



UFC

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS

THAYS FREITAS DE ANDRADE

**QUÍMICA DE OTÓLITOS DA CAVALA-EMPINGE (*Acanthocybium solandri*) NO
OCEANO ATLÂNTICO**

FORTALEZA

2024

THAYS FREITAS DE ANDRADE

QUÍMICA DE OTÓLITOS DA CAVALA-EMPINGE (*Acanthocybium solandri*) NO
OCEANO ATLÂNTICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciências Marinhas Tropicais.

Orientador: Prof. Dr. Guelson Batista da Silva

Fortaleza

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A571q Andrade, Thays.
QUÍMICA DE OTÓLITOS DA CAVALA-EMPINGE (*Acanthocybium solandri*) NO
OCEANO ATLÂNTICO/ Thays Andrade. – 2024.
34 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar,
Programa de Pós- Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Guelson Batista da Silva.

1. Otólito. 2. Elementos-traço. 3. sagittae. 4. Scombridae. I. Título.

CDD 551.46

THAYS FREITAS DE ANDRADE

QUÍMICA DE OTÓLITOS DA CAVALA-EMPINGE (*Acanthocybium solandri*) NO
OCEANO ATLÂNTICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciências Marinhas Tropicais.

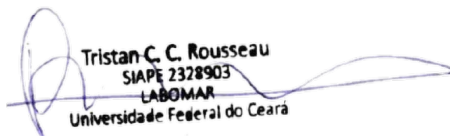
Orientador: Prof. Dr. Guelson Batista da Silva

Aprovada em: 25/03/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Guelson Batista da Silva (Orientador)
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Prof. Dr. Cristiano Queiroz de Albuquerque
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)



Tristan C. C. Rousseau
SIAPE 2328903
LABOMAR
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Tristan Charles Clitandre Rousseau
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Sandra e Robério.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela saúde e a oportunidade de estar concluindo mais uma etapa da minha vida acadêmica. Ele sabe o quanto essa conquista é importante para minha família, sendo a primeira com graduação e agora concluindo um mestrado. Obrigada, meu Deus, Tu sabes a importância dessa conquista.

Aos meus pais, Sandra e Robério, que nunca mediram esforços – possíveis e impossíveis – para me auxiliar nessa caminhada. Agradeço imensamente pelo investimento na minha educação, almejo fazer todo o esforço de ambos valerem a pena. Muito obrigada mãe e pai, toda essa caminhada é por vocês dois.

Ao meu orientador prof. Dr. Guelson Batista por aceitar me orientar e por todas as dúvidas sanadas e despertadas acerca deste trabalho. Obrigada por tornar possível este trabalho e pelo auxílio durante esses dois anos de mestrado.

À profa. Dra. Caroline Feitosa por ter aberto as portas do seu laboratório - DIPEMAR. Agradeço aos amigos e colegas de pós-graduação que fiz no laboratório e por todos os momentos bons.

Ao prof. Rodrigo Maggioni por fazer parte de uma fase tão especial do meu mestrado que foi o estágio em docência, agradeço pela orientação e me mostrar “o outro lado” de uma sala de aula. Com certeza irei guardar seus ensinamentos para a vida.

Aos professores participantes da banca examinadora prof. Dr. Cristiano Albuquerque e prof. Dr. Tristan Rousseau pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Ao meu companheiro Gustavo por todo apoio e encorajamento nesta caminhada.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciências Marinhas Tropicais do Labomar/UFC concomitantemente à Funcap pelo fomento da bolsa, tornando possível a produção desta tese. Agradeço ao *Small Tunas Year Programme* – SMTYP o qual é financiado pela *International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas* – ICCAT – pela disponibilização dos dados e ao Laboratório Integrativo de Ecologia de Peixes da Universidade de Idaho pela realização de parte das análises. Agradeço a Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA pela colaboração na presente pesquisa.

“Não temas, porque eu sou contigo;
não te assombres, porque eu sou teu Deus;
eu te fortaleço, e te ajudo, e te sustento com a
destra da minha justiça.”

Isaías 41:10

RESUMO

A Cavala-Empinge, *Acanthocybium solandri* (Cuvier, 1832), é uma espécie marinha epipelágica, que ocorre em ambientes subtropicais e tropicais, nos oceanos Atlântico, Índico e Pacífico. Não há observações de grandes cardumes de *A. solandri*, sendo uma espécie de hábitos solitários, embora possa formar pequenos grupos. Apesar de ter estoques explorados em várias áreas ao redor do mundo, está classificada como Pouco Preocupante (LC) na Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN). Pesquisas utilizando a química de otólitos vêm sendo desenvolvidas nas últimas décadas, incluindo peixes da família Scombridae, porém inéditas com *A. solandri*. O objetivo deste estudo foi analisar a composição química da borda do otólito de 30 indivíduos da espécie *A. solandri*, as concentrações de Estrôncio (Sr), Bário (Ba), Magnésio (Mg) e Manganês (Mn) foram obtidas utilizando a técnica da LA-ICP-MS como forma de identificar diferenças entre distintos estoques pesqueiros no oceano Atlântico. As amostras do presente estudo foram coletadas em três locais diferentes do Atlântico: Brasil, Ilhas Canárias e Costa do Marfim. Foram identificados padrões claros quanto à concentração de Ba e Sr relacionados ao ambiente de coleta, sendo baixas concentrações de Ba e altas de Sr. A ressurgência que ocorre na região no arquipélago espanhol das Ilhas Canárias devido ao sistema da Corrente das Canárias tornou a caracterização diferente dos indivíduos coletados realizadas no Brasil. A ressurgência pontual que ocorre na Costa do Marfim também influenciou na concentração de Ba na região. Essa ressurgência e os tamanhos menores registrados dos indivíduos dessa região nos mostra uma possível área de berçário para a espécie. As concentrações de Mg e Mn se comportaram de forma diferente na borda dos otólitos de todas as regiões, não sendo possível inferir um viés acerca de seus resultados.

Palavras-chave: Otólito; Elementos-traço; *sagittae*; Scombridae.

ABSTRACT

The Wahoo, *Acanthocybium solandri* (Cuvier, 1832), is a marine epipelagic species that occurs in subtropical and tropical environments in the Atlantic, Indian, and Pacific oceans. There are no observations of large schools of *A. solandri*, being a species of solitary habits, although it can form small groups. Despite having exploited stocks in several areas around the world, it is classified as Least Concern (LC) on the International Union for Conservation of Nature (IUCN) Red List of Threatened Species. Research using otolith chemistry has been developed in recent decades, including fish from the Scombridae family, but unpublished with *A. solandri*. The objective of this study was to analyze the chemical composition of the edge of the otolith of 30 individuals of the species *A. solandri*, the concentrations of Strontium (Sr), Barium (Ba), Magnesium (Mg) and Manganese (Mn) were obtained using the LA-ICP-MS technique as a way to identify differences between different fishing stocks in the Atlantic Ocean. The samples in this study were collected in three different locations in the Atlantic: Brazil, Canary Islands and Ivory Coast. Clear patterns were identified regarding the concentration of Ba and Sr related to the collection environment, with low concentrations of Ba and high concentrations of Sr. The upwelling that occurs in the region in the Spanish archipelago of the Canary Islands due to the Canary Current system made the characterization different from the individuals collected in Brazil. The point upwelling that occurs in the Ivory Coast also influenced the concentration of Ba in the region. This upwelling and the smaller sizes recorded for the individuals in this region show us a possible nursery area for the species. The concentrations of Mg and Mn behaved differently on the edge of the otoliths of all regions, making it impossible to infer a bias about their results.

Key words: Otolith, Microchemistry, LA-ICP-MS, Trace elements, Sagittae.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Mapa do Oceano Atlântico com destaques para os pontos de coleta da Cavala-Empinge (*A. solandri*). Os círculos representam os pontos de coleta referido como Brasil (verde), Ilhas Canárias (amarelo) e Costa do Marfim (vermelho). 19
- Figura 2 - Uma imagem digital de (a) um otólito inteiro esquerdo de *A. solandri* visto pelo lado distal sob luz refletida, o plano de seção é indicado pela linha pontilhada branca. As definições das anotações são: R, rostrum; AR, antirostrum; PR, postrostrum; PM, PM, primórdio; e S, sulco. *(a) e (b) não são do mesmo peixe. 20
- Figura 3 - Concentração de Sr, Ba, Mg e Mn mensuradas no transecto do centro do otólito até o fim de sua borda para todas as amostras. 14
- Figura 4 - Gráficos boxplot das amostras do comparativo das três diferentes áreas Brasil (bra), Ilhas Canárias (ci) e Costa de Marfim (civ) para os quatro elementos Sr, Ba, Mn, Mg. 14
- Figura 5 – Gráficos screeplot sobre a análise em porcentagem com limite de 20% (linha tracejada) na contribuição dos elementos traço para as dimensões 1 (A) e 2 (B). 15
- Figura 6 – Análise de componente principal (PCA) das concentrações dos elementos traços em otólitos da *A. solandri* coletados no Oceano Atlântico (bra - Brasil; ci - Ilhas Canárias; civ - Costa do Marfim). 15

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Local de amostragem, código da espécie, número de indivíduos (N), período de amostragem, estação do ano, faixa de comprimento furcal (cm), idade estimada em anos*. 21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ba	Bário
Sr	Estrôncio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
LA-ICP-MS	Ablação a Laser Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado
PCA	Análise de Componente Principal
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
SECC	Contracorrente Equatorial
SEC	Corrente Equatorial Sul
CaCO ₃	Carbonato de Cálcio
ICCAT	Comissão Internacional para a Conservação dos Atuns do Atlântico
IUCN	União Internacional para a Conservação da Natureza
LC	Menos Preocupante
OROP	Organizações Regionais de Ordenamento Pesqueiro
SMTYP	Programa Anual de Amostragem de Pequenos Tunídeos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	
1.1	Cavala-Empinge (<i>Acanthocybium solandri</i> , Scombridae).....	
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	
3	OBJETIVOS.....	
4	METODOLOGIA.....	
4.1	Área de Estudo.....	
4.2	Análise dos Otólitos.....	
4.3	Análise dos Dados.....	
5	RESULTADOS.....	
5.1	Perfis da variação de concentrações químicas.....	
5.2	Análise de componentes principais (PCA).....	
6	DISCUSSÃO.....	
7	CONCLUSÃO.....	
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	

1 INTRODUÇÃO

Pertencente à ordem Scombriformes, a família Scombridae é composta por 15 gêneros e 55 espécies, sendo sua maioria peixes epipelágicos marinhos, com destaque para os atuns, os bonitos e as cavalas, os quais possuem uma grande importância econômica, sendo alvo de pescarias comerciais (Collette & Nauen, 1983; Eschemeyer, 2024). De acordo com convenções internacionais, o gerenciamento pesqueiro dos estoques destas espécies fica sobre a responsabilidade das Organizações Regionais de Ordenamento Pesqueiro (OROP's), das quais para o Oceano Atlântico o órgão responsável pelo ordenamento e uso sustentável é a Comissão Internacional para a Conservação dos Atuns do Atlântico (*International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas – ICCAT*).

Nesse contexto, o Programa Anual de Amostragem de Pequenos Tunídeos (*Small Tunas Year Programme – SMTYP*) foi implementado pela ICCAT como uma estratégia para aprimorar a coleta de dados biológicos visando a estimativa de parâmetros de crescimento, reprodução e identificação de estoques, com prioridade para as seguintes espécies: Bonito-pintado (*Euthynnus alletteratus*, Rafinesque, 1810), Bonito-do-Atlântico (*Sarda sarda*, Bloch, 1793) e a Cavala-Empinge (*Acanthocybium solandri*, Cuvier, 1832) (Viñas, 2019).

1.1 Cavala-Empinge (*Acanthocybium solandri*, Scombridae)

Acanthocybium solandri (Cuvier, 1832) também conhecida como Cavala-Empinge, Cavala-Verdadeira e *Wahoo*, é uma espécie marinha oceânica-pelágica (Riede, 2004). Segundo Collette & Nauen (1983) sua morfologia é descrita como: corpo alongado, comprimido e fusiforme e seu maior peso registrado foi de 83 kg.

Theisen *et al.* (2008) a descreve como um grande predador pelágico de alta mobilidade e sua dieta é composta principalmente por peixes. São alguns exemplos registrados no estudo sobre sua alimentação realizado por Oxenford *et al.* (2003) alguns atuns (Scombridae), peixes-voadores (Exocoetidae), arenques e sardinhas (Clupeidae) e invertebrados como as lulas (Collette, 1986). Albuquerque *et al.* (2019) também observou em seu estudo que peixes das famílias Bramidae, Carangidae, Diodotidae também compõem as principais presas e segundo este estudo a estratégia alimentar da espécie tende a um certo grau de especialização.

Além disso, *A. solandri* atinge profundidades que variam de 0-20m (Bacchet *et al.*, 2006) e frequenta ambientes tropicais e subtropicais, sendo sua distribuição nos oceanos

Atlântico, Índico e Pacífico (Militante, 2011), com registro também para o Mar Mediterrâneo (Romeo *et al.*, 2005). Possui hábito oceanódromo, ou seja, trata-se de uma espécie que durante sua vida migra de um oceano para o outro (Collette, 1986) e apesar de sua vasta distribuição, não são observadas variações em sua morfologia ou ecologia (Theisen *et al.*, 2008).

Ainda quanto à biologia de *A. solandri*, não são observados enormes cardumes, mas sim hábitos mais solitários, podendo no máximo chegar a pequenos grupos de organismos mais compactos (Collette, 1986). As informações acerca da estrutura dos estoques de *A. solandri* é um tanto incerta, sendo considerada uma população geneticamente homogênea, trata-se de uma população em que os indivíduos compartilham características semelhantes entre si, havendo uma mínima variação genética (Zischke *et al.*, 2013). Em contrapartida, isso não nega a existência de populações fenotípicas e demográficas separadas por bacias oceânicas (Zischke *et al.*, 2013; Theisen *et al.* 2008.).

Esta espécie é alvo da pesca comercial, recreativa e artesanal no mundo todo (Perelman *et al.* 2017) e apesar de ter seus estoques explorados em diversas áreas, de acordo com Collette *et al.* (2023), esta espécie está classificada como “Least Concern (LC)” na Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN. Logo, trata-se de uma espécie fora de perigo no quesito ameaça à sua conservação. Corroborando isso, no Brasil, segundo o Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção, *A. solandri* também é classificada como “Menos Preocupante (LC)” (ICMBIO, 2018).

O gerenciamento de seus estoques no oceano Atlântico é deliberado pela Comissão Internacional para a Conservação dos Atuns do Atlântico (*International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas – ICCAT*), integrando o grupo dos pequenos tunídeos, o qual ainda possui diversas lacunas acerca de informações biológicas como estrutura populacional, crescimento e maturidade. A fim de solucionar esta problemática, o *Small Tunas Year Program – SMTYP* é um projeto de fluxo contínuo com a finalidade de solucionar tais lacunas por meio de coletas biológicas e estimativas de parâmetros essenciais, buscando assim um manejo pesqueiro adequado e sustentável (Vinãs *et al.*, 2019).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os otólitos são estruturas policristalinas compostas de carbonato de cálcio (CaCO₃) em forma de aragonita, minerais em menores proporções e uma matriz proteica, configurando componentes essenciais do sistema de equilíbrio e audição dos peixes ósseos (Campana,

1999; Popper & Lu, 2000). Os peixes ósseos apresentam três pares de otólitos simétricos, são eles: *sagitta*, *lapillus* e *asteriscos*, os mais estudados e utilizados em análises são os *sagittae*, uma vez que estes são os maiores e de fácil extração em relação aos demais (Begg *et al.*, 2005; Rossi-Wongtschowski *et al.*, 2016).

Além disso, os otólitos possuem padrões de crescimento e incrementos na sua composição química, sendo estas características influenciadas não só pelos seus hábitos e sua história de vida, mas também por variáveis ambientais. Logo, estas estruturas são consideradas valiosas fontes de informações sobre estes indivíduos (Campana *et al.*, 2000; Cardinale *et al.*, 2004; Baumann *et al.*, 2006), tais como para estimativa da idade, uso e conectividade entre habitats e identificação de estoques populacionais (Ben Ghorbel *et al.*, 2024; Campana, 2023; Anderson *et al.*, 2023; Guillaenders, 2005).

É possível citar os mais diversos fatores que interferem diretamente na microquímica de otólitos, por exemplo, têm-se os efeitos da temperatura, da salinidade e da interação destas duas variáveis, bem como efeitos sobre a estrutura cristalina do otólito, o próprio crescimento do indivíduo, sua dieta e sua ontogenia (Nazir *et al.*, 2021).

Estudos com microestruturas e química de otólitos foram ganhando força e fidedignidade com o passar dos anos, devido ao avanço de técnicas analíticas. Campana (1999) trouxe uma visão de que a escala de amostragem depende da hipótese que está sendo testada, por exemplo, existe uma clara diferença em uma análise do otólito como um todo ou apenas um ensaio direcionado em uma região específica. Sendo a porção mais ao centro relacionada ao início da vida do indivíduo e uma análise mais à borda estará relacionada ao momento em que o peixe foi coletado.

Embora estes estudos já venham sendo desenvolvidos há décadas no mundo todo, inclusive com demais peixes da família Scombridae, não há registros na literatura de estudos com *A. solandri*. A utilização de estudos com a química de otólitos é de suma importância, pois é capaz de reconstruir ambientes em que o peixe esteve durante seu ciclo de vida, visto que estes otólitos possuem concentrações de elementos e de isótopos que ajudam a diferenciar os corpos d'água em que eles estiveram (Reis-Santos *et al.*, 2023).

Além disso, os otólitos são capazes de incorporar elementos-traço em sua matriz de CaCO_3 (Sturrock *et al.*, 2012). Elementos como o Estrôncio (Sr) e o Bário (Ba) são incorporados nos otólitos e estão relacionados a sua disponibilidade na água (Tulp *et al.*, 2013). Essa observação revela que a incorporação de elementos ao otólito está diretamente relacionada ao ambiente em que o peixe vive, sugerindo uma estreita relação entre o seu habitat e a composição de seu otólito. Nos evidenciando, dessa forma, informações de história

de vida do indivíduo e até mesmo a localização de seus estoques pesqueiros (Miller, 2011; Tulp *et al.*, 2013).

Estudos acerca das concentrações de elementos que podem ser incorporados por otólitos norteiam quais elementos-traço devemos buscar para entender a dinâmica e distribuição de sua agregação na matriz de CaCO_3 , baseando-se principalmente no ambiente em que o peixe permaneceu. Ba e Sr em otólitos mostram-se correlacionadas com concentrações do ambiente (Izzo *et al.*, 2018). Além disso, são considerados “marcadores geográficos” muito confiáveis (Thomas *et al.*, 2017). Outros estudos, como os de Miller (2011) e Walsh & Gillanders (2018), relatam os efeitos da temperatura da água nas concentrações de Ba ao longo de um gradiente de salinidade, ilustrando os fatores extrínsecos que afetam a composição química de otólitos para interpretar padrões de migração em peixes diádromos, os quais realizam migrações durante seu ciclo de vida do mar para o rio, ou o contrário. Entender esses padrões de migração das espécies é fundamental para ter estratégias de manejo eficientes (Franco *et al.* 2018).

Quanto às concentrações de Mn, o trabalho de Brophy *et al.* (2003) afirma que o Mn é incorporado no núcleo do otólito durante a formação inicial do otólito. Desse modo, este elemento-traço está associado principalmente aos primeiros estágios de vida do indivíduo. O estudo de Ruttenberg *et al.* (2005) afirma que essa concentração elevada de Mn pode ser devida à transferência materna. O núcleo do otólito é posicionado no centro, situado dentro do primeiro incremento visível, esse local é conhecido como “primórdio do otólito” e nele ocorre a chamada nucleação inicial (Radtke e Dean, 1982).

Este primórdio é desenvolvido no início da formação do peixe e é constituído por grânulos de proteína e CaCO_3 que se unem para formar uma base para a subsequente deposição dos otólitos (Zhang e Runham, 1992). Sendo assim, a concentração de elementos como Mn no núcleo do otólito, pode refletir as condições ambientais encontradas pelo peixe no início de seu desenvolvimento (Brophy *et al.* 2003). O Mn é um metal de transição e sua incorporação chega a ser regulada fisiologicamente e ao ser utilizada como um marcador ambiental deve haver maior cautela na análise (Thomas *et al.* 2017), pois embora seja sensível a fatores de crescimento, a influência ambiental pode afetar a sua concentração (Limburg e Casini, 2018).

As informações acerca do Mg são variadas, muitos dos estudos evidenciam lacunas acerca da relação entre as concentrações nos otólitos e a água (Dorval *et al.* 2007; Hammer & Jenkins *et al.* 2007). Embora a relação entre o Mg:Ca dos otólitos e as condições ambientais permaneça incerta, acredita-se que as taxas de absorção de Mg aumentem em águas mais

quentes, potencialmente em função do aumento da precipitação dos otólitos e do crescimento somático (Martin & Thorrold, 2005). As concentrações de Mg tendem a diminuir linearmente após seu tempo de eclosão (Limburg *et al.*, 2018-b). A incorporação de Mg em otólitos é utilizada para diferenciar peixes de diferentes ambientes (Woodcock *et al.*, 2012). No entanto, estudos afirmam que o Mg não é um indicador ambiental confiável (Thomas *et al.*, 2017; Woodcock *et al.*, 2012).

Estudos sobre composição química de otólitos já foram realizados com diversas espécies de peixes da família Scombridae. Dentre os quais podemos destacar o trabalho de Corrêa *et al.* (2022) que fez uso da análise microquímica para comparações intraespecíficas e identificação de estoques pesqueiros do Bonito-listrado (*Katsuwonus pelamis*, Linnaeus, 1758) no Sudeste-Sul do Oceano Atlântico, os resultados sugerem que a população de Bonito-listrado na região sudoeste do Atlântico pertencem a um único estoque com uma provável área de origem comum, enquanto para os espécimes capturados no sul e sudeste do Brasil possuíam atributos fenotípicos diferentes em relação a forma dos otólitos. Esta espécie também foi estudada por Artetxe-Arrate *et al.* (2021), porém para investigação de estoques em diferentes pontos do oceano Índico, foram observadas variações nas assinaturas químicas associadas a mudanças sazonais nas condições oceanográficas. O estudo também sugere que a análise química deveria ser complementada com outras técnicas, como uso de genética, para definir com mais precisão a estrutura do estoque da espécie.

Artetxe-Arrate *et al.* (2019) também fez uso das técnicas de microquímica para investigar o Albacora laje (*Thunnus Albacares*, Bonaterre, 1788) no oceano Índico, sugerindo pelos uma estrutura de estoque bem mais complexa do que se imaginava. Complementando trabalhos acerca do tema, Kitchens *et al.* (2018) investigou a composição química de otólitos no primeiro ano de vida de exemplares da *T. albacares* no oceano Atlântico.

Quanto a trabalhos com espécies de cavala, temos o de Sougeh *et al.* (2023) que aborda a química de otólitos para descrever a estrutura espaço-temporal da Cavala Espanhola (*Somberomus commerson*, Lacepède, 1800) no Mar Vermelho e oceano Índico ocidental, bem como trabalho de Moura *et al.* (2020) que descreve as dinâmicas e estrutura populacional da Cavala do Atlântico (*Scomber scombrus*, Linnaeus, 1758) e o estudo de Correia *et al.* (2021) acerca da estrutura da população da cavalinha (*Scomber colias*, Gmelin, 1789) – espécie mais costeira em relação às demais – no nordeste do Atlântico, utilizando composição química do otólito e assinaturas de isótopos.

Portanto, assim como em trabalhos mais antigos como o de Elsdon & Gillanders (2002), foi observado que, através da análise dos elementos-traço presentes nos otólitos de

peixes ósseos, pode-se notar variações nas chamadas “assinaturas químicas” que nos evidenciam a sazonalidade das condições oceanográficas, como o caso da influência de sistemas de ressurgência relatados no trabalho de Albuquerque *et al.* (2023). Estas assinaturas podem nos permitir entender as particularidades de certas zonas dos oceanos e como os estoques pesqueiros de *A. solandri* se comportam com essas variações.

3 OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo a estimativa da concentração dos principais elementos traço nos otólitos da Cavala-Empingem (*A. solandri*) coletadas em diferentes pontos do Oceano Atlântico e avaliar se existem diferenças entre as mesmas, bem como inferir sobre como os padrões do ciclo de vida da espécie podem influenciar sobre as variações destas concentrações.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de Estudo

Os espécimes do presente estudo foram coletados em três locais distintos do Oceano Atlântico: Brasil, Ilhas Canárias e Costa do Marfim (fig. 1), no período entre setembro de 2018 e setembro de 2020, como parte do SMTYP o qual é financiado pela ICCAT.

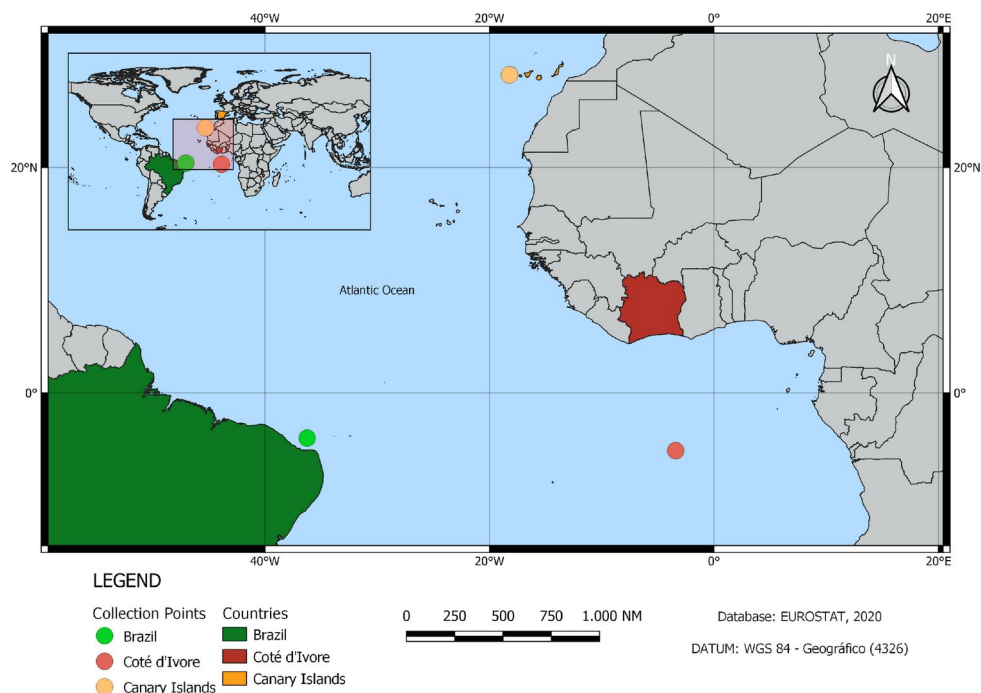


Figura 1 - Mapa do Oceano Atlântico com destaques para os pontos de coleta da Cavala-Empingem (*A. solandri*). Os círculos representam os pontos de coleta referido como Brasil (verde), Ilhas Canárias (amarelo) e Costa do Marfim (vermelho).

Essa região é caracterizada por particularidades no que se diz respeito às subdivisões do oceano Atlântico Sul e Atlântico Norte, sendo o nordeste do Brasil influenciado principalmente pela Corrente Norte do Brasil, local onde não ocorre ressurgência (Talley *et al.*, 2011). Por outro lado, Ilhas Canárias e Costa do Marfim possuem peculiares oceanográficas locais como o ambiente de ressurgência nas Ilhas Canárias oriunda dos giros subtropicais que incluem sistemas de ressurgência de corrente de borda oriental na Corrente das Canárias no Atlântico Norte (Talley *et al.*, 2011). Quanto à Costa do Marfim, observa-se outra situação peculiar, existe uma ressurgência costeira bastante única encontrada ao longo de sua costa e de Gana, isso acontece devido aos ventos da região que possuem uma intensidade muito fraca, sendo desfavoráveis à ocorrência de ressurgências (TOMCZAK e GODFREY, 2001). Contudo, existe uma elevação na temperatura do mar por 14 dias durante o verão no hemisfério norte e essa variação associada a reversões das correntes na plataforma, geram uma elevação periódica da termoclina e a chegada de uma água muito rica em nutrientes em direção a costa (TOMCZAK e GODFREY, 2001).

As amostras foram realizadas em diferentes datas nas três localizações, para as amostras do Brasil, foram realizadas coletas no verão e primavera (2019/2020); para as Ilhas Canárias tivemos amostras realizadas no outono (2018) e, por fim, as coletas da Costa de Marfim foram realizadas no final do verão e inverno (2019).

4.2 Análise dos Otólitos

Para as análises químicas foram utilizados 10 exemplares de *A. solandri* coletados em cada região (tabela 1), totalizando 30 otólitos *sagitta* (Fig. 2). No Brasil, sua coleta foi realizada com captura por linha-de-mão, em bancos oceânicos próximos à costa do estado do Ceará. Já nas Ilhas Canárias, arquipélago espanhol, a captura foi realizada com vara e linha pela frota de isca-viva. Por fim, na Costa do Marfim a captura foi realizada pelas frotas de emalhe e cerco. Foram registrados os dados de comprimento furcal, em seguida suas cabeças foram retiradas para a extração dos otólitos. Estes foram armazenados em microtubos de plástico individualmente e devidamente etiquetados.

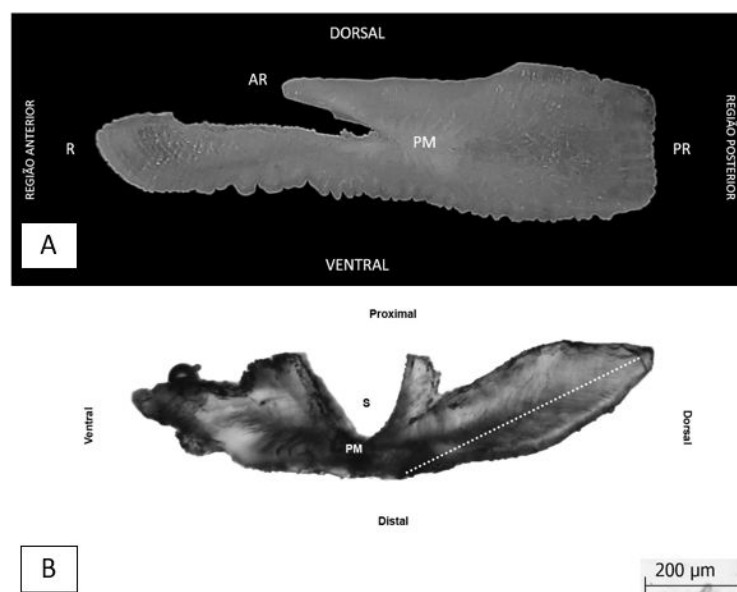


Figura 2 - Uma imagem digital de (a) um otólito inteiro esquerdo de *A. solandri* visto pelo lado distal sob luz refletida, o plano de seção é indicado pela linha pontilhada branca. As definições das anotações são: R, rostrum; AR, antirostrum; PR, postrostrum; PM, , primórdium; e S, sulco. *(a) e (b) não são do mesmo peixe.

Tabela 1 - Local de amostragem, código da espécie, número de indivíduos (N), período de amostragem, estação do ano, faixa de comprimento furcal (cm), idade estimada em anos*.

Local	N	Período de Amostragem	Comprimento Furcal (cm)	Idade Estimada (anos)
Brasil	10	Janeiro de 2019 Agosto e setembro de 2020	94-134	1-3
Ilhas Canárias	10	Setembro e outubro de 2018	120-145	3-5
Costa do Marfim	10	Março e setembro de 2019	80-97	0.5-1

*Para os peixes amostrados acima, as idades foram estimadas referentes ao trabalho de Jenkins & McBride (2008).

Os otólitos foram emblocados com resina de poliéster, para a obtenção de cortes transversais por meio de serra metalográfica de baixa rotação equipada com disco diamantado da marca *Isomet Low Speed Buheler*® para em seguida serem fixados em lâminas histológicas

e identificadas. As lâminas com os cortes de otólitos de *A. solandri* (fig. 3) foram enviadas para análise microquímica no Laboratório Integrativo de Ecologia de Peixes da Universidade de Idaho, nos Estados Unidos.

As concentrações de Estrôncio (Sr), Bário (Ba), Magnésio (Mg), Manganês (Mn) e Chumbo (Pb) foram estimadas por meio da técnica espectrometria de massa por ablação a laser (*Laser Ablation - Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry /LA-ICP-MS*).

4.3 Análise dos Dados

Os dados brutos foram analisados por meio da plotagem de linhas de tendência das concentrações dos elementos traços a partir do núcleo até a borda. Por meio do teste de Shapiro-Wilk foi possível verificar que os dados de concentração dos elementos traço não apresentaram padrão de distribuição normal. Portanto, os dados plotados em gráficos do tipo *boxplot* e para verificar se existem diferenças significativas entre as medianas das concentrações dos elementos traço e as áreas de coleta foi aplicado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis.

Por meio de estatística multivariada através de Análise de Componente Principal (PCA) para verificar a variação entre as concentrações de elementos-traço entre as diferentes localidades. Primeiramente, foi realizada a verificação da contribuição de cada componente (elemento traço) entre as dimensões da PCA e aqueles que apresentaram contribuição inferior a 20% foram excluídos da análise. Todas as análises e gráficos foram realizados por meio do *software R* (R Core Team, 2023).

5 RESULTADOS

5.1 Perfis da variação de concentrações químicas

Os padrões de variações nas concentrações química dos elementos ao longo dos transectos dos otólitos variou por elementos e sua localidade no Oceano Atlântico (fig. 3). Para todas as localidades a concentração média do estrôncio (Sr) seguiu um sutil padrão na análise núcleo-borda. Maiores valores foram observados no núcleo do otólito seguidos por um decréscimo até pelo menos da metade do transecto, a partir do qual apresenta uma suave tendência de acréscimo até a borda. Nas concentrações próximas à borda do otólito foi registrado um pico que alcança 1700mmol/mol em apenas um indivíduo do Brasil. Nas Ilhas Canárias, as concentrações próximas à borda não ultrapassaram os valores de 2000 mmol/mol. As menores concentrações foram observadas nos indivíduos da Costa do Marfim,

apresentando valores por volta de 1500 mmol/mol.

Quanto à concentração de Ba, se observa um sutil padrão entre as três localidades do Atlântico, com uma maior concentração em seu núcleo, seguido por um decréscimo e em sua borda picos voltam a surgir nos gráficos. Considerando apenas a borda dos otólitos, para o Brasil foram registradas elevações na concentração de Ba que não seguem padrões em todos os indivíduos da região, como o peixe 7 que possui elevadas concentrações destoando dos demais. Assim como este, o 8 atinge um pico em sua borda que chega a 8mmol/mol. Os demais seguem um padrão de oscilações variando entre, no máximo 6mmol/mol e no mínimo 0,72 mmol/mol, ilustrando baixas concentrações como mostra a figura abaixo. Em seguida, nas Ilhas Canárias, foram registrados para a região da borda do otólito valores que variaram de 2,19 mmol/mol a 12,23 mmol/mol para o Ba, registrando um sutil aumento na concentração da maioria dos indivíduos em relação a uma anterior estabilidade na concentração do elemento. Por fim, para a Costa do Marfim, as concentrações nas bordas dos otólitos não seguiram um padrão claro, chegando ao máximo de 18mmol/mol em apenas um indivíduo e os demais apresentaram concentração muito abaixo disso.

Para as concentrações de Mg não foi possível observar algum padrão entre as três diferentes localidades. No geral, nota-se determinada estabilidade nas linhas de concentração no decorrer do eixo do otólito, quanto às bordas existe dificuldade em definir um padrão, visto que há significativa variação entre os peixes de uma mesma região. Por fim, para as concentrações de Mn no transecto dos otólitos, as concentrações foram relativamente similares, salvo algumas exceções. Quanto à borda dos otólitos das três localidades, não existiu similaridade suficiente para definir tendências nas concentrações, pois além de variar nesse quesito, também variavam entre os indivíduos da mesma localidade.

Não foram observadas diferenças significativas entre as medianas das concentrações dos elementos traços nas três localidades distintas, muito embora valores limites tenham sido observados em algumas situações, para esta análise foram considerados as 20 últimas leituras de cada peixe por região (fig. 4). Quanto ao Sr, embora tenha se observado para as Ilhas Canárias uma mediana um pouco mais elevada que as demais localidades, os menores valores foram observados no Brasil, enquanto uma maior quantidade de valores limite foram observados na Costa do Marfim. Para o Ba os maiores valores foram observados nas Ilhas Canárias, enquanto os menores foram observados no Brasil. As concentrações de Mg são baixas nas três localidades, porém a dispersão na Costa do Marfim apresenta os maiores valores. Por fim, para Mn a Costa do Marfim nota-se a maior concentração em relação as

demais localidades.

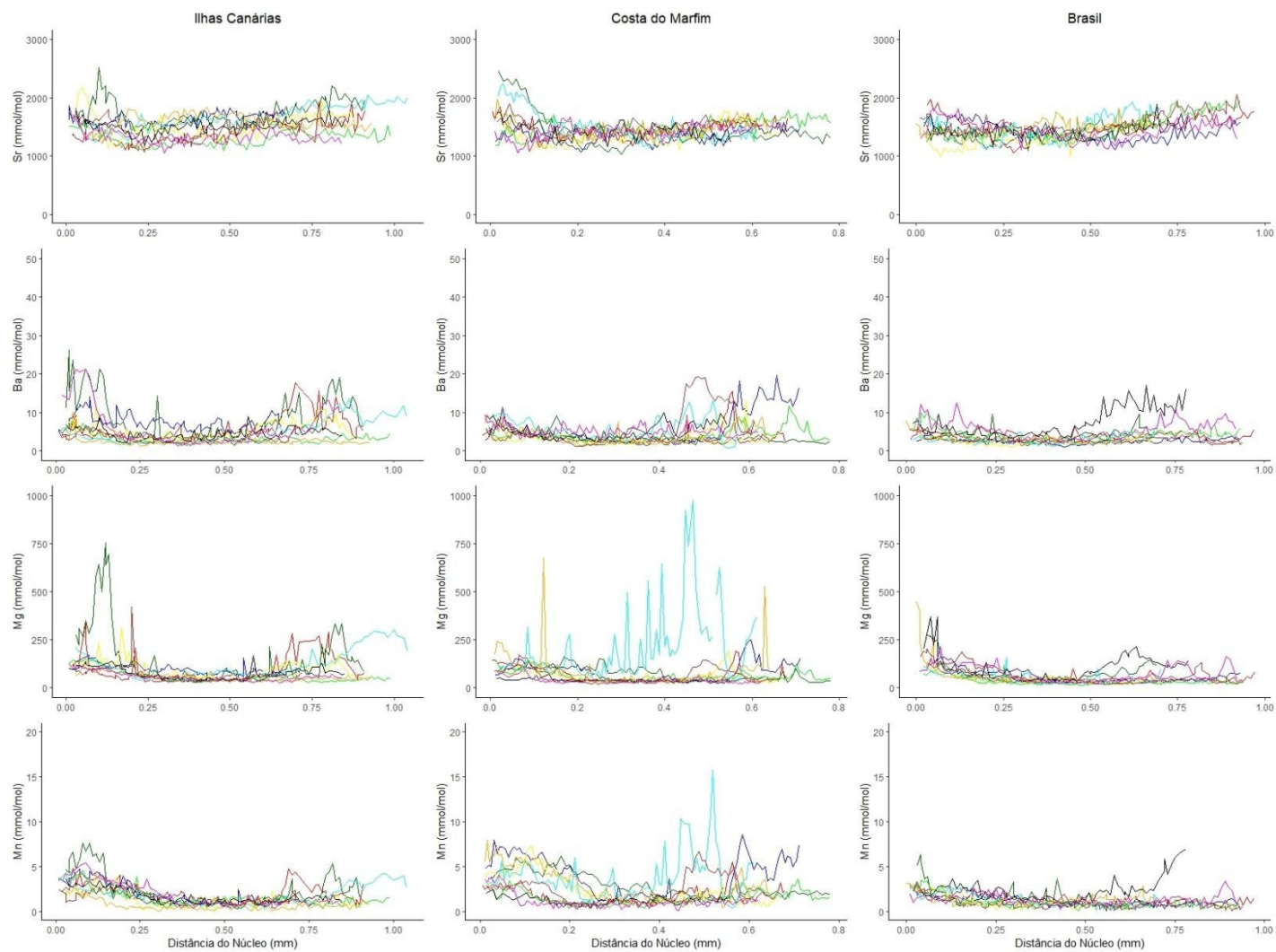


Figura 3 - Concentração de Sr, Ba, Mg e Mn mensuradas no transecto do centro do otólito até o fim de sua borda para todas as amostras.

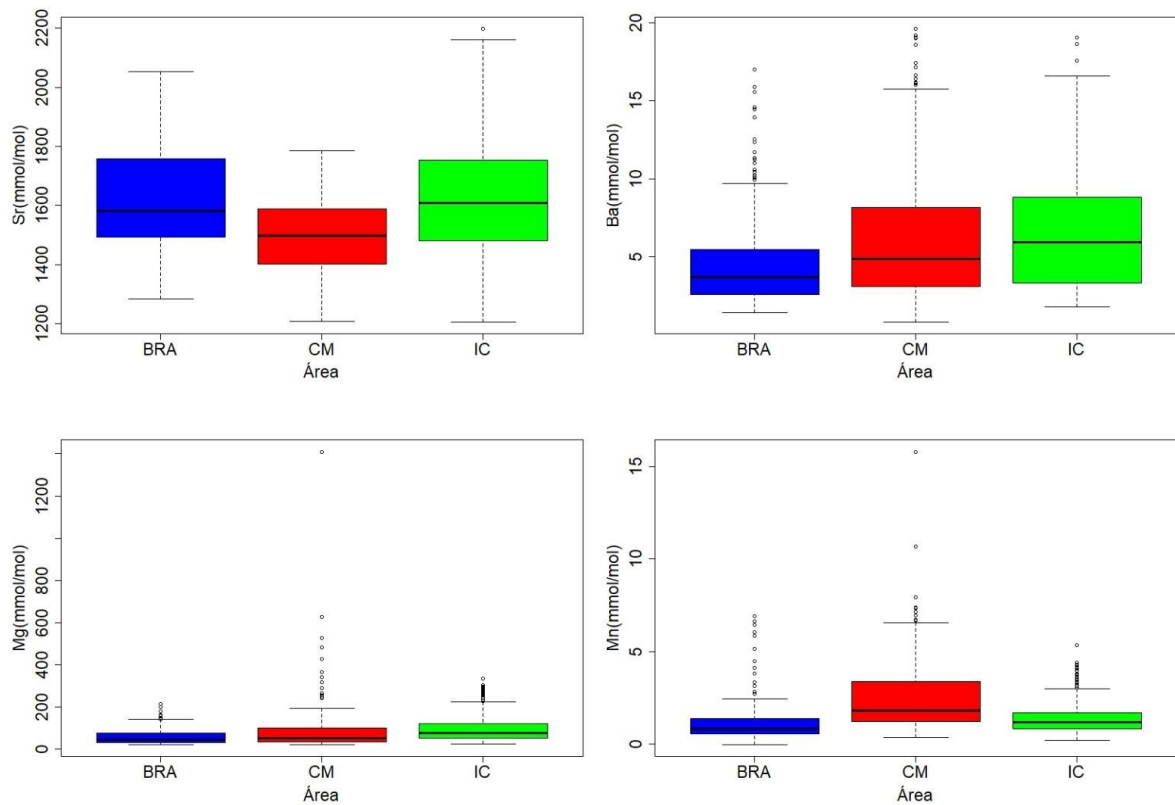


Figura 4 - Gráficos boxplot das amostras do comparativo das três diferentes áreas Brasil (bra), Ilhas Canárias (ci) e Costa de Marfim (civ) para os quatro elementos Sr, Ba, Mn, Mg.

5.2 Análise de componentes principais (PCA)

Na figura 5-a, observa-se que o Ba e Mg possuem taxas de contribuição de variável altas, isso indica uma boa representação das mesmas na PCA. Ambas as variáveis estão posicionadas próximas às circunferências do círculo da correlação (fig. 6).

Na figura 5-a o Mg, Mn, Pb estão bem próximos, mas eles não têm valor suficiente para serem significativos a ponto de serem determinantes dessa dimensão. Na segunda dimensão (fig. 5-b), a variância mais significativa é do Sr. Logo, é possível inferir que os elementos com maior contribuição na microquímica dos otólitos são Sr, Mn e Ba, enquanto uma menor contribuição é atribuída ao Pb e Mg.

É possível notar que o Sr é o principal responsável pela variação na dimensão 2, enquanto os demais elementos Mg, Mn, Ba e Pb contribuem para a variação na dimensão 1 (Fig. 5). As maiores variações são observadas nos indivíduos coletados na Costa do Marfim, seguidos pelos indivíduos coletados nas Ilhas Canárias, enquanto os indivíduos coletados no Brasil ocupam uma posição mais central no gráfico.

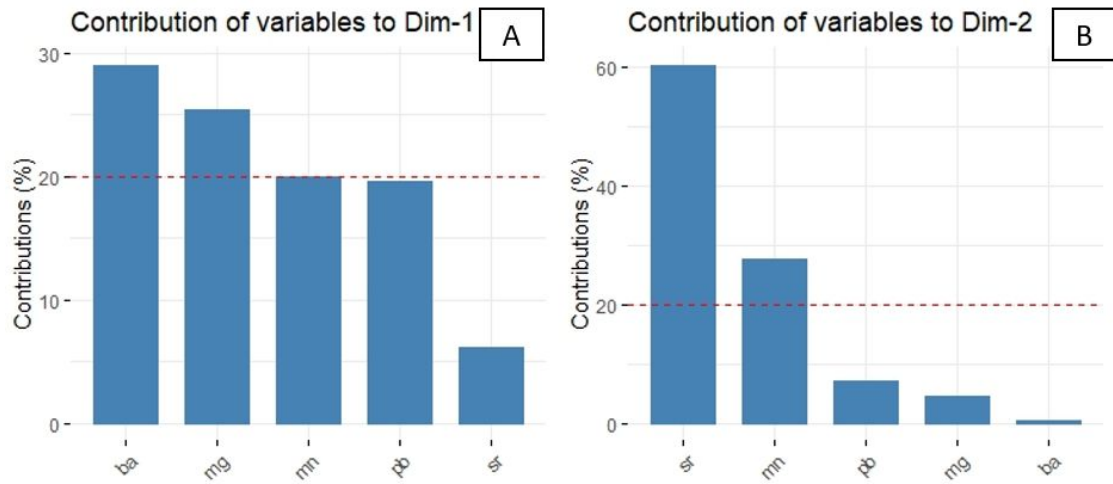


Figura 5 – Gráficos screeplot sobre a análise em porcentagem com limite de 20% (linha tracejada) na contribuição dos elementos traço para as dimensões 1 (A) e 2 (B).



Figura 6 – Análise de componente principal (PCA) das concentrações dos elementos traços em otólitos da *A. solandri* coletados no Oceano Atlântico (bra - Brasil; ci - Ilhas Canárias; civ - Costa do Marfim).

6 DISCUSSÃO

Pela primeira vez foi examinada a composição química dos otólitos *sagittae* da Cavala-Empinge na região do oceano Atlântico. Os otólitos de *A. solandri*, em todas as amostras, ilustraram uma característica tipicamente encontrada nos peixes oceânicos – altas concentrações de Sr e baixas concentrações Ba (Tulp *et al.* 2013). Isso se explica devido à incorporação destes elementos que ocorre de forma diretamente correlata às suas concentrações no ambiente em que a água está (Izzo *et al.*, 2018). Esses estudos concluem que para a maioria dos ecossistemas costeiros, as concentrações de Sr e de Ba são inversamente proporcionais. Realizando comparativos com estudos relacionados a peixes da família Scombridae, temos o de Sougueh *et al.* (2023) que aborda a composição química do otólito da Cavala Espanhola (*Scomberomus commerson*) no Mar Vermelho e na porção ocidental do Oceano Índico. Os resultados do presente trabalho corroboram os de Sougueh *et al.* (2023) que apresentava altas concentrações de Sr e baixas concentrações de Ba.

Outro fato interessante é que na região das Ilhas Canárias existe o fenômeno chamado ressurgência, isso devido a Corrente das Canárias que possui um sistema de ressurgência no norte do Atlântico (Telley *et al.*, 2011). Assim como nas principais zonas de ressurgência, a Corrente das Canárias é caracterizada por uma intensa estrutura de meso-escala na transição entre águas frias e ricas em nutrientes resultantes do regime da ressurgência costeira e águas mais quentes e oligotróficas do oceano aberto (Barton, *et al.* 1998). A localidade do arquipélago das Ilhas Canárias atravessa diretamente essa transição, introduzindo uma barreira física capaz de perturbar o fluxo geral em direção ao sudoeste das correntes oceânicas e dos ventos alísios (Barton, *et al.* 1998).

Desse modo, sabe-se que locais que possuem a influência desse fenômeno, normalmente, possuem a concentração de Ba mais elevada do que em locais que não possuem ressurgência (Lin *et al.*, 2013). Logo, para os resultados de concentração de Ba, observa-se que ao final do gráfico de linhas, as concentrações de Ba nas Ilhas Canárias são sutilmente superiores às do Brasil, local onde não ocorre ressurgência na região amostrada. Apesar da Costa do Marfim também ser considerada uma região de ressurgência, o que ocorre na realidade são ressurgências sazonais que acontecem no período de julho a setembro com uma regularidade bem estabelecida (TOMCZAK e GODFREY, 2001). Como as coletas na região foram realizadas nos meses de março e na metade de setembro, existe a possibilidade de que a ressurgência não chegou a influenciar nas concentrações da borda dos otólitos. No entanto, se observarmos a região anterior do gráfico de linhas, entre 0,4 e 0,6cm, no eixo x, existem picos consideráveis que podem nos induzir a hipótese de que estes indivíduos habitaram

próximo à região nos meses anteriores a setembro.

O trabalho de Moura *et al.* (2020) acerca de estoques da Cavala do Atlântico (*Scomber scombrus*, Scombridae) na região do Atlântico Norte nos evidencia a diferença na concentração de Ba:Ca nos locais amostrados, isso devido a particularidades oceanográficas dos pontos de amostragem. Estes envolvem tanto movimentos da espécie próximos à costa no Golfo de São Lourenço e a ressurgência que ocorre na região (Rutherford e Fennel, 2018), como altas concentrações de Ba associadas a enriquecimento de ambientes salinos que ocorrem em muitos aquíferos costeiros das Ilhas Britânicas (Shaw *et al.*, 1998) fomentando a hipótese do presente estudo.

Quanto às concentrações de Sr, o trabalho de Kitchens *et al.* (2018) sobre a microquímica da Albacora-laje associou as altas concentrações de Sr no otólito à alta salinidade nas regiões do Golfo da Guiné, Cabo Verde e Golfo do México, sugerindo que, durante o período da primavera e verão, a salinidade é afetada influenciando uma maior concentração do elemento. No presente trabalho, as amostras foram coletadas em diferentes estações, as maiores concentrações de Sr foram observadas nas Ilhas Canárias durante o outono de 2018, logo não foi possível associar a hipótese de período de coleta/estação do ano. Entretanto, a maior concentração pode ser explicada pelo fato de sua localização ser mais oceânica em relação as demais. Apesar de ser maior que no Brasil e na Costa do Marfim, as demais concentrações continuam consideradas altas, uma vez que *A. solandri* é um peixe de mar aberto.

A concentração de Mg apresentou baixas concentrações em ambos os locais. Espera-se que as concentrações de Mg:Ca fossem significativamente maiores em ambientes de maiores temperaturas (Stanley *et al.*, 2015). Para Kitchens *et al.* (2018) a correlação entre Mg:Ca e o ambiente estava correlacionada com a temperatura do mar, onde em locais com maiores temperaturas existia uma maior absorção do Mg no otólito. Como a temperatura da água do mar das Ilhas Canárias varia anualmente entre 18°C e 22°C (Vélez-Belchí *et al.*, 2015) era esperado que a concentração de Mg fosse menor do que nas demais regiões, visto que a temperatura média anual delas são maiores, porém contestando a hipótese dos trabalhos citados, as concentrações no Brasil foram inferiores no presente estudo e na Costa do Marfim foi observado uma maior concentração de Mg.

Além disso, podemos citar o estudo de Corrêa *et al.* (2022) que abordou o Bonito-Listrado (*Katsuwonus pelamis*, Scombridae) no Atlântico. Este trabalho teve como foco a composição química do centro do otólito, e no caso do Mg, foram registradas baixas variações

entre as concentrações do centro dos otólitos de diferentes regiões, indicando uma pequena variação geográfica que distingue as áreas de berçário.

Por fim, quanto às concentrações de Mn, não foi observado um padrão similar entre as distintas regiões, porém entre os indivíduos de um mesmo local nota-se uma sutil tendência constante no Brasil. No entanto, vale tomar nota de que, os estudos de Brophy *et al.* (2003) e Limburg e Casini (2018-a) afirmam que o Mn está diretamente associado ao local em que os indivíduos eclodiram, uma vez que é nesta fase inicial da nucleação do otólito que ocorrem as principais acresções de Mn. As maiores concentrações de Mn no presente estudo foram observadas na Costa do Marfim, além dos menores tamanhos dos indivíduos, podendo gerar a hipótese de um berçário estabelecido.

Sendo assim, temos a hipótese de que a região da Costa do Marfim seja uma área de berçário para a espécie, visto o tamanho inferior de *A. solandri* capturadas na região e condições oceanográficas que favorecem este ambiente. Nesta região, observa-se uma Contracorrente Equatorial Sul (SECC) quase permanente, associada à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no hemisfério sul (Telley *et al.*, 2011). A SECC termina na costa da África, onde se junta ao fluxo ascendente da Corrente Equatorial Subsuperficial (EUC) que segue ao sul da costa formando a chamada Corrente da Angola e depois para o oeste na Corrente Equatorial Sul (SEC), originando uma região de ressurgência ciclônica chamada Domo da Angola (Wacongne & Piton, 1992). Este domo é considerado uma região de ressurgência e de produtividade biológica excelente (Telley *et al.*, 2011), isso torna um ambiente adequado para berçários fortalecendo a hipótese inicial.

7 CONCLUSÃO

O presente estudo preenche lacunas acerca de possíveis diferentes estoques da Cavala-Empinge no Atlântico. Foram consideradas variáveis oceanográficas como os sistemas de correntes superficiais, estações do ano e temperatura para entender a dinâmica local de cada região que pudesse alterar a composição química do ambiente em que o peixe estava no momento da coleta.

Nota-se a composição da população do Brasil com uma maior faixa de comprimento, caracterizando um ambiente favorável tanto para indivíduos mais juvenis e como para os adultos. Nas Ilhas Canárias foram observados indivíduos maiores que podem usar a área como zona de alimentação devido à ressurgência local tornando rica em produtividade. Já para Costa do Marfim foram observados organismos menores, onde pode indicar um ambiente de berçário para a espécie.

O inédito estudo utilizando a química dos otólitos na espécie, foi essencial para reconstruir a dinâmica de ambientes anteriores que estes indivíduos passaram durante seu ciclo de vida e caracterizou o ambiente em que estes foram capturados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, C.Q., Condini, M.V, Tanner, S.E., Reis-Santos, Saint’Pierre, T.D, Seyboth, E., Possamai, B., Hoeninghaus D.B., A.M, **Coastal upwelling influences population structure of dusky grouper *Epinephelus marginatus*: An integrative approach based on otolith chemistry and muscle stable isotopes**, Marine Environmental Research, Volume 189, 106077, ISSN 0141-1136, <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2023.106077> (2023).
- Albuquerque, F. V., Navia, A. F., Vaske, T.Jr., Crespo, O., and Hazin, F. H. V. **Trophic ecology of large pelagic fish in the saint Peter and saint Paul archipelago, Brazil**. Mar. Freshw. Res. 70, 1402–1418. doi: 10.1071/MF18352 (2019).
- Anderson, A.J.; Claiborne, A.M.; Smith, W. **Validation of age estimates for Chum and Sockeye salmon derived from otolith and scale analysis**. Fisheries Research, v. 259, p. 106556, 2023. ISSN 0165-7836. DOI: 10.1016/j.fishres.2022.106556.
- Artetxe-Arrate, I., Fraile, I., Farley, J., Darnaude, AM., Clear, N. et al. **Otolith chemical fingerprints of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the Indian Ocean: First insights into stock structure delineation**. PLOS ONE 16(3): e0249327, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249327>
- Artetxe-Arrate, I., Fraile, I., Crook, D.A., Zudaire, I., Arrizabalaga, H. Greig, A., Murua, H. **Otolith microchemistry: a useful tool for investigating stock structure of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Indian Ocean**. Marine and Freshwater Research, Volume 70, Número 12, Páginas 1708, 2019. DOI: 10.1071/mf19067. Disponível em: <https://doi.org/10.1071%2Fmf19067>
- Avigliano, E., Domanico, A., Sánchez, S., Volpedo, A.V. **Otolith elemental fingerprint and scale and otolith morphometry in *Prochilodus lineatus* provide identification of natal nurseries**. Fish. Res. 186, 1–10 2017. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.07.026>
- Avigliano, E., et al. **Identification of nurseries areas of juvenile *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) (Characiformes: Prochilodontidae) by scale and otolith morphometry and microchemistry**. Neotropical Ichthyology, [s. l.], 15 set. 2016. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20160005>
- Bacchet, P., T. Zysman and Y. Lefèvre. **Guide des poissons de Tahiti et ses îles. Tahiti (Polynésie Francaise): Éditions Au Vent des Îles**. 608 p., 2006.
- Barton, E.D. J. Arístegui, P. Tett, M. Cantón, J. García-Braun, S. Hernández-León, L. Nykjaer, C. Almeida, J. Almunia, S. Ballesteros, G. Basterretxea, J. Escánez, L. García-Weill, A. Hernández-Guerra, F. López-Laatzén, R. Molina, M.F. Montero, E. Navarro-Pérez, J.M. Rodríguez, K. van Lenning, H. Vélez, K. Wild, **The transition zone of the Canary Current upwelling region, Progress**. in Oceanography, Volume 41, Issue 4, 1998, Pages 455-504, ISSN 0079-6611, [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(98\)00023-8](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(98)00023-8).
- Baumann, H.; Gröhsler, T.; Kornilovs, G.; Makarchouk, A.; Feldmann, V. & Temming, A. **Temperature-induced regional and temporal growth differences in Baltic young-of-the-year sprat *Sprattus***. Mar. Ecol. Prog. Ser. 317:225-236, 2006.
- Begg, G.A, Campana S.E, Fowler A.J. and Suthers, I.M. Research and application of **Otolith: current directions in innovation and implementation**. Mar. Freshwater Res., 56: 477-483, 2005.

Brophy, D., Rodríguez-Ezpeleta, N., Fraile, I. et al. **Combining genetic markers with stable isotopes in otoliths reveals complexity in the stock structure of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*)**. *Sci Rep* 10, 14675 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71355-6>

Brophy, D.; Jeffries, T.E.; Danilowicz, B.S. **Elevated manganese concentrations at the cores of clupeid otoliths: possible environmental, physiological, or structural origins**. *Marine Biology* 2003, 144, 779–786. <https://doi.org/10.1007/s00227-003-1240-3>.

Cadrin, S. X., Kerr, L.A., Mariani, S. **Stock identification methods: applications in fishery science**, Second. ed. Academic Press, San Diego, California, 2014
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397003-9.01001-8>

Callicó Fortunato, R.7., Benedito Durà, V., Volpedo, A. **Otolith morphometry and microchemistry as habitat markers for juvenile *Mugil cephalus* (Linnaeus 1758) in nursery grounds in the Valencian community, Spain**. *J. Appl. Ichthyol.* 33 (2), 163–167, 2017. <https://doi.org/10.1111/jai.13291>

Campana, S. E. **Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms, and applications**. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 188, 263–297, 1999.

Campana, S. E.; Annand, M. Christina; Mcmillan, James I. **Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determinations**. *Transactions of the American fisheries Society*, v. 124, n. 1, p. 131-138, 1995.

Campana, S. E.; Chouinard, G. A.; Hanson, J. M.; Frechet, A. & Bratney, J. **Otolith elemental fingerprints as biological tracers of fish stocks**. *Fisheries Research* 46(1-3):343-357, 2000.

Campana, S.E. **Long-term shifts in otolith age interpretation**. *Fisheries Research*, Cardinale, M. P Doering-Arjes, M Kastowsky, and H Mosegaard. 2004. **Effects of sex, stock, and environment on the shape of known-age Atlantic cod (*Gadus morhua*) otoliths**. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 61(2): 158-167.
<https://doi.org/10.1139/f03-151>

coastal waters of the southeastern USA: the importance of submarine groundwater

Collette, B.B. and C.E. Nauen. *FAO Species Catalogue. Vol. 2. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date*. Rome: FAO. *FAO Fish. Synop.* 125(2):137 p, 1983.

Collette, B.B., 1986. **Scombridae (including Thunnidae, Scomberomoridae, Gasterochismatidae and Sardidae)**. p. 981-997. In P.J.P. Whitehead, M.-L. Bauchot, J.-C. Hureau, J. Nielsen and E. Tortonese (eds.) *Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean*, Volume 2. Unesco, Paris, 1986.

Collette, B.B., Graves, J. & Viera Hazin, F.H. 2023. ***Acanthocybium solandri*. The IUCN Red List of Threatened Species 2023**: e.T170331A46938521.
<https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2023-1.RLTS.T170331A46938521.en>. Accessed on 12 February 2024.

Corrêa, G.M.S; Colleto, J.L.; Castello, J.P.; Monteiro-Neto, C.; Costa, M.R. **Identification of fish stock based on otolith as a natural marker: The case of *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758) in the Southwest Atlantic Ocean**. *Fisheries Research*, v. 255, 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2022.106436>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165783622002132> Acesso em: 14 ago. 2023.

- Correia, A.T, Moura, A., Triay-Portella, R., Santos, P.T, Pinto E., Almeida, A.A. Sial, A.N., Muniz, A.A, **Population structure of the chub mackerel (*Scomber colias*) in the NE Atlantic inferred from otolith elemental and isotopic signatures**, Fisheries Research, Volume 234, 105785, ISSN 0165-7836, <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105785>, 2021,.
- Daros, F.A., Spach, H.L., Correia, A.T.. **Habitat residency and movement patterns of *Centropomus parallelus* juveniles in a subtropical estuarine complex**. J. Fish. Biol. 88, 1796–1810, 2016.
- discharge**. Geochim. Cosmochim. Acta 62, 3047–3054, 1998.
- Dorval, E.; Jones, C.M.; Hannigan, R.; van Montfrans, J. **Relating otolith chemistry to surface water chemistry in a coastal plain estuary**. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2007, 64, 411–424.
- Elsdon, T.S.and Gillanders, B.M. **Interactive effects of temperature and salinity on otolith chemistry: challenges for determining environmental histories of fish**. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences - CAN J FISHERIES AQUAT SCI. 59. 1796-1808. 10.1139/f02-154. on 24 December 2002.
- Eschmeyer, W.; Fricke, R.; David Fong, J.D. **Genera/Species by Family/Subfamily in Eschmeyer's Catalog of Fishes**. California Academy of Sciences (Website), 2024. Disponível em: <https://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/SpeciesByFamily.asp>. Acesso em: 13 mar. 2024.
- Franco, T. P., Albuquerque, C.Q., Santos, R.S, Saint'Pierre T.D., G. Araújo F.G., **Leave forever or return home? The case of the whitemouth croaker *Micropogonias furnieri* in coastal systems of southeastern Brazil indicated by otolith microchemistry**, Marine Environmental Research, Volume 144, 2019, Pages 28-35, ISSN 0141-1136, <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.11.015>
- Ghorbel, B, Meriam, M.M, Houeto M.F, Adjibayo, A.C, Quignard, J.P, Trabelsi, M., **Use of Otolith Microchemical and Morphological Analyses for Stock Discrimination of *Sarpa Salpa* on Two Tunisian Islands, Djerba and Kerkennah**, Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 104 (2024), <http://dx.doi.org/10.1017/S0025315423000954>
- Gillanders and Kingsford. **Elements in otoliths may elucidate the contribution of estuarine recruitment to sustaining coastal reef populations of a temperate reef fish**. Marine Ecology Progress Series 141: 13-20, 1996.
- Gillanders, B.M. **Using elemental chemistry of fish otoliths to determine connectivity between estuarine and coastal habitats**. Estuarine, Coastal and Shelf Science, v. 64, n. 1, p. 47-57, 2005.
- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. Brasília: ICMBio, 2018.
- Izzo C., Reis-Santos P., Gillanders B.M. **Otolith chemistry does not just reflect environmental conditions: a meta-analytic evaluation**. Fish Fisheries 19: 441–454, 2018.
- Jenkins K.L.M., McBride R.S. **Reproductive biology of wahoo, *Acanthocybium solandri*, from the Atlantic coast of Florida and the Bahamas**. Marine and Freshwater Research 60, 893-897. <https://doi.org/10.1071/MF08211> (2009)
- Kerr, L., Hintzen, N., Cadrin, S., 2017. **Lessons learned from practical approaches to reconcile mismatches between biological population structure and stock units of marine fish**. ICES J. Mar. Sci. 74, 1708–1722. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw188>

- Kitchens L.L., Rooker J.R., Reynal L., Falterman B.J., Saillant E., Murua H. **Discriminating among yellowfin tuna *Thunnus albacares* nursery areas in the Atlantic Ocean using otolith chemistry.** *Mar Ecol Prog Ser* 603:201-213, 2018. <https://doi.org/10.3354/meps12676>
- Limburg, K.E.; Casini, M. **Effect of Marine Hypoxia on Baltic Sea Cod *Gadus morhua*: Evidence From Otolith Chemical Proxies.** *Frontiers in Marine Science*, v. 5, 2018-a. doi: 10.3389/fmars.2018.00482.
- Limburg, K.E.; Wuenschel, M.J.; Hüseyin, K.; Heimbrand, Y.; Samson, M. **Making the Otolith Magnesium Chemical Calendar-Clock Tick: Plausible Mechanism and Empirical Evidence.** *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, v. 28, n. 3, p. 479-493, 2018-b. doi:10.1080/23308249.2018.1458817.
- Lin Y-T., Wang C-H., You C-F., Tzeng W-N. **Ba/ Ca ratios in otoliths of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) as a biological tracer of upwelling in the Great Australian Bight.** *J Mar Sci Technol* 21: 733–741, 2013.
- Martin, G.B; Thorrold, S.R. **Temperature and Salinity Effects on Magnesium, Manganese, And Barium Incorporation In Otoliths Of Larval And Early Juvenile Spot *Leiostomus xanthurus*.** *Marine Ecology Progress Series*, V. 293, P. 223-232, 2005.
- Militante, C. 2011. ***Acanthocybium solandri*: Occurrence Records.** *FishBase*, 19 ago. 2011. Disponível em: <https://www.fishbase.se/museum/OccurrencesList.php?genus=Acanthocybium&species=solandri> . Acesso em: 4 jul. 2022.
- Miller, J.A. **Effects of water temperature and barium concentration on otolith composition along a salinity gradient: Implications for migratory reconstructions,** *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Volume 405, Issues 1–2, 2011, Pages 42-52, ISSN 0022-0981, <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.05.017>.
- Morales-Nin, B., Geffen, A.J., Pérez-Mayol, S., Palmer, M., González-Quirós, R., Grau, A. **Seasonal and ontogenic migrations of meagre (*Argyrosomus regius*) determined by otolith geochemical signatures.** *Fish. Res.* 127–128, 154–165, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2012.02.012>.
- Moura, A. A.A. Muniz, E. Mullis, J.M. Wilson, R.P. Vieira, A.A. Almeida, E. Pinto, G.J.A. Brummer, P.V. Gaever, J.M.S. Gonçalves, A.T. Correia, **Population structure and dynamics of the Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) in the North Atlantic inferred from otolith chemical and shape signatures,** *Fisheries Research*, Volume 230, 2020, 105621, ISSN 0165-7836, <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105621>.
- Nazir, A; Khan, M.A. **Using otoliths for fish stock discrimination: Status and challenges.** *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, v. 51, n. 2, p. 199-218, 2021.
- Perelman, J., Schmidt, K., Haro, I., Tibbetts, I., & Zischke, M. **Feeding dynamics, consumption rates and daily ration of wahoo *Acanthocybium solandri* in Indo-Pacific waters.** *Journal of fish biology*, 90(5), 1842-1860, 2017. <https://doi.org/10.1111/jfb.13270>.
- Popper, A. N. & Lu, Z. 2000. **Structure-function relationships in fish otolith organs.** *Fisheries Research* 46(1-3):15-25.
- R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.r-project.org/> Acesso em: [20 de julho de 2023].
- Reis-Santos, P. et al. **Reading the biomineralized book of life: Expanding Otolith biogeochemical research and applications for fisheries and ecosystem-based management.** *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, v. 33, n. 2, p. 411-449, 2023.

- Romeo, T., Azzurro, E. and Mostarda, E. **Record of *Acanthocybium solandri* in the Central Mediterranean Sea, with notes on parasites.** J. Mar. Biol. Assoc. UK, 85: 1295–1296, 2005.
- Rossi-Wongtschowki, C., A., Siliprandi, C., Brenhha-Nunes, M., Conversani, V., Santificetur, C., and Giaretta, M. 2016. COSS-Brasil: **Coleção de otólitos de peixes marinhos da região sudeste-sul do Brasil.** Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. <http://www.usp.br/crossbrasil> (versão 2016)
- Rutherford, K., Fennel, K., 2018. **Diagnosing transit times on the north western North Atlantic continental shelf.** Ocean Sci. 14, 1207–1221.
- Shaw, T.J., Moore, W.S., Kloepfer, J., Sochaski, M.A. **The flux of barium to the**
- Sougueh, M. A., Labonne, M., Daher, A., Ali, A., and Kaplan, D. M., “**Spatiotemporal structure of narrow-barred Spanish mackerel (*Scomberomorus commerson*) from the Red Sea and western Indian Ocean based on otolith micro-chemistry**”, Aquatic Living Resources, vol. 36, 2023. doi:10.1051/alr/2023015.
- Stanley, R.R.E., Bradbury, I.R., DiBacco, C., Snelgrove, P.V.R., Thorrold, S.R., Killen, S.S. **Environmentally mediated trends in otolith composition of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*).** ICES J. Mar. Sci. 72 (8), 2350–2363, 2015.
- Sturrock, A.M., Trueman, C.N., Darnaude, A.M., Hunter, E. **Can otolith elemental chemistry retrospectively track migrations in fully marine fishes?** J. Fish. Biol. 81, 766–795, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03372.x>.
- Talley, L.D., Pickard, G.L., Emery W.J., Swift J.H. **Descriptive Physical Oceanography: An Introduction.** 6. ed. Academic Press, 2011. Elsevier, Boston, 560pp. ISBN 0080939112, 9780080939117.
- Theisen T.C., Bowen B.W., Lanier W., Baldwin J.D. **High connectivity on a global scale in the pelagic wahoo, *Acanthocybium solandri* (tuna family Scombridae).** Mol Ecol. 2008 Oct;17(19):4233-47. doi: 10.1111/j.1365-294x.2008.03913.x. PMID: 19378403.
- Thomas, O., Ganio, K., Roberts, B., Swearer, S., 2017. **Trace element–protein interactions in endolymph from the inner ear of fish: implications for environmental reconstructions using fish otolith chemistry.** Metallomics 9, 239–249. <https://doi.org/10.1039/C6MT00189K>
- Tomczak, M., Godfrey, J. S. **Regional Oceanography: An introduction.** pdf version, 2001.
- Tulp, I., Keller, M., Navez, J., Winter, H.V., Graaf, M., Baeyens, W. **Connectivity between migrating and landlocked populations of a diadromous fish species investigated using otolith microchemistry.** PLoS One 8, e69796, 2013.
- Vélez-Belchí, P., González-Carballo, M., Pérez-Hernández, M.D., Hernández-Guerra, A., **Open ocean temperature and salinity trends in the Canary current large Marine ecosystem.** In: Valdés, L., D’éniz-González, I. (Eds.), Oceanographic and Biological Features in the Canary Current Large Marine Ecosystem. IOC-UNESCO, Paris, pp. 299–308. IOC Technical Series, No. 115URI: <http://hdl.handle.net/1834/9196>, 2015.
- Viñas, J. O, G. et al. **Report for the short-term contract for ICCAT SMTYP for the biological samples collection for growth, maturity and genetics studies.** Sci. Pap. Iccat, [s. l], v. 76, n. 105, p. 81-92, jul. 2019. Disponível em: https://www.iccat.int/Documents/CVSP/CV076_2019/n_7/CV76007081.pdf Acesso em: 19 jul. 2023.

Volume 263, 2023, 106681, ISSN 0165-7836, <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2023.106681>.
Walther, B.D., Limburg, K.E.. **The use of otolith chemistry to characterize diadromous migrations**. J. Fish. Biol. 81, 796–825. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03371.x>. 2012.

Woodcock, S.H.; Munro, A.R.; Crook, D.A.; Gillanders, B.M. **Incorporation of magnesium into fish otoliths: Determining the contribution from water and diet**. Geochimica et Cosmochimica Acta 2012, 94, 12-21. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2012.07.003>.

Zhang, Z. & N.W. Runham. **Effects of food ration and temperature level and the growth of *Oreochromis niloticus* (L.) and their otoliths**. J. Fish Biol, 1992.

Zischke, M. T.; Farley, J. H.; Griffiths, S. P.; Tibbetts, I. R. **Reproductive biology of wahoo, *Acanthocybium solandri*, off eastern Australia**. Reviews in Fish Biology and Fisheries 2013, 23, 491–506. doi: 10.1007/s11160-013-9304-z.