NIEUWENHUYIS, R. Topological Analysis of the Brain Stem of the Sharks *Squalus acanthias* and *Scyliorhinus canicula*. **Journal of Comparative Neurology**, v. 165, p. 333-468, 1976.

SOULÉ, M. E.; BOLGER, D. T.; ALBERTS, A. C. Reconstructed dynamics of rapid extinctions of chaparral-requiring birds in urban habitat islands. **Conservation biology**, v. 2.1, p. 75-92, 1988.

STEVENS, J. D.; BONFIL, R.; DULVY, N. K.; WALKER, P. A. The effects of fishing on sharks, rays, and chimaeras (chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. **ICES Journal of Marine Science**, v. 57, p. 476–494, 2000.

STRIEDER, G. F. Principles of Brain Evolution. **Sinauer Associates**, 2005

STRIEDTER, G. F.; NORTH CUTT, R. G. Head size constrains forebrain development and evolution in ray-finned fishes. **Evolution and Development**, 2006.

VAZ, D. F. B.; DE CARVALHO, M. R. Morphological and taxonomic revision of species of *Squatina* from the Southwestern Atlantic Ocean (Chondrichthyes: Squatiniformes: Squatinidae). **Zootaxa**, v. 3695, n. 1, p. 1-81, 2013.

VÖGLER, R.; MILESSI, A. C.; QUIÑONES, R. A. Trophic ecology of *Squatina guggenheim* on the continental shelf off Uruguay and northern Argentina. **Journal of Fish Biology**, v. 62, n. 6, p. 1254–1267, 2003.

YOPAK, K. E.; LINSEY T. J.; COLLIN S. P.; MONTGOMERY John C. Variation in Brain Organization and Cerebellar Foliation in Chondrichthyans: Sharks and Holocephalans. **Brain, Behavior and Evolution**, v. 72, n. 4, p. 262–282, 2007.

YOPAK, K. E.; MONTGOMERY, J. C. Brain Organization and Specialization in Deep-Sea Chondrichthyans. **Brain, Behavior and Evolution**, v. 71, p. 287–304, 2008.

YOPAK, K. E.; FRANK, L. R. Brain Size and Brain Organization of the Whale Shark, *Rhincodon typus*, Using Magnetic Resonance Imaging. **Brain, Behavior and Evolution**, v. 74, p. 121–142, 2009.

YOPAK, K. E. *et al.* A conserved pattern of brain scaling from sharks to primates. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, p 12946–12951, 2010.

YOPAK, K. E. Neuroecology of cartilaginous fishes: The functional implications of brain scaling. **Journal of Fish Biology**, v.80, p. 1968-2023, 2012a.

YOPAK, K. E.; LISNEY, T. J. Allometric Scaling of the Optic Tectum in Cartilaginous Fishes. **Brain, Behavior and Evolution**, v. 80, p. 108–126, 2012b.

YOPAK, K. E.; LISNEY, T. J.; COLLIN, S. P. Not all sharks are “swimming noses”: variation in olfactory bulb size in cartilaginous fishes. **Brain Structure and Function**, v. 220, n. 2, p. 1127-1143, 2014.

YOPAK, K. E.; GALINSKY, V. L.; BERQUIST, R. M.; FRANK, L. R. Quantitative Classification of Cerebellar Foliation in Cartilaginous Fishes (Class: Chondrichthyes) Using Three-Dimensional Shape Analysis and Its Implications for Evolutionary Biology. **Brain, Behavior and Evolution**, v. 87, p. 252–264, 2016.

YOPAK, K. E. *et al.* Comparative brain morphology of the Greenland and Pacific sleeper sharks and its functional implications. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-15, 2019.

ZHANG, J. Secrets of the brain: an introduction to the brain anatomical structure and biological function. **arXiv preprint arXiv:1906.03314**, 2019.

APÊNDICE A – Tabela de espécies de tubarão encontradas neste trabalho

Espécie	Espécie	Espécie
<i>Alopias superciliosus</i>	<i>Chiloscyllium punctatum</i>	<i>Notorynchus cepedianus</i>
<i>Alopias vulpinus</i>	<i>Chlamydoselachus anguineus</i>	<i>Orectolobus maculatus</i>
<i>Apristurus platyrhynchus</i>	<i>Cirrhigaleus australis</i>	<i>Orectolobus ornatus</i>
<i>Apristurus sinensis</i>	<i>Cirrhigaleus barbifer</i>	<i>Oxynotus bruniensis</i>
<i>Asymbolus analis</i>	<i>Dalatias licha</i>	<i>Oxynotus paradoxus</i>
<i>Asymbolus rubiginosus</i>	<i>Deania calcea</i>	<i>Poroderma pantherinum</i>
<i>Brachaelurus waddi</i>	<i>Deania quadrispinosa</i>	<i>Prionace glauca</i>
<i>Bythaelurus dawsoni</i>	<i>Etmopterus baxteri</i>	<i>Pristiophorus cirratus</i>
<i>Carcharhinus acronotus</i>	<i>Etmopterus hillianus</i>	<i>Pristiophorus nudipinnis</i>
<i>Carcharhinus albimarginatus</i>	<i>Etmopterus lucifer</i>	<i>Proscymnodon plunketi</i>
<i>Carcharhinus amblyrhynchos</i>	<i>Etmopterus spinax</i>	<i>Pseudocarcharias kamoharai</i>
<i>Carcharhinus amboinensis</i>	<i>Figaro boardmani</i>	<i>Rhincodon typus</i>
<i>Carcharhinus brachyurus</i>	<i>Galeocerdo cuvier</i>	<i>Rhizoprionodon acutus</i>
<i>Carcharhinus cautus</i>	<i>Galeorhinus galeus</i>	<i>Rhizoprionodon porosus</i>
<i>Carcharhinus dussumieri</i>	<i>Galeus melastomus</i>	<i>Rhizoprionodon taylori</i>
<i>Carcharhinus falciformis</i>	<i>Galeus polli</i>	<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>
<i>Carcharhinus isodon</i>	<i>Ginglymostoma cirratum</i>	<i>Scoliodon laticaudus</i>
<i>Carcharhinus leucas</i>	<i>Gollum attenuatus</i>	<i>Scyliorhinus canicula</i>
<i>Carcharhinus limbatus</i>	<i>Hemigaleus australiensis</i>	<i>Scyliorhinus retifer</i>
<i>Carcharhinus longimanus</i>	<i>Hemigaleus microstoma</i>	<i>Scyliorhinus stellaris</i>
<i>Carcharhinus melanopterus</i>	<i>Hemipristis elongata</i>	<i>Scymnodon ringens</i>
<i>Carcharhinus obscurus</i>	<i>Hemiscyllium ocellatum</i>	<i>Somniosus microcephalus</i>
<i>Carcharhinus plumbeus</i>	<i>Heptanchias perlo</i>	<i>Somniosus pacificus</i>
<i>Carcharhinus sorrah</i>	<i>Heterodontus francisci</i>	<i>Sphyrna lewini</i>
<i>Carcharhinus tilstoni</i>	<i>Heterodontus portusjacksoni</i>	<i>Sphyrna mokarran</i>
<i>Carcharias taurus</i>	<i>Hexanchus griseus</i>	<i>Sphyrna tiburo</i>
<i>Carcharodon carcharias</i>	<i>Hexanchus nakamurai</i>	<i>Sphyrna zygaena</i>
<i>Centrophorus granulosus</i>	<i>Isistius brasiliensis</i>	<i>Squaliolus laticaudus</i>
<i>Centrophorus harrissoni</i>	<i>Isurus oxyrinchus</i>	<i>Squalus acanthias</i>
<i>Centrophorus moluccensis</i>	<i>Megachasma pelagios</i>	<i>Squalus griffini</i>
<i>Centrophorus squamosus</i>	<i>Mustelus antarcticus</i>	<i>Squalus megalops</i>
<i>Centroscymnus coelolepis</i>	<i>Mustelus asterias</i>	<i>Squalus melanurus</i>
<i>Centroscymnus owstonii</i>	<i>Mustelus californicus</i>	<i>Squatina californica</i>
<i>Centroselachus crepidater</i>	<i>Mustelus canis</i>	<i>Squatina squatina</i>
<i>Cephaloscyllium albipinnum</i>	<i>Mustelus lenticulatus</i>	<i>Triaenodon obesus</i>
<i>Cephaloscyllium isabella</i>	<i>Nebrius ferrugineus</i>	<i>Triakis scyllium</i>
<i>Cephaloscyllium laticeps</i>	<i>Negaprion acutidens</i>	<i>Triakis semifasciata</i>
<i>Cetorhinus maximus</i>	<i>Negaprion brevirostris</i>	

APÊNDICE B - Tabela de espécies de raia encontradas neste trabalho

Espécie	Espécie	Espécie
<i>Aetobatus narinari</i>	<i>Gymnura micrura</i>	<i>Potamotrygon orbignyi</i>
<i>Aetobatus ocellatus</i>	<i>Heliotrygon rosai</i>	<i>Potamotrygon schroederi</i>
<i>Amblyraja hyperborea</i>	<i>Hexatrygon bickelli</i>	<i>Potamotrygon scobina</i>
<i>Amblyraja radiata</i>	<i>Himantura fai</i>	<i>Pristiophorus cirratus</i>
<i>Anacanthobatis marmoratus</i>	<i>Leucoraja circularis</i>	<i>Pristis pectinata</i>
<i>Aptychotrema rostrata</i>	<i>Leucoraja fullonica</i>	<i>Raja asterias</i>
<i>Bathyraja spinicauda</i>	<i>Leucoraja naevus</i>	<i>Raja binoculata</i>
<i>Bathytoshia lata</i>	<i>Manta birostris</i>	<i>Raja brachyura</i>
<i>Dasyatis americana</i>	<i>Mobula mobular</i>	<i>Raja clavata</i>
<i>Dasyatis brevicaudata</i>	<i>Mobula munkiana</i>	<i>Raja eglanteria</i>
<i>Dasyatis centroura</i>	<i>Mobula tarapacana</i>	<i>Raja erinacea</i>
<i>Dasyatis fluviorum</i>	<i>Mobula thurstoni</i>	<i>Raja microocellata</i>
<i>Dasyatis guttata</i>	<i>Myliobatis californica</i>	<i>Raja undulata</i>
<i>Dasyatis pastinaca</i>	<i>Myliobatis freminvillei</i>	<i>Rajella fyllae</i>
<i>Dasyatis sabina</i>	<i>Myliobatis tenuicaudatus</i>	<i>Rhinobatos annulatus</i>
<i>Dentiraja lemprieri</i>	<i>Narcine tasmaniensis</i>	<i>Rhinobatos productus</i>
<i>Diplobatis ommata</i>	<i>Neotrygon kuhlii</i>	<i>Rhinobatos typus</i>
<i>Dipturus canutus</i>	<i>Paratrygon aiereba</i>	<i>Taeniura lymma</i>
<i>Dipturus confusus</i>	<i>Pastinachus atrus</i>	<i>Torpedo marmorata</i>
<i>Dipturus gudgeri</i>	<i>Pastinachus sephen</i>	<i>Torpedo nobiliana</i>
<i>Dipturus innominatus</i>	<i>Platyrrhinoidis triseriata</i>	<i>Torpedo torpedo</i>
<i>Dipturus nidarosiensis</i>	<i>Plesiostygon iwamae</i>	<i>Trygonoptera testacea</i>
<i>Dipturus polyommata</i>	<i>Potamotrygon falkneri</i>	<i>Urolophus bucculentus</i>
<i>Glaucostegus typus</i>	<i>Potamotrygon leopoldi</i>	<i>Urolophus cruciatus</i>
<i>Gymnura australis</i>	<i>Potamotrygon motoro</i>	<i>Urolophus paucimaculatus</i>

APÊNDICE C – Dados dos artigos utilizados nesta revisão em ordem cronológica. “*” indica acesso somente ao resumo

Ano	Título do artigo	DOI/PMID	Autores	Local de escrita	Variável explorada	Categoria geral	Região encefálica estudada
1976	Topological Analysis of the Brain Stem of the Sharks <i>Squalus acanthias</i> and <i>Scyliorhinus canicula</i>	DOI: 10.1002/cne.901650305	Smeets, Wilhelmus J. A. J.; Nieuwenhuys, Rudolf	Holanda	Nenhuma	Anatomia/Histologia	Mesencéfalo
1977	2 TYPES OF BRAIN FORM IN SHARKS, STIPULATED BY THEIR ECOLOGY	Não acessível	Myagkov, Aleksei	Rússia	Não acessível	Não acessível	Não acessível
1981	BRAIN ORGANIZATION IN EMBRYOS OF THE FRILLED SHARK, CHLAMYDOSELACHUS-ANGUINEUS GARMAN	Não acessível	Masai, Haruki; Takatsuji, Koichi; Aoki M.	Japão	Não acessível	Não acessível	Não acessível
1983	*BRAIN ORGANIZATION OF SHARKS, WITH SPECIAL REFERENCE TO ARCHAIC SPECIES	PMID: 6886397	Sato, Y	Japão	Nenhuma	Anatomia/Evolução	Geral
1986	BRAIN PATTERNS OF THE WHALE AND BASKING SHARKS, RHINCODON-TYPUS AND CETORHINUS-MAXIMUS IN RELATION TO SYSTEMATICS	Não acessível	Sato, Y	Japão	Não acessível	Não acessível	Não acessível
1988	The brain of the Basking Shark (<i>Cetorhinus maximus</i>)	https://doi.org/10.1159/000116562	Kruska Dieter C. T.	Alemanha	Nenhuma	Anatomia/Ecologia/Alometria	Geral
1989	Brain Variation and Phylogenetic Trends in Elasmobranch Fishes	DOI: 10.1002/jez.1402520410	Northcutt, Richard G.	EUA	Nenhuma	Histologia/Anatomia/Evolução	Geral
1990	*The brain sizes of living elasmobranchii as their organization level indicator. I. General analysis	PMID: 1812172	Myagkov, Aleksei	Rússia	Nenhuma	Anatomia	Geral
1991	Identification of the midbrain locomotor region and its relation to descending locomotor pathways in the Atlantic stingray, <i>Dasyatis sabina</i>	https://doi.org/10.1016/0006-8993(91)90119-G	Bernau, Nicola A.; Puzdrowski Richard L.; Leonard Robert B.	EUA	Nenhuma	Anatomia/Funcional	Mesencéfalo
1992	Variations in cerebellar morphology of the Atlantic stingray, <i>Dasyatis sabina</i>	https://doi.org/10.1016/0304-3940(92)90435-A	Puzdrowski Richard L.; Leonard Robert B.	EUA	Nenhuma	Anatomia	Cerebelo
1996	The brain and cranial nerves of the white shark: An evolutionary perspective	https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415031-7.X5000-9	Demski Leo S.; Northcutt, Richard G.	EUA	Nenhuma	Anatomia/Funcional	Geral
1999	External Brain Form and Cranial Nerves of the Megamouth Shark, <i>Megachasma pelagios</i>	DOI:10.2307/1447405	Hironobu, Ito, Masami, Yoshimoto; Hiroaki Somiy	Japão	Nenhuma	Anatomia	Geral
2005	Brain morphology in large pelagic fishes: a comparison between sharks and teleosts	DOI:10.1111/j.0022-1112.2006.00940.x	Linsey, Thomas J.; Collin, Shaun P.	Austrália	Nenhuma	Anatomia/Ecologia	Geral
2006	Head size constrains forebrain development and evolution in ray-finned fishes	DOI: 10.1111/j.1525-142X.2006.00091.x	Striedter George F.; Northcutt, Richard G.	EUA	Nenhuma	Anatomia/Histologia	Telencéfalo
2007	Volumetric analysis of sensory brain areas indicates ontogenetic shift in the relative importance of sensory systems in elasmobranchs	https://www.researchgate.net/publication/43475362	Linsey, Thomas J.; Bennet, Michael B.; Collin, Shaun P.	Austrália	Ontogenética	Ecologia/Funcional	Mesencéfalo
2007	Variation in Brain Organization and Cerebellar Foliation in Chondrichthyans: Sharks and Holocephalans	DOI: 10.1159/000100037	Yopak, Kara E.; Lisney, Thomas J.; Collin, Shaun P.; Montgomery, John C.	Austrália	Nenhuma	Anatomia/Ecologia	Geral
2008	Organization of Major Telencephalic Pathways in an Elasmobranch, the Thornback Ray <i>Platyrrhinoidis triseriata</i>	https://doi.org/10.1159/000192466	Hofmann, Michael H.; Northcutt, Richard G.	EUA	Nenhuma	Histologia/Anatomia	Telencéfalo
2008	Morphometric and Ultrastructural Comparison of the Olfactory System in Elasmobranchs: The significance of Structure-Function Relationships Based on Phylogeny and Ecology	DOI: 10.1002/jmor.10661	Vera Schluessel <i>et al.</i>	Austrália	Nenhuma	Anatomia/Histologia/Evolução/Ecologia	Bulbo olfatório

2008	Brain Organization and Specialization in Deep-Sea Chondrichthyans	DOI: 10.1159/000127048	Yopak, Kara E.; Montgomery, John C.	Nova Zelândia	Nenhuma	Anatomia/Ecologia/Funcional	Geral
2009	Brain Size and Brain Organization of the Whale Shark, <i>Rhincodon typus</i> , Using Magnetic Resonance Imaging	DOI:10.1159/000235962	Yopak, Kara E.; Frank, Lawrence R.	EUA	Nenhuma	Anatomia	Geral
2009	Morphologic features of the cerebellum of the Atlantic stingray, and their possible evolutionary significance	DOI: 10.1111/j.1749-4877.2008.00127.x	Puzdrowski, Richard L.; Gruber, Stephen	EUA	Nenhuma	Anatomia/Histologia/Evolução	Cerebelo
2010	A conserved pattern of brain scaling from sharks to primates	https://doi.org/10.1073/pnas.1002195107	Yopak, Kara E. <i>et al.</i>	EUA	Nenhuma	Alometria/Evolução	Geral
2012	Forebrain Organization in Elasmobranchs	DOI: 10.1159/000339874	Hofmann, Michael H.; Northcutt, Richard G.	EUA	Nenhuma	Anatomia	Telencéfalo
2012	The Cerebellum and Cerebellum-Like Structures of Cartilaginous Fishes	https://doi.org/10.1159/000339868	Montgomery, John C.; Bodznick, David; Yopak, Kara E.	Nova Zelândia	Nenhuma	Anatomia/Histologia/Evolução	Cerebelo
2012	Allometric Scaling of the Optic Tectum in Cartilaginous Fishes	DOI: 10.1159/000339875	Yopak, Kara E.; Lisney, Thomas J.	Austrália	Ecológica	Alometria/Ecologia	Mesencéfalo
2012	Neuroecology of cartilaginous fishes: the functional implications of brain scaling	DOI: 10.1111/j.1095-8649.2012.03254.x	Yopak, Kara E.	Austrália	Ecológica	Funcional/Ecologia/Anatomia	Geral
2013	Morphological and taxonomic revision of species of <i>Squatina</i> from the Southwestern Atlantic Ocean (Chondrichthyes: Squatiniformes: Squatinidae)	DOI:10.11646/zootaxa.3695.1.1	Vaz, Diego F. B.; Carvalho, Marcelo R.	Brasil	Nenhuma	Anatomia	Geral
2014	Estudio Morfológico del Cerebro y Pares Craneales de <i>Diplobatis ommata</i>	DOI:10.4067/S0717-95022014000400005	Domínguez, Héctor M. M.; Bárcenas, Raquel L.; Isáis, Mónica G.	México	Nenhuma	Anatomia	Geral
2014	Not all sharks are “swimming noses”: variation in olfactory bulb size in cartilaginous fishes	DOI: 10.1007/s00429-014-0705-0	Yopak, Kara E.; Lisney, Thomas J.; Collin, Shaun P.	Austrália	Ecológica	Ecologia/Alometria	Bulbo olfatório
2015	Systematic Implications of Brain Morphology in Potamotrygonidae	https://doi.org/10.1002/jmor.20493	Fontenelle, João P.; de Carvalho, Marcelo R.	Brasil	Nenhuma	Anatomia/Funcional	Geral
2016	Quantitative Classification of Cerebellar Foliation in Cartilaginous Fishes (Class: Chondrichthyes) Using Three-Dimensional Shape Analysis and Its Implications for Evolutionary Biology	DOI: 10.1159/000446904	Yopak, Kara E.; Galinsky, Vitaly L.; Berquist, Rachel M.; Frank, Lawrence R.	Austrália	Nenhuma	Anatomia/Ecologia/Evolução	Cerebelo
2017	Ontogenetic Shifts in Brain Organization in the Bluespotted Stingray <i>Neotrygon kuhlii</i> (Chondrichthyes: Dasyatidae)	https://doi.org/10.1159/000455223	Lisney, Thomas J.; Yopak, Kara E.; Camilieri-Asch, Victoria; Collin, Shaun P.	Austrália	Ontogenética	Anatomia/Ecologia/Alometria	Geral
2019	Comparative Brain Morphology of the Greenland and Pacific Sleeper Sharks and its Functional Implications	https://doi.org/10.1038/s41598-019-46225-5	Yopak, Kara E. <i>et al.</i>	EUA	Nenhuma	Anatomia/Ecologia	Geral
2019	Ontogenetic scaling of gill area and brain size between two populations of blacktip shark (<i>Carcharhinus limbatus</i>)	https://sieb.burkclients.com/meetings/2020/schedule/abstractdetails.php?id=763	Wong, S; Bigman, J. S.; Dulvy, N. K.	Canadá	Ontogenética	Alometria/Ecologia	Geral
2019	Understanding Cerebellum in Vertebrate Neuroethology: From Sensing in Sharks and Electric Fish to Motor Sequences in Movement and Birdsong	DOI: 10.1037/bne0000317	Montgomery, John; Perks, Krista	Nova Zelândia	Nenhuma	Funcional/Evolução	Cerebelo
2020	Ontogenetic Shifts in Brain Size and Brain Organization of the Atlantic Sharpnose Shark, <i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	https://doi.org/10.1159/000511304	Laforest, Krista V.; Peele, Emily E.; Yopak, Kara E.	EUA	Ontogenética	Ecologia/anatomia/Funcional	Geral
2020	Maternal investment, ecological lifestyle, and brain evolution in sharks and rays	https://doi.org/10.1086/708531	Mull, Christopher G.; Yopak, Kara E.; Nicholas K Dulvy	EUA	Ecológica	Ecologia/evolução	Geral