



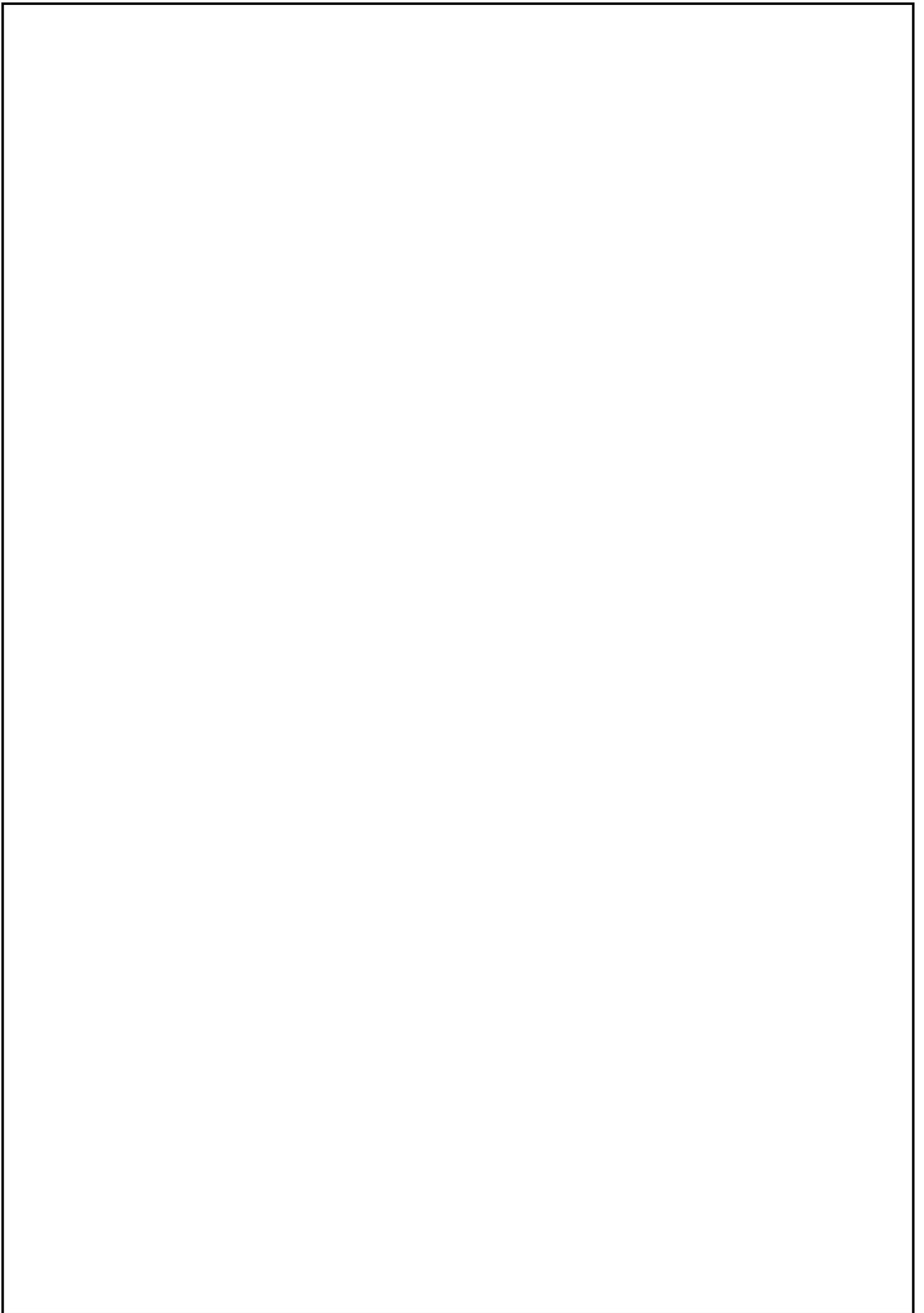
MARINHA DO BRASIL
INSTITUTO DE ESTUDOS DO MAR ALMIRANTE PAULO MOREIRA
UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
PROGRAMA ASSOCIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA
MARINHA

RODRIGO SARDINHA LUTTERBACH VEIGA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PESCADOS DO LITORAL PERNAMBUCANO
IMPACTADOS PELO DERRAMAMENTO DE ÓLEO DE 2019: APLICANDO-SE
TÉCNICAS DE ESPECTROMETRIAS DE MASSA POR ABUNDÂNCIA E DE
RAZÕES ISOTÓPICAS

ARRAIAL DO CABO / RJ

2023



RODRIGO SARDINHA LUTTERBACH VEIGA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PESCADOS DO LITORAL PERNAMBUCANO
IMPACTADOS PELO DERRAMAMENTO DE ÓLEO DE 2019: APLICANDO-SE
TÉCNICAS DE ESPECTROMETRIAS DE MASSA POR ABUNDÂNCIA E DE
RAZÕES ISOTÓPICAS

Dissertação de Mestrado, apresentada ao Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira e à Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Biotecnologia Marinha.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Meigikos dos Anjos
Coorientador: Dr. Marcelo Costa Muniz

ARRAIAL DO CABO / RJ

2023

RODRIGO SARDINHA LUTTERBACH VEIGA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PESCADOS DO LITORAL PERNAMBUCANO
IMPACTADOS PELO DERRAMAMENTO DE ÓLEO DE 2019: APLICANDO-SE
TÉCNICAS DE ESPECTROMETRIAS DE MASSA POR ABUNDÂNCIA E DE
RAZÕES ISOTÓPICAS

Dissertação apresentada ao Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira e
à Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do título
de Mestre em Biotecnologia Marinha.

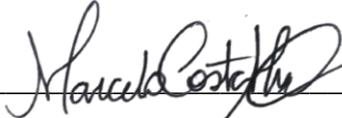
COMISSÃO JULGADORA:



Dr. Roberto Meigikos dos Anjos

Universidade Federal Fluminense (UFF)

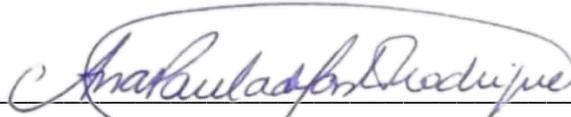
Professor Orientador – Presidente da Banca Examinadora



Dr. Marcelo Costa Muniz

Universidade Federal Fluminense (UFF)

Coorientador



Dra. Ana Paula de Castro Rodrigues

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)



Dr. Ricardo Coutinho

Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM)

Arraial do Cabo, 15 de junho de 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

V426a Veiga, Rodrigo Sardinha Lutterbach
Avaliação da qualidade de pescados do litoral pernambucano impactados pelo derramamento de óleo de 2019: aplicando-se técnicas electrometrias de massa por abundância e de razões isotópicas / Rodrigo Sardinha Lutterbach Veiga. – Arraial do Cabo, 2023.

140 f.: il.; 30 cm.

Orientador: Roberto Meigikos dos Anjos.

Coorientador: Marcelo Costa Muniz

Dissertação (Mestrado) – Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira e Universidade Federal Fluminense - IEAPM/UFF, Programa Associado de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha, Arraial do Cabo, 2023.

1. Derramamento de óleo 2. Razões isotópicas. 3. Biotecnologia Marinha
I. Anjos, Roberto Meigikos dos. II. Muniz, Marcelo Costa. III. Título.

CDD:660.6

Aos meus pais e irmãos, Fabiano, Jussary, Diego e Gustavo, por estarem sempre ao meu lado e me ajudarem a construir quem sou hoje. A minha esposa, Cláudia, por transformar minha vida e me ajudar a seguir em frente.

Agradecimentos

À minha família e esposa por me acompanharem nessa longa caminhada de altos e baixos.

Ao Roberto Meigikos dos Anjos e o Marcelo Costa Muniz pela dedicação, paciência que tiveram com minha formação e pela amizade construída ao longo desses anos.

Aos amigos do LARA, Arthur Merat, Bárbara Cardozo, João Paulo Felizardo, Larissa Chao, Mariana Vezzone, Marianna Guimarães, Pedro Henrique de Andrade, Renan Cardoso, Ruan de Azevedo, Sônia Gurgel e Thamires Bernardo, que diretamente ou indiretamente me auxiliaram nessa caminhada.

Aos professores do IEAPM / UFF que tive a oportunidade de aprender em suas aulas.
A CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS E HIPÓTESES	21
2.1 OBJETIVOS GERAIS	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
2.3 HIPÓTESE	22
3 BASE TEÓRICA	23
3.1 RAZÕES DE ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE CARBONO E NITROGÊNIO E A RELAÇÃO C/N	23
3.1.1 <i>Fracionamento isotópico</i>	26
3.1.2 <i>Correlações entre valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ em animais e suas dietas</i>	27
3.1.3 <i>Razões C/N</i>	29
3.1.4 <i>Fontes alimentares da região Nordeste</i>	30
3.2 RELAÇÕES ENTRE DADOS BIOMÉTRICOS	33
3.2.1 <i>Relação Massa-Comprimento</i>	33
3.2.2 <i>Modelo de crescimento de von Bertalanffy</i>	33
3.3 O PETRÓLEO	34
3.3.1 <i>Composição e propriedades</i>	35
3.3.2 <i>Comportamento no meio ambiente</i>	36
3.3.2.1 <i>Espalhamento</i>	37
3.3.2.2 <i>Evaporação</i>	38
3.3.2.3 <i>Dispersão</i>	38
3.3.2.4 <i>Dissolução</i>	39
3.3.2.5 <i>Emulsificação</i>	39
3.3.2.6 <i>Sedimentação</i>	40
3.3.2.7 <i>Biodegradação</i>	40
3.3.2.8 <i>Foto-oxidação</i>	41
3.3.3 <i>Impactos no meio ambiente</i>	41
3.4 NÍQUEL E VANÁDIO	42
3.4.1 <i>Razões V/Ni</i>	45
3.4.2 <i>Biomagnificação trófica</i>	45
4 MATERIAIS E MÉTODOS	46
4.1 PROCEDIMENTO DE COLETA	46
4.2 ESPÉCIES ESTUDADAS	50
4.2.1 <i>Família: Ariidae</i>	50
4.2.1.1 <i>Aspistor luniscutis (Valenciennes, 1840)</i>	51
4.2.1.2 <i>Bagre marinus (Mitchill, 1815)</i>	52
4.2.1.3 <i>Sciades couma (Valenciennes, 1840)</i>	53
4.2.2 <i>Família: Lutjanidae</i>	54
4.2.2.1 <i>Ocyurus chrysurus (Bloch, 1791)</i>	54
4.3 AMOSTRAGENS	55
4.4 PREPARO E ANÁLISES DAS AMOSTRAS	56
4.4.1 <i>Análises elementares: $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, %C e %N</i>	56
4.4.1.1 <i>Padrões utilizados no Laboratório de Radioecologia e Alterações Ambientais – LARA / UFF</i>	59
4.4.1.2 <i>Porcentagens de C e N e razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$</i>	59
4.4.2 <i>Análises das concentrações de Ni e V</i>	63
4.4.2.1 <i>Padrão utilizado no Laboratório de Caracterização de Águas (LAB-ÁGUAS) / PUC-RJ</i>	66
4.4.2.2 <i>Concentrações de Ni e V</i>	66
4.5 <i>CÁLCULO DAS RAZÕES C/N E V/Ni</i>	68
4.6 <i>CÁLCULO DO FATOR DE BIOMAGNIFICAÇÃO TRÓFICA (FBM)</i>	68

4.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	69
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
5.1 RESULTADOS GERAIS	75
5.2 RESULTADOS DAS LOCALIDADES	82
5.2.1 Barra de Sirinhaem.....	82
5.2.2 Ilha de Itamaracá.....	86
5.2.3 Maracaípe.....	89
5.2.4 São José da Coroa Grande.....	92
5.2.5 Tamandaré.....	94
6 CONCLUSÃO.....	96
7 REFERÊNCIAS	100
APÊNDICE A – DADOS DOS INDIVÍDUOS DO ESTUDO.....	108
APÊNDICE B – ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	115

Lista de ilustrações

Figura 3.1: Razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das possíveis fontes de alimentação tomando como base dados reportados na literatura (WIDORY, 2006; YU *et al.*, 2010; MARTINELLI *et al.*, 2009; MELO, 2019; YOGUI e SCHWAMBORN, 2019; SOUSA-KRULLSKI, 2011; FERREIRA, 2018).

Figura 3.2: Ilustração dos principais processos de refino do petróleo e principais derivados. Modificado de NEIVA (1983).

Figura 3.3: Processos de intemperizações do petróleo e principais derivados no ambiente aquático. Modificado de ITOPI (2011).

Figura 4.1: Pontos de coletas dos dois trabalhos de campo realizados no litoral do estado de Pernambuco. Mapa modificado de WIKIPÉDIA (2022).

Figura 4.2: Amostras de a) Guaiúba (Lutjanidae) e b) Bagres (Ariidae) coletados no segundo campo em Pernambuco.

Figura 4.3: Amostras coletadas em 2021 embaladas e armazenadas para o transporte aéreo.

Figura 4.4: Exemplar coletado da espécie *Aspistor luniscutis*.

Figura 4.5: Exemplar coletado da espécie *Bagre marinus*.

Figura 4.6: Exemplar coletado da espécie *Sciades couma*.

Figura 4.7: Exemplar coletado da espécie *Ocyurus chrysurus*.

Figura 4.8: a) Biometria de uma amostra de Guaiúba (Lutjanidae); b) Obtenção de amostras de músculos; c) Amostra eviscerada; d) Órgãos coletados.

Figura 4.9: Liofilização dos tecidos dos peixes coletados.

Figura 4.10: Amostras para a determinação das razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ e dos percentuais de carbono e nitrogênio. a) amostras maceradas e homogeneizadas, b) amostras pesadas e c) amostras encapsuladas em cadinho de estanho

Figura 4.11: Imagem do sistema EA-IRMS utilizado no LARA.

Figura 4.12: Reatores de oxidação e redução. Modificado de Thermo (2011).

Figura 4.13: Ilustração do esquema seguido pela amostra dentro do EA. Modificado de (Thermo, 2011).

Figura 4.14: Ilustração do esquema de funcionamento do espectrômetro de massas (CARDOSO, 2018).

Figura 4.15: Digestão ácida das amostras dos músculos dos peixes coletados no litoral de Pernambuco.

Figura 4.16: Rampa de aquecimento programada no bloco digestor.

Figura 4.17: Amostras avolumadas para 10,0 ml com água Mili-Q.

Figura 4.18: Centrifugação e transferência dos sobrenadantes para tubos menores do tipo Falcon.

Figura 4.19: Seção transversal do esquema de um ICP-MS quadrupolo. Modificado de KOŠLER & SYLVESTER (2003).

Figura 4.20: ICP-MS utilizado pelo Laboratório de Caracterização de Águas (LAB-ÁGUAS) na PUC-

Figura 5.1: Razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das espécies coletadas em Pernambuco e das possíveis fontes de alimentação tomando como base dados reportados na literatura (WIDORY, 2006; MARTINELLI *et al.*, 2009; YU *et al.*, 2010; SOUSA-KRULLSKI, 2011; FERREIRA, 2018; MELLO, 2019; YOGUI & SCHWAMBORN, 2019).

Figura 5.2: Regressão linear das concentrações de Ni e V versus o nível trófico.

Figura 5.3: Distribuição dos dados para as famílias Ariidae e Lutjanidae coletadas no litoral de Pernambuco: A e B) razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$; C e D) percentuais de carbono e nitrogênio; E e F) concentrações de Ni e V; G e H) razões C/N e V/Ni.

Figura 5.4: Distribuição dos dados para as espécies coletadas no litoral de Pernambuco: A e B) razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$; C e D) percentuais de carbono e nitrogênio; E e F) concentrações de Ni e V; G e H) razões C/N e V/Ni.

Figura 5.5: Distribuição dos dados para as espécies coletadas em Barra de Sirinhaem: A e B) razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$; C e D) percentuais de carbono e nitrogênio; E e F) concentrações de Ni e V; G e H) razões C/N e V/Ni.

Figura 5.6: Razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das espécies coletadas em Barra de Sirinhaem e das possíveis fontes de alimentação tomando como base dados reportados na literatura (WIDORY, 2006; MARTINELLI *et al.*, 2009; YU *et al.*, 2010; SOUSA-KRULLSKI, 2011; FERREIRA, 2018; MELLO, 2019; YOGUI & SCHWAMBORN, 2019).

Figura 5.7: Razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das espécies coletadas em Ilha de Itamaracá e das possíveis fontes de alimentação tomando como base dados reportados na literatura (WIDORY, 2006; MARTINELLI *et al.*, 2009; YU *et al.*, 2010; SOUSA-KRULLSKI, 2011; FERREIRA, 2018; MELLO, 2019; YOGUI & SCHWAMBORN, 2019).

Figura 5.8: Distribuição dos dados para as espécies coletadas em Ilha de Itamaracá: A e B) razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$; C e D) percentuais de carbono e nitrogênio; E e F) concentrações de Ni e V; G e H) razões C/N e V/Ni.

Figura 5.9: Razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das espécies coletadas em Maracaípe e das possíveis fontes de alimentação tomando como base dados reportados na literatura (WIDORY, 2006; MARTINELLI *et al.*, 2009; YU *et al.*, 2010; SOUSA-KRULLSKI, 2011; FERREIRA, 2018; MELLO, 2019; YOGUI & SCHWAMBORN, 2019).

Figura 5.10: Distribuição dos dados para as espécies coletadas em Maracaípe: A e B) razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$; C e D) percentuais de carbono e nitrogênio; E e F) concentrações de Ni e V; G e H) razões C/N e V/Ni.

Figura 5.11: Razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das espécies coletadas em São José da Coroa Grande e das possíveis fontes de alimentação tomando como base dados reportados na literatura (WIDORY, 2006; MARTINELLI *et al.*, 2009; YU *et al.*, 2010; SOUSA-KRULLSKI, 2011; FERREIRA, 2018; MELLO, 2019; YOGUI & SCHWAMBORN, 2019).

Figura 5.12: Razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das espécies coletadas em Tamandaré e das possíveis fontes de alimentação tomando como base dados reportados na literatura (WIDORY, 2006; MARTINELLI *et al.*, 2009; YU *et al.*, 2010; SOUSA-KRULLSKI, 2011; FERREIRA, 2018; MELLO, 2019; YOGUI & SCHWAMBORN, 2019).

Lista de tabelas

Tabela 3.1: Abundância relativa de alguns isótopos de interesse (MARTINELLI *et al.*, 2009).

Tabela 3.2: Padrões de referência utilizados internacionalmente (CAXITO e SILVA, 2015).

Tabela 3.3: Intervalos de $\delta^{13}\text{C}$ $\delta^{15}\text{N}$ de possíveis itens alimentares encontrados na região Nordeste.

Tabela 4.1: – Peixes coletados no campo realizado no litoral de Pernambuco.

Tabela 4.2: – Concentração de Ni no material de referência Dorm-2 (Dogfish muscle) do NRC, Canadá. Os valores estão expressos no formato (médias \pm desvios padrão), em mg/kg de massa seca (National Research Council of Canada).

Tabela 5.1: – Médias (média \pm desvio padrão) dos dados biométricos e das análises elementares das espécies do Nordeste do presente estudo. n: número de indivíduos; M: Massa; C.T.: Comprimento total; N.T.: Nível trófico.

Tabela 5.2: – Médias (média \pm desvio padrão) dos dados biométricos, das concentrações de Ni e V e razões V/Ni das espécies do Nordeste do presente estudo. n: número de indivíduos; M: Massa; C.T.: Comprimento total.

Tabela 5.3: – Coeficientes angulares (b) e R^2 das regressões lineares das concentrações de Ni e V. Valores dos FBM's para os elementos-traço Ni e V calculados para as amostras do estudo.

Resumo

Em agosto de 2019, foram detectadas grandes manchas de óleo bruto que atingiram a costa de 11 estados do nordeste e sudeste do Brasil. Dois anos após esse derramamento de óleo, foram coletadas amostras de peixes pertencentes às famílias Ariidae e Lutjanidae, pois possuem grande interesse econômico na região do Nordeste brasileiro. Análises dos sinais isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ (via EA-IRMS) e concentrações dos elementos-traço Ni e V (via ICP-MS) foram realizadas e comparadas com dados reportados na literatura sobre resíduos de petróleo e biota impactada por derramamento de óleo e/ou com intensa atividade antrópica. Os dados das razões isotópicas do carbono dos espécimes adquiridos tiveram suas médias variando entre -17,20 ‰ e -13,19 ‰, enquanto na literatura o petróleo cru e seus derivados apresentam os $\delta^{13}\text{C}$ variando entre -30,00 ‰ e -26,50 ‰. As concentrações médias de níquel e vanádio encontradas nos indivíduos da família Ariidae variaram entre 0,04 mg/kg – 0,11 mg/kg e 0,05 mg/kg – 0,08 mg/kg respectivamente, enquanto para os integrantes da família Lutjanidae essas mesmas concentrações médias variaram entre 0,01 mg/kg – 0,04 mg/kg e 0,05 mg/kg – 0,06 mg/kg de massa úmida, respectivamente. Concluiu-se que, na existência de contaminação remanescente, o petróleo não influenciou o sinal isotópico das amostras coletadas ou, que esses organismos, não estavam mais expostos a essas substâncias. Também se concluiu, com base na literatura, que os intervalos das concentrações de Ni e V apresentam valores menores daqueles citados nos estudos ou interseccionam-se próximos aos seus valores mínimos, sugerindo que os valores encontrados no litoral da região Nordeste estão refletindo concentrações proporcionais àquelas preexistentes no ambiente e não concentrações características de locais impactados por derramamentos de petróleo.

Palavras-chave: Derramamento de óleo, Nordeste brasileiro, Ariidae, Lutjanidae, razões isotópicas, elementos-traço.

Abstract

In August 2019, large slicks of crude oil were detected that reached the coast of 11 states in the northeast and southeast of Brazil. Two years after this oil spill, samples of fish belonging to the Ariidae and Lutjanidae families were collected, as they are of great economic interest in the Brazilian Northeast region. Analyses of $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ isotopic signals (via EA-IRMS) and concentrations of Ni and V trace elements (via ICP-MS) were performed and left with data reported in the literature on oil residues and biota impacted by oil spills and/or with intense anthropic activity. Data on the isotopic ratios of carbon in the specimens acquired had their means varying between -17.20‰ and -13.19‰ , while in the literature crude oil and its derivatives presented $\delta^{13}\text{C}$ varying between -30.00‰ and $-26,50\text{‰}$. The mean concentrations of nickel and vanadium found in individuals of the Ariidae family ranged from $0.04\text{ mg/kg} - 0.11\text{ mg/kg}$ and $0.05\text{ mg/kg} - 0.08\text{ mg/kg}$ respectively, while for members of the family Lutjanidae these same average concentrations varied between $0.01\text{ mg/kg} - 0.04\text{ mg/kg}$ and $0.05\text{ mg/kg} - 0.06\text{ mg/kg}$ of wet mass, respectively. It was concluded that, in the presence of remaining contamination, the oil did not influence the isotopic signal of the collected samples or that these organisms were no longer exposed to these substances. It was also concluded, based on the literature, that the concentration intervals of Ni and V were the lowest mentioned in the studies or intersect close to their minimum values, suggesting that the values found on the coast of the Northeast region are reflecting pre-existing proportionate experiences in the environment and not concentrated features of locations impacted by oil spills.

Keywords: Oil spill, Northeast Brazil, Ariidae, Lutjanidae, isotopic ratios, trace elements.

1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas costeiros apresentam diversas funções ecológicas importantes para as regiões litorâneas, como proteção da costa, produtividade pesqueira e ciclagem de nutrientes e minerais. Além disso, possuem altas produtividades primária e secundária e suportam uma grande abundância e diversidade de invertebrados e peixes, servindo como locais de proteção, alimentação e reprodução desses animais (BECK *et al.*, 2001; DANTAS, 2008 e 2010; LITIVIN, 2018). Seus serviços ecossistêmicos englobam desde serviços de abastecimento (como água e alimentos), serviços regulatórios (como controle de doenças e enchentes), até serviços culturais, como turismo, recreação e religião (TOTH, 2003; GARCIA, 2019). Cardoso (2007) ressalta, em sua dissertação de mestrado, que esses ecossistemas são fontes abundantes de recursos biológicos e naturais, que podem ser comparáveis ou até mesmo superiores às florestas tropicais, sendo uma fonte importantíssima de alimentos e emprego, como citado anteriormente. Em todo o mundo, mais de um bilhão de pessoas dependem dos serviços ecossistêmicos associados às regiões litorâneas, além de diversas economias dependerem diretamente dos insumos obtidos desses locais (IAEA, 2018). Segundo a Agência Internacional de Energia Atômica (2018), peixes e frutos do mar são as principais fontes primárias de proteína e gordura para essa população. Portanto, estudos relacionados às pressões e impactos antropogênicos nesses ecossistemas são de suma importância.

O desenvolvimento industrial é uma consequência do crescimento de nossa sociedade moderna, visando facilitar as relações de trabalho e interpessoais do homem. Contudo, esse desenvolvimento também contribui para a degradação do meio ambiente, através das emissões de gases poluentes e descartes inadequados de resíduos sólidos e líquidos (SILVA, 2007). Eles contaminam o solo, lençóis freáticos, estuários e oceanos, tornando-se um sério problema, que afeta a saúde e o bem-estar de pessoas que vivem principalmente nas áreas urbanas. Ambientes costeiro-marinhos sofrem frequentemente com as atividades antrópicas, uma vez que são, frequentemente, os destinos de tais poluentes (SILVA, 2007). Substâncias tóxicas encontrados no petróleo, como metais pesados e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), são aquelas que apresentam maior potencial

toxicológico nos organismos (PEDROZO *et al.* 2002). Seus derivados apresentam efeitos carcinogênicos e possuem elevada tendência à bioacumulação (D'ANDREA e REDDY, 2013; PEDROZO *et al.* 2002; SILVA, 2007). Essas substâncias podem levar a morte instantânea do plâncton, apresentando efeitos a longo prazo nos organismos marinhos e a extinção de muitas espécies (MASCARELLI, 2010). Também podem biomagnificar nos indivíduos das cadeias alimentares até chegarem ao homem (GEO BRASIL, 2002; SILVA, 2004), afetando diretamente e/ou indiretamente a saúde e as atividades econômicas das regiões afetadas.

Os ecossistemas aquáticos podem sofrer alterações significativas devida à contaminação da água por óleo, uma vez que os compostos químicos estranhos aos sistemas biológicos (xenobióticos) apresentam-se mais biodisponíveis para os peixes e outros organismos (PEDROZO *et al.*, 2002). Muitos processos naturais contribuem para a entrada de compostos do petróleo no meio ambiente, como incêndios florestais ou infiltrações de óleo, porém sua principal fonte é antropogênica, principalmente da combustão incompleta de combustíveis fósseis e madeira, derramamentos de óleo e descargas de navios e lodo de esgoto (SANTANA *et al.*, 2018). Uma vez que atingem os ecossistemas aquáticos, esses compostos são principalmente acumulados em sedimentos de grãos finos e partículas suspensas, devido à sua natureza hidrofóbica, onde em seguida podem ser remobilizados na coluna de água para finalmente se tornarem biodisponíveis para os organismos (OLIVIA *et al.*, 2017). Nos peixes, a contaminação pode ocorrer pelo contato direto dos compostos encontrados na coluna d'água com as suas brânquias, pela absorção deles por seus ovos, larvas e estágios juvenis e através de alimento contaminado (PEDROZO *et al.*, 2002; U.S. EPA, 1999). Os peixes expostos ao óleo podem sofrer alterações nas frequências cardíacas e respiratórias, terem seus fígados aumentados, apresentarem prejuízos nas taxas de crescimento e demonstrarem deformações nas barbatanas. Também podem apresentar uma variedade de alterações bioquímicas, celulares, reprodutivas e alterações comportamentais. A exposição contínua a alguns compostos do petróleo cru pode causar anormalidades genéticas e câncer em espécies mais sensíveis (U.S. EPA, 1999).

Os efeitos biológicos sobre os organismos marinhos vão depender de fatores como tempo de permanência e da biodisponibilidade desses compostos nos ambientes atingidos (SILVA, 2004). Também dependerão da capacidade dos

organismos acumularem e metabolizarem essas substâncias, do destino desses metabólitos e das interferências que esses compostos podem causar nos processos metabólicos desses organismos, podendo afetar suas chances de sobrevivência e de reprodução. No longo prazo, é de extrema importância observar as mudanças que esses efeitos podem causar na estrutura e nas funções das comunidades afetadas e nos impactos sobre os recursos pesqueiros (SILVA, 2004). Os hidrocarbonetos do petróleo possuem facilmente a capacidade de atravessar as membranas dos seres vivos e atingir a corrente sanguínea, uma vez que são compostos altamente lipofílicos, se distribuindo e sendo armazenado no tecido adiposo devido a sua alta lipossolubilidade. Suas distribuições nos órgãos dependerão do tempo de exposição e é proporcional a seus conteúdos lipídicos (PEDROZO *et al.*, 2002).

A exposição humana aos compostos encontrados no petróleo pode ocorrer através da inalação, contato com a pele ou pela ingestão de alimentos contaminados, sendo essa última sua principal fonte de absorção, principalmente os que possuem de quatro a seis anéis aromáticos (WHO, 2021b). Evidências científicas sugerem uma correlação positiva entre as populações expostas aos hidrocarbonetos encontrados no ambiente com o aumento das incidências de câncer, como o de mama, infantil e pulmonar, uma vez que, como dito anteriormente, muitos deles são considerados cancerígenos para os humanos e supostamente causam danos ao DNA (WHO, 2021b). Alguns compostos são conhecidos por serem potentes carcinógenos e, essa classe de contaminantes, é de alta prioridade para a regulamentação da poluição ambiental e avaliação de risco ecológico de áreas afetadas (BEYER *et al.*, 2010). Porém, essa avaliação da exposição das populações afetadas, em geral, é difícil devido ao tempo necessário para o desenvolvimento do câncer e a possibilidade de alteração das condições de exposições ao longo do tempo (WHO, 2021b). A Organização Mundial de Saúde (OMS) chama atenção que há poucos estudos epidemiológicos que apoiam a relação causal entre a exposição dos compostos e a incidência de câncer nas populações, e ressalta a necessidade de estudos que possam corroborar essas evidências (WHO, 2021b).

Metais pesados como o Ni e V são encontrados no petróleo em substâncias orgânicas metálicas de baixa concentração (PEDROZO *et al.*, 2002), e são considerados, para o meio ambiente, como poluentes de origem antrópica (MIRANDA, 2019). Nos ambientes aquáticos, os organismos não costumam acumular quantidades

significativas de Ni e, aparentemente em peixes carnívoros, sua concentração não tende a aumentar à medida que crescem (WHO, 2021a). Estudos que avaliaram os fatores de bioconcentração de Ni em organismos aquáticos, plantas e herbívoros não demonstraram evidências de efeitos de bioacumulação e/ou biomagnificação nas cadeias alimentares (McGEER *et al.*, 2003; WHO, 2021a). A exposição à elevadas concentrações de Ni nos seres humanos, pode ocasionar efeitos agudos, como náuseas, vômitos, diarreia, tonturas, cansaço, dor de cabeça, falta de ar e alterações bioquímicas. Esses efeitos podem durar de algumas horas a uma semana, entretanto, em casos mais extremos, podem apresentar quadros de falências renais e hepáticas e até morte (WHO, 2021a). No meio ambiente, o V é um micronutriente essencial para algumas bactérias, cianobactérias, algas e fungos, contudo, não está claro seu papel funcional em outras espécies e em seres humanos, mas devido a sua abundância no ambiente postulou-se que deve desempenhar algum papel na fisiologia humana (SCIBIOR *et al.*, 2020; U.S. EPA, 2021). Entretanto, Tulcan *et al.* (2021) ressaltaram vários relatórios toxicológicos com exposição leve e aguda ao V, esses indicaram problemas gastrointestinais, irritação da pele e dos olhos, dor, enfisema, pneumonia, doenças cardiovasculares e de habilidades cognitivas em humanos. Atualmente, o V foi classificado como um metal potencialmente tóxico, mas ainda não recebeu a devida atenção quando comparado a outros elementos-traço semelhantes (TULCAN *et al.*, 2021).

Durante as diversas fases da cadeia produtiva do petróleo (exploração, produção, transporte, refino, armazenamento e distribuição), acidentes em refinarias, petroleiros e plataformas ou limpeza de tanques de embarcações são exemplos que podem estar relacionados a ocorrência de vazamentos de óleo para o meio ambiente (OLIVEIRA *et al.*, 2020). O transporte marítimo é a principal via do comércio internacional de petróleo, e com o aumento da demanda também aumenta a probabilidade de acidentes envolvendo derramamentos de petróleo no mar (SOUZA-FILHO, 2006). Apesar de esses não serem as principais fontes de despejos de óleos nos mares, costumam receber grande atenção para seu combate, devido a sua grande visibilidade e pelas trágicas consequências que podem acarretar sobre os ecossistemas atingidos como foi observado por Souza-Filho (2006). Estudos nessa área são de suma importância, pois viabilizam uma melhor compreensão dos impactos relacionados a esse tipo de acidente, possibilitando o planejamento de

respostas rápidas que minimizem os prejuízos causados aos ambientes costeiros e a população local.

Recentemente, entre o final de agosto e início de setembro de 2019, uma grande mancha de petróleo cru chegou ao litoral das regiões Nordeste e Sudeste. Atingiu mais de 1000 localidades, afetando aproximadamente 3000 km de extensão de áreas litorâneas e contaminando a fauna e a flora dos ecossistemas ali presentes (BRUM, CAMPOS-SILVA e OLIVEIRA, 2020; MAGRIS e GIARRIZZO, 2020; SOARES *et al.*, 2020; LOURENÇO *et al.*, 2020), tornando-se a maior extensão de costa contaminada por óleo no mundo já registrado nos últimos 30 anos (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Ao longo dos cinco meses posteriores a tragédia, mais de 5000 toneladas de resíduos oleosos foram retiradas dos ambientes costeiros (LOURENÇO *et al.*, 2020; ARAÚJO *et al.*, 2021). Empresas petrolíferas que atuam na costa brasileira não relataram acidentes que envolvessem derramamentos de óleo, além disso, nenhum acidente com navios-tanque foi registrado no período (LOURENÇO *et al.*, 2020). A Marinha do Brasil e outras entidades governamentais investigaram a origem do petróleo encontrado, gerando relatórios oficiais que indicam haver características típicas e compatíveis com o petróleo extraído da bacia venezuelana (SOARES *et al.*, 2020; LOURENÇO *et al.*, 2020). A principal hipótese é que o óleo foi derramado, de forma ilegal ou acidental, a cerca de 700 km da costa brasileira, nas proximidades da bifurcação da Corrente Equatorial Sul. A Corrente Norte do Brasil, provavelmente, carregou o óleo na direção noroeste até as águas do Estado do Maranhão, enquanto a Corrente do Brasil transportou o petróleo na direção sudoeste, até as águas do litoral norte do Estado do Rio de Janeiro (SOARES *et al.*, 2020).

Muitos voluntários locais (pescadores, residentes, estudantes, comerciantes, turistas e surfistas) se mobilizaram para realizar a limpeza das praias. Entretanto, não possuíam conhecimento necessário para lidar com essa situação. Tampouco receberam orientações das autoridades competentes, assim como, não disponham de equipamentos de proteção individual. Conseqüentemente, foram expostos aos compostos químicos que constituem o óleo, inalando-os e/ou em contato direto com a pele (ARAÚJO, RAMALHO e MELO, 2020). Mesmo após a retirada do óleo das praias e manguezais, uma contaminação remanescente no fundo dos oceanos e nos sedimentos podem continuar liberando substâncias tóxicas durante meses ou anos (MASCARELLI, 2010). Tempestades, atividades antrópicas e outros fatores podem

fazer com que o petróleo bruto remanescente seja reinjetado na coluna d'água, alcançando a costa de forma recorrente ao longo do tempo, aumentando os riscos de perda de biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos fornecidos por esses ambientes (MAGRIS e GIARRIZZO, 2020). Existe, portanto, grande preocupação de que essas substâncias venham a causar um impacto severo em áreas importantes de conservação da biodiversidade marinha, como o Parque Nacional dos Abrolhos, que abrange o maior complexo de recifes de corais do hemisfério Sul do Oceano Atlântico (MAGRIS e GIARRIZZO, 2020). A existência de conectividade natural entre os ecossistemas costeiros através da troca de nutrientes, sedimentos, poluentes e organismos é a chave para que vários organismos completem seus ciclos de vida. Diversas espécies de peixes, por exemplo, possuem seus ciclos de reprodução iniciados no mar e, em seguida, suas larvas e ovos alcançam os manguezais e estuários onde crescem e retornam para o mar como indivíduos adultos (CRAVEIRO *et al.*, 2021). Logo, quando um desses ecossistemas são impactados, essa conectividade acaba sendo perturbada, podendo ocasionar o isolamento de algumas espécies, interrompendo seus ciclos e as expondo a condições extremas, levando-as, a médio e longo prazo, ao desaparecimento (ARAÚJO, RAMALHO e MELO, 2020).

Esse derramamento de óleo desencadeou grande impacto no meio ambiente e no setor socioeconômico, pois houve uma rápida paralização dos setores relacionados à pesca e ao turismo, levando a um aumento do desemprego dos trabalhadores dessas indústrias. Os pescadores artesanais e as comunidades tradicionais foram os mais impactados por esse desastre, uma vez que acabaram sendo impedidos de pescar e ficaram sem comercializar boa parte dos pescados estocados (ARAÚJO, RAMALHO e MELO, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2020). Esse fato foi ocasionado pela diminuição da demanda desses insumos, restringindo esses produtos ao consumo das próprias famílias locais. Também ocasionou a falta de recursos financeiros, impossibilitando a compra de gêneros alimentícios da cesta básica, levando a um aumento nos casos de atrasos e inadimplência de serviços e bens considerados essenciais como, luz, roupas, eletrodomésticos etc. (ARAÚJO, RAMALHO e MELO, 2020; CRAVEIRO *et al.*, 2021).

Dessa maneira, essa dissertação tem como objeto de estudo observar os possíveis impactos crônicos causados pelo derramamento do petróleo cru, pois podem comprometer a qualidade dos pescados comercializados na região afetada.

Análises elementares, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, %C e %N, podem contribuir nas identificações dos itens alimentares das amostras analisadas, assim como no estabelecimento de suas relações tróficas ao longo de suas cadeias (CAXITO e SILVA, 2015; MARTINELLI *et al.*, 2009; WADA *et al.*, 1987). Fornecem informações sobre as condições de saúde do pescado (teores de lipídeos e proteínas) e nas suas relações com a matéria orgânica da área de estudo impactada (MACKIE, 2005; RUMOLO *et al.*, 2011; QUINTANA-RIZZO *et al.*, 2015; VEZZONE *et al.*, 2020). Análises de séries temporais das concentrações de elementos-traço, como Ni e V, encontrados nos pescados analisados, podem fornecer informações sobre possíveis bioacumulações e biomagnificações desses metais nas espécies estudadas (SANTOS, 2013; LIU *et al.*, 2018). A presença desses metais e alterações nos sinais isotópicos dos $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, podem indicar uma constante exposição ao óleo remanescente no ambiente após o trabalho de limpeza das áreas atingidas.

2 OBJETIVOS E HIPÓTESES

2.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo geral dessa dissertação é estudar e observar, através dos sinais isotópicos e das concentrações de Ni e V, as influências na estrutura e qualidade dos pescados da costa pernambucana, devidas a uma possível contaminação remanescente do derramamento de óleo cru que chegou à costa brasileira no final do mês de agosto de 2019.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desse estudo são:

- Analisar as razões isotópicas dos isótopos estáveis do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e dos isótopos estáveis do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) para estabelecer relações entre itens alimentares descritos na literatura e as amostras coletadas, assim como suas posições tróficas ao longo da cadeia alimentar;
- Avaliar, com base na literatura disponível, alterações nos sinais isotópicos do carbono devido a presença de petróleo no ambiente.
- Analisar as relações entre as porcentagens de carbono e nitrogênio, correlacionando-as com os teores de gorduras e proteínas e estresses alimentares das amostras analisadas.
- Determinar as concentrações dos elementos-traço Ni e V, observando possíveis efeitos de bioacumulações nas espécies estudadas e biomagnificações desses ao longo de suas cadeias tróficas.
- Avaliar, com base na literatura disponível, se as concentrações dos elementos-traço encontradas refletem os valores encontrados em áreas impactadas por acidentes com petróleo e/ou atividades antrópicas intensas.

2.3 HIPÓTESE

A presença de frações mais pesadas do petróleo cru, remanescente do processo de limpeza das praias e recifes atingidos pelo derramamento, podem comprometer os ciclos de vida das espécies existentes, além de influenciarem seus comportamentos e hábitos alimentares, prejudicando a qualidade do pescado consumido e comercializado nessas regiões. A presença desse tipo de contaminante nos ecossistemas pode comprometer a abundância e a biodiversidade local, afetando de forma negativa as comunidades caiçaras dessas regiões e produzindo danos ambientais e socioeconômicos.

3 BASE TEÓRICA

3.1 RAZÕES DE ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE CARBONO E NITROGÊNIO E A RELAÇÃO C/N

Estudos relacionados aos processos ambientais possuem um interesse particular nas relações entre os isótopos estáveis como no caso do carbono, do nitrogênio, oxigênio, hidrogênio e do enxofre (MARTINELLI *et al.*, 2009). Normalmente, seus isótopos “mais leves”, isto é, os de menores massas atômicas, apresentam uma abundância relativa maior no ambiente quando comparados aos isótopos “mais raros e pesados”, ou seja, de maior massa. A Tabela 3.1 mostra alguns desses isótopos com suas respectivas abundâncias relativas (MARTINELLI *et al.*, 2009).

Tabela 3.1: Abundância relativa de alguns isótopos de interesse (MARTINELLI *et al.*, 2009).

Elemento	Isótopo	Abundância média relativa (%)
Carbono	^{12}C	98,89
	^{13}C	1,11
Nitrogênio	^{14}N	99,34
	^{15}N	0,37
Oxigênio	^{16}O	99,76
	^{17}O	0,037
	^{18}O	0,199
Hidrogênio	^1H	98,98
	^2H (D)	0,02
Enxofre	^{32}S	95,02
	^{34}S	4,21

A utilização dos isótopos estáveis, em estudos ambientais, é baseada no fato da sua composição isotópica (R) ser modificada de forma previsível, à medida que o elemento transita entre os diversos compartimentos de um ecossistema. Essa composição isotópica (R) pode ser expressa pela relação entre o isótopo mais pesado e o isótopo mais leve. Assim, por exemplo, para os isótopos do carbono, a composição

isotópica de uma determinada amostra pode ser expressa pela razão entre a quantidade dos raros pela quantidade dos abundantes presentes nela, conforme (MARTINELLI *et al.*, 2009):

$$R = \frac{\text{Quantidade de } ^{13}\text{C}}{\text{Quantidade de } ^{12}\text{C}} \quad (1)$$

Esse tipo de abordagem apresenta um erro analítico significativamente menor, uma vez que, medidas relativas apresentam menos fontes de erro quando comparadas às medidas absolutas (CAXITO e SILVA, 2015; MARTINELLI *et al.*, 2009). Contudo, a composição isotópica absoluta de uma amostra pode não ser de fácil interpretação. Dessa forma, propõem-se a representá-la pelo seu desvio em relação a composição isotópica de um padrão previamente determinado, onde esse desvio é representado pela notação δ dado por (MARTINELLI *et al.*, 2009):

$$\delta = \frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}}{R_{\text{padrão}}} = \frac{R_{\text{amostra}}}{R_{\text{padrão}}} - 1 \quad (2)$$

Como valores de R e de δ costumam ser numericamente pequenos, convencionou-se multiplicar os valores de δ por um fator 1000 e expressá-los em ‰ (por mil) (CAXITO e SILVA, 2015; MARTINELLI *et al.*, 2009). Logo, os valores de δ de uma amostra serão expressos em comparação a um padrão reconhecido internacionalmente, arbitrariamente fixado com o valor 0,0 ‰ (CAXITO e SILVA, 2015; MARTINELLI *et al.*, 2009). Por exemplo, os isótopos do carbono são referenciados com o padrão *Pee Dee Belemnite* (PDB), cujo valor foi medido em um Belemnita do período Cretáceo da formação *Pee Dee*, localizada na Carolina do Sul, nos EUA (CAXITO e SILVA, 2015). Isótopos de oxigênio podem ser referenciados tanto pelo PDB quanto pelo *Standard Mean Ocean Water* (SMOW), como pode ser observado na Tabela 3.2 (CAXITO e SILVA, 2015).

Tabela 3.2: Padrões de referência utilizados internacionalmente (CAXITO e SILVA, 2015).

Razão isotópica	Padrão internacional	Valor do padrão
$^2\text{H}/^1\text{H}$ ou D/H	$^1\text{Vienna Standard Mean Ocean Water}$ ($^1\text{V-SMOW}$)	0,00015575
$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	$^1\text{Vienna Pee Dee Belemmite}$ ($^1\text{V-PDB}$)	0,0111802
$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	Ar atmosférico (AIR)	0,0036782
$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	$^1\text{Vienna Standard Mean Ocean Water}$ ($^1\text{V-SMOW}$)	0,0020052
	$^1\text{Vienna Pee Dee Belemmite}$ ($^1\text{V-PDB}$)	0,0020672
$^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$	$^1\text{Vienna Canyon Diablo Troilite}$ ($^1\text{V-CDT}$)	0,0451509

Valores positivos de δ , em determinada amostra, indicam um enriquecimento do isótopo mais pesado em relação ao padrão utilizado. Logo, valores negativos indicarão um empobrecimento (depleção) desse mesmo isótopo (CAXITO e SILVA, 2015). Portanto, estudos envolvendo o uso das razões isotópicas elementares demonstram-nas como excelentes ferramentas para caracterizar padrões, observar mecanismos fisiológicos em organismos e fluxos energéticos em cadeias alimentares, determinar fontes de poluição e de paleodietas e verificar vias de ciclagem de nutrientes em ecossistemas terrestres e aquáticos (CARDOSO, 2018). Tanto isótopos naturais quanto os antrópicos podem ser aplicados nos estudos ambientais, que envolvem os ciclos do carbono, nitrogênio e da água, em ambientes aquáticos, terrestres, biosfera, pedosfera, litosfera e atmosfera, assim como seus usos em nutrição, paleontologia, alimentos e forenses (GIBBS, 2008 e 2010; ARNDT *et al.*, 2013; ALEWELL *et al.*, 2015; COOPER *et al.*, 2015; CARDOSO, 2018).

1

A palavra *Vienna* assim como a letra V no início das siglas dos padrões indicam que os valores utilizados em suas razões isotópicas foram determinados pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, em inglês), em Viena, na Áustria (CAXITO e SILVA, 2015).

Processos biológicos, físicos e químicos que alterem a razão R, determinam uma mudança na quantidade de isótopos leves e pesados dos compostos encontrados no ambiente, ou seja, causam mudanças nas abundâncias relativas dos isótopos entre reagentes e produtos em certas reações (CAXITO e SILVA, 2015; MARTINELLI *et al.*, 2009). O excesso ou a falta de nêutrons não altera a reatividade química desses compostos, mas a alteração causada pela mudança de massa faz com que os isótopos mais pesados sejam “mais lentos” (CAXITO e SILVA, 2015; MARTINELLI *et al.*, 2009). Esse efeito é denominado fracionamento isotópico (α), e pode ser expresso por (MARTINELLI *et al.*, 2009):

$$\alpha = \frac{R_{\text{reagente}}}{R_{\text{produto}}} \quad (3)$$

3.1.1 Fracionamento isotópico

Como dito anteriormente, o fracionamento isotópico é definido como uma variação na proporção entre os isótopos estáveis de um determinado composto ao passar por processos físico-químicos, regidos por efeitos termodinâmicos ou cinéticos (CAXITO e SILVA, 2015; MARTINELLI *et al.*, 2009). No efeito termodinâmico, o fracionamento ocorre em situações de equilíbrio químico, e reflete a mudança na energia livre de Gibbs do sistema (quantidade de energia útil de um sistema, isto é, que pode realizar trabalhos) (CAXITO e SILVA, 2015; MARTINELLI *et al.*, 2009). Essa mudança é dada quando um átomo de determinado composto é substituído pelo seu isótopo, e fornece informações sobre a espontaneidade das reações. Compostos que apresentam enriquecimento do isótopo mais pesado tendem a apresentar uma menor reserva de energia livre, quando comparados com compostos idênticos que apresentam um enriquecimento no isótopo mais leve (CAXITO e SILVA, 2015; MARTINELLI *et al.*, 2009).

O efeito termodinâmico sobre o fracionamento relaciona-se com as diferenças nas propriedades físico-químicas das amostras, e é evidente nos processos que não há quebra ou formação de ligações químicas, como nos casos em que ocorrem mudanças nos estados físicos das substâncias (CAXITO e SILVA, 2015; MARTINELLI *et al.*, 2009). O efeito cinético costuma estar relacionado às reações biológicas, que apresentam taxas de reações diferentes de acordo com a distinção dos isótopos

presentes (CAXITO e SILVA, 2015; MARTINELLI *et al.*, 2009). Os compostos envolvidos em uma reação que apresentam isótopos mais leves formam ligações atômicas mais fracas quando comparados aos compostos com isótopos pesados, assim o isótopo leve é mais reativo, concentrando-se nos produtos, enquanto os mais pesados concentram-se nos reagentes (CAXITO e SILVA, 2015; MARTINELLI *et al.*, 2009). Também está relacionado a processos físicos como a difusão de um gás, onde seu fluxo difusivo associa-se a energia cinética de suas moléculas (CAXITO e SILVA, 2015; MARTINELLI *et al.*, 2009).

3.1.2 Correlações entre valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ em animais e suas dietas

Uma das formas para a identificação das fontes de alimento de uma espécie, é através da observação por um período relativamente longo dos seus hábitos alimentares, de tal forma que permita o animal se alimentar de todos os itens que compõem sua dieta. Contudo, devido a diversos fatores, esse período pode ser demasiadamente longo e as observações podem gerar imprecisões nas informações (MARTINELLI *et al.*, 2009). Outro método utilizado é realizar análises nos conteúdos estomacais desses indivíduos. Todavia, esse método possui o agravante de que o animal pode não digerir e absorver tudo o que se encontra no interior de seu estômago e intestinos. Além disso, a identificação de itens com um avançado estado de decomposição no trato digestivo é muito imprecisa. Entretanto, esse método pode fornecer informações que auxiliem a interpretação de resultados das análises isotópicas de estudos de itens alimentares de determinadas espécies (MARTINELLI *et al.*, 2009).

Ao se utilizar a composição isotópica em estudos sobre nutrição animal, alguns pontos importantes são considerados antes de seu emprego. Deve-se considerar todas as prováveis fontes que fazem parte de sua alimentação, obtendo-as por estudos comportamentais ou de análise de conteúdos estomacais, determinando suas razões isotópicas e levando-se em consideração suas possíveis variações sazonais (MARTINELLI *et al.*, 2009). No que diz respeito ao organismo considerado no estudo, deve-se levar em conta eventuais fracionamentos isotópicos entre sua dieta e seus tecidos, uma vez que tecidos diferentes podem apresentar fracionamentos distintos. Normalmente, nesses estudos, os músculos são os tecidos

mais utilizados devido a pequena diferença entre seu sinal isotópico e o de sua dieta, assim como, por sua facilidade de manuseio e obtenção (MARTINELLI *et al.*, 2009). Essas distinções ocorrem principalmente pelo caminho metabólico que o nutriente percorre até ser incorporado nos tecidos, uma vez que esses apresentam atividades metabólicas diferentes (MARTINELLI *et al.*, 2009).

Ainda, se a composição isotópica da fonte alimentar do organismo estudado varia sazonalmente, pode ocorrer um problema de memória isotópica, que trata do tempo necessário para que o carbono e o nitrogênio fixado a partir de uma determinada fonte seja substituído pela nova. Também deve-se ter em mente que as diversas fontes podem não ser digeridas com a mesma eficiência. Um aspecto importante a se considerar nessa metodologia é quanto um determinado tecido animal integra e reflete isotopicamente seu alimento (MARTINELLI *et al.*, 2009). Os músculos são comumente utilizados por sua facilidade de utilizar e integrar a composição dos isótopos de seus itens alimentares. Diversos estudos demonstram que o fracionamento isotópico do $\delta^{13}\text{C}$ entre os músculos e suas fontes variam em torno de 1 a 2 ‰ e, devido a essa pequena variação, fica evidenciada a possibilidade da utilização dos isótopos de carbono em estudos de nutrição animal (MARTINELLI *et al.*, 2009).

Outros traçadores isotópicos, como o $\delta^{15}\text{N}$, são úteis na interpretação dos níveis tróficos, fornecendo informações que permitem uma melhor caracterização da cadeia trófica estudada ou do organismo, permitindo definir sua posição nessa cadeia (MARTINELLI *et al.*, 2009). Normalmente, há uma perda gradual dos produtos enriquecidos com o isótopo mais leve ao longo da cadeia e, conseqüentemente, um progressivo enriquecimento do isótopo mais pesado. Variações do $\delta^{15}\text{N}$ ao longo da cadeia demonstram que os consumidores apresentam sinais isotópicos superiores aos de suas dietas com um valor médio de $(3,4 \pm 1,1)$ ‰ a cada nível trófico, considerando apenas o fator de alimentação (MARTINELLI *et al.*, 2009; WADA *et al.*, 1987). Os níveis tróficos (N.T.) de determinada espécie podem ser determinados de através da relação expressa por (WADA *et al.*, 1987):

$$\text{N. T.} = \left[\frac{(\delta^{15}\text{N}_{\text{animal}} - \delta^{15}\text{N}_0)}{\Delta} \right] + \lambda; \quad (4)$$

onde os $\delta^{15}\text{N}_{\text{animal}}$ e $\delta^{15}\text{N}_0$ são os valores das razões isotópicas da amostra estudada e da fonte alimentar utilizada como base da cadeia, respectivamente. O valor de Δ representa o fator de enriquecimento da razão isotópica do nitrogênio por nível trófico da cadeia estudada e o λ representa a posição trófica da fonte utilizada como base da cadeia alimentar. O valor do $\delta^{15}\text{N}_0$ é variável, por exemplo, para o fitoplâncton seu valor dependerá da fonte de nitrogênio utilizada em seu crescimento e suas condições fisiológicas (WADA *et al.*, 1987). Logo, os valores das razões $\delta^{15}\text{N}$ podem ser afetados por fatores ambientais bióticos e abióticos, como taxa de alimentação, salinidade, temperatura, mudanças sazonais, e proximidade com a costa, e por fatores antropogênicos, como uso da terra, escoamento de insumos agrícolas e efluentes de esgoto urbano (BARNES *et al.*, 2007; LIU *et al.*, 2018).

Nessa dissertação, para o $\delta^{15}\text{N}_0$ associado a referência do litoral pernambucano, foi utilizado o valor médio de 3,36 ‰, com base nos resultados encontrados por Costa (2018 e 2021) para as assinaturas isotópicas do fitoplâncton coletado no estuário do Rio Capibaribe – PE. Ambientes com uma disponibilidade de nitrogênio limitada apresentam um menor fracionamento desse isótopo entre presa e predador devido ao estresse nutricional (YOGUI e SCHWAMBORN, 2019). Alguns trabalhos mais recentes sobre a dinâmica trófica do plâncton em ambientes marinhos (YOGUI e SCHWAMBORN, 2019) sugerem um valor médio de 2,0 ‰ para o fracionamento da razão isotópica do nitrogênio nesses ambientes. Entretanto, nesse estudo foi utilizado o valor de + 2,5 ‰ para o fator de enriquecimento. Assim, as posições tróficas calculadas apresentaram valores próximos aos reportados pelo FishBase (2021). Para o caso do fitoplâncton o valor assumido é $\lambda = 1$. No ambiente marinho, a matéria orgânica particulada é dominada pelo fitoplâncton (YOGUI e SCHWAMBORN, 2019) e nessa dissertação foi utilizado como organismo-base.

3.1.3 Razões C/N

As razões C/N são uma importante ferramenta em estudos ambientais, seus valores podem ser utilizados na determinação da origem das fontes de matéria orgânica, que podem ser provenientes do próprio ambiente (autóctone) ou introduzida nele por fatores externos (alóctone) (MACKIE *et al.*, 2005; RUMOLO *et al.*, 2011; VEZZONE *et al.*, 2020). Valores entre 4 e 10 refletem fontes com origens marinhas,

ricas em proteínas que são os principais compostos nitrogenados do fitoplâncton e do zooplâncton (MACKIE *et al.*, 2005; RUMOLO *et al.*, 2011). Razões C/N superiores a 20 indicam fontes compostas de materiais com origem terrestre, como plantas C3 e C4, ricas em lignina e celulose, entretanto, valores entre 10 e 20 podem representar misturas entre esses materiais (MACKIE *et al.*, 2005; RUMOLO *et al.*, 2011; VEZZONE *et al.*, 2020).

A relação C/N pode ser útil no rastreamento das mudanças no conteúdo lipídico de organismos, uma vez que, os lipídios são compostos principalmente de carbono, e a maioria de suas classes são pobres em nitrogênio. Assim, variações nas concentrações dos teores de lipídios totais nos tecidos correlaciona-se, positivamente, com as variações nas relações C/N (BARNES *et al.*, 2007; QUINTANA-RIZZO *et al.*, 2015). Em iguais parâmetros ambientais, indivíduos que apresentam melhores condições, isto é, maiores níveis lipídicos em seus conteúdos, costumam apresentar razões C/N mais altas (QUINTANA-RIZZO *et al.*, 2015). Essa condição reflete um empobrecimento nas razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$, uma vez que, devido ao metabolismo (fracionamento cinético), os lipídeos tendem a ficar enriquecidos com moléculas de carbono mais leves quando comparados ao tecido muscular, rico em proteínas (MELLO, 2019).

3.1.4 Fontes alimentares da região Nordeste

Em muitos casos, o sinal isotópico de uma determinada amostra pode ter sua origem em duas ou mais fontes de alimentação distintas (MARTINELLI *et al.*, 2009). Nessa seção, estão apresentadas algumas possíveis fontes que podem fazer parte das dietas dos animais analisados nesse estudo, suas informações isotópicas foram obtidas tomando como base dados disponíveis na literatura (WIDORY, 2006; YU *et al.*, 2010; MARTINELLI *et al.*, 2009; MELO, 2019; YOGUI e SCHWAMBORN, 2019; SOUSA-KRULLSKI, 2011; FERREIRA, 2018) e demonstrados na Tabela 3.3 e ilustrados na Figura 3.1.

Tabela 3.3: Intervalos de $\delta^{13}\text{C}$ $\delta^{15}\text{N}$ de possíveis itens alimentares encontrados na região Nordeste.

Fonte	Intervalos		Referências
	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	
Petróleo e derivados	-30,0 a -26,5	---	WIDORY, 2006 e YU <i>et al.</i> , 2010
Região de plantas C4	-15,0 a -11,0	---	MARTINELLI <i>et al.</i> , 2009
Região de plantas C3	-38,0 a -24,0	---	
Matéria orgânica marinha - PE	-22,5 a -19,1	3,4 a 7,7	MELO, 2019
Zooplâncton – SE	-20,2 a -18,8	2,9 a 8,8	YOGUI e SCHWAMBORN, 2019
Camarão sete barbas - AL	-19,3 a -16,2	4,7 a 10,5	SOUSA-KRULLSKI, 2011
Camarão rosa - AL	-18,3 a -13,9	5,0 a 11,3	
Invertebrados – PE	-27,3 a -14,9	3,5 a 15,8	
Peixes detritívoros - PE	-16,7 a -11,8	4,3 a 10,5	FERREIRA, 2018
Macroalga – PE	-23,8 a -15,8	4,9 a 9,1	
Corvina - PE	-19,5 a -14,0	11,2 a 16,7	

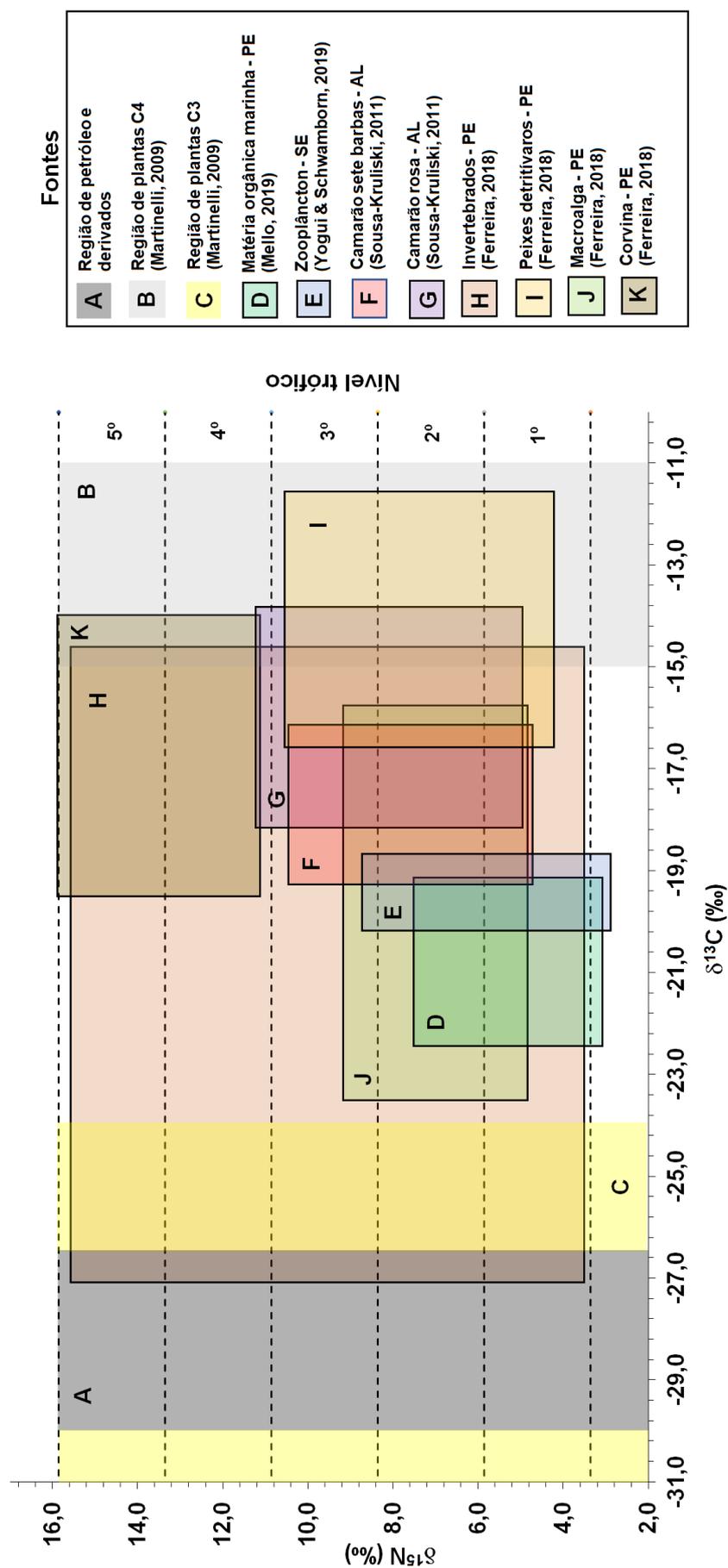


Figura 3.1: Razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das possíveis fontes de alimentação tomando como base dados reportados na literatura. (A) Intervalo dos $\delta^{13}\text{C}$ típicos de petróleos e seus derivados; (B) Intervalo dos $\delta^{13}\text{C}$ típicos de plantas C4; (C) Intervalo dos $\delta^{13}\text{C}$ típicos de plantas C3; (D) Matéria orgânica marinha; (E) Zooplâncton; (F) e (G) Crustáceos; (H) Invertebrados; (I) Peixes detritívoros; (J) Macroalga; (K) Corvina (WIDORY, 2006; YU *et al.*, 2010; MARTINELLI *et al.*, 2009; MELO, 2019; YOGUI e SCHWAMBORN, 2019; SOUSA-KRULLSKI, 2011; FERREIRA, 2018).

3.2 RELAÇÕES ENTRE DADOS BIOMÉTRICOS

3.2.1 Relação Massa-Comprimento

A relação massa-comprimento total pode fornecer informações sobre as condições dos peixes, comparar taxas de crescimento entre áreas, pautar informações complementares sobre reprodução e alimentação de espécies e converter crescimento em biomassa (FROESE, TSIKLIRAS e STERGIOU, 2011). Essa relação é expressa por uma equação polinomial ou expressa por uma equação linear obtida através por uma transformação logarítmica (FROESE, TSIKLIRAS e STERGIOU, 2011):

$$M = a \cdot (CT)^b \quad (5)$$

$$\text{Log}(M) = \text{Log}(a) + b \cdot \text{Log}(CT) \quad (6)$$

Tomando como base a inclinação da reta obtida pela Equação (6), foi verificado que o crescimento é isométrico quando a inclinação da reta é $b = 3$, isto é, para esse valor os peixes crescem de forma proporcional (FROESE, TSIKLIRAS e STERGIOU, 2011). Para $b < 3$ seus crescimentos são ditos hipoalométricos e seus aumentos de massas não acompanham aqueles previstos pelos aumentos dos comprimentos, aparentando ser um peixe mais alongado. Caso $b > 3$ seus crescimentos são ditos hiperalométricos e seus aumentos de massas são maiores que aqueles previstos pelos aumentos dos comprimentos, aparentando ser um peixe mais arredondado e curto (FROESE, TSIKLIRAS e STERGIOU, 2011).

3.2.2 Modelo de crescimento de von Bertalanffy

O modelo de crescimento mais usado é a expressão matemática de von Bertalanffy (BERTALANFFY, 1938; NÓBREGA, 2002), que assume o comprimento do corpo de um peixe como uma função do tempo (idade). Essa função pode ser expressa por:

$$L_t = L_\infty(1 - e^{-k(t-t_0)}) \quad (7)$$

onde L_t é o comprimento do indivíduo no tempo t , L_∞ representa o comprimento máximo ou assintótico do peixe sob certas condições, k o coeficiente de crescimento, t indica sua idade e t_0 o valor da idade relacionado com o comprimento no instante de nascimento (BERTALANFFY, 1938; NÓBREGA, 2002).

3.3 O PETRÓLEO

O petróleo é uma substância oleosa que pode ser encontrada naturalmente como o produto da decomposição da matéria orgânica de plantas aquáticas e animais pré-históricos, acumulando-se ao longo de milhões de anos (15 a 500 milhões de anos) nos fundos marinhos, de lagos e pântanos (PEDROZO *et al.*, 2002). Porém, acaba se deslocando da sua rocha matriz e concentrando-se em bacias sedimentares, formadas por camadas ou lençóis porosos de areia, arenitos ou calcários. Sua composição química e sua natureza física podem variar significativamente dependendo de sua origem, formação geológica, localização, idade do campo de petróleo e profundidade (PEDROZO *et al.*, 2002; MELLO *et al.*, 2012). Conforme a indústria petroquímica foi se desenvolvendo, seus derivados adquiriram grande importância na sociedade atual, plásticos, borrachas sintéticas, tintas, corantes, adesivos, solventes, detergentes, explosivos, produtos farmacêuticos e cosméticos são exemplos facilmente encontrados nos grandes centros urbanos (PEDROZO *et al.*, 2002). A Figura 3.2 ilustra os principais processos de refino do petróleo.

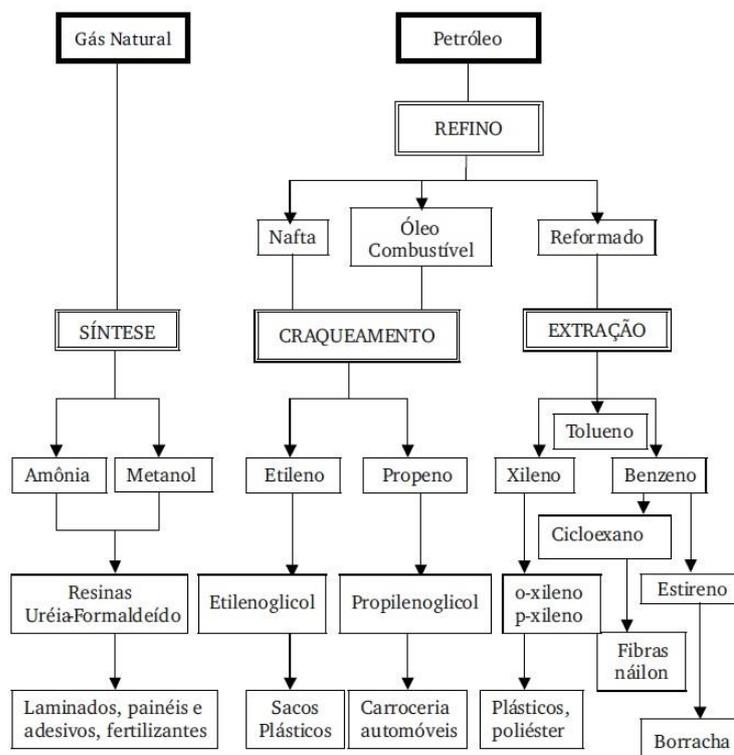


Figura 3.2: Ilustração dos principais processos de refino do petróleo e principais derivados.

Modificado de NEIVA (1983).

3.3.1 Composição e propriedades

O petróleo é uma mistura complexa de substâncias químicas, constituída essencialmente por hidrocarbonetos que compõe cerca de 50% a 98% do seu total. Entretanto, também apresenta pequenas concentrações de compostos orgânicos sulfurados, nitrogenados e oxigenados e baixas concentrações de substâncias orgânicas metálicas, compostas principalmente, com elementos como o Ni e o V (SILVA, 2004; MELLO *et al.*, 2012; PEDROZO *et al.*, 2002; WHO, 1982). De maneira geral, os compostos de Ni e V estão concentrados nas frações pesadas do petróleo bruto, e são os metais que apresentam as maiores concentrações quando comparados a outros metais presentes no óleo cru, salvo quando ocorrem contaminações por sais (cloretos de Na, Mg, Ca etc.) ou produtos de corrosão durante o transporte (por exemplo, Fe) (MELLO *et al.*, 2012).

A incorporação do Ni e do V em óleos e xistos derivados, como derivados de tetrapirróis (porfirinas que compõem os sistemas respiratórios dos seres vivos), tem uma significância geológica em fluidos fósseis (MIRANDA, 2019). É uma consequência da degradação dessas porfirinas, como clorofila, bacterioclorofila,

hemina e hemoglobina (porfirinas de ferro) durante a diagênese dos detritos provenientes dos organismos vivos (MIRANDA. 2019). Durante o processo de maturação, a maior parte do ferro e magnésio presentes nesses complexos são substituídas, predominantemente, por Ni (II) ou óxido de vanádio (IV) (VO₂⁺) (MIRANDA. 2019). Estas moléculas (tetrapirróis) estão diretamente ligadas a origem dos petróleos e do estresse termal na sua formação, portanto sua identificação possui interesse na indústria do petróleo (MIRANDA. 2019).

A polaridade das moléculas dos hidrocarbonetos está diretamente ligada à sua solubilidade na água, quanto maior for sua polaridade maior será sua solubilidade e seu ponto de ebulição (PEDROZO *et al.*, 2002). Normalmente, os hidrocarbonetos aromáticos são mais solúveis na água e menos voláteis, quando comparados a hidrocarbonetos parafínicos com mesmo número de átomos de carbono (PEDROZO *et al.*, 2002). Geralmente, a persistência desses hidrocarbonetos no meio ambiente é influenciada por essas propriedades físicas, principalmente, de seu ponto de ebulição, que aumenta conforme o aumento do número de átomos de carbono que constituem sua molécula (PEDROZO *et al.*, 2002). Quanto maior for seu ponto de ebulição, maior será sua permanência no meio ambiente afetado (PEDROZO *et al.*, 2002).

3.3.2 Comportamento no meio ambiente

Em nossa sociedade contemporânea, a presença do petróleo e seus derivados no meio ambiente estão diretamente associados a derramamentos causados por acidentes durante os processos de carga, descarga, transporte, produção e armazenamento (PEDROZO *et al.*, 2002; MICHELS *et al.*, 2004; SILVA, 2004). Uma rápida compreensão do comportamento dos componentes do óleo no solo, na água e no ar é de extrema importância para a avaliação dos riscos e efeitos à saúde humana e a biota dos ecossistemas afetados (MICHELS *et al.*, 2004). Uma vez no ambiente, o óleo derramado começa a passar por vários processos físicos, biológicos e químicos que dependem das condições locais, como ventos, temperatura, incidência solar, ondas e correntes (PEDROZO *et al.*, 2002). A mobilidade dos seus componentes no meio ambiente depende de processos como volatilização, degradação física, hidrólise, fotólise, dissolução, biodegradação e biotransformação (PEDROZO *et al.*, 2002).

Ao ser derramado na água, o petróleo passa por intemperizações que, inicialmente, afetam suas características físicas. Densidade, viscosidade e solubilidade são algumas das propriedades alteradas por processos, ilustrados na Figura 3.3 (SILVA, 2004). Espalhamento da mancha de óleo, evaporação dos componentes voláteis na superfície, dissolução das frações solúveis, emulsificação e sedimentação por aderência de partículas suspensas na coluna d'água podem ocorrer em períodos de horas até alguns meses (SILVA, 2004; INEA, 2018). Processos mais longos e mais atuantes sobre as moléculas dos compostos, como a própria sedimentação, a foto-oxidação e a biodegradação podem perdurar por meses ou anos (SILVA, 2004; INEA, 2018).

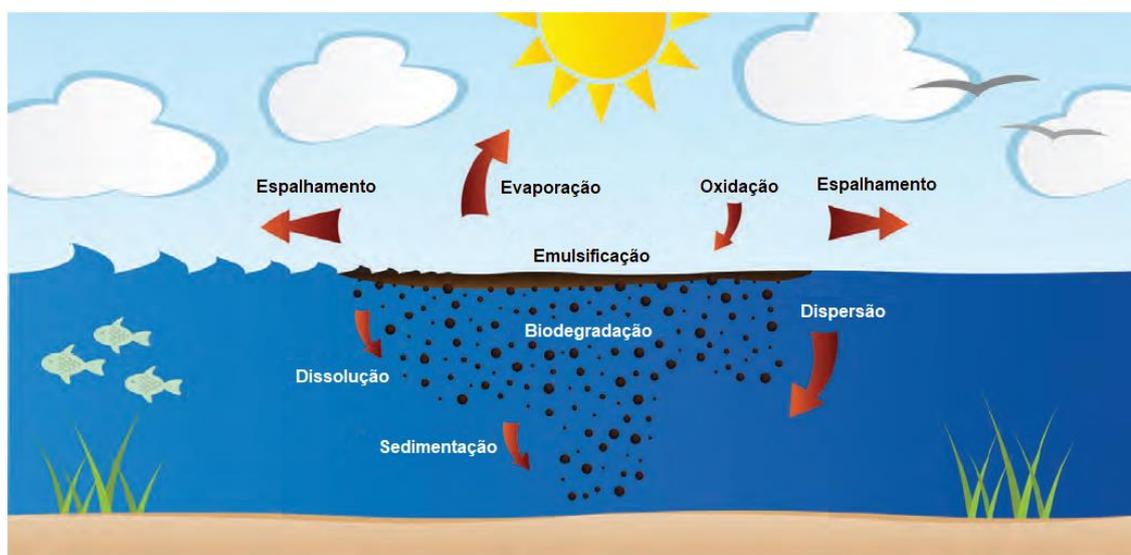


Figura 3.3: Processos de intemperizações do petróleo e principais derivados no ambiente aquático. Modificado de ITOPF (2011).

3.3.2.1 Espalhamento

Assim que atinge a água, logo nas primeiras horas, a mancha de óleo espalha-se horizontalmente na sua superfície com taxas da ordem de algumas centenas de metros por hora. Esse processo depende, principalmente, da viscosidade e do volume do óleo derramado. Também sofre influência de fatores ambientais como ventos e correntes e, após os dois primeiros dias, a velocidade de espalhamento diminui sensivelmente devido à evaporação dos compostos mais voláteis, tornando o óleo mais pesado e viscoso. O espalhamento aumenta significativamente a área de

exposição da mancha ao ar, ao Sol e ao contato com a água do mar, aumentando a eficiência dos outros processos (SILVA, 2004; ITOPF, 2011; INEA, 2018).

3.3.2.2 Evaporação

A evaporação dos componentes mais leves e intermediários do óleo inicia-se imediatamente após ao derramamento, visto que apresentam baixos pontos de ebulição e ocorre em sua maior taxa nas duas primeiras semanas. Para os compostos mais pesados, esse processo pode persistir por alguns anos enquanto permanecer no ambiente (SILVA, 2004; ITOPF, 2011; INEA, 2018). A taxa de evaporação desses compostos pode variar de acordo com alguns fatores ambientais e mudanças físico-químicas na sua constituição. À medida que a mancha vai se espalhando, sua espessura diminui e sua área de exposição aumenta, favorecendo a ocorrência desse processo, principalmente nos compostos mais voláteis, tornando o óleo mais denso e viscoso (SILVA, 2004; ITOPF, 2011; INEA, 2018).

A temperatura da água, a exposição solar e os ventos são fatores ambientais que contribuem, significativamente, para o aumento da taxa de evaporação desses compostos (SILVA, 2004; ITOPF, 2011; INEA, 2018). Os danos causados pelo óleo são influenciados pela sua evaporação, compostos mais leves apresentam maior toxicidade por estarem mais biodisponíveis no ambiente, porém evaporam-se mais rapidamente, causando danos num curto intervalo de tempo (SILVA, 2004; ITOPF, 2011; INEA, 2018). Já os compostos intermediários, são mais tóxicos devido a uma menor taxa de evaporação, acarretando uma maior permanência no meio ambiente (SILVA, 2004; ITOPF, 2011; INEA, 2018).

3.3.2.3 Dispersão

Esse é um processo associado, principalmente a turbulência dos ventos e ondas do ambiente, e à viscosidade do óleo derramado. É caracterizado pela fragmentação da mancha e geração de gotículas que ficam em suspensão na coluna d'água. Constitui um dos principais processos de intemperização do óleo logo nos primeiros dias, favorecendo a biodegradação, a sedimentação e a dissolução. Quanto maior a coesão entre as moléculas e a viscosidade do produto, menos favorecido é o

processo de dispersão do produto derramado (SILVA, 2004; ITOPF, 2011; INEA, 2018).

3.3.2.4 Dissolução

Uma pequena fração dos compostos mais leves, como os hidrocarbonetos aromáticos, são mais tóxicos e solúveis, sendo transferidos para a coluna d'água e tornando-se mais biodisponíveis. Dependendo da caracterização do óleo derramado, esse processo pode não ocorrer, uma vez que os compostos mais solúveis também são os mais voláteis, favorecendo o processo da evaporação que ocorre de 10 a 100 vezes mais rápido (SILVA, 2004; ITOPF, 2011; INEA, 2018).

3.3.2.5 Emulsificação

A emulsificação é dada pela incorporação da água ao óleo formando a emulsão óleo-água, conhecida como *mousse* (SILVA, 2004), e resistente ao intemperismo. Inicia-se desde o primeiro dia, sendo a maior parte formada na primeira semana à medida que ocorre a perda dos componentes mais leves, persistindo ao longo do primeiro ano (SILVA, 2004; ITOPF, 2011; INEA, 2018). O processo da emulsificação depende da turbulência do ambiente, da composição e viscosidade do óleo. As ondas em sequência fazem as gotículas de óleo, geradas no processo de dispersão, ressuspenderem em direção a superfície, aprisionando e misturando água na mancha de óleo, gerando a emulsão. Quanto maior a energia de mistura, mais rápida é a formação da emulsão (SILVA, 2004; ITOPF, 2011; INEA, 2018). Nesse processo, o volume do óleo remanescente pode aumentar de três a cinco vezes incorporando grandes quantidades de água (SILVA, 2004). A emulsão é extremamente viscosa com densidade próxima da água do mar, formando como produto pelotas de óleo conhecidas como *tar balls* (SILVA, 2004). Óleos mais viscosos, ricos em asfaltenos e parafinas, tendem a produzir emulsões mais estáveis (SILVA, 2004; ITOPF, 2011; INEA, 2018).

3.3.2.6 Sedimentação

A sedimentação do óleo é um processo lento, porém inicia-se logo após seu derramamento e atinge sua maior taxa após algumas semanas. Depende de sua adesão e interação com o material particulado em suspensão na coluna d'água, permitindo o aumento de sua densidade e favorecendo sua deposição no leito marinho (SILVA, 2004; ITOPIF, 2011; INEA, 2018). Também pode ocorrer na forma de pelotas fecais devido a ingestão de pequenas gotas de óleo pelo zooplâncton ou por deposição direta como consequência do aumento de sua densidade ocasionada por processos de intemperismo (SILVA, 2004; ITOPIF, 2011; INEA, 2018). Esse processo tende a ocorrer com os componentes mais pesados, com menor solubilidade e volatilidade, e é de grande importância em zonas costeiras com alto hidrodinamismo, onde há maior quantidade de partículas e organismos em suspensão (SILVA, 2004; ITOPIF, 2011; INEA, 2018). Uma vez sedimentado, o óleo tende a aumentar seu tempo de residência nos ecossistemas, tornando-se uma fonte de contaminação à longo prazo (SILVA, 2004; ITOPIF, 2011; INEA, 2018).

3.3.2.7 Biodegradação

A biodegradação do petróleo ocorre devida a ação de bactérias e fungos que utilizam os hidrocarbonetos como fonte de alimento, convertendo-os em compostos oxidados e degradando-os em CO₂ e água. É um processo eficaz, porém de ação lenta que ocorre após a intemperização dos compostos mais tóxicos e com o aumento das populações microbianas responsáveis por esse processo (SILVA, 2004; ITOPIF, 2011; INEA, 2018). Seu máximo é atingido logo no primeiro mês após o derramamento do óleo, podendo ocorrer tanto na superfície, quanto na coluna d'água e sedimentos. Fatores como a oxigenação do ambiente, a disponibilidade de nutrientes e temperatura são fatores limitantes desse processo (SILVA, 2004; ITOPIF, 2011; INEA, 2018).

3.3.2.8 Foto-oxidação

Esse processo ocorre através de reações químicas entre os hidrocarbonetos e o oxigênio e é catalisada pela luz solar. Produz compostos mais solúveis e tóxicos, porém de meias-vidas de horas a poucos dias devida à degradação de outras reações fotolíticas e diluições na coluna d'água (SILVA, 2004; ITOPI, 2011; INEA, 2018). É um processo que se inicia dentro de algumas horas após o derramamento, podendo durar de semanas a meses. Possui dependência direta com a irradiação solar, contudo não é um processo que tenha grande importância na intemperização do óleo (SILVA, 2004; ITOPI, 2011; INEA, 2018).

3.3.3 Impactos no meio ambiente

Os impactos ambientais causados pelo petróleo cru e seus derivados podem ser classificados como agudos, quando ocorrem num curto período e possui efeito letal nos organismos das áreas atingida (SILVA, 2004). As frações mais tóxicas e solúveis são rapidamente diluídas na coluna d'água e sua recuperação se dá pelo recrutamento dos organismos de áreas que não foram afetadas (SILVA, 2004). Aqueles classificados como crônicos ocorrem por períodos mais prolongados devido as frações tóxicas e menos solúveis persistirem mais tempo na área atingida, tornando-os ecologicamente mais graves que os agudos (SILVA, 2004). Esses possuem efeitos subletais podendo afetar algum estágio do ciclo de vida dos organismos atingidos (SILVA, 2004). Num eventual derramamento de petróleo em ambientes marinhos, seus impactos terão características mais agudas que podem causar recobrimento, diminuindo a luminosidade e asfixia com a diminuição do oxigênio dissolvido (SILVA, 2004). Entretanto, efeitos crônicos também são observados, uma vez que o óleo e seus derivados se agregam ao sedimento, suas frações tóxicas são continuamente liberadas ao ambiente de acordo com o hidrodinamismo da região (SILVA, 2004). Alguns compostos podem ser bioacumulados ao longo da cadeia trófica fazendo que seus efeitos nocivos possam chegar até o homem (SILVA, 2004).

Nesses casos, espécies bentônicas são comumente utilizadas como bioindicadores desta contaminação ambiental (PEDROZO *et al.*, 2002). As espécies sensíveis morrem ou abandonam o local afetado, e são substituídas por espécies mais resistentes e tolerantes ao óleo (SILVA, 2004). De maneira geral, o número de espécies da comunidade bentônica e a biomassa diminuem. Essa diminuição resulta na ocorrência da redução da coesão do sedimento contaminado, acelerando seu transporte e o espalhando por uma área maior (SILVA, 2004). Pesquisas relacionadas aos efeitos do hidrodinamismo sobre a contaminação indicam que a força das correntes e a granulometria dos substratos são fatores importantes nesses efeitos (GÓMES-GESTEIRA e DAUVIN, 2005). As comunidades expostas a fortes correntes de maré e associadas a substratos com maiores granulometrias são menos afetadas pelos hidrocarbonetos, porém aquelas localizadas em áreas de baixa corrente de maré e granulometrias médias e finas são mais afetadas (GÓMES-GESTEIRA e DAUVIN, 2005). Em mar aberto, peixes e baleias podem nadar para longe da mancha de óleo, mas tartarugas e golfinhos que costumam habitar regiões mais abrigadas, como baías e enseadas, tendem a apresentar maiores riscos de contaminação (PEDROZO *et al.*, 2002).

Os efeitos observados sobre a vida marinha dependerão das características dos compostos liberados. Alterações física e química dos habitats, como o recobrimento dos sedimentos, da fauna, da flora, podem causar efeitos letais e subletais, acarretando mudanças nas comunidades biológicas (SILVA, 2004). A toxicidade dos hidrocarbonetos encontrados no petróleo cru possui uma relação direta com sua volatilidade. Compostos mais tóxicos apresentam maior volatilidade e nesse sentido raramente causam grandes mortalidades nas comunidades atingidas (SANTANA *et al.*, 2018). Os invertebrados e os vertebrados costumam absorver os compostos encontrados no petróleo para seus tecidos diretamente dos sedimentos ou da coluna d'água, exercendo posteriormente toxicidade por vários mecanismos (SANTANA *et al.*, 2018).

3.4 NÍQUEL E VANÁDIO

Como citado anteriormente, o petróleo é composto por pequenas concentrações de substâncias orgânicas metálicas, ricas principalmente, com elementos como o Ni e o V (SILVA, 2004; MELLO, 2012; PEDROZO *et al.*, 2002;

WHO, 1982). Esses estão concentrados nas frações mais densas do óleo, e são os metais que apresentam as maiores concentrações quando comparados a outros metais presentes no petróleo (MELLO, 2012). Esses elementos-traço podem ser utilizados como indicadores de contaminação por óleo, sendo o conhecimento de suas concentrações uma informação importante para a avaliação da influência desses no meio que os circunda (MIRANDA, 2019). Além disso, estudos como o de Liu *et al.* (2018), que correlacionam as concentrações de elementos-traço com os dados biométricos dos organismos e com suas razões isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, são de suma importância. Esses estudos auxiliam o entendimento dos processos relativos à bioacumulação e biomagnificação desses metais em diversas espécies. Alguns organismos podem bioconcentrar metais em níveis de concentração que são proporcionais ao ambiente, utilizando-os como reguladores parciais de cátions em seus tecidos e/ou como micronutrientes (SANTOS, 2013).

No ambiente, poluentes como o Ni e V podem ser perigosos, pois costumam se concentrar ao longo da cadeia trófica, incorporando-se através do fitoplâncton e alcançando o zooplâncton, que por sua vez, compõe a dieta de organismos superiores da cadeia, podendo chegar até o ser humano (RIBEIRO, 2008; VIRGA, 2006; SANTOS, 2013). As composições dos elementos-traço nos diversos tecidos, animais ou humanos, podem influenciar nas suas capacidades de sobrevivência no meio, uma vez que podem ocasionar mudanças nas suas funções metabólicas, mudanças em suas respostas imunes e alterar suas respostas sensoriais (O'MARA, FRY e BURFORD, 2022; RAINBOW, 2007). Além disso, altas concentrações desses elementos traços, mesmo aqueles essenciais, podem causar efeitos tóxicos, logo a biodisponibilidade desses elementos são fatores importantes na compreensão de suas transferências ao longo da cadeia trófica (O'MARA, FRY e BURFORD, 2022; SANTOS, 2013). Assim, os estudos sobre esses elementos-traço auxiliam o entendimento de como são bioacumulados nos diferentes organismos da teia trófica, podendo fornecer informações importantes para realizar previsões dessas acumulações e entender como os consumidores respondem as concentrações desses elementos no ambiente (O'MARA, FRY e BURFORD, 2022).

Kumar-Roiné *et al.* (2022), analisaram os músculos de diversas espécies de peixes recifais da região da costa sul da Nova Caledônia, localizada no sudoeste do Oceano Pacífico, perto da indústria de mineração Prony Resources New Caledonia.

O solo da região é naturalmente rico em cobalto, cromo, ferro, manganês e Ni. Nesse estudo, a concentração média de Ni encontrada pelos pesquisadores foi de 0,02 µg/g de massa úmida, com intervalo variando entre 0,013 µg/g e 0,196 µg/g de massa úmida. Um levantamento bibliográfico, dos últimos 20 anos, foi realizado por Tulcan *et al.* (2021) com o objetivo de revisar a ocorrência mundial de V em ecossistemas marinhos, em sedimentos, água e biota, examinando a literatura existente que quantifica diretamente as concentrações do V. Com base nessa literatura, esses pesquisadores observaram que os estudos (n = 7) realizados em peixes nos continentes americanos apresentam concentrações médias de V de (0,33 ± 0,46) µg/g de massa úmida, com intervalo variando entre 0,002 µg/g e 8,0 µg/g. Nos estudos (n = 14) relacionados a invertebrados, eles verificaram que a média das concentrações foi (0,93 ± 1,64) µg/g de massa úmida, com intervalo variando entre 0,002 µg/g e 16,300 µg/g. Liu *et al.* (2018) investigando as concentrações de As, Hg e V em peixes no Estuário do Rio Amarelo, na China, encontraram concentrações médias de V que variaram entre 0,87 µg/g e 7,8 µg/g de massa úmida. Eles ressaltam que o estuário é uma zona importante de pesca mundial, mas possui em suas proximidades o segundo maior campo petrolífero da China, além de algumas empresas químicas.

Cabrini *et al.* (2018) investigaram as concentrações de metais pesados em diversas espécies de crustáceos e moluscos ao longo da costa do estado do Rio de Janeiro, Brasil, incluindo metais como Ni e V. As concentrações de Ni variaram entre 0,01 µg/g e 7,84 µg/g, enquanto as concentrações de V variaram entre 0,0 µg/g e 6,93 µg/g, ambas concentrações relacionadas à massa seca. Moghdani *et al.* (2014) analisaram as concentrações de V nos músculos de peixes de duas espécies encontradas no Golfo Pérsico, no Irã. Os pesquisadores ressaltam que a região é responsável por 30% da transferência mundial total de petróleo. Nesse estudo, foram encontradas concentrações médias que variaram de 0,245 mg/kg a 0,288 mg/kg de massa seca. No estudo realizado no mar Adriático, Sepe *et al.* (2003) realizaram análises das concentrações de V em seis espécies de peixes encontradas nessa localidade. Eles ressaltam que a bacia hidrográfica ao norte é caracterizada pela presença de grandes rios que cortam grandes cidades, altamente industrializadas, e zonas agrícolas. Ao sul a bacia apresenta poucos rios e as atividades antrópicas têm menor impacto no meio ambiente. Nesse estudo, obtiveram as concentrações de V com valores que variaram entre (4,8 ± 1,4) µg/g e (74,4 ± 17,6) µg/g de massa úmida.

3.4.1 Razões V/Ni

As razões V/Ni normalmente são utilizadas com o intuito de caracterizar a origem dos óleos que contaminam os sedimentos e matéria orgânica, tornando-se uma importante ferramenta de análise quando se trata de óleos crus (MIRANDA, 2019). Mesmo que o presente estudo não tenha analisado sedimentos ou a matéria orgânica dos locais avaliados, e tendo-se em mente que os processos metabólicos de cada espécie para cada metal observado podem ser distintos, utilizou-se suas informações para comparar possíveis fontes desses elementos entre as espécies em diferentes locais de coleta.

3.4.2 Biomagnificação trófica

Denomina-se por biomagnificação trófica o processo em que determinadas substâncias químicas são transferidas entre os níveis tróficos, aumentando suas concentrações dos níveis inferiores para os superiores (RODRIGUES, 2010). O cálculo do fator de biomagnificação (FBM) trófica é uma medida de biomagnificação de contaminantes ao longo da cadeia alimentar, indicando o aumento médio na concentração dessas substâncias por nível trófico. Um valor $FBM > 1$ indica biomagnificação e um valor $FBM < 1$ indica diluição trófica (HALLANGER *et al.*, 2010; MADGETT *et al.*, 2021).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 PROCEDIMENTO DE COLETA

O trabalho de campo ocorreu no período de 24/07/2021 a 01/08/2021 percorrendo-se todo o litoral da costa pernambucana (aproximadamente 200 km). O intuito era entrar em contato com os pescadores e as colônias de pescadores, esclarecendo os objetivos do trabalho e solicitando que reservassem as espécies-alvo do estudo (Bagres e Guaiúbas), capturadas na região para a compra a posteriori. Nos dias subsequentes, percorreram-se os pontos visitados e adquiriram-se os indivíduos do presente trabalho, de acordo com as espécies apresentadas na Tabela 4.1 e descritas na seção 4.2. Os peixes foram coletados na localidade de Maracaípe (no município de Ipojuca) e nos municípios de Ilha de Itamaracá, Sirinhaém (localidade de Barra de Sirinhaem), Tamandaré e São José da Coroa Grande (Figura 4.1).



Figura 4.1: Pontos de coletas dos dois trabalhos de campo realizados no litoral do estado de Pernambuco. Mapa modificado de WIKIPÉDIA (2022).

Em alguns casos, as amostras compradas se encontravam congelados em freezers localizados nas casas dos pescadores. Em outros, foram coletados *in natura*, nos barcos de pesca ou comercializados nas colônias de pescadores. Alguns exemplares (n = 3) da espécie *Ocyurus chrysurus* (Guaiúba), coletados em Barra de Sirinhaém, já se encontravam sem todas as suas vísceras, entretanto, no presente trabalho, não foram realizadas medidas associadas a esses tecidos. Outros exemplares coletados em Tamandaré (n = 10) apresentavam cortes nas porções superiores de suas nadadeiras caudais. Os pescadores locais informaram que esses cortes são realizados pelos mesmos ainda no mar, durante a pesca, para identificar e associar o pescador ao peixe capturado. Alguns realizam cortes nas porções inferiores das nadadeiras caudais. Outros quebram as nadadeiras peitorais do lado esquerdo, outros as do lado direito e há pescadores que realizam uma combinação dessas marcas. A Figura 4.2 ilustra alguns exemplares dos peixes coletados nesse segundo campo.

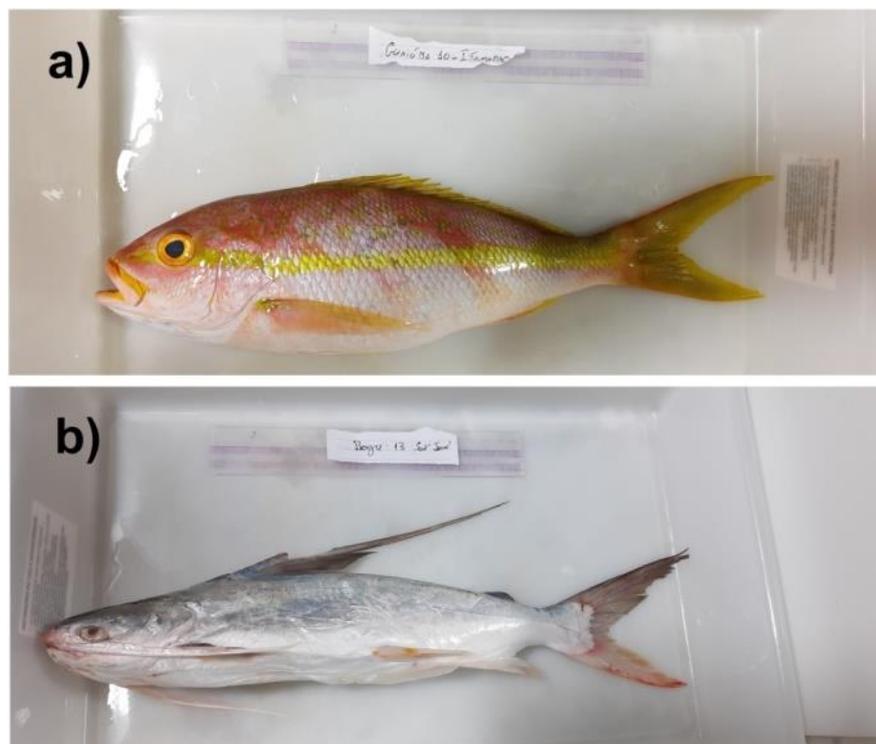


Figura 4.2: Amostras de a) Guaiúba (Lutjanidae) e b) Bagres (Ariidae) coletados no segundo campo em Pernambuco.

Tabela 4.1: – Peixes coletados no campo realizado no litoral de Pernambuco.

Família	Espécie	Local	Nº de indivíduos	Mês / Ano da coleta
Ariidae	<i>Aspistor luniscutis</i>	Barra de Sirinhaém	6	jul/21
		Maracaípe	3	
	<i>Bagre marinus</i>	Barra de Sirinhaém	4	
		Ilha de Itamaracá	1	jul/21
		Maracaípe	3	
		São José da Coroa	18	
Lutjanidae	<i>Sciades couma</i>	Barra de Sirinhaém	5	
		Ilha de Itamaracá	4	jul/21
		Maracaípe	1	
	<i>Ocyurus chrysurus</i>	São José da Coroa	1	
		Barra de Sirinhaém	7	
		Ilha de Itamaracá	11	jul/21
		Tamandaré	12	

Após a aquisição, todos os indivíduos eram colocados em caixa térmica de plástico (cooler) e mantidos congelados com gelo até a chegada ao hotel. Lá, foram fotografados, embalados, etiquetados e acondicionados em caixas térmicas de isopor e mantidos congelados com gelo até o momento de seu envio. As caixas térmicas foram embaladas hermeticamente com filme de PVC e lacradas com fita adesiva multiuso, tipo *silver tape* (Figura 4.3).



Figura 4.3: Amostras coletadas em 2021 embaladas e armazenadas para o transporte aéreo.

Ao término do campo, os pescados coletados foram enviados por transporte aéreo para o Rio de Janeiro. Em todo o campo, evitou-se o uso do gelo seco (CO_2) para não haver qualquer tipo de contaminação pelo dióxido de carbono e que pudesse alterar os sinais das razões isotópicas do carbono dos peixes. No Rio de Janeiro, os peixes de ambos os campos foram encaminhados para o LARA e acondicionados em freezer a uma temperatura média de -15°C .

4.2 ESPÉCIES ESTUDADAS

4.2.1 Família: Ariidae

Os grupos de peixes dessa família são conhecidos popularmente por bagres e costumam habitar regiões litorâneas, estuarinas e rios das regiões tropicais, subtropicais e temperadas. A maioria das espécies apresentam ocorrências em áreas costeiras rasas e em estuários. As espécies que habitam águas exclusivamente marinhas podem ser encontradas em profundidades superiores a 100 m, enquanto outras habitam apenas ambientes de água doce (MARCENIUK, 2005). Apresentam morfologia externa uniforme, tendo sua taxinomia realizada principalmente com base na forma e na disposição das placas de dentes relacionadas ao vômer e das placas acessórias. Atualmente, essa família apresenta interesse na pesca comercial e sendo de grande importância em estudos ecológicos de regiões costeiras (MARCENIUK, 2005).

Esses bagres apresentam tamanho médio a grande, com comprimento total variando entre 20 cm e 120 cm. Diferenciam-se de outras famílias da ordem Siluriformes por apresentarem cabeças com escudos cefálicos visíveis e, dependendo da espécie, pode ter corpo coberto por pele fina ou coberto por uma pele mais espessa (MARCENIUK, 2005). Apresentam barbilhões maxilares e mentais, aberturas nasais anterior e posterior bem próximas. Apresentam acúleos das nadadeiras dorsal e peitoral bem desenvolvidos, nadadeiras pélvicas com seis raios, nadadeira anal com 14 a 40 raios, nadadeira caudal furcada, linha lateral completa e ausência de escamas (MARCENIUK, 2005).

4.2.1.1 *Aspistor luniscutis* (Valenciennes, 1840)

Classe: Actinopteri

Ordem: Siluriformes

Família: Ariidae

Gênero: *Aspistor*

Espécie: *Aspistor luniscutis*

Essa espécie ocupa o meio bentopelágico e é comumente associada com interiores de baías e zonas estuarinas, porém, também pode ser encontrada em águas marinhas e doces (Figura 4.4) (FISHBASE, 2021). Pertencente a categoria trófica dos carnívoros, sua dieta consiste principalmente de animais da macrofauna, como poliquetas, moluscos bivalves, crustáceos e outros peixes, apresentando nível trófico ($3,8 \pm 0,6$) (FISHBASE, 2021, MARCENIUK, 2005, RODRIGUES, 2010). Seu tamanho máximo registrado foi de 120 cm, sendo o comprimento de sua primeira maturação em torno de 18 cm. Pode ser encontrado ao longo do litoral da América do Sul, da Guiana ao estado do Paraná, no Brasil. Alguns nomes comuns associados a espécie são: Bagre amarelo, Bagre-guri, Cangatá e Guri-juba (FISHBASE, 2021, MARCENIUK, 2005, RODRIGUES, 2010).



Figura 4.4: Exemplo coletado da espécie *Aspistor luniscutis*.

4.2.1.2 *Bagre marinus* (Mitchill, 1815)

Classe: Actinopteri

Ordem: Siluriformes

Família: Ariidae

Gênero: Bagre

Espécie: *Bagre marinus*

Espécie demersal que ocupa principalmente o ambiente marinho, porém pode entrar em estuários com águas salobras e regiões com salinidade relativamente alta (Figura 4.5). Possui características alimentares oportunistas sobre o substrato lamoso e/ou arenoso, alimentando-se principalmente de pequenos peixes e invertebrados (FISHBASE, 2021, MARCENIUK, 2005). Possui barbatanas dorsal e peitoral equipadas com acúleos serrilhados e venenosos e nadadeiras anais com cerca de 20 a 27 raios. Seu tamanho máximo registrado é de 100 cm, sendo o comprimento de sua primeira maturação em torno de 44,8 cm (FISHBASE, 2021, MARCENIUK, 2005). Seu alimento primário nos estágios juvenis é constituído de matéria orgânica não identificável, seu alimento secundário constitui-se de peixes e porções menores de outros grupos tróficos, apresentando nível trófico ($3,5 \pm 0,5$). Pode ser encontrado na América do Norte, Central e do Sul, da Carolina do Sul, nos E.U.A ao estado do Paraná, no Brasil. Alguns nomes comuns associados a espécie são: Bagre branco, Bagre-bandeira, Bandeirado (FISHBASE, 2021, MARCENIUK, 2005).



Figura 4.5: Exemplo coletado da espécie *Bagre marinus*.

4.2.1.3 *Sciades couma* (Valenciennes, 1840)

Classe: Actinopteri

Ordem: Siluriformes

Família: Ariidae

Gênero: *Sciades*

Espécie: *Sciades couma*

Espécie restrita a águas turvas de estuários e das partes baixas dos rios tendo sua ocorrência desde a Colômbia até Pernambuco, no Brasil. Sua carne delicada é muito valorizada e é comercializada fresca e salgada (Figura 4.6). Seu tamanho máximo registrado é de 97 cm, possui cabeça arredondada e achatada na parte superior com escudo cefálico muito rugoso (FISHBASE, 2021, MARCENIUK, 2005). Apresenta boca ligeiramente inferior e possui três pares de barbilhões (1 par maxilar e 2 pares mandibulares). Alimenta-se principalmente de crustáceos, mas pode-se encontrar em seus estômagos moluscos, ovos e larvas de peixes, insetos e plantas terrestres, apresentando nível trófico ($3,9 \pm 0,5$) (FISHBASE, 2021, MARCENIUK, 2005).



Figura 4.6: Exemplar coletado da espécie *Sciades couma*.

4.2.2 Família: Lutjanidae

Os lutjanídeos ocorrem em águas tropicais e subtropicais dos oceanos, são peixes marinhos demersais que habitam recifes de corais e áreas fora da plataforma continental. Constitui um grupo de peixes predadores que se alimentam, principalmente, de invertebrados e de peixes à noite ou no crepúsculo (FONSECA, 2009). Ocupam o topo da cadeia alimentar e desempenham função de grande importância no controle ecológico do ambiente recifal. Os indivíduos juvenis vivem em águas rasas, alcançando rios e estuários em busca de alimentos. Já os adultos preferem águas mais profundas, longe da costa para desovarem. São considerados um recurso pesqueiro de grande importância no nordeste brasileiro e ao longo de toda a sua distribuição geográfica (FONSECA, 2009).

4.2.2.1 *Ocyurus chrysurus* (Bloch, 1791)

Classe: Actinopteri

Ordem: Eupercaria/misc

Família: Lutjanidae

Gênero: *Ocyurus*

Espécie: *Ocyurus chrysurus*

A distribuição geográfica dessa espécie (Figura 4.7) ocorre desde Massachussets, nos E.U.A. até o Sudeste brasileiro. Habitam recifes coralinos e camas de algas e gramas marinhas, mas em sua forma juvenil preferem águas mais rasas enquanto os adultos podem alcançar regiões fora da costa e em profundidades de até 180 m (FISHBASE, 2021, FONSECA, 2009, MAPA, 2016). Podem atingir 70 cm de comprimento, sendo o comprimento de sua primeira maturação em torno de 25 e 30 cm. Apresenta nadadeiras amareladas, sendo a nadadeira caudal bastante furcada, nadadeira dorsal com 10 espinhos e 12 a 13 raios moles, nadadeira anal com 3 espinhos e 9 raios moles. Linha amarelada do focinho ao pedúnculo caudal, linhas

amareladas no ventre e pontos verde- amarelados no dorso (FISHBASE, 2021, FONSECA, 2009, MAPA, 2016).

É um predador noturno e sua dieta é composta por uma combinação de animais bentônicos e planctônicos, como crustáceos, vermes, moluscos gastrópodes e cefalópodes e peixes, apresentando nível trófico ($4,0 \pm 0,3$) (FISHBASE, 2021, FONSECA, 2009, MAPA, 2016). Esta espécie é uma das mais importantes representantes em pescarias recifais da região nordeste do Brasil, sendo comercializado fresco e congelado. Alguns nomes comuns associados a espécie são: Vermelho, Guaiúba, Cióba (FISHBASE, 2021, FONSECA, 2009, MAPA, 2016).



Figura 4.7: Exemplar coletado da espécie *Ocyurus chrysurus*.

4.3 AMOSTRAGENS

As amostras obtidas no segundo campo seguiram o mesmo protocolo descrito anteriormente. Foram retiradas do freezer 24 h antes do início da triagem e postas para descongelar. Após o descongelamento, foi feita a identificação das espécies, através de chaves taxonômicas (MAPA, 2016; MARCENIUK, 2005) e obtiveram-se os dados de suas biometrias, como suas massas em gramas, seus comprimentos totais e padrões em centímetros (Figura 4.8). Após a obtenção de seus dados biométricos, foram retiradas amostras de seus músculos da parte dorsal com uso de bisturi, conforme a referência “*Standard Methods for the examination of water and wastewater*” (EATON, GREENBERG e CLESCERI, 1998). As massas úmidas das amostras dos tecidos musculares variaram de 5,40 g a 82,50 g, de acordo com o tamanho de cada indivíduo. Em seguida, os indivíduos foram eviscerados, separando

órgãos e tecidos como fígados, estômagos, intestinos, gônadas e brânquias, aonde retornaram para o freezer por no mínimo 24 h para o início do procedimento de liofilização.

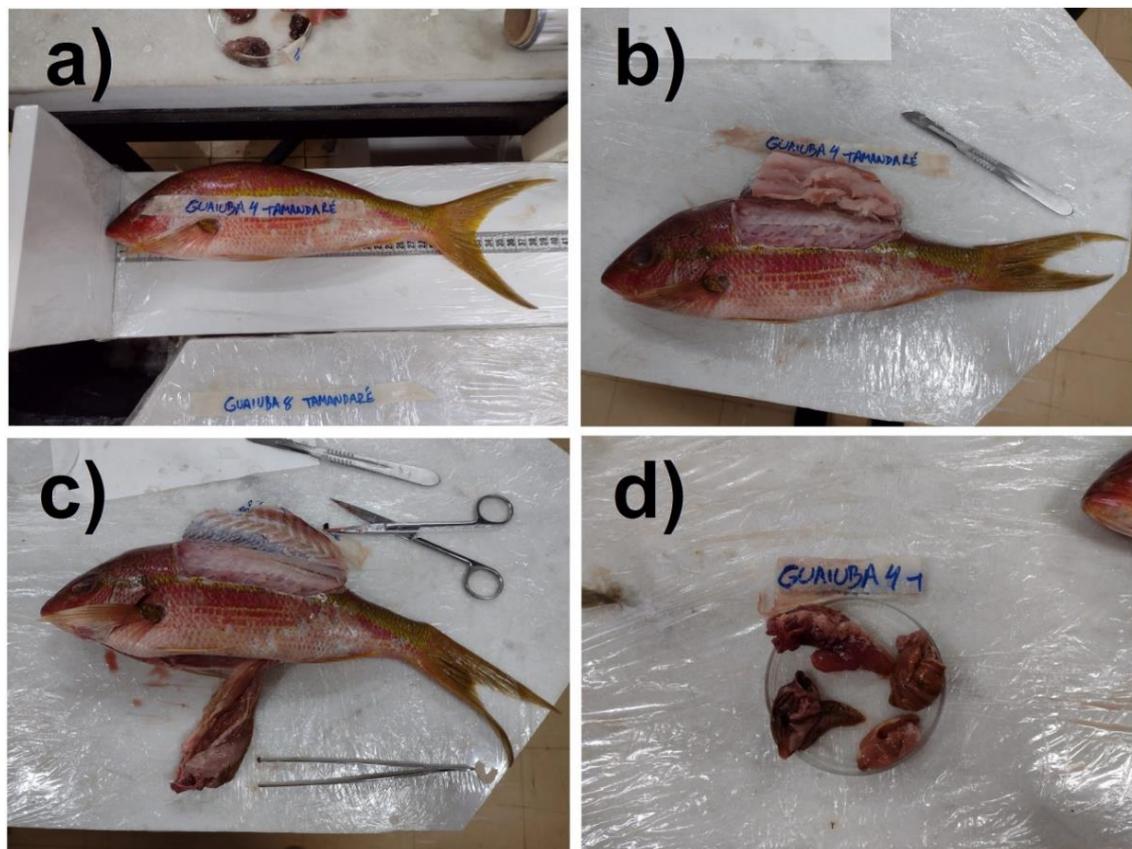


Figura 4.8: a) Biometria de uma amostra de Guaiúba (Lutjanidae); b) Obtenção de amostras de músculos; c) Amostra eviscerada; d) Órgãos coletados.

4.4 PREPARO E ANÁLISES DAS AMOSTRAS

4.4.1 Análises elementares: $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, %C e %N

Posteriormente, as amostras congeladas foram liofilizadas por um período mínimo de 48h e pressão média de 0,1 mBar (Figura 4.9) e, em seguida, armazenadas em um dessecador contendo sílica gel. A sílica foi previamente seca por 24h a 100°C. Foi observada uma diferença média entre as massas úmidas e secas de $(78,9 \pm 1,4)$

% para os músculos e $(60,0 \pm 0,6)$ % para outros tecidos. Para as medidas de porcentagens de carbono (%C) e de nitrogênio (%N), assim como, para a determinação das razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, as amostras dos tecidos liofilizados foram maceradas e homogeneizadas em um almofariz com pistilo, ambos de porcelana. Foram separadas e pesadas em balança de precisão com sete casas decimais do grama, com massas médias de $(0,51 \pm 0,03)$ mg. Essas amostras foram encapsuladas em cápsulas de estanho (Figura 4.10). Após esse procedimento, as cápsulas foram reservadas em dessecadores, até o momento da realização das medidas em um analisador elementar acoplado a um espectrômetro de massas (EA-IRMS).



Figura 4.9: Liofilização dos tecidos dos peixes coletados.

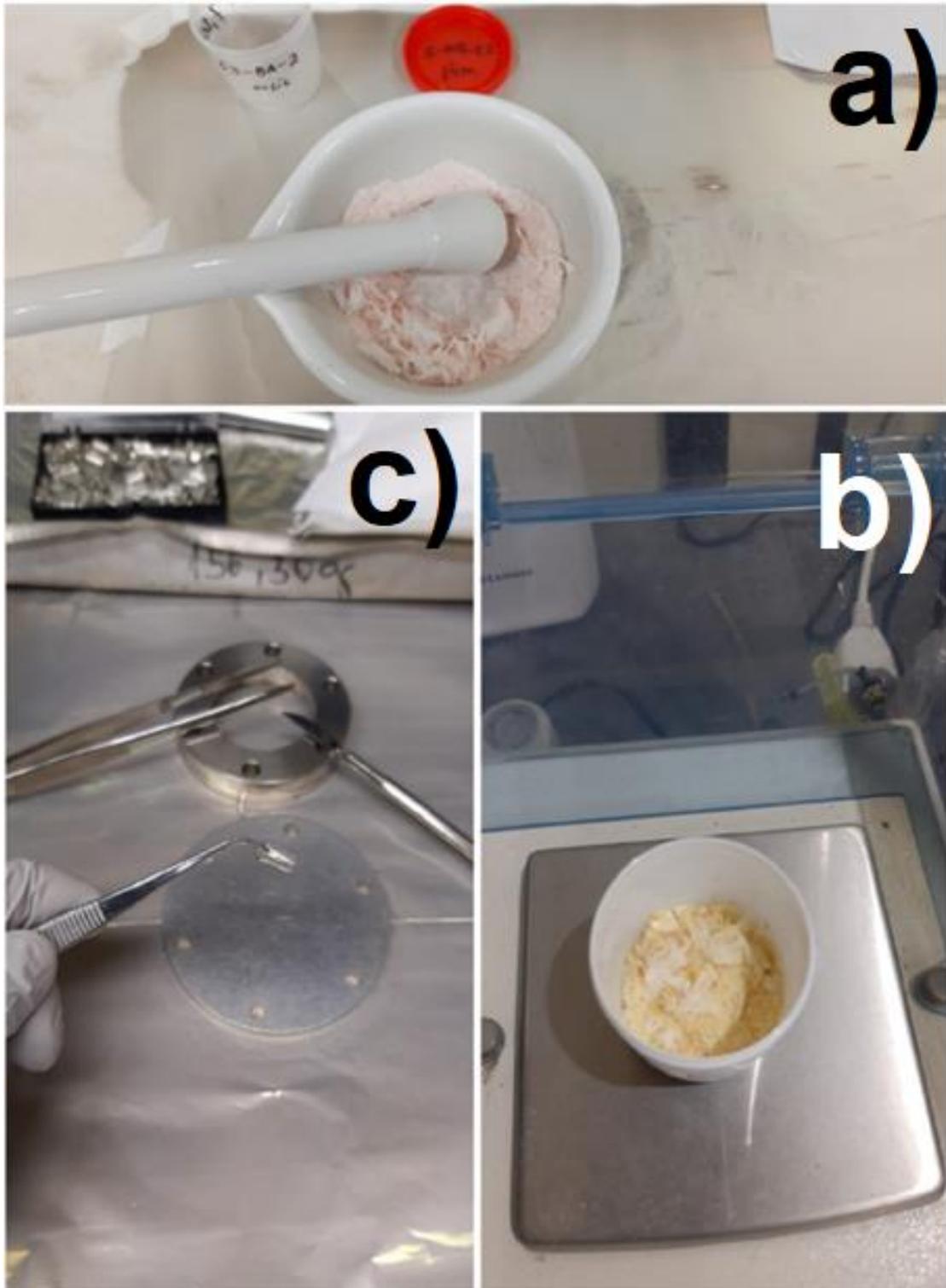


Figura 4.10: Amostras para a determinação das razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ e dos percentuais de carbono e nitrogênio. a) amostras maceradas e homogêneas, b) amostras pesadas e c) amostras encapsuladas em cadinho de estanho

4.4.1.1 Padrões utilizados no Laboratório de Radioecologia e Alterações Ambientais – LARA / UFF

Para a determinação da acuracidade dos equipamentos e usá-los na comparação entre os espectros e cromatogramas das amostras, utilizam-se padrões certificados. Nesse estudo, foi utilizado o padrão de proteína (Caseína) certificado pela numeração nº: 114859 e catalogado com o número nº: B2155, pelo *National Institute of Standards and Technology – NIST, Maryland, EUA* e adquirido pela *Elemental Microanalysis Ltd, Okehampton, Devon, EUA*. Esse padrão apresenta concentrações e incertezas de carbono, nitrogênio e enxofre iguais a $(46,50 \pm 0,78) \%$, $(13,32 \pm 0,40) \%$ e $(0,751 \pm 0,083) \%$, respectivamente, e razões isotópicas e suas respectivas incertezas iguais a $\delta^{13}\text{C}$ (V-PDB): $(-26,98 \pm 0,13) \text{‰}$; $\delta^{15}\text{N}$ (AIR): $(+5,94 \pm 0,08) \text{‰}$; $\delta^{34}\text{S}$ (V-CDT): $(+6,32 \pm 0,80) \text{‰}$. Também foi utilizado o padrão de cafeína pura (IAEA-600), adquirido da Agência Nacional de Energia Atômica (IAEA) e que possui certificação da razão isotópica $\delta^{13}\text{C} = (-27,771 \pm 0,043) \text{‰}$ (V-PDB) e valor informado de $\delta^{15}\text{N} = (1,0 \pm 0,2) \text{‰}$ (AIR). Utilizou-se padrão de ureia adquirido pela *Thermo* apresentando razão isotópica $\delta^{13}\text{C} = -(41,30 \pm 0,04) \text{‰}$ e $\delta^{15}\text{N} = (-0,31 \pm 0,20) \text{‰}$ e padrão de Glicina (USGS65 - CAS # 56-40-6) apresentando razão isotópica $\delta^{13}\text{C} = (-20,29 \pm 0,04) \text{‰}$ e $\delta^{15}\text{N} = (20,68 \pm 0,06) \text{‰}$.

4.4.1.2 Porcentagens de C e N e razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$

As porcentagens de carbono e de nitrogênio dos tecidos das amostras coletadas em Pernambuco, assim como suas razões isotópicas foram obtidas no LARA usando-se um EA-IRMS (Figura 4.11) disponível no LARA. Como analisador elementar (EA), foi utilizado um Flash 2000. Ele foi acoplado a um IRMS (modelo Delta V Advantage), através de uma interface denominada por ConFlo IV. O EA possui amostrador automático, modelo MAS200R, que comporta até 32 amostras por vez. Todos os equipamentos citados foram produzidos *Thermo Fisher Scientific Co.*



Figura 4.11: Imagem do sistema EA-IRMS utilizado no LARA.

Para garantir a confiabilidade dos dados obtidos, as amostras e padrões descritos anteriormente foram medidos com os mesmos parâmetros a cada dia de trabalho. As medidas dos padrões de ureia, caseína, cafeína e glicina são realizadas para verificação do equipamento e obtenção da curva de calibração em massas do TCD (*Thermal Conductivity Detector*). Essas medidas também são utilizadas na obtenção de uma janela de valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ que compreenda os valores das amostras medidas, para a determinação da curva de calibração das razões isotópicas e realização do controle das medidas realizadas. Dentro do analisador elementar, as amostras foram injetadas em um tubo de quartzo vertical a 1020 °C, denominado por reator de combustão (THERMO, 2011; CARDOSO, 2018). As amostras acabam sendo oxidadas por reação de combustão instantânea no reator ao ocorrer a combustão (Figura 4.12), transformando-as em gases que são carregados para um reator de redução a 650,0 °C por um fluxo constante de 100,0 ml/min de gás hélio ultrapuro 5.0 (99,999% de pureza) (THERMO, 2011; CARDOSO, 2018). A passagem por esses reatores faz com que os gases resultantes da combustão (He, O₂, N₂, CO₂, NO_x, H₂O) percam oxigênio e reduzam todo óxido nitroso em N₂ (THERMO, 2011; CARDOSO, 2018).

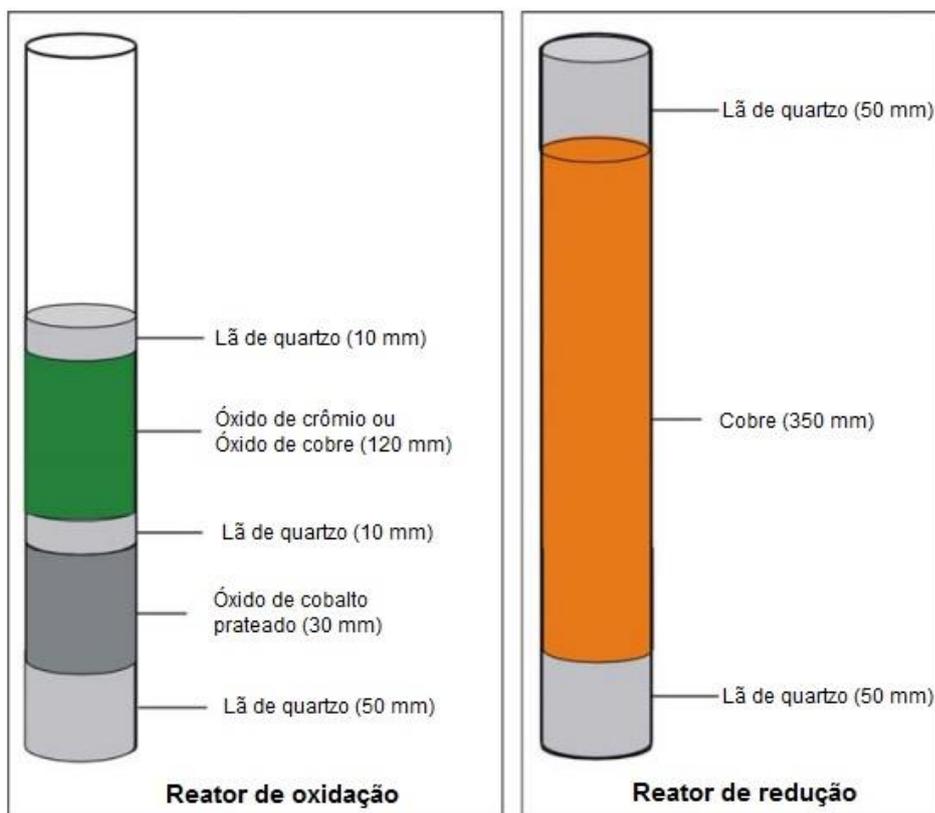


Figura 4.12: Reatores de oxidação e redução. Modificado de Thermo (2011).

Ao sair do reator de redução (Figuras 4.13 e 4.14), a mistura de gases é direcionada para uma armadilha de água, composta por perclorato de magnésio $[Mg(ClO_4)_2]$ (THERMO, 2011; CARDOSO, 2018). Em seguida, é introduzida em uma coluna cromatográfica de politetrafluoretileno (PTFE) de 2 m com diâmetro externo de 6 mm, diâmetro interno de 5 mm e a uma temperatura de 45°C (THERMO, 2011; CARDOSO, 2018). Nela, ocorre as separações dos gases, eluindo primeiro o N_2 e em seguida o CO_2 , uma vez que suas distintas massas apresentam tempos de retenção distintos no interior da coluna (THERMO, 2011; CARDOSO, 2018). Assim, os gases são analisados separadamente pelo TCD (*Thermal Conductivity Detector*), onde se medem suas condutividades térmicas, que estão ligadas às massas que passaram pelo detector (Figura 4.14).

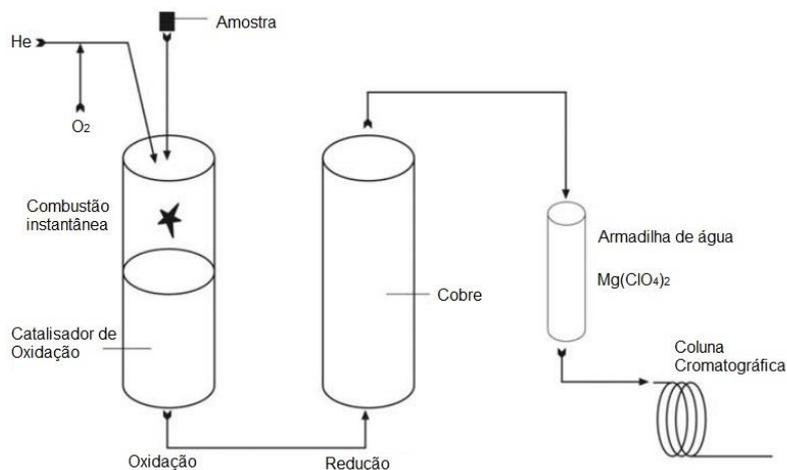


Figura 4.13: Ilustração do esquema seguido pela amostra dentro do EA. Modificado de (Thermo, 2011).

Após a passagem pelo TCD, os gases são injetados no IRMS para a obtenção de as razões isotópicas de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, a partir do CO_2 e N_2 , respectivamente (Figura 4.14). O DELTA V Advantage possui um coletor triplo universal e uma fonte de íons de 3 kV. Na fonte de íons, os gases atravessam um feixe de elétrons, onde são ionizados e acelerados por uma diferença de potencial (3 keV). Em seguida, são colimados por lentes eletrostáticas e direcionados a um ímã analisador, no qual seu princípio básico é a divisão do feixe ionizado de acordo com suas massas (THERMO, 2011; CARDOSO, 2018).

Cargas elétricas ao incidirem em um campo magnético têm suas direções de propagação desviadas de acordo com suas massas (m), cargas elétricas (q), velocidades (v) e intensidade do campo (B), conforme:

$$r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B} ; \quad (8)$$

onde r é o raio da curvatura realizada pelo íon. Da Equação (8) pode-se observar que a massa do íon é diretamente proporcional ao raio de curvatura. Assim, compostos com maiores massas descreverão curvaturas com raios maiores. Após a separação de suas massas, as moléculas ionizadas entram no coletor triplo universal, constituído

por três copos de Faraday posicionados de acordo com os raios de curvatura de cada molécula (THERMO, 2011; CARDOSO, 2018). Esses são capazes de medirem a corrente elétrica de cada feixe de íons. No caso do CO₂, podem-se distinguir massas iguais a $m = 44$, $m = 45$ e $m = 46$ (¹²C¹⁶O¹⁶O, ¹³C¹⁶O¹⁶O e ¹²C¹⁷O¹⁶O; ¹²C¹⁶O¹⁸O), para o N₂, podem-se distinguir as massas $m = 28$ e $m = 29$ (¹⁴N¹⁴N, ¹⁵N¹⁴N) (THERMO, 2011; CARDOSO, 2018).

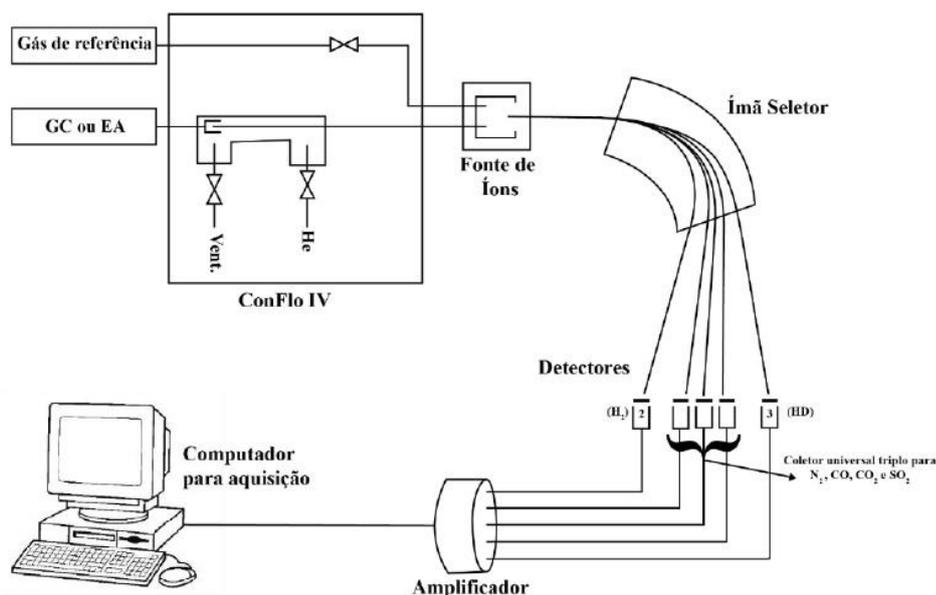


Figura 4.14: Ilustração do esquema de funcionamento do espectrômetro de massas (CARDOSO, 2018).

4.4.2 Análises das concentrações de Ni e V

Para as análises das concentrações dos metais nos músculos, as amostras liofilizadas foram maceradas e homogeneizadas em um almofariz com pistilo, ambos de porcelana, pesadas e separadas em Eppendorfs em porções médias de 0,6 g. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Caracterização de Águas (LAB-ÁGUAS) na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), coordenado pelo professor *José Marcus de Oliveira Godoy*. Lá foram pesadas em duplicatas por uma balança de precisão com quatro casas decimais do grama, reservando-se uma massa média de $(0,1010 \pm 0,0007)$ g em tubos tipo Falcon de 50,0 ml (Sarstedt AG &

Co, Germany). Em seguida, foram adicionados em cada duplicata 2,0 ml de solução HCl (37%) + HNO₃ na proporção 3:1 (água régia) e, posteriormente, foram aquecidas em bloco digestor, modelo DigiPrep (SCP Science, Canadá), como observado na Figura 4.15. A sequência de aquecimento iniciou com uma rampa de 30 min até atingir uma temperatura em torno de 90 °C, permanecendo nessa temperatura constante por mais 60 min. Após passar pelo bloco digestor, as duplicatas foram deixadas em repouso para resfriarem e, em seguida, avolumadas e homogeneizadas com água ultrapura (Master System MS2000, Gehaka, Brasil) até atingirem um volume total de 10,0 ml (Figuras 4.16 e 4.17).



Figura 4.15: Digestão ácida das amostras dos músculos dos peixes coletados no litoral de Pernambuco.

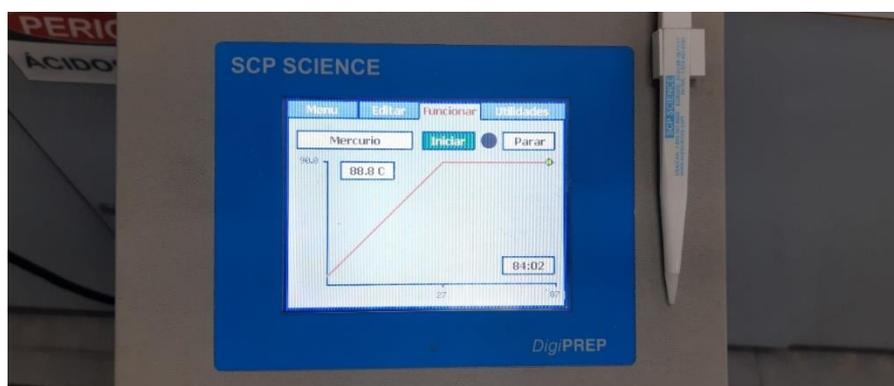


Figura 4.16: Rampa de aquecimento programada no bloco digestor.



Figura 4.17: Amostras avolumadas para 10,0 ml com água Mili-Q.

As amostras foram levadas para uma centrífuga, modelo Kindly – KC5, e centrifugadas por 5 min em uma rotação de 3.200 rpm, até que a fase sólida se depositasse na parte inferior do tubo (Figura 4.18). Após a centrifugação, o sobrenadante foi transferido para tubos do tipo Falcon de 15,0 ml e armazenados sob refrigeração, para posteriormente serem analisadas pela técnica de Espectroscopia de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS). O mesmo protocolo, citado acima, foi aplicado às duplicatas de soluções “branco”, contendo todos os reagentes utilizados nesse protocolo, e no material de referência DORM-2 Dogfish (National Research Council of Canada). A razão entre a medida da concentração de Ni do material de referência e seu valor certificado nos permitiu avaliar a metodologia aplicada, fornecendo um percentual de recuperação de $(96,1 \pm 7,0) \%$.

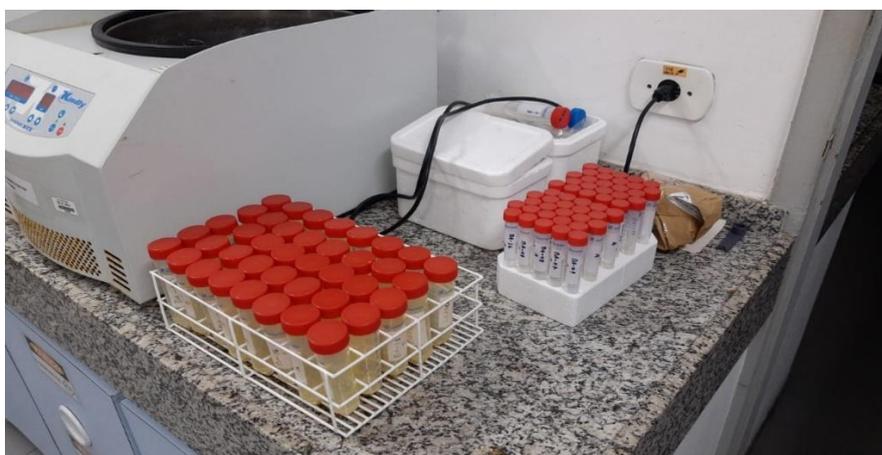


Figura 4.18: Centrifugação e transferência dos sobrenadantes para tubos menores do tipo Falcon.

4.4.2.1. Padrão utilizado no Laboratório de Caracterização de Águas (LAB-ÁGUAS) / PUC-RJ

Objetivando avaliar a metodologia utilizada e a qualidade dos resultados obtidos, utilizou-se o material de referência certificado DORM-2 Dogfish muscle adquirido da National Research Council of Canada. Na Tabela 4.2 é possível observar os valores das concentrações e incertezas certificadas e medidas de Ni, assim como, o percentual de recuperação após a metodologia descrita em 4.4.2.

Tabela 4.2: – Concentração de Ni no material de referência Dorm-2 (Dogfish muscle) do NRC, Canadá. Os valores estão expressos no formato (médias \pm desvios padrão), em mg/kg de massa seca (National Research Council of Canada).

Metal	Certificação	Observado	Recuperação (%)
Ni	19,4 \pm 3,1	18,6 \pm 1,4	96,1 \pm 7,0

4.4.2.2 Concentrações de Ni e V

As concentrações de Ni e V nos músculos dos peixes analisados foram obtidas por Espectroscopia de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS; Figura 4.19). A técnica consiste em fazer a solução contendo o analito de interesse passar por processo de nebulização através de um sistema de introdução. Em seguida, inicia-se o plasma de argônio de alta temperatura (6.000 K – 10.000 K) fazendo a névoa passar por processo de atomização e ionização à medida que permanece no interior do plasma (KOŠLER & SYLVESTER, 2003; GONÇALVES, 2018). Praticamente, todas as moléculas são dissociadas e seus elementos ionizados. Uma diferença de pressão carrega os íons, fazendo-os passar por um conjunto de lentes iônicas que colimam e ajustam as energias cinéticas do feixe antes de direcioná-los para o analisador de massas (KOŠLER & SYLVESTER, 2003; GONÇALVES, 2018). No interior do espectrômetro de massas, o feixe passa por um quadrupolo que funciona variando a intensidade de seu campo elétrico e sua polaridade. Suas frequências são definidas de tal forma que apenas íons com a

relação carga/massa de interesse tenham suas trajetórias estabilizadas e direcionadas para o detetor (KOŠLER & SYLVESTER, 2003; GONÇALVES, 2018).

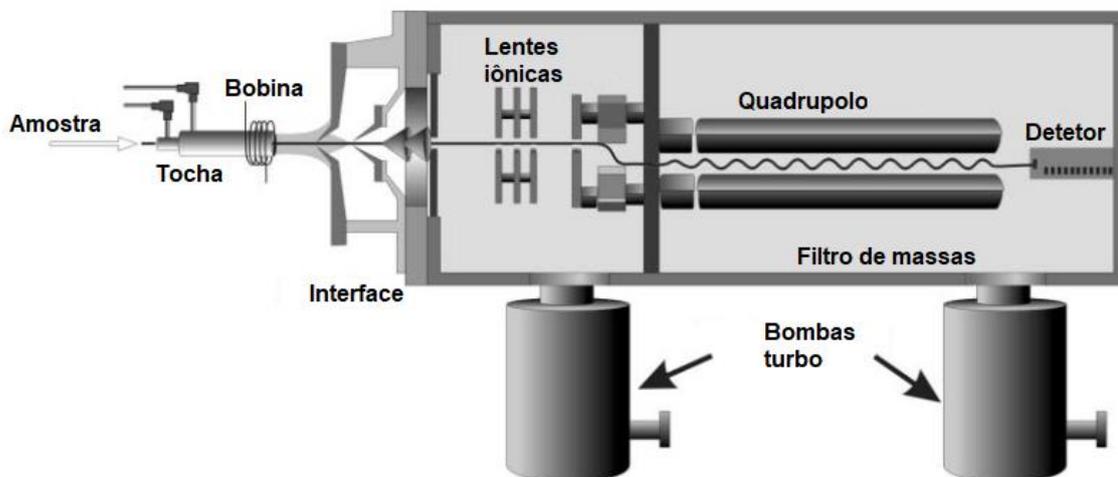


Figura 4.19: Seção transversal do esquema de um ICP-MS quadrupolo. Modificado de KOŠLER & SYLVESTER (2003).

As concentrações de Ni e V foram obtidas em um ICP-MS (modelo 7500CX da empresa Agilent Technologies, Japão, utilizado pelo Laboratório de Caracterização de Águas (LAB-ÁGUAS) na PUC-RJ) a partir dos isótopos ^{60}Ni e ^{51}V e seus limites de detecção foram iguais a $0,38 \mu\text{g/L}$ e $0,47 \mu\text{g/L}$, respectivamente (Figura 4.20). A curva de calibração foi obtida com soluções simulando a matriz dos reagentes utilizados. Essas matrizes continham os respectivos analitos com concentrações de $1 \mu\text{g/L}$, $2 \mu\text{g/L}$, $5 \mu\text{g/L}$, $10 \mu\text{g/L}$ e $20 \mu\text{g/L}$, além de uma solução dos reagentes sem os analitos (brancos).

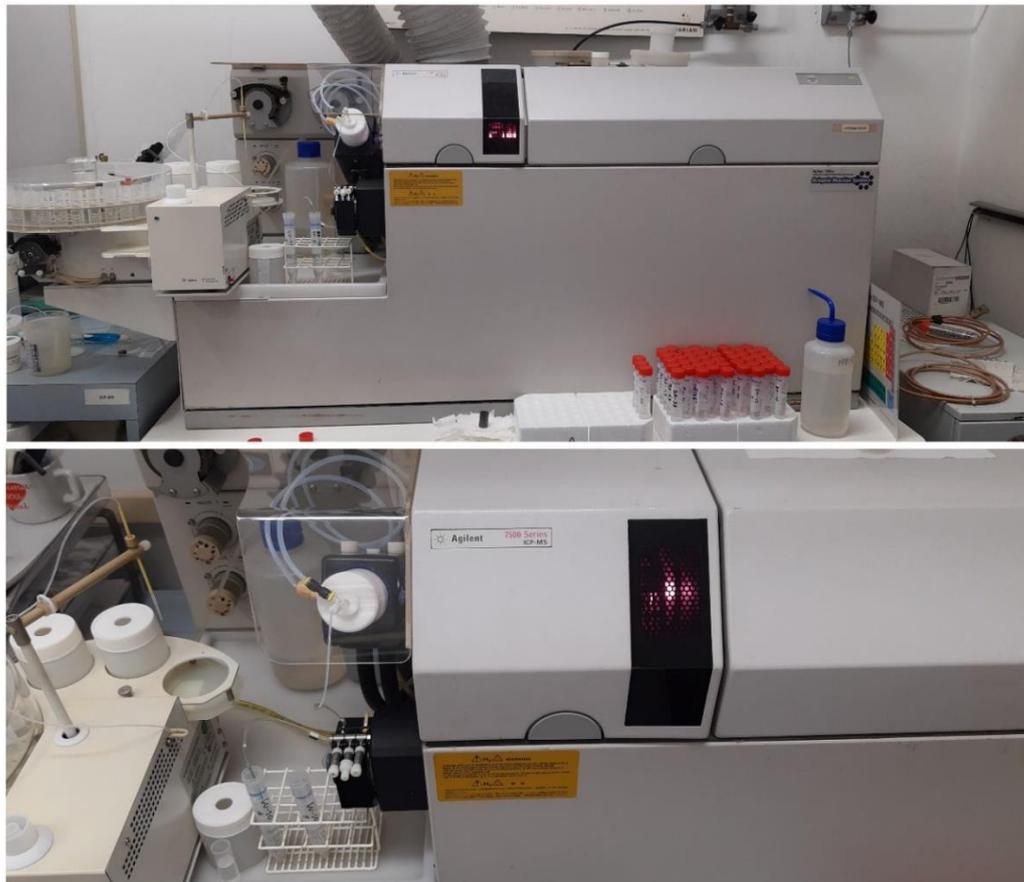


Figura 4.20: ICP-MS utilizado pelo Laboratório de Caracterização de Águas (LAB-ÁGUAS) na PUC-RJ.

4.5 CÁLCULO DAS RAZÕES C/N E V/Ni

Os valores das razões atômicas entre o carbono orgânico total e o nitrogênio total (C/N) foram obtidos dividindo-se os percentuais de carbono pelos percentuais de nitrogênio. Os valores das razões V/Ni foram obtidas através da razão entre as concentrações de V pelas concentrações de Ni de cada amostra.

4.6 CÁLCULO DO FATOR DE BIOMAGNIFICAÇÃO TRÓFICA (FBM)

O fator de biomagnificação trófica pode ser determinado a partir da expressão:

$$FBM = 10^b; \quad (9)$$

onde o expoente b é obtido pelo coeficiente angular da regressão linear entre o logaritmo da concentração da substância química [Concentração] e o nível trófico (N.T.) das espécies analisadas (MADGETT *et al*, 2021). Essa regressão é expressa por:

$$\text{Log[Concentração]} = a + b \cdot \text{N.T.}; \quad (10)$$

4.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente através do software IBM SPSS, versão 28.0.1.1 e do software R, versão 4.2.0 (IBM, 2022; R, 2022). Utilizou-se o teste de Shapiro-Wilk, para verificar as distribuições normais dos dados, e os testes não-paramétricos bicaudais de Mann-Whitney (teste U) ou Kruskal-Wallis, dependendo do número de casos envolvidos na análise (VIALI, 2008). Também foram realizadas comparações pelo método de Pairwise (VIALI, 2008) para investigar diferenças entre as espécies e entre as áreas estudadas. Investigou-se as possíveis correlações entre os dados através das correlações de Spearman (VIALI, 2008) e em todos os testes e correlações o nível de significância aceito foi de $p < 0,05$ (VIALI, 2008). Os gráficos e figuras do presente trabalho foram feitos com software IBM SPSS, versão 28.0.1.1, com o software Microsoft Excel, versão 2207 (MICROSOFT, 2022) e com o software R, versão 4.2.0 (R, 2022).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa seção, serão apresentados os resultados obtidos das medidas biométricas, das análises elementares e das concentrações dos elementos-traço dos representantes das famílias Ariidae (n = 43) e Lutjanidae (n = 30), coletados no litoral do estado de Pernambuco. As razões de isótopos estáveis do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) foram analisadas estatisticamente com o intuito de estabelecer correlações entre os itens alimentares descritos na literatura (MARTINELLI *et al.*, 2009; SOUSA-KRULLSKI, 2011; FERREIRA, 2018; MELLO, 2019; YOGUI & SCHWAMBORN, 2019) e os peixes amostrados, assim como, suas posições tróficas ao longo da cadeia alimentar. Foram analisadas as relações entre as porcentagens de carbono (%C) e nitrogênio (%N), correlacionando-as com os teores de gorduras e proteínas. Indivíduos que apresentam melhores condições, isto é, maiores níveis lipídicos em seus conteúdos, e não estejam submetidos a algum estresse alimentar costumam apresentar razões C/N mais altas (QUINTANA-RIZZO *et al.*, 2015). Também foram analisadas as concentrações dos elementos-traço Ni e V, observando possíveis efeitos de bioacumulações nas espécies estudadas e biomagnificações desses ao longo de suas cadeias tróficas.

As distribuições das grandezas analisadas estão representadas por suas médias e seus respectivos desvios-padrão, como podem ser vistos na Tabela 5.1, na Tabela 5.2 e na Figura 5.1. As médias aritméticas e seus respectivos desvios padrão foram obtidos através do programa IBM SPSS (IBM, 2022). O cálculo do nível trófico de cada exemplar foi realizado, conforme a Equação (4) junto com as especificações citadas na Base teórica. Os valores foram organizados por família, espécie e local de aquisição.

Os dados de cada indivíduo amostrado, os resultados das análises e os testes estatísticos podem ser vistos nos Apêndices A e B. Na Figura 5.1, observa-se as médias das razões isotópicas das espécies coletadas no trabalho de campo. Os polígonos representam os intervalos dos sinais isotópicos indicativos de alguns possíveis organismos que devem participar da cadeia trófica dessas espécies, assim como suas possíveis fontes de alimentação, tomando como base os dados reportados na literatura (MARTINELLI *et al.*, 2009; SOUSA-KRULLSKI, 2011; FERREIRA, 2018;

MELLO, 2019; YOGUI & SCHWAMBORN, 2019). Destacou-se as regiões que compreendem os valores de $\delta^{13}\text{C}$ de plantas com ciclos fotossintéticos C3 e C4 e do petróleo e seus derivados (WIDORY, 2006; MARTINELLI *et al.*, 2009; YU *et al.*, 2010). Também estão apresentadas regiões dos níveis tróficos teóricos calculados, tendo como base as informações citadas na seção Base teórica.

Também foram realizados os cálculos dos fatores de biomagnificação trófica para os elementos Ni e V das amostras analisadas. Esses foram determinados a partir das regressões lineares, calculadas através da Equação (10) apresentada na seção Materiais e métodos e observadas na Figura 5.2. Os fatores de biomagnificação foram obtidos a partir da Equação (9) da mesma seção e podem ser observados na Tabela 5.3. Pode-se observar que os valores encontrados para os fatores de ambos os metais apresentaram valores maiores que 1 ($\text{FBM} > 1$), sugerindo biomagnificação ao longo dos níveis tróficos.

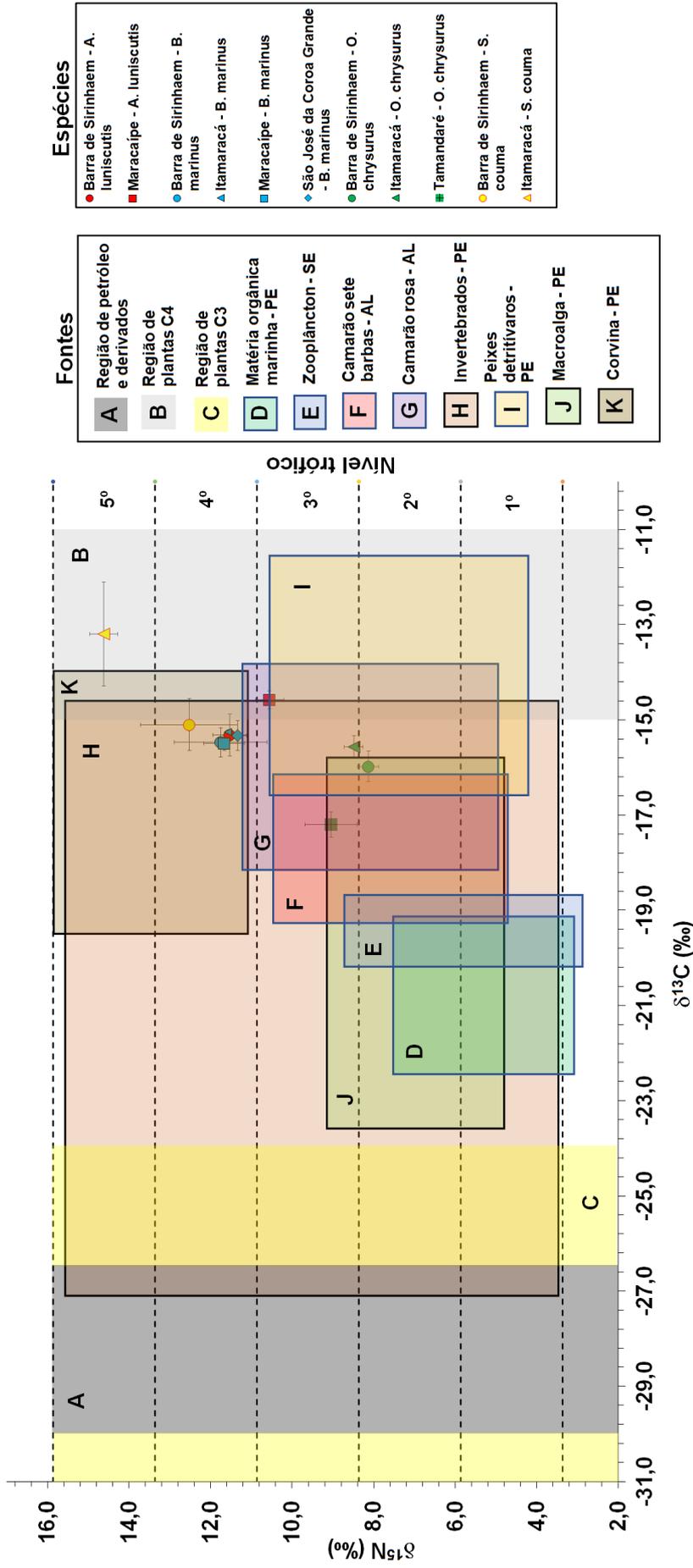


Figura 5.1: Razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das espécies coletadas em Pernambuco e das possíveis fontes de alimentação tomando como base dados reportados na literatura (WIDORY, 2006; MARTINELLI *et al.*, 2009; YU *et al.*, 2010; SOUSA-KRULLSKI, 2011; FERREIRA, 2018; MELLO, 2019; YOGUI & SCHWAMBORN, 2019).

Tabela 5.1: – Médias (média ± desvio padrão) dos dados biométricos e das análises elementares das espécies do Nordeste do presente estudo. n: número de indivíduos; M: Massa; C.T.: Comprimento total; N.T.: Nível trófico.

Família	Espécie	Local	n	M (g)	C.T. (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%C (%)	%N (%)	C/N	N.T.	
Aridae	<i>Aspistor luniscutis</i>	Barra de Sirinhaém	6	235,92 ±136,83	27,5 ±5,9	-15,32 ±0,44	11,52 ±0,43	51,11 ±2,19	14,00 ±0,56	3,65 ±0,05	4,27 ±0,17	
		Maracaípe	3	287,95 ±38,10	29,9 ±0,5	-14,58 ±0,19	10,55 ±0,35	51,39 ±1,49	14,24 ±0,22	3,61 ±0,05	3,88 ±0,14	
		Barra de Sirinhaém	4	214,25 ±98,23	28,8 ±4,6	-15,47 ±0,31	11,75 ±1,14	50,87 ±1,60	14,14 ±0,55	3,60 ±0,11	4,36 ±0,46	
		Maracaípe	3	464,46 ±252,32	36,7 ±6,3	-15,49 ±0,15	11,67 ±0,49	52,36 ±1,64	14,69 ±0,28	3,57 ±0,18	4,32 ±0,20	
			São José da Coroa Grande	18	778,10 ±276,16	42,2 ±4,6	-15,33 ±0,31	11,33 ±0,22	51,69 ±1,80	14,76 ±0,66	3,51 ±0,15	4,19 ±0,09
Lutjanidae	<i>Sciades couma</i>	Barra de Sirinhaém	5	247,03 ±155,81	31,2 ±5,3	-15,10 ±0,54	12,53 ±1,19	49,80 ±2,27	14,55 ±0,87	3,43 ±0,28	4,67 ±0,48	
		Ilha de Itamaracá	4	680,38 ±279,74	41,0 ±5,4	-13,19 ±1,09	14,62 ±0,35	52,06 ±1,54	14,23 ±0,46	3,66 ±0,16	5,50 ±0,14	
	<i>Ocyurus chrysurus</i>	Barra de Sirinhaém	7	247,92 ±26,89	30,2 ±1,6	-15,98 ±0,32	8,14 ±0,26	50,87 ±1,67	13,48 ±0,38	3,77 ±0,02	2,91 ±0,11	
		Ilha de Itamaracá	11	338,47 ±120,96	32,0 ±4,0	-15,57 ±0,24	8,49 ±0,23	52,41 ±1,24	14,02 ±0,55	3,74 ±0,18	3,05 ±0,09	
		Tamandaré	12	406,97 ±88,35	34,9 ±2,6	-17,20 ±0,26	9,05 ±0,63	52,16 ±2,87	14,19 ±0,98	3,69 ±0,28	3,28 ±0,25	

Tabela 5.2: – Médias (média ± desvio padrão) dos dados biométricos, das concentrações de Ni e V e razões V/Ni das espécies do Nordeste do presente estudo. n: número de indivíduos; M: Massa; C.T.: Comprimento total.

Família	Espécie	Local	n	M (g)	C.T. (cm)	Ni (mg/kg)	V (mg/kg)	V/Ni
Ariidae	<i>Aspistor luniscutis</i>	Barra de Sirinhaém	6	235,92 ±136,83	27,5 ±5,9	0,11 ±0,12	0,05 ±0,01	1,15 ±0,99
		Maracaípe	3	287,95 ±38,10	29,9 ±0,5	0,06 ±0,01	0,08 ±0,01	1,40 ±0,53
		Barra de Sirinhaém	4	214,25 ±98,23	28,8 ±4,6	0,09 ±0,08	0,06 ±0,01	0,97 ±0,62
		Maracaípe	3	464,46 ±252,32	36,7 ±6,3	0,04 ±0,01	0,07 ±0,00	1,60 ±0,30
Lutjanidae	<i>Sciades couma</i>	São José da Coroa Grande	18	778,10 ±276,16	42,2 ±4,6	0,05 ±0,04	0,07 ±0,01	2,39 ±1,38
		Barra de Sirinhaém	5	247,03 ±155,81	31,2 ±5,3	0,06 ±0,03	0,06 ±0,01	1,51 ±1,01
		Ilha de Itamaracá	4	680,38 ±279,74	41,0 ±5,4	0,07 ±0,05	0,07 ±0,02	1,37 ±0,74
		Barra de Sirinhaém	7	247,92 ±26,89	30,2 ±1,6	0,04 ±0,01	0,06 ±0,01	1,83 ±0,75
Lutjanidae	<i>Ocyurus chrysurus</i>	Ilha de Itamaracá	11	338,47 ±120,96	32,0 ±4,0	0,02 ±0,01	0,05 ±0,01	3,09 ±1,78
		Tamandaré	12	406,97 ±88,35	34,9 ±2,6	0,01 ±0,01	0,05 ±0,01	3,85 ±1,58

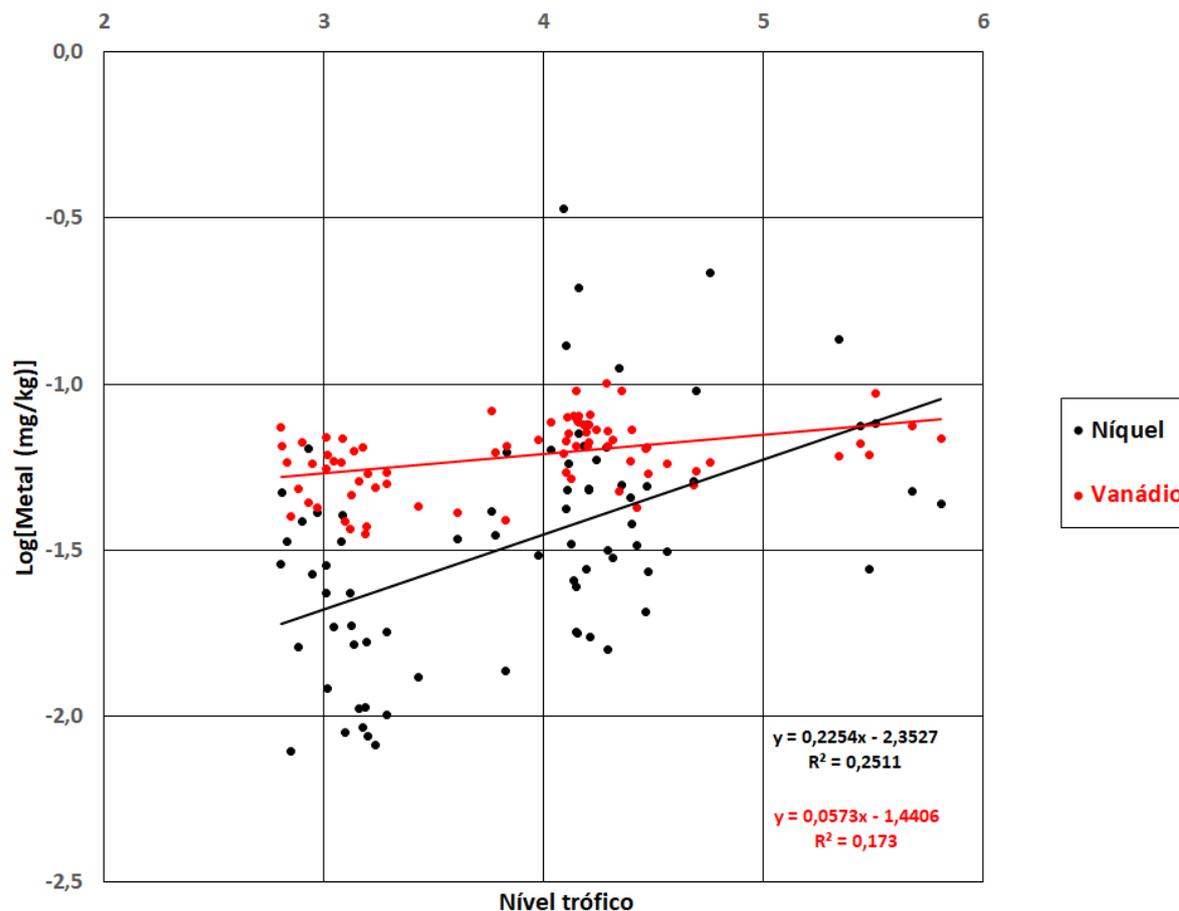


Figura 5.2: Regressão linear das concentrações de Ni e V versus o nível trófico.

Tabela 5.3: – Coeficientes angulares (b) e R^2 das regressões lineares das concentrações de Ni e V. Valores dos FBM's para os elementos-traço Ni e V calculados para as amostras do estudo.

Elemento-traço	b	R^2	FBM
Níquel	0,2254	0,2511	1,68022
Vanádio	0,0573	0,1730	1,14114

5.1 RESULTADOS GERAIS

As distribuições de $\delta^{13}\text{C}$ dos indivíduos da família Lutjanidae (*O. chrysurus*) provenientes na costa pernambucana, convergem com as informações encontradas na literatura (FISHBASE, 2021; FONSECA, 2009; MAPA, 2016) sobre os hábitos carnívoros dessa espécie. Essa família alimenta-se, principalmente, por uma combinação de animais bentônicos e planctônicos, como crustáceos, vermes, peixes,

moluscos gastrópodes e cefalópodes. As distribuições de $\delta^{13}\text{C}$ dos membros da família Ariidae indicam hábitos carnívoros oportunistas nas espécies *A. luniscutis* e *B. marinus*, alimentando-se de animais da macrofauna, como poliquetas, moluscos bivalves, crustáceos e outros peixes. Também indicam hábitos omnívoros na espécie *S. Couma*, ingerindo crustáceos, moluscos, ovos e larvas de peixes, insetos e plantas terrestres, todos em acordo com a literatura (FISHBASE, 2021; FONSECA, 2009; MAPA, 2016).

As análises estatísticas indicaram que as distribuições de $\delta^{13}\text{C}$ entre as famílias Ariidae e Lutjanidae não apresentam igualdade (Apêndice B e Figura 5.3). Essa desigualdade indica fontes de alimentação distintas ou proporção diferentes entre as mesmas fontes, podendo estar associadas aos seus habitats e/ou a sua disponibilidade. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ nas amostras de peixes tiveram suas médias variando entre -17,20 ‰ e -13,19 ‰, enquanto na literatura (WIDORY, 2006; YU *et al.*, 2010), os valores para petróleo cru e seus derivados variaram entre -30,00 ‰ e -26,50 ‰. Comparando esses dois intervalos, pode-se concluir que, caso exista uma contaminação remanescente, o petróleo cru e seus derivados ou seus metabólitos não estão influenciando na composição isotópica dessas amostras e de suas possíveis fontes de alimentação ou, que esses organismos não estejam mais expostos a essas substâncias.

Os valores e os testes U das distribuições de $\delta^{15}\text{N}$ indicam distintas posições em suas cadeias tróficas (Apêndice B), sendo os integrantes da família Ariidae aqueles que, em média, ocupam os maiores níveis tróficos. Essa distinção pode ser observada nas Figuras 5.1 e 5.3. A espécie *A. luniscutis* (n = 9) apresentou posição trófica média ($4,1 \pm 0,2$); a espécie *B. marinus* (n = 25) uma posição de ($4,2 \pm 0,2$); a espécie *S. couma* (n = 9) apresentou uma posição média ($5,0 \pm 0,6$) e; a espécie *O. chrysurus* (n = 30) uma posição média em sua cadeia trófica ($3,1 \pm 0,2$). Entretanto, as distribuições comparadas par a par para as três espécies avaliadas da família Ariidae indicaram semelhança entre as espécies *A. luniscutis* e *B. marinus* em seus hábitos alimentares e em suas posições tróficas. Sugeriu que as espécies *A. luniscutis* e *S. couma* compartilham de fontes alimentares semelhantes, mas apresentaram posições tróficas com pouca semelhança (Figura 5.4). Também indicaram que as espécies *B. marinus* e *S. couma* são as menos semelhantes entre si. Os coeficientes de Spearman indicaram uma correlação positiva próxima ao nível de significância

entre os valores de $\delta^{15}\text{N}$ e os comprimentos totais das amostras reunidas. Essa correlação sugere que os indivíduos mais velhos ocupam posições tróficas mais altas, uma vez que os comprimentos dos peixes possuem uma relação direta com sua idade (NÓBREGA, 2002). À medida que crescem, os peixes das espécies estudadas mudam seus hábitos e/ou habitats proporcionando-lhes a capacidade de se alimentarem de itens com um $\delta^{15}\text{N}$ mais elevado (FISHBASE, 2021; FONSECA, 2009; MAPA, 2016). Os dados estatísticos também indicaram uma correlação positiva entre $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. Essa última correlação é esperada devido aos fracionamentos isotópicos entre os níveis tróficos, já descritos na base teórica dessa dissertação (MARTINELLI *et al.*, 2009), onde ocorre enriquecimento do isótopo mais pesado em cada nível trófico superior.

Os testes estatísticos indicaram que não há igualdade entre distribuições das concentrações de Ni e V encontradas nas duas famílias analisadas (Ariidae e Lutjanidae). As concentrações médias de Ni e V encontradas nos indivíduos da família Ariidae variaram entre 0,04 mg/kg - 0,11 mg/kg e 0,05 mg/kg - 0,08 mg/kg de massa úmida, respectivamente. Para os integrantes da família Lutjanidae, essas mesmas concentrações médias variaram entre 0,01 mg/kg - 0,04 mg/kg e 0,05 mg/kg - 0,06 mg/kg de massa úmida, respectivamente. Ao se comparar esses intervalos de médias com as descritas nos estudos citados na base teórica (KUMAR-ROINÉ *et al.*, 2022; TULCAN *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2018; CABRINI *et al.*, 2018; MOGHANI *et al.*, 2014; SEPE *et al.*, 2003), percebe-se que os intervalos das concentrações encontradas nas amostras pernambucanas apresentam valores menores daqueles citados, ou interseccionam-se próximos aos seus valores mínimos. Isso sugere que os valores encontrados nas amostras de Pernambuco estão refletindo concentrações proporcionais àquelas que já se encontravam no ambiente (SANTOS, 2013) antes do derramamento do óleo de 2019. Ambientes impactados por óleos e derivados ou por forte atividade antrópica tendem a apresentarem concentrações maiores que as observadas (KUMAR-ROINÉ *et al.*, 2022; TULCAN *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2018; CABRINI *et al.*, 2018; MOGHANI *et al.*, 2014; SEPE *et al.*, 2003).

Os dados indicaram uma correlação negativa entre as concentrações de Ni e as massas dos indivíduos nas duas famílias, sugerindo, aparentemente, que esse elemento não está bioacumulando, estando de acordo com WHO (2021a), entretanto outras análises devem ser realizadas para corroborar essa observação. Os

organismos aquáticos não bioacumulam quantidades significativas de Ni e a concentração em peixes carnívoros aparenta não aumentar com a idade (WHO, 2021a). Os testes indicaram uma correlação positiva entre as concentrações de Ni e as razões isotópicas do nitrogênio. Associando-se essa relação ao valor encontrado do FBM para esse metal (FBM = 1,68), os dados sugerem que, para essas amostras, o Ni pode estar sendo biomagnificado ao longo da cadeia dos indivíduos (LIU *et al.*, 2018). As estatísticas indicaram correlações positivas entre as concentrações de V e as massas e os comprimentos, parecendo sugerir um efeito de bioacumulação desse metal nos indivíduos das duas famílias, o mesmo observado no estudo de Liu *et al.* (2018). O mesmo tipo de correlação positiva foi observado entre as concentrações de V e $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. Analogamente, pode-se associar essas correlações com o valor encontrado do FBM para esse metal (FBM = 1,14) e deduzir que os dados do V sugerem que, para as amostras analisadas, esse metal pode estar sendo biomagnificado ao longo da cadeia dos indivíduos amostrados. As espécies da família Ariidae, em geral, apresentaram concentrações médias dos elementos-traço maiores que os integrantes da família Lutjanidae (Figura 5.3) e diferentes distribuições das razões V/Ni. Mesmo que as duas famílias sejam compreendidas por peixes demersais, que possuem ligação com o leito marinho, essa distinção entre as famílias, possivelmente, está associada aos seus habitats distintos, como previamente citado na seção de Materiais e métodos. Os integrantes da família Ariidae apresentam hábitos bentônicos e costumam ser encontrados em regiões estuarinas e mais próximas da costa, enquanto os integrantes da família Lutjanidae demonstram hábitos bento-pelágicos e habitam a coluna d'água próxima à recifes de corais e áreas fora da plataforma continental (FISHBASE, 2021; MARCENIUK, 2005; FONSECA, 2009).

Na comparação estatística entre as espécies, as concentrações de Ni apresentaram semelhanças em suas distribuições entre as espécies de bagres e indicou distinções da espécie dos guaiúbas com as demais (Figura 5.4). As concentrações de V apresentaram alguma semelhança entre as espécies *O. chrysurus* e *A. luniscutis*. Contudo, não houve semelhanças entre *O. chrysurus* as demais espécies da família Ariidae, concordando com o que foi visto na comparação entre as famílias. Entre os bagres, os testes indicaram semelhança entre a espécie *S. couma* com as espécies *A. luniscutis* e *B. marinus*. Entretanto, essas duas últimas espécies apresentaram uma semelhança muito fraca nas suas concentrações de V.

Indicaram semelhanças nas razões V/Ni entre as espécies de bagres. Indicou alguma semelhança entre as razões V/Ni dos *O. chrysurus* com os *B. marinus* e; diferenciou as distribuições das razões V/Ni dos *O. chrysurus* com as demais espécies de bagres (*A. luniscutis*, *S. couma*), sugerindo fontes ou metabolismos semelhantes nos indivíduos da família Ariidae e distintos entre bagres e guaiúbas. Entretanto, a semelhança entre a espécie *B. marinus* e *O. chrysurus* se justifica, uma vez que habitam ambientes semelhantes. A primeira espécie ocupa principalmente o ambiente marinho, mas ligado a hábitos bentônicos, enquanto a segunda espécie são peixes marinhos demersais que habitam a coluna d'água de recifes de corais e áreas fora da plataforma continental (FISHBASE, 2021; MARCENIUK, 2005; FONSECA, 2009). A distinção entre as razões V/Ni dos *O. chrysurus* com as demais espécies de bagres (*A. luniscutis*, *S. couma*) também pode ser atribuída aos habitats ocupados pelas espécies. As espécies *A. luniscutis* e *S. couma* são comumente encontradas em interiores de baías e zonas estuarinas e em águas turvas de estuários e das partes baixas dos rios, respectivamente (FISHBASE, 2021; MARCENIUK, 2005; FONSECA, 2009).

As análises estatísticas indicaram que as distribuições das razões C/N são distintas entre as famílias Ariidae e Lutjanidae, sugerindo diferenças entre as proporções nos teores de lipídios e proteínas nos tecidos musculares dos peixes (BARNES *et al.*, 2007; QUINTANA-RIZZO *et al.*, 2015). As distribuições das razões C/N apresentaram correlações negativas com as razões isotópicas de carbono. Esse comportamento era esperado, uma vez que razões C/N maiores refletem teores de lipídeos maiores e menores teores de proteínas nos tecidos, associando-se a menores valores de $\delta^{13}\text{C}$ (MELLO, 2019). Por conta do metabolismo, os lipídeos tendem a reter, preferencialmente, moléculas mais “leves” de carbono, refletindo uma depleção do $\delta^{13}\text{C}$ (MELLO, 2019). Também apresentaram correlações negativas com as razões isotópicas de nitrogênio, indicando algum estresse alimentar nas posições tróficas mais altas (QUINTANA-RIZZO *et al.*, 2015; MELLO, 2019). Entre as espécies de bagres (família Ariidae), os testes indicaram semelhanças nas distribuições das razões C/N.

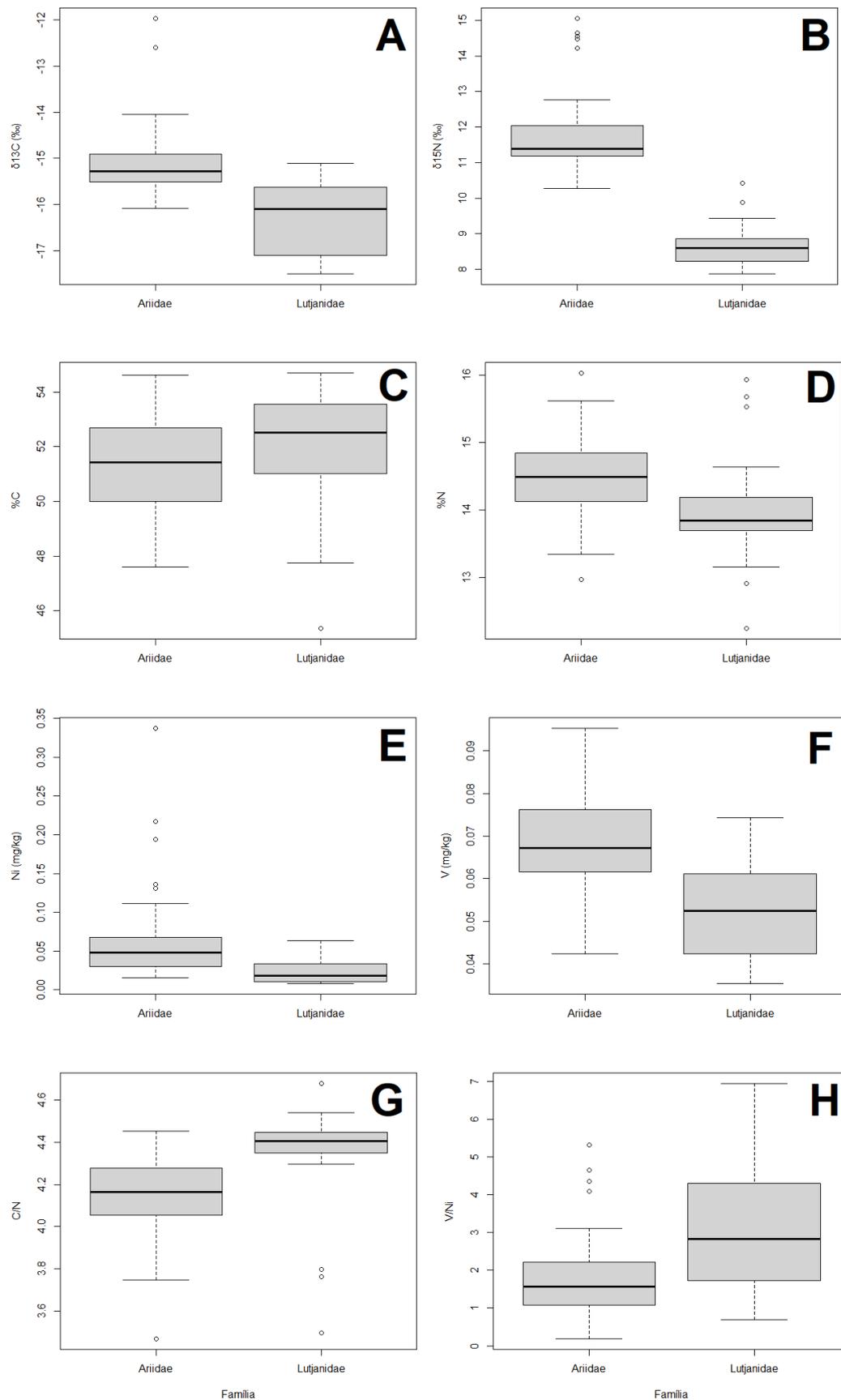


Figura 5.3: Distribuição dos dados para as famílias Ariidae e Lutjanidae coletadas no litoral de Pernambuco: A e B) razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$; C e D) percentuais de carbono e nitrogênio; E e F) concentrações de Ni e V; G e H) razões C/N e V/Ni.

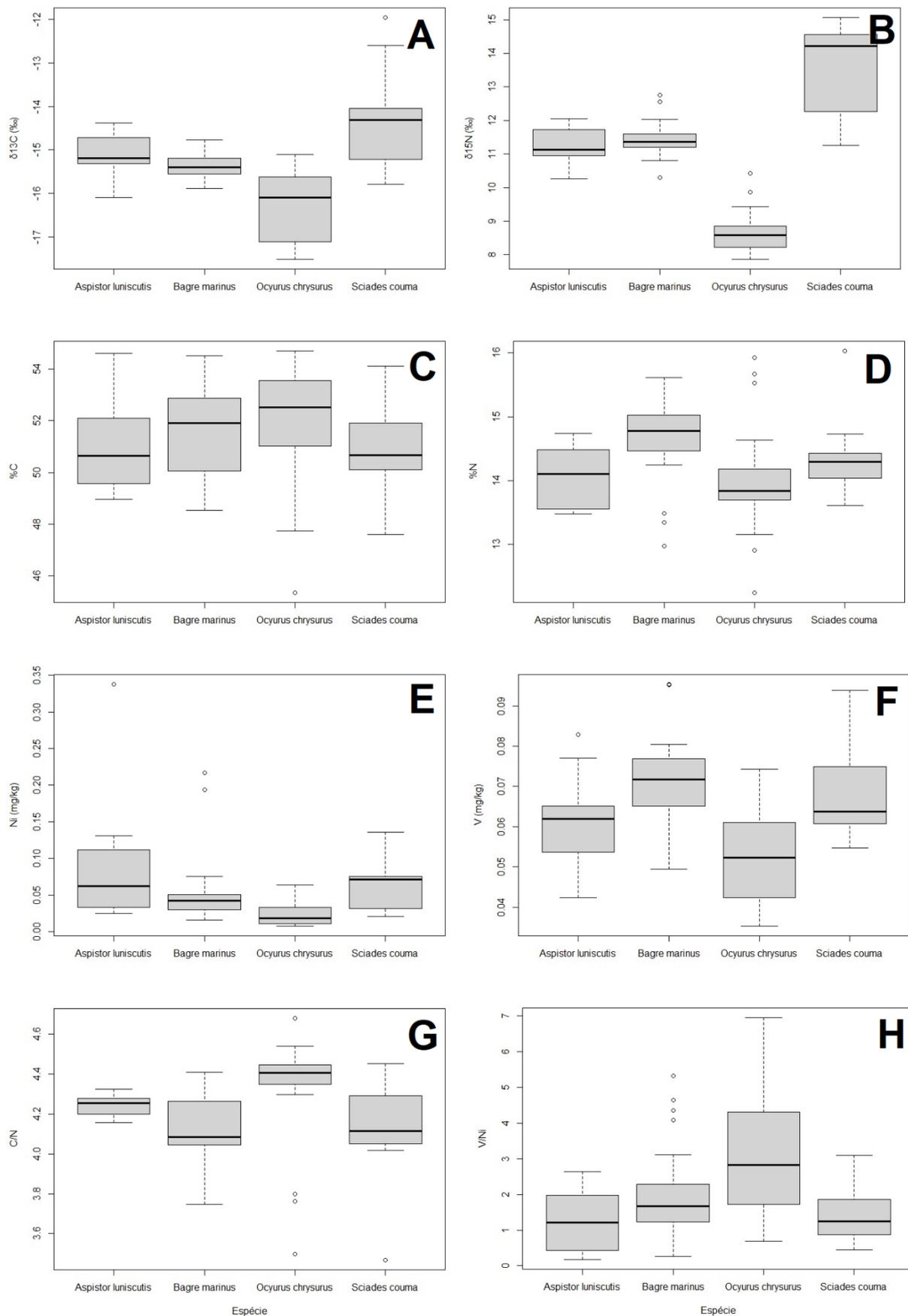


Figura 5.4: Distribuição dos dados para as espécies coletadas no litoral de Pernambuco: A e B) razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$; C e D) percentuais de carbono e nitrogênio; E e F) concentrações de Ni e V; G e H) razões C/N e V/Ni.

5.2 RESULTADOS DAS LOCALIDADES

5.2.1 Barra de Sirinhaem

Na localidade de Barra de Sirinhaem, foram amostrados peixes das quatro espécies analisadas no litoral pernambucano: *Aspistor luniscutis* (n = 6), *Bagre marinus* (n = 4), *Ocyurus chrysurus* (n = 7) e *Sciades couma* (n = 5). Os testes estatísticos das distribuições das razões isotópicas das espécies da família Ariidae (bagres) indicaram semelhanças em suas dietas e posições tróficas. Essas semelhanças estão associadas a disponibilidade das fontes encontradas no local (Figura 5.5 e 5.6) e por compartilharem os mesmos habitats. As amostras da família Lutjanidae (guaiúbas) coletados nessa localidade apresentaram comportamento similar ao descrito nos resultados gerais, tendo suas razões $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ distinguindo-se daquelas encontradas para os indivíduos da família Ariidae. Apesar de os integrantes das duas famílias compartilharem fontes alimentares semelhantes (crustáceos, invertebrados, moluscos e peixes), seus habitats distintos devem influenciar esses dados. Os guaiúbas costumam habitar a coluna d'água de recifes coralinos, camas de algas e gramas marinhas. Os adultos podem alcançar regiões fora da costa e em profundidades de até 180 m. Os bagres espalham-se por partes baixas dos rios, estuários e ambientes marinhos bentônicos (FISHBASE, 2021; MARCENIUK, 2005; FONSECA, 2009). Na Figura 5.6, pode-se observar que nessa localidade os indivíduos da espécie *A. luniscutis* alimentam-se, preferencialmente, de uma dieta baseada em invertebrados, pequenos peixes e pequenas porções de plantas do tipo C4. Os indivíduos da espécie *B. marinus* possui uma dieta baseada em invertebrados e pequenos peixes. Os indivíduos da espécie *S. couma* baseada em invertebrados, pequenos peixes e plantas do tipo C4. Já os indivíduos da espécie *O. chrysurus*, uma dieta básica de crustáceos, invertebrados e peixes detritívoros, refletindo a abundância e a diversidade das fontes nesse local.

Todas as amostras apresentaram semelhanças nas concentrações de Ni na comparação entre as espécies. As concentrações de V apresentaram semelhanças entre as espécies, com exceção das comparações entre *A. luniscutis* e *O. chrysurus*

com semelhanças próximas ao nível de significância. De maneira geral, as espécies desse local demonstram uma semelhança próxima ao nível de significância para esse metal. As flutuações entre as semelhanças nas concentrações dos elementos-traço em cada espécie, provavelmente, estão associadas a forma com que cada uma delas metabolizam esses metais. Os testes indicaram semelhanças nas razões V/Ni das espécies dessa localidade, sugerindo, possivelmente, a mesma origem das fontes desses elementos-traço.

Como citado anteriormente, as comparações das razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ entre as famílias sugeriram fontes alimentares distintas ou em proporções diferentes. Pode-se associá-las às comparações das razões V/Ni, o que permite afirmar que os metais Ni e V apresentam um equilíbrio em suas concentrações nessa localidade, independentemente do habitat de cada família, uma vez que os organismos podem bioconcentrar metais em níveis proporcionais aos ambientes que os circunda (SANTOS, 2013). As espécies apresentaram similaridades nos percentuais de carbono, mas semelhanças próximas ao nível de significância nos valores de %N. As espécies de bagre apresentaram semelhanças em %N. Contudo, os guaiúbas tenderam a apresentar percentuais menores que as demais espécies, resultando em maiores razões C/N, quando comparadas com os bagres. Essa distinção pode ser compreendida pelos diferentes habitats que cada espécie ocupa, uma vez que os bagres tendem a ocupar regiões mais próximas da costa, ricas em nutrientes, enquanto os guaiúbas tendem a ocupar águas mais afastadas e oligotróficas (FISHBASE, 2021; MARCENIUK, 2005; FONSECA, 2009; SANTOS, 2022).

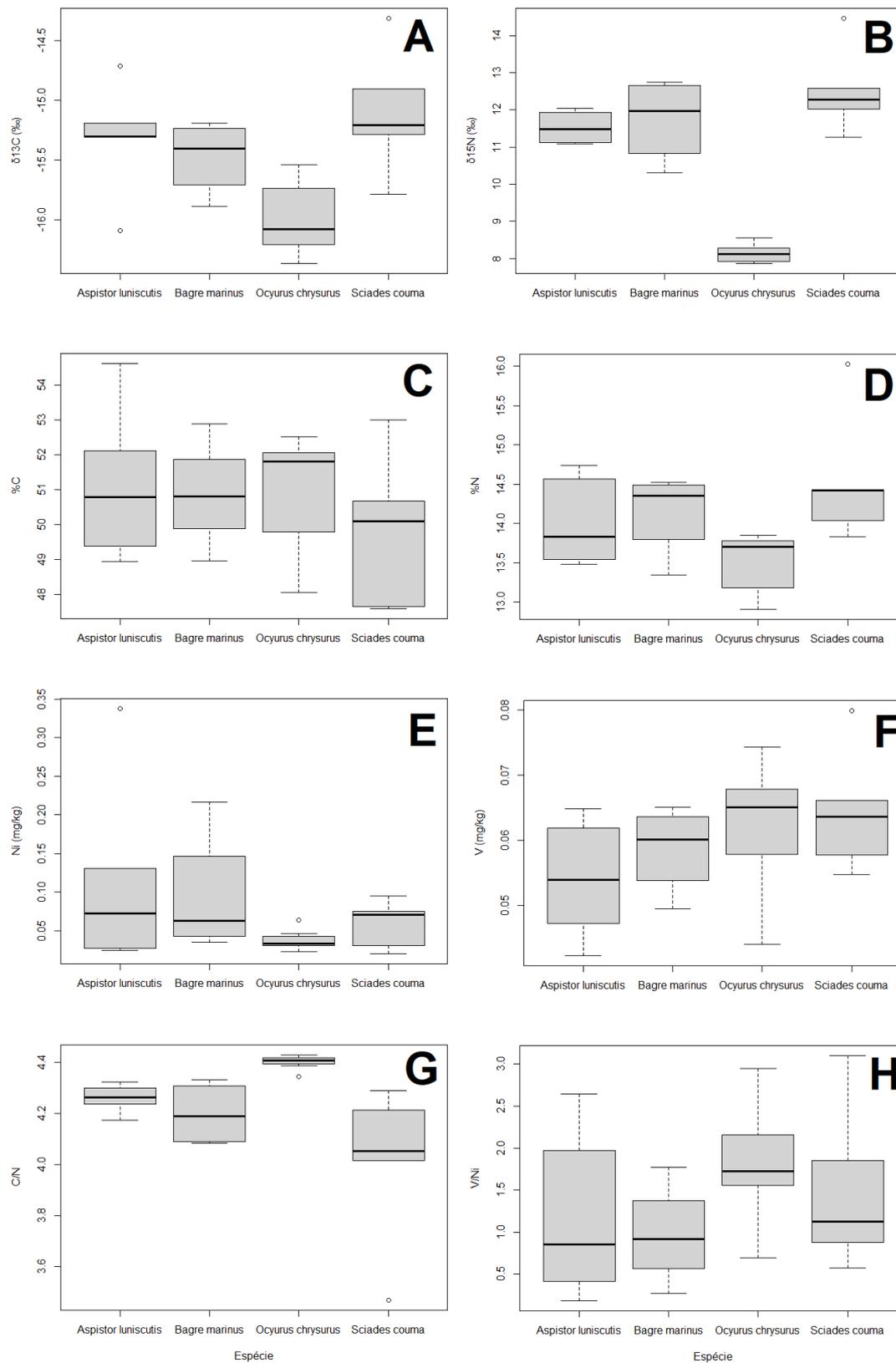


Figura 5.5: Distribuição dos dados para as espécies coletadas em Barra de Sirinhaem: A e B) razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$; C e D) percentuais de carbono e nitrogênio; E e F) concentrações de Ni e V; G e H) razões C/N e V/Ni.

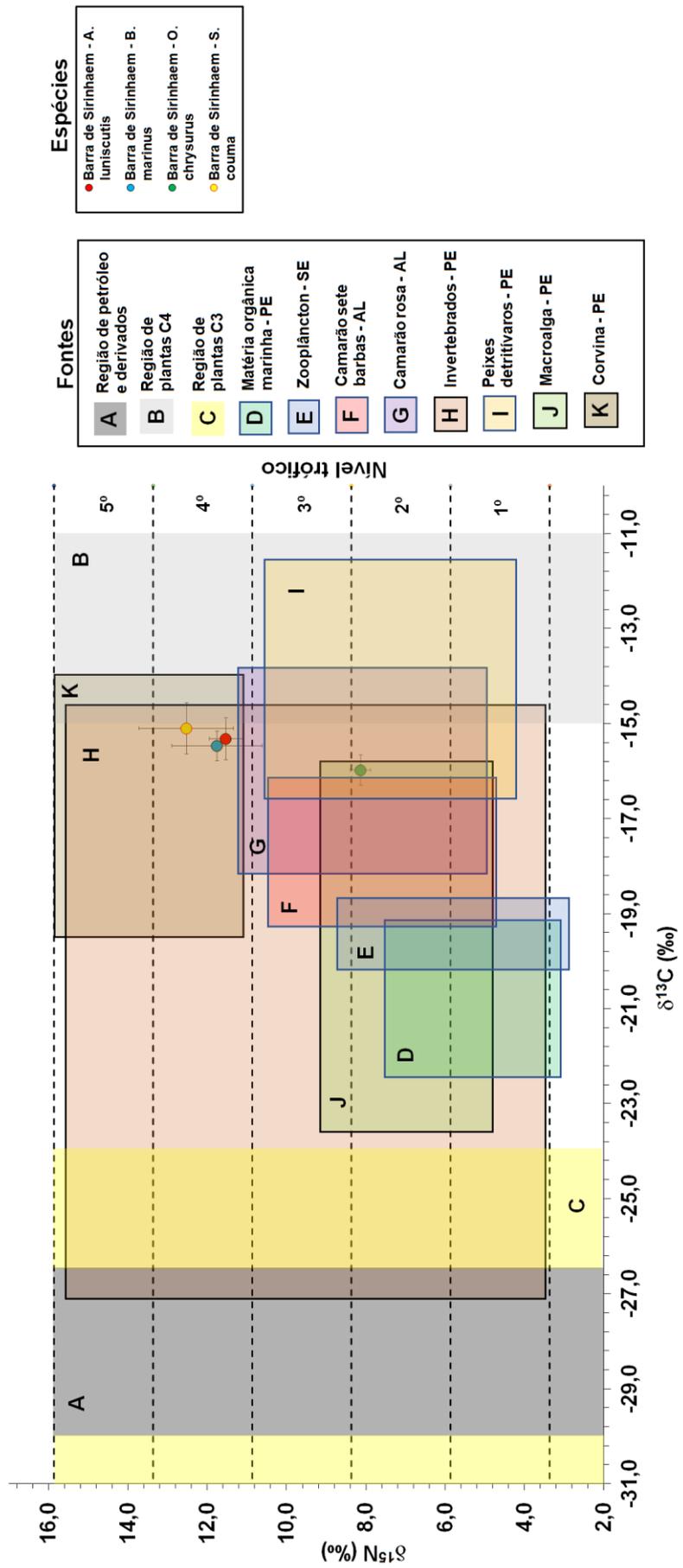


Figura 5.6: Razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das espécies coletadas em Barra de Sirinhaem e das possíveis fontes de alimentação tomando como base dados reportados na literatura (WIDORY, 2006; MARTINELLI *et al.*, 2009; YU *et al.*, 2010; SOUSA-KRULLSKI, 2011; FERREIRA, 2018; MELLO, 2019; YOGUI & SCHWAMBORN, 2019).

5.2.2 Ilha de Itamaracá

As amostras da Ilha de Itamaracá, *O. chrysurus* (n = 11) e *S. couma* (n = 4), demonstraram distinções em suas razões isotópicas, sugerindo que devem possuir fontes alimentares diferentes e conseqüentemente indicando posições tróficas distintas para ambas as espécies. A Figura 5.7 ilustra exatamente essa observação, onde os indivíduos da espécie *S. couma* dessa região demonstram uma dieta baseada em plantas do tipo C4 e com alguma influência de pequenos peixes com níveis tróficos próximos aos seus. Por outro lado, os indivíduos da espécie *O. chrysurus* apresentam uma dieta a base de crustáceos, invertebrados e pequenos peixes detritívoros. Essa diferença se dá por conta de seus habitats distintos e pela disponibilidade dos itens alimentares nos mesmos (FISHBASE, 2021; FONSECA, 2009; MAPA, 2016). Nessa localidade, as distribuições de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ dos indivíduos da espécie *S. couma* apresentam maior dispersão quando comparadas as da espécie *O. chrysurus* (Figura 5.8), indicando uma variedade maior de itens alimentares na primeira espécie, caracterizando seu hábito omnívoro de alimentação, enquanto a segunda (hábito carnívoro) demonstra uma dieta mais restrita (FISHBASE, 2021; FONSECA, 2009; MAPA, 2016).

Os resultados dos testes estatísticos sugeriram semelhanças para %C e %N das duas espécies e, portanto, semelhança entre suas razões C/N. Esses dados sugerem que as amostras apresentam semelhanças entre as proporções nos teores de lipídios e proteínas em seus tecidos musculares (BARNES *et al.*, 2007; QUINTANA-RIZZO *et al.*, 2015). As duas espécies não apresentaram semelhanças em suas concentrações de Ni. Porém, apresentaram semelhanças próximas ao nível de significância nas concentrações de V e nas razões V/Ni, tendo a espécie *S. couma* concentrações maiores de V quando comparadas as da espécie *O. chrysurus*. Associadas às informações das razões isotópicas distintas entre as espécies e das informações das concentrações de Ni e V, essas razões parecem indicar que esses elementos-traços não apresentam suas concentrações igualmente distribuídas, isto é, em equilíbrio, nos habitats encontrados nessa localidade (SANTOS, 2013), como foi observado em Barra de Sirinhaem, indicando uma dependência das fontes alimentares.

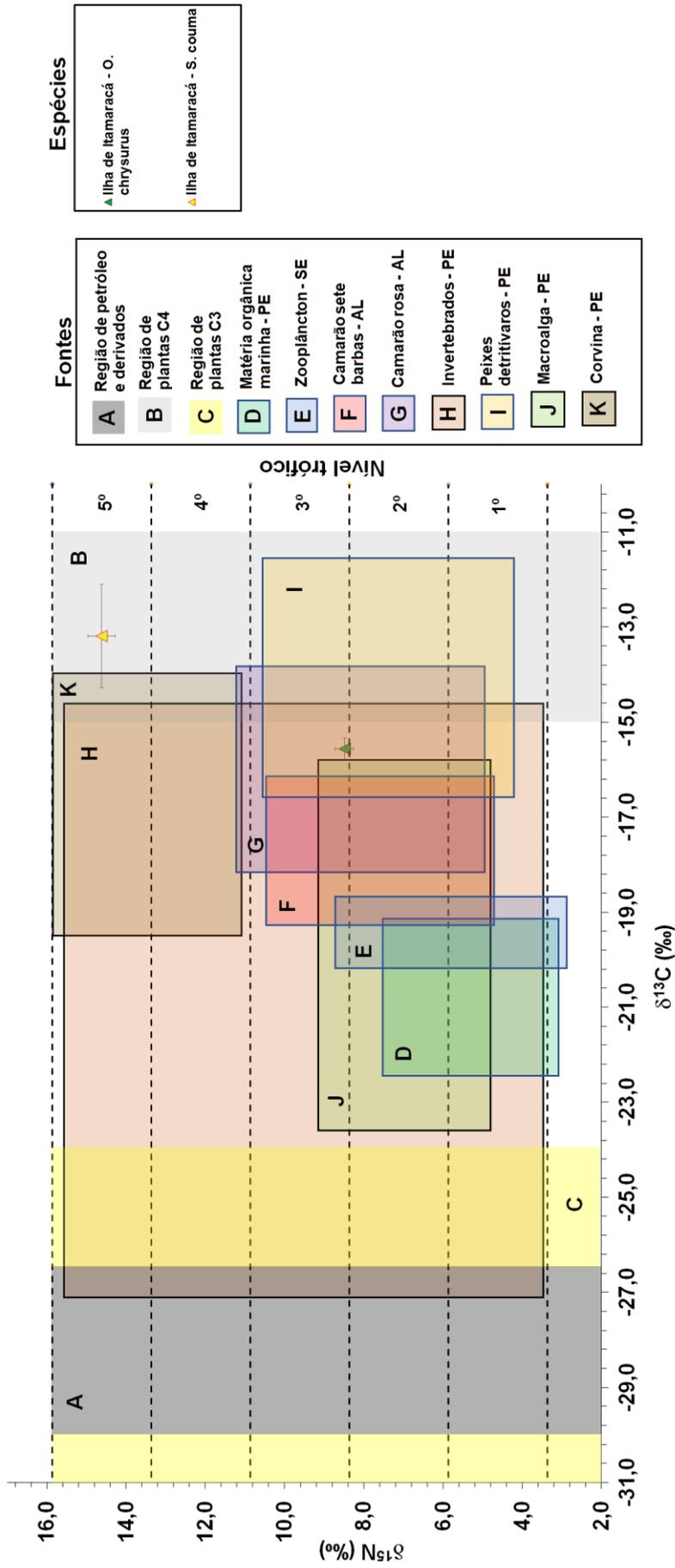


Figura 5.7: Razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das espécies coletadas em Ilha de Itamaracá e das possíveis fontes de alimentação tomando como base dados reportados na literatura (WIDORY, 2006; MARTINELLI *et al.*, 2009; YU *et al.*, 2010; SOUSA-KRULLSKI, 2011; FERREIRA, 2018; MELLO, 2019; YOGUI & SCHWAMBORN, 2019).

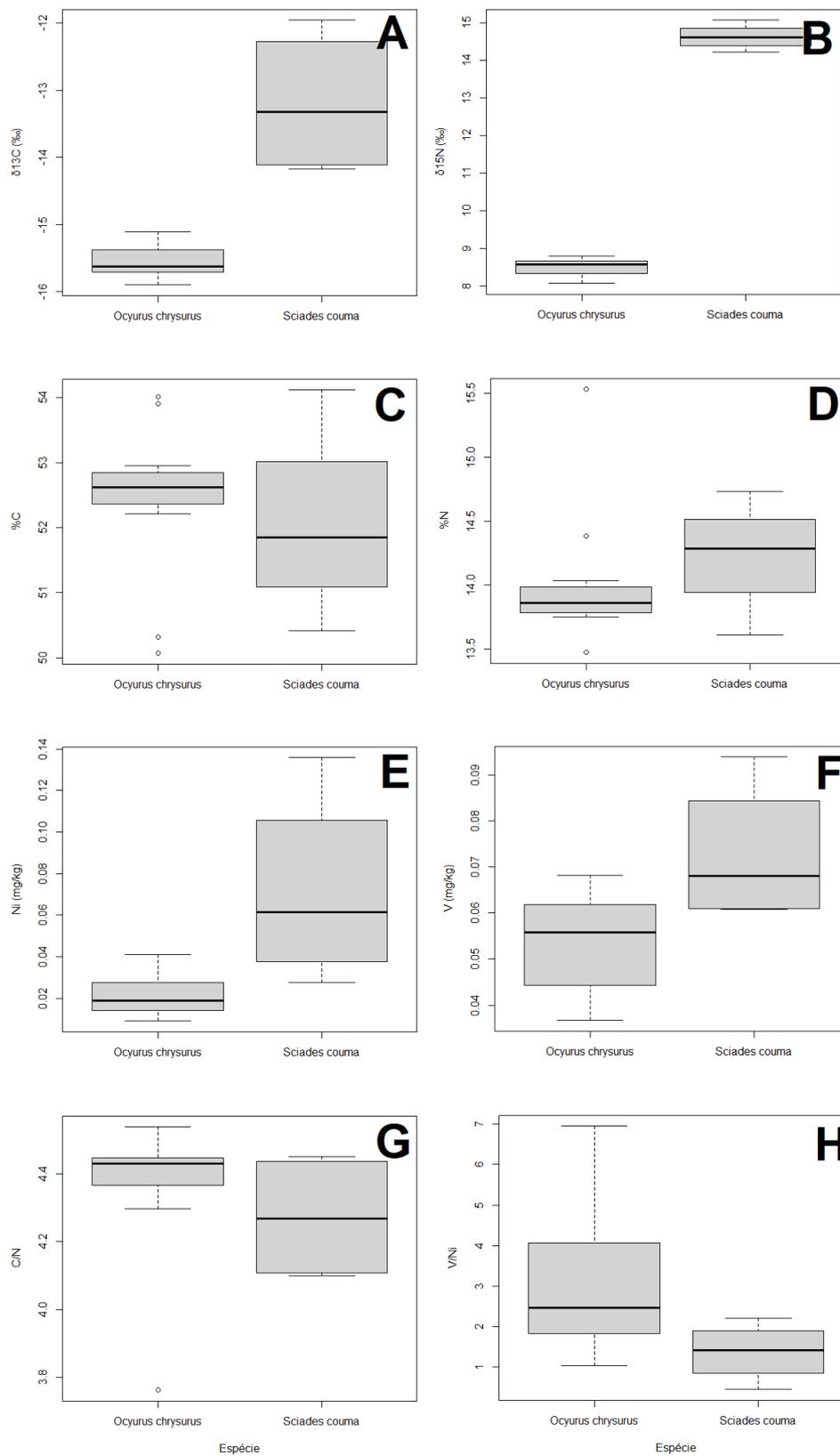


Figura 5.8: Distribuição dos dados para as espécies coletadas em Ilha de Itamaracá: A e B) razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$; C e D) percentuais de carbono e nitrogênio; E e F) concentrações de Ni e V; G e H) razões C/N e V/Ni.

5.2.3 Maracaípe

Na localidade de Maracaípe foram amostrados poucos exemplares da espécie *A. luniscutis* (n = 3) e da espécie *B. marinus* (n = 3). Devido ao pequeno espaço amostral dessas duas espécies, os resultados apresentados serão discutidos apenas como tendências, necessitando de um número maior de observações para esse local. A Figura 5.9 sugere que, nessa localidade, os indivíduos da espécie *A. luniscutis* alimentam-se preferencialmente de uma dieta baseada em invertebrados, crustáceos e peixes detritívoros. Enquanto a espécie *B. marinus* possui uma dieta baseada em invertebrados, pequenos peixes e pequenas porções de crustáceos, refletindo a abundância e a diversidade das fontes nesse local. Os testes estatísticos indicaram poucas evidências de semelhanças nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. Mas, como pode ser visto na análise gráfica das Figuras 5.9 e 5.10, há distinções entre suas fontes de alimentação e de suas posições tróficas, essa distinção entre as análises se dá devido ao baixo n-amostral utilizado, “enfraquecendo” o teste estatístico. Os dados estatísticos indicaram semelhanças próximas ao nível de significância entre as distribuições das concentrações de Ni e V nos indivíduos das espécies *A. luniscutis* e *B. marinus* dessa localidade, sendo os indivíduos da primeira espécie os que apresentaram maiores concentrações. A espécie *A. luniscutis* vive em ambientes mais próximos da costa, como estuários e baías que recebem maiores aportes de sedimentos e de nutrientes de origem antrópica enquanto a espécie *B. marinus* costuma habitar mais ambientes marinhos (FISHBASE, 2021). As amostras de bagres das espécies *A. luniscutis* e *B. marinus* apresentaram semelhanças em suas razões C/N e em suas razões V/Ni

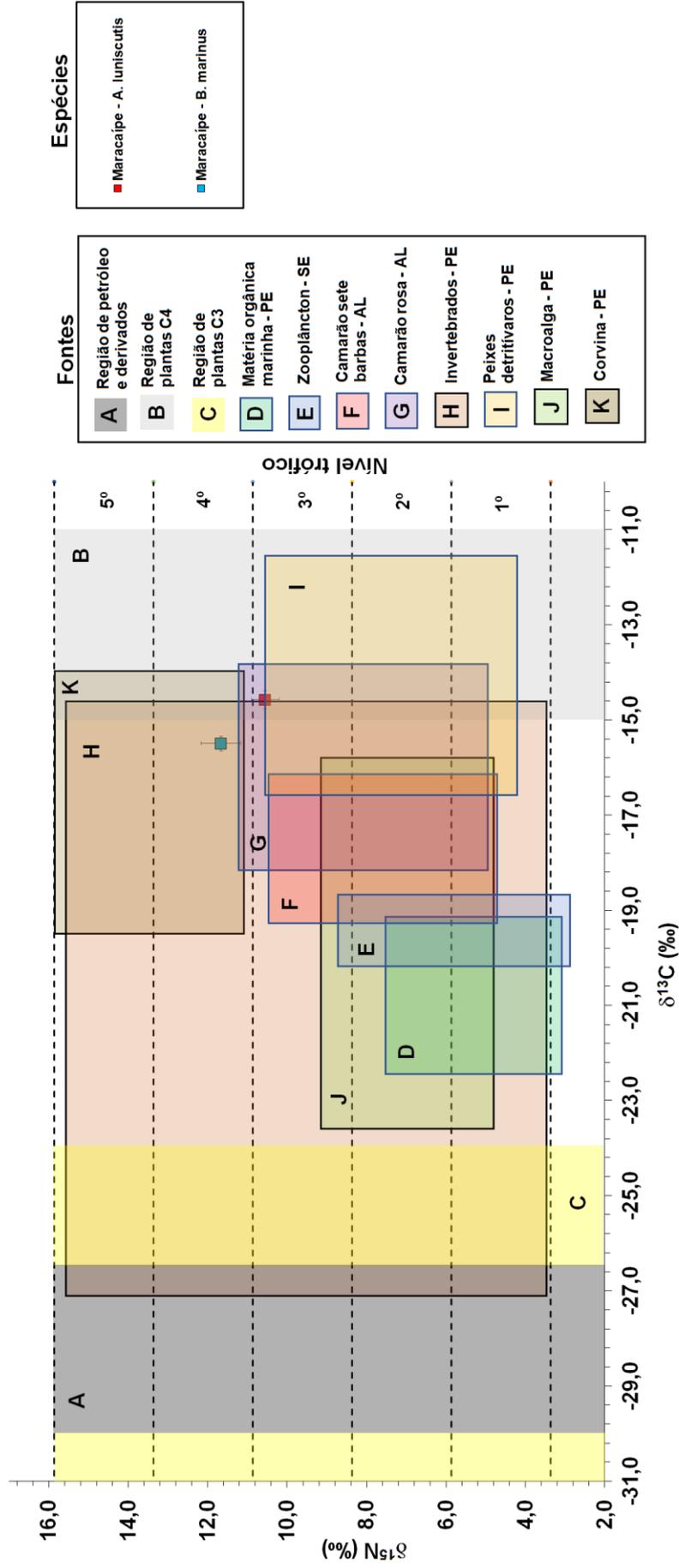


Figura 5.9: Razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das espécies coletadas em Maracaípe e das possíveis fontes de alimentação tomando como base dados reportados na literatura (WIDORY, 2006; MARTINELLI *et al.*, 2009; YU *et al.*, 2010; SOUSA-KRULLSKI, 2011; FERREIRA, 2018; MELLO, 2019; YOGUI & SCHWAMBORN, 2019).

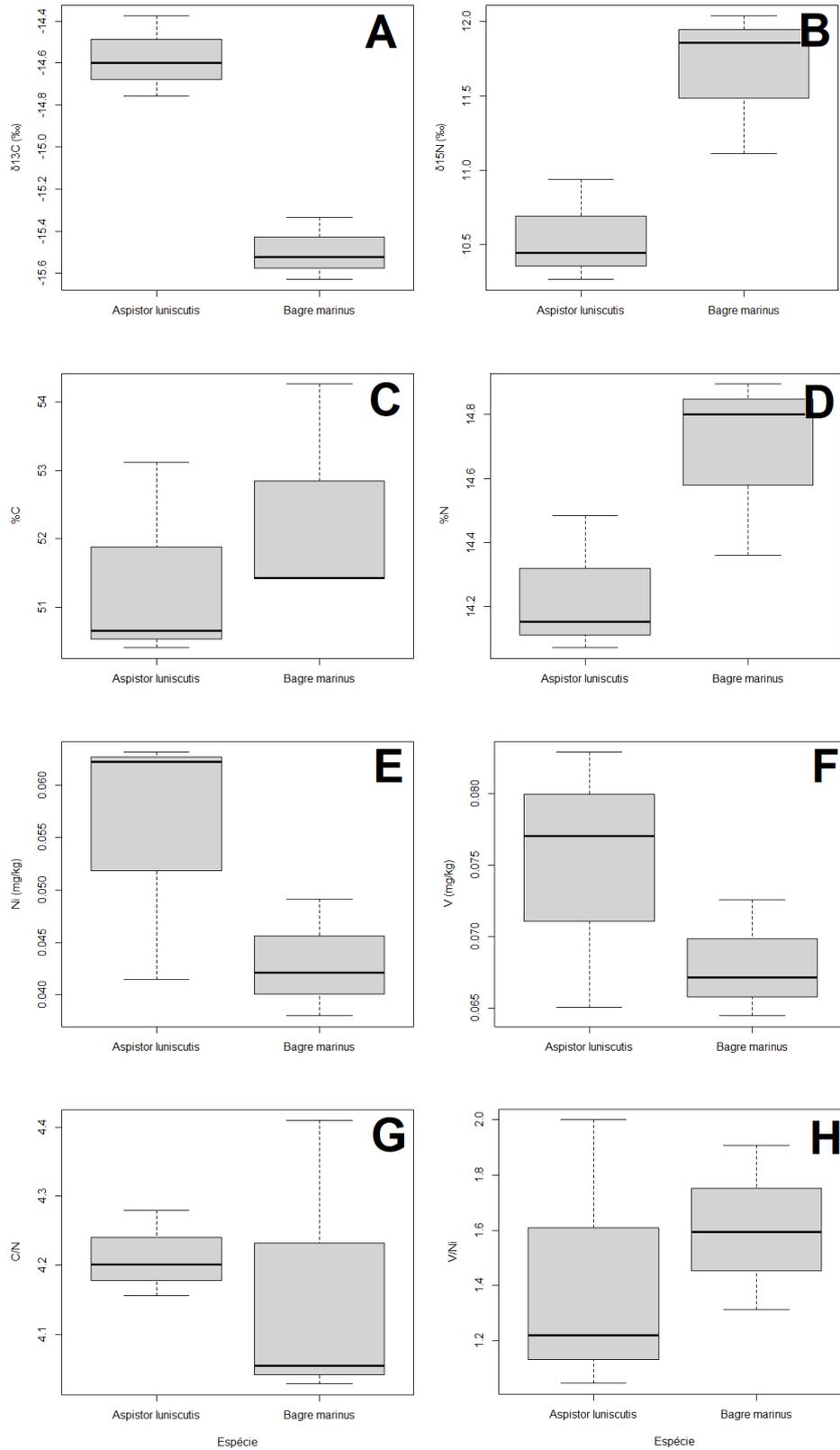


Figura 5.10: Distribuição dos dados para as espécies coletadas em Maracaípe: A e B) razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$; C e D) percentuais de carbono e nitrogênio; E e F) concentrações de Ni e V; G e H) razões C/N e V/Ni.

5.2.4 São José da Coroa Grande

Em São José da Coroa Grande foram amostrados exemplares da espécie *B. marinus* (n = 18) e da espécie *S. couma* (n = 1). Entretanto serão apresentados apenas os resultados e as discussões da primeira espécie, uma vez que a segunda espécie possui apenas um exemplar. Na Figura 5.11 pode-se observar que nessa localidade, os indivíduos da espécie *B. marinus* alimentam-se preferencialmente de uma dieta baseada em invertebrados, crustáceos e pequenos peixes de níveis tróficos próximos ao seu, refletindo a abundância e a diversidade das fontes nesse local. Os testes apresentaram poucas evidências estatísticas de correlações entre as grandezas analisadas nesse estudo (ver Apêndice B). Contudo, indicaram correlação positiva entre a distribuição de $\delta^{13}\text{C}$ e as distribuições das massas e comprimentos totais dos indivíduos, sugerindo uma mudança de hábito alimentar à medida que os indivíduos crescem. Os coeficientes de correlação indicaram que os indivíduos da espécie *B. marinus* apresentaram uma correlação negativa entre os percentuais de carbono e as concentrações de Ni ($\rho = -0,482$, $\alpha < 0,05$). Também indicou correlação negativa entre os percentuais de nitrogênio e as concentrações de V ($\rho = -0,583$, $\alpha < 0,05$), sugerindo, aparentemente, que não há bioacumulação desses metais nesses indivíduos. Também indicaram correlações positivas entre as razões C/N e V/Ni.

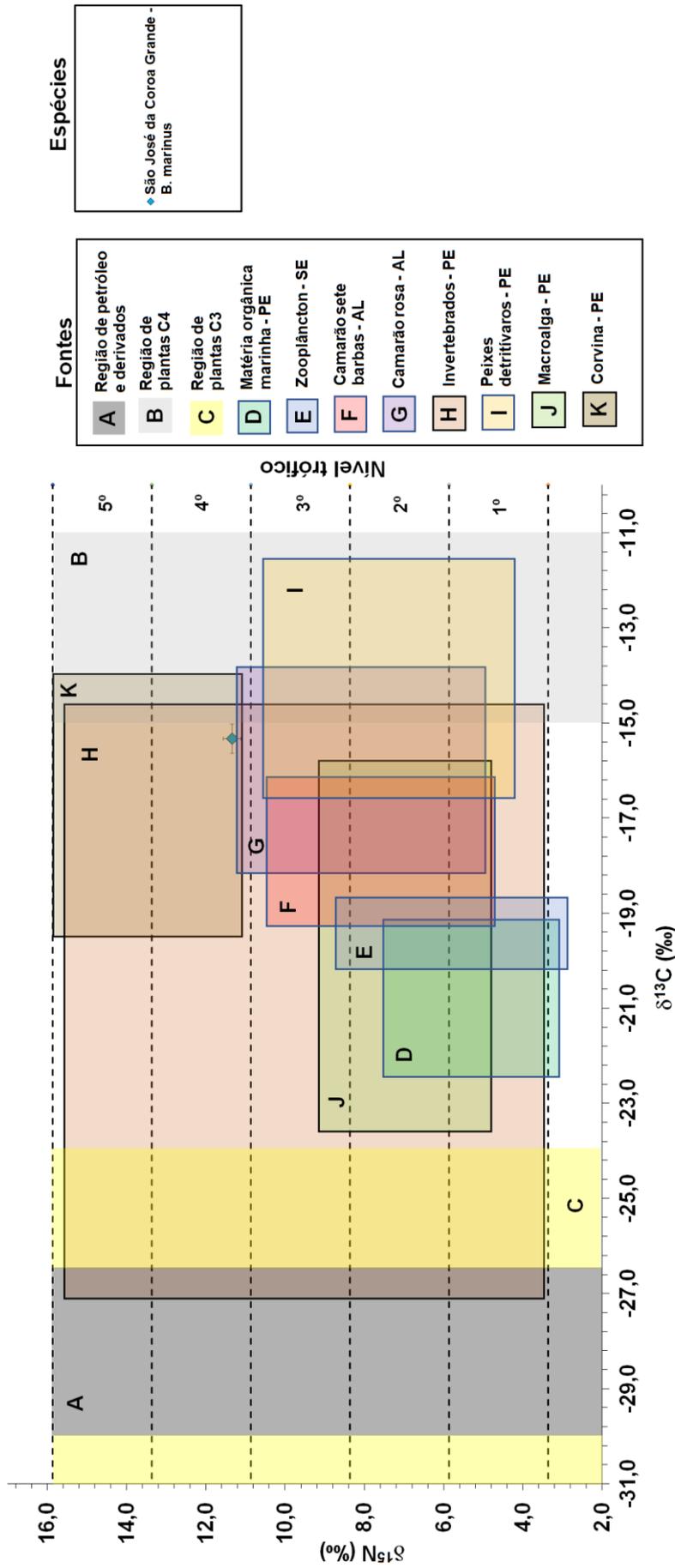


Figura 5.11: Razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das espécies coletadas em São José da Coroa Grande e das possíveis fontes de alimentação tomando como base dados reportados na literatura (WIDORY, 2006; MARTINELLI *et al.*, 2009; YU *et al.*, 2010; SOUSA-KRULLSKI, 2011; FERREIRA, 2018; MELLO, 2019; YOGUI & SCHWAMBORN, 2019).

5.2.5 Tamandaré

Na localidade de Tamandaré, os testes estatísticos também indicaram poucas evidências que sugerissem correlações entre as grandezas estudadas dos indivíduos da única espécie (*O. chrysurus*) coletada nessa localidade. Na Figura 5.12 pode-se observar que nessa localidade, os indivíduos dessa espécie alimentam-se preferencialmente de uma dieta baseada em invertebrados e crustáceos, refletindo a abundância e a diversidade das fontes nesse local. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ apresentaram uma correlação positiva, comportamento esperado devido ao efeito de fracionamento das razões isotópicas ao longo da cadeia trófica (MARTINELLI *et al.*, 2009). Em Tamandaré, os indivíduos da espécie *O. chrysurus* apresentaram uma correlação negativa entre as razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e as razões C/N. Como já discutido anteriormente, a correlação negativa entre essas grandezas indica que quanto maior razão C/N mais elevado será o teor de lipídeos e menor será o teor de proteínas relativamente às massas dos tecidos. A relação negativa se dá uma vez que, em função do metabolismo, os lipídeos retêm, preferencialmente, moléculas “mais leves” de carbono refletindo menores valores de $\delta^{13}\text{C}$ (MELLO, 2019). Apresentou uma correlação positiva entre os percentuais de %N e as concentrações de Ni e uma correlação positiva entre as razões C/N e V/Ni.

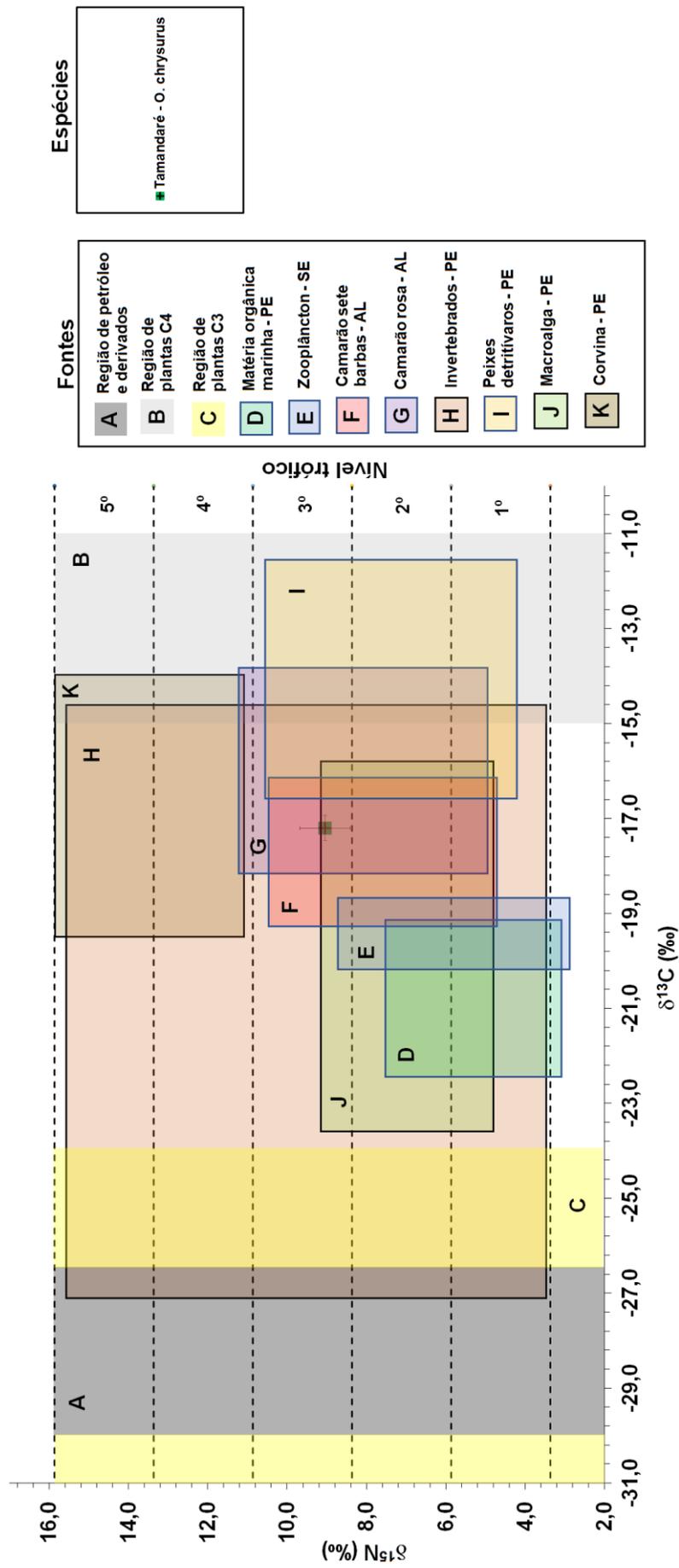


Figura 5.12: Razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das espécies coletadas em Tamararé e das possíveis fontes de alimentação tomando como base dados reportados na literatura (WIDORY, 2006; MARTINELLI *et al.*, 2009; YU *et al.*, 2010; SOUSA-KRULLSKI, 2011; FERREIRA, 2018; MELLO, 2019; YOGUI & SCHWAMBORN, 2019).

6 CONCLUSÃO

Essa dissertação objetivou contribuir com novos dados, informações e interpretações que auxiliem a compreensão dos impactos de derramamentos de petróleo cru em ambientes costeiro-marinhos, visando seus efeitos a médio e longo prazo e suas consequências diretas e indiretas na economia e na saúde humana. Todas as espécies analisadas apresentaram correlações positivas entre as suas massas e seus respectivos comprimentos totais.

Nos bagres da espécie *A. luniscutis*, os resultados encontrados indicaram poucas evidências de semelhanças nas massas comparadas entre os locais de aquisição e indicaram semelhanças para seus comprimentos totais (Apêndice B). Todas as amostras já haviam atingido a fase adulta, uma vez que apresentavam comprimentos maiores que aqueles de sua 1ª maturação gonadal, $L_M = 18,0$ cm (FISHBASE, 2021), e demonstraram crescimento hipalométrico ($b = 2,87$).

Os indivíduos da espécie *B. marinus* possuem semelhanças em suas massas e comprimentos totais entre as localidades de Barra de Sirinhaem e Maracaípe e entre as localidades de Maracaípe e São José da Coroa Grande. Contudo, os dados estatísticos evidenciaram diferenças entre Barra de Sirinhaem e São José da Coroa Grande (Apêndice B). Com exceção de 4 indivíduos de São José da Coroa Grande, todos os exemplares dessa espécie ainda estavam nos estágios juvenis, apresentando comprimentos menores que aqueles de sua 1ª maturação gonadal $L_M = 44,8$ cm (FISHBASE, 2021). Os indivíduos da localidade de São José da Coroa Grande (*B. marinus*) apresentaram crescimento hiperalométrico ($b = 3,31$). De maneira geral, os indivíduos analisados dessa espécie apresentaram crescimento com característica similar ($b = 3,29$).

Os resultados indicaram que os indivíduos da espécie *S. couma* apresentaram crescimento hiperalométrico ($b = 3,67$), sendo, em média, os indivíduos da Ilha de Itamaracá maiores que os de Barra de Sirinhaem.

Para a espécie *O. chrysurus*, observou-se semelhanças nas massas e comprimentos totais dos indivíduos na comparação entre Barra de Sirinhaem e Ilha de Itamaracá e entre Ilha de Itamaracá e Tamandaré. Entretanto, não indicou semelhanças nas massas e nos comprimentos totais na comparação das amostras

de Barra de Sirinhaem com os de Tamandaré (Apêndice B). Os dados demonstraram que os guaiúbas coletados em Tamandaré apresentaram crescimento hipoalométrico ($b = 2,63$), seguindo o comportamento geral observado para todos os indivíduos analisados ($b = 2,81$). Todos os indivíduos analisados já se encontravam em no estágio adulto, pois apresentavam comprimentos maiores que aqueles de sua 1ª maturação gonadal, $L_M = 25,0 \text{ cm} - 30,0 \text{ cm}$ (FISHBASE, 2021).

Observou-se que de maneira geral os indivíduos da família Lutjanidae (*O. chrysurus*) distinguem-se dos indivíduos da família Ariidae (*A. luniscutis*, *B. marinus* e *S. couma*) no que diz respeito as suas fontes alimentares e as suas posições tróficas. As espécies *A. luniscutis* e *B. marinus* apresentaram semelhanças em seus hábitos alimentares e em suas posições tróficas, as espécies *A. luniscutis* e *S. couma* compartilham de fontes alimentares semelhantes, mas apresentaram posições tróficas com pouca semelhança. Dentre os integrantes da família Ariidae as espécies *B. marinus* e *S. couma* são as menos semelhantes entre si.

Ao se comparar o intervalo das médias $\delta^{13}\text{C}$, das 73 amostras coletadas, com as informações encontrados na literatura para o petróleo cru e seus derivados (WIDORY, 2006; YU *et al.*, 2010), verificou-se que os intervalos desses valores são bem distintos. Portanto, pode-se concluir que, na existência de contaminação remanescente do acidente de 2019, o petróleo que chegou à costa pernambucana não está influenciando no sinal isotópico dessas amostras e de suas possíveis fontes de alimentação ou, que esses organismos, não estavam mais expostos a essas substâncias.

Foi observado que as concentrações de Ni e V são distintas entre as duas famílias analisadas (Ariidae e Lutjanidae), sendo, no geral, as espécies da família Ariidae, aquelas que apresentam concentrações médias dos elementos-traço maiores que as dos integrantes da família Lutjanidae. Possivelmente, essas diferenças estão associadas aos hábitos bentônicos e aos habitats próximos da costa que ocupam os integrantes da família Ariidae, enquanto os membros da família Lutjanidae habitam a coluna d'água de recifes e regiões afastada da costa.

Ao se comparar os intervalos de médias das concentrações de Ni e V com os valores e intervalos descritos na literatura (SEPE *et al.*, 2003; MOGHANI *et al.*, 2014; CABRINI *et al.*, 2018; LIU *et al.*, 2018; TULCAN *et al.*, 2021; KUMAR-ROINÉ *et al.*,

2022), observou-se que os intervalos das concentrações encontradas nas amostras pernambucanas apresentam valores menores daqueles citados nos estudos ou interseccionam-se próximos aos seus valores mínimos. Esse fato sugere que os valores encontrados no litoral da região Nordeste estão refletindo concentrações proporcionais àquelas preexistentes no ambiente e não concentrações características de locais impactados por derramamentos de petróleo.

Os resultados indicaram que as concentrações de Ni apresentaram correlações negativas com os dados biométricos dos indivíduos, sugerindo que esse metal, aparentemente, não está bioacumulando à medida que os indivíduos crescem. Mas apresentou correlação positiva com os $\delta^{15}\text{N}$ que, associados aos dados do fator de biomagnificação trófica para as amostras do estudo, sugerem uma possível biomagnificação ao longo das cadeias tróficas.

As concentrações de V das amostras apresentaram correlações positivas entre e suas massas e seus comprimentos, sugerindo, possivelmente, bioacumulação desse metal nos indivíduos à medida que ficam mais velhos. O mesmo tipo de correlação foi observado entre as concentrações de V e as razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, associando essas correlações aos dados do fator de biomagnificação trófica, essas informações sugerem uma possível ocorrência de biomagnificação ao longo da cadeia trófica para esse metal.

Observou-se semelhanças nas razões V/Ni entre as espécies de bagres, alguma semelhança entre as razões V/Ni dos *O. chrysurus* com os *B. marinus* e distintas distribuições das razões V/Ni dos *O. chrysurus* com as demais espécies de bagres. Esse fato sugere fontes ou metabolismos semelhantes nos indivíduos da família Ariidae e distintos entre alguns bagres e guaiúbas. Tanto a semelhança encontra da nas razões V/Ni quanto suas diferenças nas espécies estudadas estão associadas a semelhanças e distinções entre seus habitats.

Foi observado que as distribuições das razões C/N são distintas entre as famílias Ariidae e Lutjanidae, sugerindo diferenças entre as proporções nos teores de lipídios e proteínas nos tecidos musculares dos peixes. As distribuições das razões C/N apresentaram correlações negativas com as razões isotópicas de carbono e de nitrogênio, indicando algum estresse alimentar nas posições tróficas mais altas.

Entretanto, entre as espécies de bagres, foi observado semelhanças nas distribuições das razões C/N.

Pode-se estimar, com base nas informações apresentadas e nos dados e observações obtidas das amostras coletadas, que, aparentemente, as manchas de óleo que alcançaram o litoral de Pernambuco apresentaram impactos agudos nos ecossistemas afetados. Essa estimativa se dá, uma vez que, dois anos após o surgimento das manchas de óleo, não foi observado alterações que comprometessem a qualidade do pescado e que pudessem contribuir negativamente a abundância e a biodiversidade local, produzindo danos ambientais e socioeconômicos as comunidades caiçaras dessas regiões. Sugere-se, como continuidade desse estudo, a coleta temporal de amostras das espécies estudadas e das possíveis fontes de alimentação, realizando o mesmo conjunto de medidas para observar possíveis alterações nos dados. Também se sugere a coleta de água, sedimento superficial, e perfis de solo das áreas atingidas para a determinação das concentrações dos elementos Ni e V, objetivando o cálculo do fator de bioacumulação nas espécies para corroborar as observações desse estudo e a identificação de possíveis fontes naturais desses elementos-traço.

7 REFERÊNCIAS

ALEWELL, C.; *et al.* Sediment source attribution from multiple land use systems with CSIA. **Biogeosciences Discussions.**, v. 12, p.14245–14269, 2015.

ARAÚJO, K.C.; *et al.* Oil spill in northeastern Brazil: Application of fluorescence spectroscopy and PARAFAC in the analysis of oil-related compounds. **Chemosphere**, v. 267, n. 129154, 2021.

ARAÚJO, M.E.; RAMALHO, C.W.N.; MELO, P.W.; Pescadores artesanais, consumidores e meio ambiente: consequências imediatas do vazamento de petróleo no Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. **Cad. Saúde Pública**, v. 36, n. 1, 2020.

ARNDT, A.; *et al.* Quantifying the degradation of organic matter in marine sediments: A review and synthesis. **Earth-Science Reviews**, v. 123, p.53–86, 2013.

BARNES, C.; *et al.*; Effect of temperature and ration size on carbon and nitrogen stable isotope trophic fractionation. **Functional Ecology**, v. 21, n. 2, p. 356-362, 2007.

BECK, M. W.; *et al.*; The Identification, Conservation and Management of Estuarine and Marine Nurseries for Fish and Invertebrates. **BioScience**, v. 51, n. 8, p. 633-641, 2001.

BERTALANFFY, L. von,. A quantitative theory of organic growth (inquiry on growth laws). **Hum. Biol.**, v. 10, p. 181-318, 1938.

BEYER, J.; *et al.* Analytical methods for determining metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) pollutants in fish bile: A review. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 30, p. 224–244, 2010.

BRUM, H.D.; CAMPOS-SILVA, J.V.; OLIVEIRA, E.G. Brazil oil spill response: Government inaction. **Science**, v. 367, n. 6474, p. 155-156, 2020.

CABRINI, T.M.B.; *et al.* Investigating heavy metal bioaccumulation by macrofauna species from different feeding guilds from sandy beaches in Rio de Janeiro, Brazil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 162, p. 655-662, 2018.

CARDOSO, A.M. **Sistema de informações para planejamento e resposta a incidentes de poluição marítima por derramamento de petróleo e derivados.** 2007. X, 138p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2007.

CARDOSO, R. P. **Análises isotópica específica e de infravermelho no fortalecimento de estratégias de conservação na bacia de Guapi-Macacu.** 2018. 138p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Fluminense, Programa de Pós-graduação em Física, Niterói, 2018.

CAXITO, F.A.; SILVA, A.V. Isótopos estáveis: Fundamentos e técnicas aplicadas à caracterização e proveniência geográfica de produtos alimentícios. **Geonomos**, v. 23, n. 1, p. 10-17, 2015.

COOPER, R. J.; *et al.* High-temporal resolution fluvial sediment source fingerprinting with uncertainty: a Bayesian approach. **Earth Surf**, v. 40, p.78–92, 2015.

COSTA, B. V. M. **Origem e degradação da matéria orgânica em um estuário tropical eutrofizado**. 2018. 218p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-graduação em Oceanografia, Recife, 2018.

_____; *et al.* Distribution and origin of sedimentary organic matter in an eutrophic estuary: Pina Sound – NE Brazil. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 93, n. 1, e20190638, 2021.

CRAVEIRO, N.; *et al.*; Immediate effects of the 2019 oil spill on the macrobenthic fauna associated with macroalgae on the tropical coast of Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 165, n. 112107, 2021.

D'ANDREA M.A.; REDDY G.K. Health consequences among subjects involved in Gulf oil spill clean-up activities. **The American Journal of Medicine**, v. 126, n. 11, p. 966-974, 2013.

DANTAS, D.V. **Variação espaço-temporal das espécies da família Ariidae (Siluriformes) no Estuário do Rio Goiana (PE / PB – Brasil)**. 2008. xi, 63p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2008.

_____; *et al.* Movement patterns of catfishes (Ariidae) in a tropical semi-arid estuary. **Journal of Fish Biology**, v. 76, p. 2540–2557, 2010.

EATON, A. D.; GREENBERG, A. E.; CLESCERI, L. S. 10600: Fish. In: Standard Methods for the examination of water and wastewater. Washington D. C.: APHA, p. 1-18, 1998.

FERREIRA, V.; **Estrutura trófica da ictiofauna estuarina e marinha do complexo Itapissuma/Itamaracá, norte de Pernambuco, Brasil**. 2018, 157p. Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Pesca e Aquicultura, 2018.

FISHBASE. Disponível em: < <https://fishbase.net.br/search.php> >. Acesso em: set. 2021.

FONSECA, J. F. **Estudo da dieta do Lutjanus synagris (Linnaeus, 1758) e Ocyrus chrysurus (Bloch, 1791), teleostei :perciformes: lutjanidae, no banco dos abrolhos, Bahia, Brasil e pesca das principais espécies de lutjanídeos e serranídeos na região**. 2009, 146p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2009.

FROESE, R.; TSIKLIRAS, A.C.; STERGIOU, K.I. Editorial note on weight–length relations of fishes. **Acta Ichthyologica et Piscatoria**, v. 41, n. 4, p. 261–263, 2011.

GARCIA, M. M. Ecosystem Services Provided by Geodiversity: Preliminary Assessment and Perspectives for the Sustainable Use of Natural Resources in the Coastal Region of the State of São Paulo, Southeastern Brazil. **Geoheritage**, v. 11, p. 1257–1266, 2019.

GEO BRASIL. Perspectivas do meio ambiente no Brasil. **Revista GEOBRASIL 2002**, 2002.

GIBBS, M. M. Identifying source soils in contemporary estuarine sediments: a new compound-specific isotope method. **Estuaries and Coasts**, v. 31, n. 2, p. 344-359, 2008.

_____. Protocols on the use of Compound-Specific Stable Isotope to identify and apportion soil source from land use. Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. 2010. 103p.

GÓMEZ GESTEIRA, J.L.; DAUVIN J.-C. Impact of the Aegean Sea oil spill on the subtidal fine sand macrobenthic Community of the Ares-Betanzos Ria (Northwest Spain). **Marine Environmental Research**, v. 60, p. 289–316, 2005.

GONÇALVES, R. A. **Estudo da variação temporal e espacial de metais tóxicos em sedimentos da Baía de Sepetiba, RJ, Brasil**. 2018. 211p. Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Química, 2018.

HALLANGER, I. G.; *et al.* Seasonality in contaminant accumulation in Arctic marine pelagic food webs using trophic magnification factor as a measure of bioaccumulation. **Environmental Toxicology and Chemistry**. v. 30, n. 5, p. 1026-1035, 2011.

IAEA – International Atomic Energy Agency. Strategic guidance report on regional marine environmental priorities for Latin America and the Caribbean through the use of Nuclear and Isotopic Applications. IAEA Environmental Laboratories, Mônaco, França, 2018.

IBM. Software IBM SPSS, 2022. Disponível em: <<https://www.ibm.com/br-pt/spss>>

INEA - Instituto Estadual do Ambiente (RJ). Diagnóstico de acidentes ambientais no Estado do Rio de Janeiro 1983-2016: enfoque no vazamento de óleo na Baía de Guanabara. 94p. Diretoria de Pós-Licença, Gerência de Operações em Emergências Ambientais, Rio de Janeiro, 2018

ITOPF - International Tanker Owners Pollution Federation Limited. Fate of marine oil spills: **Technical information paper**, v. 2, London, UK, 2011.

KOŠLER, J.; SYLVESTER, P. Present Trends and the Future of Zircon in Geochronology: Laser Ablation ICPMS. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, v. 53, n. 1, p. 243 – 275, 2003.

KUMAR-ROINÉ, S.; *et al.* Trace element accumulation in the muscles of reef fish collected from southern new Caledonian lagoon: Risk assessment for consumers and grouper *Plectropomus leopardus* as a possible bioindicator of mining contamination. **Marine Pollution Bulletin**, v. 180, n. 114210, 2022.

LITIVIN, S.Y.; *et al.* What Makes Nearshore Habitats Nurseries for Nekton? An Emerging View of the Nursery Role Hypothesis. **Estuaries and Coasts**, V. 41, 1539–1550, 2018.

LIU, Y.; *et al.* Heavy metals (As, Hg and V) and stable isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) in fish from Yellow River Estuary, China. **Science of the Total Environment**, v. 613–614, p. 462–471, 2018.

LOURENÇO, R.A.; *et al.*; Mysterious oil spill along Brazil's northeast and southeast seaboard (2019–2020): Trying to find answers and filling data gaps. **Marine Pollution Bulletin**, v. 156, n. 111219, 2020.

MAGRIS, R.A.; GIARRIZZO, T. Mysterious oil spill in the Atlantic Ocean threatens marine biodiversity and local people in Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 153, n. 110961, 2020.

MACKIE, E.A.V.; *et al.*; Bulk organic $\delta^{13}\text{C}$ and C/N ratios as palaeosalinity indicators within a Scottish isolation basin. **Journal of Quaternary Science**, v. 20, n. 4, p. 303–312, 2005.

MADGETT, A. S.; *et al.*; The concentration and biomagnification of trace metals and metalloids across four trophic levels in a marine food web. **Marine Pollution Bulletin**, v. 173, n. 112929, 2021.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de Inspeção para Identificação de Espécies de Peixes e Valores Indicativos de Substituições em Produtos da Pesca e Aquicultura, 2016

MARCENIUK, A.P. Chave de identificação das espécies de bagres marinhos (Siluriformes, Ariidae) da costa brasileira. Boletim do Instituto de Pesca, v. 31, n. 2, p. 89-101, São Paulo, 2005.

MARTINELLI, L.A.; *et al.* Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

MASCARELLI, A. Deepwater Horizon: After the oil. **Nature**, v. 467, p. 22–24, 2010.

McGEER, J.C.; *et al.* Inverse relationship between bioconcentration factor and exposure concentration for metals: implications for hazard assessment of metals in the aquatic environment. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 22, n. 5, p.1017–1037, 2003.

MELLO, P.A. *et al.* Sample preparation methods for subsequent determination of metals and non-metals in crude oil—A review. **Analytica Chimica Acta**, v. 746, p. 15–36, 2012.

MELLO, T. M. S. **Biomonitoramento e ecotoxicologia de metais pesados através de moluscos bivalves em ecossistemas estuarinos**. 2019. 76p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019.

MELO, M. C. S. S. **Estudo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica sedimentar na plataforma continental interna e média de Pernambuco**. 2019. 101p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

MICHELS, C.; et al. Avaliação de risco à saúde humana em terminais de armazenamento de petróleo e derivados: estudos de casos. **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 2004.

MICROSOFT. software Microsoft Excel, versão 2207, 2022. Disponível em: <<https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft-365/buy/compare-all-microsoft-365-products-b>>

MIRANDA, M.V. **Determinação de Ni e V ligados à matéria orgânica em sedimentos provenientes da Baía de Guanabara**. 2019. 51p. (Monografia) de conclusão de curso da graduação de Química Industrial, Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019.

MOGHANI, S.; *et al.* Vanadium concentration levels in muscle tissues of two commercial fish species in Persian Gulf Waters. **Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation International Journal of the Bioflux Society**. v. 7, n. 6, p. 489-496, 2014.

NEIVA, J. Conheça o petróleo e outras fontes de energia. 4. ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1983. 328p.

NÓBREGA, M.F. **Idade, crescimento e avaliação de estoque da Serra *Scomberomorus brasiliensis* (Teleostei: Scombridae), na plataforma continental do nordeste do Brasil**. 2002. 115p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências Biológicas, Departamento de Zoologia, Recife, 2002.

OLIVEIRA, O.M.C.; et al. Environmental disaster in the northeast coast of Brazil: Forensic geochemistry in the identification of the source of the oily material. **Marine Pollution Bulletin**, v. 160, n. 111597, 2020.

OLIVIA, A.L.; et al. Distribution and human health risk assessment of HPAs in four fish species from a SW Atlantic estuary, **Environmental Science and Pollution Research**, v.24, p.18979–18990, 2017.

O'MARA, K.; FRY, B.; BURFORD, M. Benthic-pelagic mixing of trace elements in estuarine food webs. **Marine Environmental Research**, v. 173, n. 105511, 2022.

PEDROZO, M.F.M.; et al.; Ecotoxicologia e Avaliação de Risco do Petróleo. **Série cadernos de Referência Ambiental**, v. 12, Salvador, Brasil, 2002.

QUINTANA-RIZZO, E.; *et al.*; $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in deep-living fishes and shrimps after the Deepwater Horizon oil spill, Gulf of Mexico. **Marine Pollution Bulletin**, v. 94, p. 241–250, 2015.

R. The R Project for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>

RAINBOW, P.S. Trace metal bioaccumulation: Models, metabolic availability and toxicity. **Environment International**, v. 33, p. 576–582, 2007.

RIBEIRO, G. A., **Utilização do modelo aera-werf para a avaliação do risco ecológico em ambientes aquáticos relacionados com atividades petrolíferas**. 2008. 86p. (Monografia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo, 2008.

RODRIGUES, A.P.C. **Biomarcadores para avaliação de risco ecológico de mercúrio em peixes**: sistema costeiro do estado do Rio de Janeiro e bioensaios. 2010. 213p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2010.

RUMOLO, P.; *et al.*; Stable isotopes and C/N ratios in marine sediments as a tool for discriminating anthropogenic impact. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 13, p. 3399-3408, 2011.

SANTANA, M.S.; *et al.* Biomarker responses in fish exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons (HPAs): systematic review and meta-analysis. **Environmental Pollution**, v. 242, Part A, p. 449-461, 2018.

SANTOS, G.L. **Determinação multielementar e análise de especiação de vanádio em amostras ambientais da Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil, por técnicas espectrométricas**. 2013. 133p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Bahia, Instituto de Química, Departamento de Química Analítica, 2013.

SANTOS, M.A.M. **Nutrientes inorgânicos dissolvidos nas zonas costeiras e oceânicas do Brasil: uma revisão sistemática**. 2022. 271p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Programa de Pós-graduação em Oceanografia Ambiental, 2022.

SCIBIOR, A.; *et al.* Vanadium: Risks and possible benefits in the light of a comprehensive overview of its pharmacotoxicological mechanisms and multi-applications with a summary of further research trends. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 61, n. 126508, 2020.

SEPE, A.; *et al.* Determination of cadmium, chromium, lead and vanadium in six fish species from the Adriatic Sea. **Food Additives and Contaminants**, v. 20, n. 6, p. 543-552, 2003.

SILVA, C.A. **Avaliação da qualidade da água após cinco anos de derramamento de petróleo no município de Araucária, Paraná**. 2007. 67p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SILVA, P. R. **Transporte Marítimo de Petróleo e Derivados na Costa Brasileira: Estrutura e Implicações Ambientais**. 2004. xii, 148 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Planejamento Energético, 2004.

SOARES, M.O.; et al. Oil spill in South Atlantic (Brazil): Environmental and governmental disaster. **Marine Policy**, v. 115, n. 103879, 2020.

SOUZA-FILHO, A.M. **Planos Nacionais de Contingência para atendimento a derramamento de óleo: análise de países representativos das Américas para implantação no caso do Brasil**. 2006. xii, 217p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Planejamento Energético, 2006.

SOUSA-KRULLSKI, C.R. **Rastreabilidade em camarões marinhos utilizando a técnica dos isótopos estáveis do carbono e nitrogênio**. 2011. 63p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, 2011.

THERMO FISHER SCIENTIFIC Flash EA for IRMS Operating Manual, 2011 212p.

TOTH, F.L. *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment*. Washington: Island Press, 2003. 266 p. ISBN 9781559634038.

TULCAN, R.X.S.; et al. Vanadium pollution and health risks in marine ecosystems: Anthropogenic sources over natural contributions. **Water Research**, v. 207, n. 117838, 2021.

U.S. EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Understanding oil spills and oil spill response in freshwater environments*. Office of Emergency, Environmental Protection and Remedial, Oil Program Center, Washington, United States, 1999.

_____. *Systematic Review Protocol for the Vanadium and Compounds (Oral Exposure) IRIS Assessment (Preliminary Assessment Materials)*. Washington, 2021.

VEZZONE, M.; *et al.*; Using stable isotopes to discriminate anthropogenic impacts of the sedimentar organic matter pollution in the Rodrigo de Freitas Lagoon (RJ, Brazil). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 4, p. 4515-4530, 2021.

VIALI, L. **Testes de hipóteses não paramétricos**. 2008. 43p. Apostila – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Matemática, Departamento de Estatística, 2008. Disponível em: <
http://www.mat.ufrgs.br/~viali/estatistica/mat2282/material/apostilas/Testes_Nao_Parametricos.pdf>

VIRGA, R.H.P. **Análise quantitativa de metais pesados (Cd, Cr, Cu, Pb e Zn) em siris-azuis do gênero *Callinectes sp* (Crustacea, Portunidae), provenientes do rio Cubatão, Cubatão, São Paulo, Brasil**. 2006. 105p. Dissertação (Mestrado) -

Universidade Católica de Santos, Programa de Saúde Coletiva, 2006.

WADA, E.; et al. ^{15}N and ^{13}C abundances in the Antarctic Ocean with emphasis on the biogeochemical structure of the food web. **Deep-Sea Research**, v. 34, n. 5/6, p. 829-841, 1987.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. International Programme on Chemical Safety - IPCS. Selected petroleum products. Geneva, 1982 (Environmental Health Criteria, v. 20).

_____. Nickel in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for drinking-water quality Geneva: World Health Organization; 2021a (WHO/HEP/ECH/WSH/2021.6). Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

_____. Human health effects of polycyclic aromatic hydrocarbons as ambient air pollutants: report of the Working Group on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons of the Joint Task Force on the Health Aspects of Air Pollution. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2021b. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

WIDORY, D. Combustibles, fuels and their combustion products: A view through carbon isotopes. **Combustion Theory and Modelling**, v. 10, n. 5, p. 831–841, 2006.

WIKIPÉDIA. Mapa do estado de Pernambuco, Brazil, 2022. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Brazil_Pernambuco_location_map.svg>

YOGUI, G.T.; SCHWAMBORN, R. Composição isotópica do material orgânico particulado e do zooplâncton da Baía de Sergipe e Sul de Alagoas. In: MOREIRA, D.L.; et al.; **Ambiente pelágico da baía de Sergipe-Alagoas**, v. 3, São Cristóvão, SE: Editora UFS, 2019. 575 p., il. ISBN: 978-85-7822-646-6.

YU, F. et al. Bulk organic $\delta^{13}\text{C}$ and C/N as indicators for sediment sources in the Pearl River delta and estuary, southern China. Estuarine, **Coastal and Shelf Science**, v. 87, p. 618-630, 2010.

APÊNDICE A - Dados dos indivíduos do estudo.

Dados dos indivíduos do estudo. B.S.: Barra de Sirinhaem; IT.: Ilha de Itamaracá; MA.: Maracaípe; SJ.: São José da Coroa Grande; TA.: Tamandaré; M: Massa do indivíduo; C.T.: Comprimento total; N.T.: Nível trófico

Espécie	Local	M (g)	C.T. (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%C	%N	C/N	Ni (mg/kg)	V (mg/kg)	V/Ni	N.T.
<i>A. luniscutis</i>	B.S.	235,97	28,0	-15,30	11,12	54,6	14,7	4,3246	0,130	0,054	0,416	4,11
<i>A. luniscutis</i>	B.S.	86,11	20,2	-16,09	11,93	49,6	13,5	4,2737	0,033	0,042	1,290	4,43
<i>A. luniscutis</i>	B.S.	125,92	22,9	-15,31	12,05	49,4	13,6	4,2538	0,027	0,054	1,970	4,48
<i>A. luniscutis</i>	B.S.	457,12	35,5	-15,31	11,24	48,9	13,5	4,2385	0,025	0,065	2,642	4,15
<i>B. marinus</i>	B.S.	132,26	25,5	-15,52	11,36	49,0	13,3	4,2837	0,075	0,065	0,863	4,20
<i>S. couma</i>	B.S.	154,23	27,1	-15,21	12,60	50,7	14,0	4,2125	0,095	0,055	0,575	4,69
<i>S. couma</i>	B.S.	510,42	40,0	-15,29	12,27	53,0	14,4	4,2902	0,031	0,058	1,850	4,57
<i>B. marinus</i>	B.S.	349,71	35,0	-15,19	12,56	52,9	14,2	4,3317	0,051	0,049	0,976	4,68
<i>A. luniscutis</i>	B.S.	323,74	33,1	-14,71	11,72	52,0	14,1	4,3013	0,112	0,047	0,424	4,34
<i>S. couma</i>	B.S.	268,64	32,0	-15,79	12,03	47,7	16,0	3,4688	0,021	0,064	3,101	4,47
<i>A. luniscutis</i>	B.S.	186,67	25,5	-15,19	11,08	52,1	14,6	4,1742	0,338	0,062	0,183	4,09
<i>B. marinus</i>	B.S.	222,48	29,5	-15,29	12,76	50,8	14,5	4,0839	0,217	0,058	0,269	4,76

Dados dos indivíduos do estudo. B.S.: Barra de Sirinhaem; IT.: Ilha de Itamaracá; MA.: Maracaípe; SJ.: São José da Coroa Grande; TA.: Tamandaré; M: Massa do indivíduo; C.T.: Comprimento total; N.T.: Nível trófico

Espécie	Local	M (g)	C.T. (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%C	%N	C/N	Ni (mg/kg)	V (mg/kg)	V/Ni	N.T.
<i>B. marinus</i>	B.S.	152,55	25,2	-15,89	10,31	50,8	14,5	4,0984	0,035	0,062	1,773	3,78
<i>S. couma</i>	B.S.	160,52	29,2	-14,91	14,47	50,1	14,4	4,0521	0,075	0,066	0,882	5,44
<i>S. couma</i>	B.S.	141,36	27,5	-14,31	11,26	47,6	13,8	4,0174	0,071	0,080	1,125	4,16
<i>O. chrysurus</i>	B.S.	211,46	27,3	-16,37	8,56	48,1	12,9	4,3451	0,034	0,058	1,724	3,08
<i>O. chrysurus</i>	B.S.	272,34	30,8	-15,54	7,89	49,7	13,2	4,4089	0,047	0,065	1,385	2,81
<i>O. chrysurus</i>	B.S.	258,94	31,4	-16,08	8,11	49,9	13,2	4,4038	0,039	0,067	1,729	2,90
<i>O. chrysurus</i>	B.S.	284,15	32,3	-15,86	7,87	52,5	13,8	4,4258	0,029	0,074	2,591	2,80
<i>O. chrysurus</i>	B.S.	218,52	29,2	-16,30	8,39	51,8	13,8	4,3880	0,023	0,069	2,945	3,01
<i>O. chrysurus</i>	B.S.	238,02	30,1	-16,12	7,94	52,0	13,7	4,4299	0,034	0,058	1,725	2,83
<i>O. chrysurus</i>	B.S.	252,07	30,1	-15,62	8,19	52,1	13,8	4,4108	0,064	0,044	0,691	2,93
<i>S. couma</i>	IT.	928,30	46,5	-12,59	14,64	54,1	14,3	4,4248	0,076	0,094	1,239	5,51
<i>S. couma</i>	IT.	910,66	44,5	-11,96	14,22	50,4	14,3	4,1148	0,136	0,061	0,448	5,35

Dados dos indivíduos do estudo. B.S.: Barra de Sirinhaem; IT.: Ilha de Itamaracá; MA.: Maracaípe; SJ.: São José da Coroa Grande; TA.: Tamandaré; M.: Massa do indivíduo; C.T.: Comprimento total; %C: Carbono total; %N: Nitrogênio total; $\delta^{13}\text{C}$: $\delta^{13}\text{C}$ (‰); $\delta^{15}\text{N}$: $\delta^{15}\text{N}$ (‰); C/N: Razão C/N; V (mg/kg): Vanádio; Ni (mg/kg): Níquel; V/Ni: Razão V/Ni; N.T.: Nível trófico

Espécie	Local	M (g)	C.T. (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%C	%N	C/N	Ni (mg/kg)	V (mg/kg)	V/Ni	N.T.
<i>S. couma</i>	IT.	386,79	35,5	-14,05	15,06	51,8	14,7	4,1013	0,047	0,075	1,581	5,68
<i>S. couma</i>	IT.	495,77	37,3	-14,17	14,56	51,9	13,6	4,4515	0,028	0,061	2,217	5,48
<i>O. chrysurus</i>	IT.	270,15	30,9	-15,11	8,38	50,3	13,5	4,3582	0,028	0,056	1,964	3,01
<i>O. chrysurus</i>	IT.	270,26	30,4	-15,37	8,57	50,1	15,5	3,7624	0,040	0,068	1,692	3,09
<i>O. chrysurus</i>	IT.	249,88	29,7	-15,61	8,70	52,7	13,9	4,4159	0,016	0,063	3,827	3,13
<i>O. chrysurus</i>	IT.	193,27	25,9	-15,62	8,22	52,5	13,8	4,4438	0,027	0,057	2,154	2,95
<i>O. chrysurus</i>	IT.	499,25	37,6	-15,67	8,79	52,5	13,8	4,4492	0,009	0,064	6,948	3,17
<i>O. chrysurus</i>	IT.	530,33	37,0	-15,76	8,41	52,7	13,8	4,4451	0,012	0,061	5,058	3,02
<i>O. chrysurus</i>	IT.	273,07	30,3	-15,81	8,28	54,0	13,9	4,5367	0,041	0,042	1,036	2,97
<i>O. chrysurus</i>	IT.	302,51	30,0	-15,65	8,60	53,9	13,9	4,5393	0,009	0,039	4,306	3,10
<i>O. chrysurus</i>	IT.	258,95	29,1	-15,37	8,67	52,6	14,0	4,3752	0,019	0,046	2,467	3,12
<i>O. chrysurus</i>	IT.	520,83	38,2	-15,90	8,65	52,9	14,4	4,2969	0,024	0,037	1,561	3,12

Dados dos indivíduos do estudo. B.S.: Barra de Sirinhaem; IT.: Ilha de Itamaracá; MA.: Maracaípe; SJ.: São José da Coroa Grande; TA.: Tamandaré; M.: Massa do indivíduo; C.T.: Comprimento total; %C.: Carbono total; %N.: Nitrogênio total; $\delta^{13}\text{C}$: $\delta^{13}\text{C}$ (‰); $\delta^{15}\text{N}$: $\delta^{15}\text{N}$ (‰); C/N: Razão C/N; V (mg/kg): Vanádio; Ni (mg/kg): Níquel; V/Ni: Razão V/Ni; N.T.: Nível trófico

Espécie	Local	M (g)	C.T. (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%C	%N	C/N	Ni (mg/kg)	V (mg/kg)	V/Ni	N.T.
<i>O. chrysurus</i>	IT.	354,66	32,5	-15,35	8,07	52,2	13,8	4,4307	0,016	0,048	2,993	2,88
<i>B. marinus</i>	MA.	382,34	37,5	-15,33	11,11	51,4	14,9	4,0282	0,042	0,067	1,593	4,10
<i>A. luniscutis</i>	MA.	331,94	30,1	-14,76	10,27	53,1	14,5	4,2794	0,041	0,083	2,000	3,76
<i>B. marinus</i>	MA.	747,61	42,5	-15,52	11,86	54,3	14,4	4,4091	0,038	0,073	1,909	4,40
<i>A. luniscutis</i>	MA.	265,20	30,2	-14,60	10,45	50,7	14,1	4,2006	0,062	0,065	1,046	3,83
<i>A. luniscutis</i>	MA.	266,72	29,3	-14,38	10,94	50,4	14,2	4,1561	0,063	0,077	1,220	4,03
<i>B. marinus</i>	MA.	263,44	30,0	-15,63	12,04	51,4	14,8	4,0546	0,049	0,064	1,312	4,47
<i>B. marinus</i>	SJ.	923,86	42,7	-15,40	11,39	52,5	14,5	4,2287	0,017	0,081	4,641	4,21
<i>B. marinus</i>	SJ.	602,36	42,5	-14,91	10,80	51,9	14,6	4,1628	0,030	0,068	2,228	3,97
<i>B. marinus</i>	SJ.	1246,20	50,5	-15,07	11,38	52,4	15,0	4,0729	0,048	0,067	1,377	4,21
<i>B. marinus</i>	SJ.	1003,70	46,9	-15,14	11,20	54,4	14,8	4,2927	0,026	0,080	3,116	4,14
<i>B. marinus</i>	SJ.	1042,08	42,2	-15,20	11,65	52,2	15,0	4,0577	0,030	0,068	2,268	4,32

Dados dos indivíduos do estudo. B.S.: Barra de Sirinhaem; IT.: Ilha de Itamaracá; MA.: Maracáipe; SJ.: São José da Coroa Grande; TA.: Tamandaré; M.: Massa do indivíduo; C.T.: Comprimento total; %C: Carbono total; %N: Nitrogênio total; $\delta^{13}\text{C}$: $\delta^{13}\text{C}$ (‰); $\delta^{15}\text{N}$: $\delta^{15}\text{N}$ (‰); C.T. (cm): Comprimento total; M (g): Massa do indivíduo; V (mg/kg): Vanádio; Ni (mg/kg): Níquel; V/Ni: Relação V/Ni; N.T.: Nível trófico

Espécie	Local	M (g)	C.T. (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%C	%N	C/N	Ni (mg/kg)	V (mg/kg)	V/Ni	N.T.
<i>B. marinus</i>	SJ.	1111,70	46,3	-14,77	11,25	53,4	15,0	4,1605	0,018	0,077	4,348	4,16
<i>B. marinus</i>	SJ.	976,74	43,3	-15,14	11,59	52,4	15,2	4,0297	0,016	0,065	4,083	4,29
<i>B. marinus</i>	SJ.	679,71	43,5	-15,28	11,75	52,2	14,3	4,2638	0,050	0,095	1,925	4,36
<i>B. marinus</i>	SJ.	520,90	40,2	-15,46	11,14	51,2	14,8	4,0440	0,058	0,071	1,231	4,11
<i>B. marinus</i>	SJ.	690,32	39,9	-15,55	11,23	48,5	13,0	4,3666	0,018	0,095	5,320	4,15
<i>B. marinus</i>	SJ.	413,47	37,5	-15,44	11,59	53,2	15,3	4,0483	0,032	0,072	2,281	4,29
<i>B. marinus</i>	SJ.	554,49	41,0	-15,85	11,13	49,4	13,5	4,2711	0,048	0,079	1,665	4,11
<i>B. marinus</i>	SJ.	965,10	47,3	-14,94	11,46	49,9	15,3	3,7933	0,059	0,073	1,234	4,24
<i>B. marinus</i>	SJ.	1051,65	44,1	-15,51	11,34	53,0	14,7	4,2077	0,028	0,072	2,596	4,19
<i>B. marinus</i>	SJ.	773,34	40,7	-15,22	11,32	50,0	14,8	3,9499	0,065	0,076	1,164	4,19
<i>B. marinus</i>	SJ.	697,81	43,5	-15,83	11,37	50,1	15,0	3,8826	0,048	0,075	1,572	4,20
<i>B. marinus</i>	SJ.	531,32	39,2	-15,59	11,17	54,5	15,6	4,0754	0,033	0,052	1,563	4,12

Dados dos indivíduos do estudo. B.S.: Barra de Sirinhaem; IT.: Ilha de Itamaracá; MA.: Maracáipe; SJ.: São José da Coroa Grande; TA.: Tamandaré; M.: Massa do indivíduo; C.T.: Comprimento total; N.T.: Nível trófico

Espécie	Local	M (g)	C.T. (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%C	%N	C/N	Ni (mg/kg)	V (mg/kg)	V/Ni	N.T.
<i>B. marinus</i>	SJ.	221,13	29,0	-15,66	11,26	49,3	15,3	3,7465	0,194	0,077	0,396	4,16
<i>O. chrysurus</i>	TA.	373,77	34,0	-17,42	8,85	52,7	14,2	4,3356	0,017	0,037	2,241	3,20
<i>O. chrysurus</i>	TA.	361,02	33,8	-17,11	8,83	45,4	12,2	4,3224	0,011	0,035	3,311	3,19
<i>O. chrysurus</i>	TA.	486,60	37,3	-17,30	8,86	51,9	13,8	4,3928	0,009	0,054	6,192	3,20
<i>O. chrysurus</i>	TA.	622,13	40,2	-17,51	7,98	53,9	13,4	4,6789	0,008	0,040	5,084	2,85
<i>O. chrysurus</i>	TA.	493,02	38,5	-17,18	8,76	54,6	14,6	4,3498	0,011	0,051	4,825	3,16
<i>O. chrysurus</i>	TA.	331,45	33,5	-17,50	8,47	53,6	13,9	4,4893	0,019	0,058	3,145	3,05
<i>O. chrysurus</i>	TA.	335,35	31,6	-16,96	9,44	53,9	13,9	4,5186	0,013	0,043	3,271	3,43
<i>O. chrysurus</i>	TA.	318,31	32,3	-17,26	8,94	53,0	13,6	4,5394	0,008	0,049	5,960	3,23
<i>O. chrysurus</i>	TA.	349,24	33,1	-17,08	10,43	53,6	14,3	4,3582	0,014	0,039	2,839	3,83
<i>O. chrysurus</i>	TA.	393,57	34,0	-16,70	9,87	47,7	15,9	3,4975	0,034	0,041	1,200	3,61
<i>O. chrysurus</i>	TA.	423,63	34,8	-16,91	9,08	51,0	15,7	3,7986	0,018	0,050	2,805	3,29

Dados dos indivíduos do estudo. B.S.: Barra de Sirinhaem; IT.: Ilha de Itamaracá; MA.: Maracáipe; SJ.: São José da Coroa Grande; TA.: Tamandaré; M.: Massa do indivíduo; C.T.: Comprimento total; N.T.: Nivel trófico

Espécie	Local	M (g)	C.T. (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%C	%N	C/N	Ni (mg/kg)	V (mg/kg)	V/Ni	N.T.
<i>O. chrysurus</i>	TA.	395,55	35,8	-17,48	9,08	54,7	14,5	4,4005	0,010	0,054	5,364	3,29

APÊNDICE B – Análises estatísticas

Amostras Independentes de Teste U de Mann-Whitney entre as famílias Ariidae (n = 43) e Lutjanidae (n = 30).

Grandeza	Sig.^a	Resultado do Teste U
$\delta^{13}\text{C}$	0,000	Rejeitar a hipótese nula.
$\delta^{15}\text{N}$	0,000	Rejeitar a hipótese nula.
%C	0,086	Rejeitar a hipótese nula.
%N	0,001	Rejeitar a hipótese nula.
C/N	0,000	Rejeitar a hipótese nula.
Ni	0,000	Rejeitar a hipótese nula.
V	0,000	Rejeitar a hipótese nula.
V/Ni	0,000	Rejeitar a hipótese nula.

^a. O nível de significância é 0,050.
Hipótese nula: As distribuições são iguais nas categorias de Família.

Correlações não paramétricas de Spearman para todos as amostras analisadas no estudo.

	M	C.T.	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	%C	%N	C/N	Ni	V	V/Ni
M	--									
	ρ									
	Sig.									
C.T.	0,977**	--								
	ρ									
	Sig.									
$\delta^{13}\text{C}$	0,154	0,159	--							
	ρ									
	Sig.									
$\delta^{15}\text{N}$	0,217	0,251*	0,579**	--						
	ρ									
	Sig.									
%C	0,316**	0,276*	-0,107	-0,154	--					
	ρ									
	Sig.									
%N	0,007	0,018	0,367	0,194	0,182	--				
	ρ									
	Sig.									
C/N	0,002	0,002	0,047	0,001	0,123	0,482**	--			
	ρ									
	Sig.									
Ni	-0,103	-0,130	-0,366**	-0,531**	0,000	0,000	0,000			
	ρ									
	Sig.									
V	0,384	0,275	0,001	0,000	0,000	0,226	-0,473**	--		
	ρ									
	Sig.									
V	-0,244*	-0,181	0,560**	0,445**	-0,354**	0,055	0,000			
	ρ									
	Sig.									
V	0,295*	0,324**	0,485**	0,339**	-0,201	0,251*	-0,388**	0,365**	--	
	ρ									
	Sig.									
V/Ni	0,011	0,005	0,000	0,003	0,088	0,032	0,000	0,002		
	ρ									
	Sig.									
V/Ni	0,344**	0,292*	-0,439**	-0,351**	0,342**	-0,183	0,421**	-0,942**	-0,080	--
	ρ									
	Sig.									
V/Ni	0,003	0,012	0,000	0,002	0,003	0,122	0,000	0,000	0,499	
	ρ									
	Sig.									

*. A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

**. A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

Correlações não paramétricas de Spearman para a família Ariidae.

	M	C.T.	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	%C	%N	C/N	Ni	V	V/Ni
M										
	p									
	Sig.									
C.T.	0,966**	--								
	Sig.									
$\delta^{13}\text{C}$	0,183	0,203	--							
	Sig.	0,239								
$\delta^{15}\text{N}$	0,006	0,063	0,191	--						
	Sig.	0,967	0,689							
%C	0,440**	0,399**	0,213	0,002	--					
	Sig.	0,003	0,008	0,171	0,988					
%N	0,378*	0,364*	-0,132	-0,100	0,337*	--				
	Sig.	0,012	0,399	0,522	0,027					
C/N	-0,008	-0,033	0,136	0,105	0,346*	-0,675**	--			
	Sig.	0,959	0,834	0,503	0,023	0,000				
Ni	-0,407**	-0,320*	0,229	0,068	-0,153	-0,105	-0,095	--		
	Sig.	0,007	0,037	0,140	0,666	0,501	0,544			
V	0,444**	0,459**	0,111	-0,278	-0,009	0,080	-0,089	-0,144	--	
	Sig.	0,003	0,002	0,479	0,071	0,609	0,568	0,358		
V/Ni	0,519**	0,448**	-0,166	-0,093	0,201	0,124	0,101	-0,954**	0,367*	--
	Sig.	0,000	0,003	0,288	0,553	0,428	0,519	0,000	0,015	

*. A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

**. A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

Correlações não paramétricas de Spearman para a família Lutjanidae.

	M	C.T.	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	%C	%N	C/N	Ni	V	V/Ni
M	p	--								
	Sig.									
C.T.	p	0,952**	--							
	Sig.	0,000								
$\delta^{13}\text{C}$	p	-0,467**	-0,549**	--						
	Sig.	0,009	0,002							
$\delta^{15}\text{N}$	p	0,416*	0,347	-0,447*	--					
	Sig.	0,022	0,060	0,013						
%C	p	0,315	0,228	-0,309	0,181	--				
	Sig.	0,090	0,226	0,0967	0,339					
%N	p	0,311	0,247	-0,130	0,548**	0,386*	--			
	Sig.	0,094	0,188	0,493	0,002	0,035				
C/N	p	-0,032	-0,103	-0,004	-0,349	0,527**	-0,367*	--		
	Sig.	0,866	0,586	0,984	0,058	0,003	0,046			
Ni	p	-0,612**	-0,530**	0,487**	-0,467**	-0,491**	-0,022	-0,322	--	
	Sig.	0,000	0,003	0,006	0,009	0,006	0,906	0,083		
V	p	-0,402*	-0,275	0,296	-0,422*	-0,309	-0,196	0,082	0,303	--
	Sig.	0,028	0,142	0,113	0,020	0,097	0,298	0,668	0,104	
V/Ni	p	0,499**	0,456*	-0,417*	0,358	0,422*	-0,046	0,392*	-0,940**	0,011
	Sig.	0,005	0,011	0,022	0,052	0,020	0,811	0,032	0,000	0,953

*. A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

** . A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

Amostras Independentes de Teste de Kruskal-Wallis entre os locais Barra de Sirinhaem (n = 22), Ilha de Ilha de Itamaracá (n = 15), Maracaípe (n = 6), São José da Coroa Grande (n = 18) e Tamandaré (n = 12).

Grandeza	Sig.^a	Resultado do Teste Kruskal-Wallis
$\delta^{13}\text{C}$	0,000	Rejeitar a hipótese nula.
$\delta^{15}\text{N}$	0,010	Rejeitar a hipótese nula.
%C	0,038	Rejeitar a hipótese nula.
%N	0,001	Rejeitar a hipótese nula.
C/N	0,000	Rejeitar a hipótese nula.
Ni	0,000	Rejeitar a hipótese nula.
V	0,000	Rejeitar a hipótese nula.
V/Ni	0,000	Rejeitar a hipótese nula.
^a . O nível de significância é 0,050. Hipótese nula: As distribuições são iguais nas categorias de Local.		

Comparações por Método Pairwise entre os locais das razões isotópicas do carbono $\delta^{13}\text{C}$.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig.^a
Tamandaré-Barra de Sirinhaém	0,000	0,000
Tamandaré-Ilha de Itamaracá	0,000	0,000
Tamandaré-São José da Coroa Grande	0,000	0,000
Tamandaré-Maracaípe	0,000	0,000
Barra de Sirinhaém-Ilha de Itamaracá	0,442	1,000
Barra de Sirinhaém-São José da Coroa Grande	0,303	1,000
Barra de Sirinhaém-Maracaípe	0,165	1,000
Ilha de Itamaracá-São José da Coroa Grande	0,841	1,000
Ilha de Itamaracá-Maracaípe	0,429	1,000
São José da Coroa Grande-Maracaípe	0,509	1,000
Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.		
^a . Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.		

Comparações por Método Pairwise entre os locais das razões isotópicas do nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
Tamandaré-Ilha de Itamaracá	0,447	1,000
Tamandaré-Barra de Sirinhaém	0,027	0,270
Tamandaré-Maracaípe	0,056	0,563
Tamandaré-São José da Coroa Grande	0,001	0,014
Ilha de Itamaracá-Barra de Sirinhaém	0,136	1,000
Ilha de Itamaracá-Maracaípe	0,172	1,000
Ilha de Itamaracá-São José da Coroa Grande	0,010	0,104
Barra de Sirinhaém-Maracaípe	0,727	1,000
Barra de Sirinhaém-São José da Coroa Grande	0,212	1,000
Maracaípe-São José da Coroa Grande	0,617	1,000
Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.		
^a . Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.		

Comparações por Método Pairwise entre os locais das porcentagens de carbono %C.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
Barra de Sirinhaém-São José da Coroa Grande	0,119	1,000
Barra de Sirinhaém-Maracaípe	0,225	1,000
Barra de Sirinhaém-Ilha de Itamaracá	0,012	0,118
Barra de Sirinhaém-Tamandaré	0,006	0,060
São José da Coroa Grande-Maracaípe	0,894	1,000
São José da Coroa Grande-Ilha de Itamaracá	0,321	1,000
São José da Coroa Grande-Tamandaré	0,188	1,000
Maracaípe-Ilha de Itamaracá	0,556	1,000
Maracaípe-Tamandaré	0,392	1,000
Ilha de Itamaracá-Tamandaré	0,711	1,000
Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.		
^a . Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.		

Comparações por Método Pairwise entre os locais das porcentagens de nitrogênio %N.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
Barra de Sirinhaém-Ilha de Itamaracá	0,749	1,000
Barra de Sirinhaém-Tamandaré	0,353	1,000
Barra de Sirinhaém-Maracaípe	0,069	0,694
Barra de Sirinhaém-São José da Coroa Grande	0,000	0,001
Ilha de Itamaracá-Tamandaré	0,559	1,000
Ilha de Itamaracá-Maracaípe	0,131	1,000
Ilha de Itamaracá-São José da Coroa Grande	0,002	0,016
Tamandaré-Maracaípe	0,315	1,000
Tamandaré-São José da Coroa Grande	0,019	0,189
Maracaípe-São José da Coroa Grande	0,430	1,000
Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.		
^a . Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.		

Comparações por Método Pairwise entre os locais das razões C/N.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
São José da Coroa Grande-Maracaípe	0,467	1,000
São José da Coroa Grande-Barra de Sirinhaém	0,017	0,173
São José da Coroa Grande-Tamandaré	0,000	0,005
São José da Coroa Grande-Ilha de Itamaracá	0,000	0,000
Maracaípe-Barra de Sirinhaém	0,369	1,000
Maracaípe-Tamandaré	0,055	0,553
Maracaípe-Ilha de Itamaracá	0,022	0,224
Barra de Sirinhaém-Tamandaré	0,129	1,000
Barra de Sirinhaém-Ilha de Itamaracá	0,040	0,395
Tamandaré-Ilha de Itamaracá	0,709	1,000
Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.		
^a . Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.		

Comparações por Método Pairwise entre os locais das concentrações de Ni.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
Tamandaré-Ilha de Itamaracá	0,025	0,249
Tamandaré-São José da Coroa Grande	0,000	0,004
Tamandaré-Barra de Sirinhaém	0,000	0,000
Tamandaré-Maracaípe	0,000	0,002
Ilha de Itamaracá-São José da Coroa Grande	0,189	1,000
Ilha de Itamaracá-Barra de Sirinhaém	0,009	0,090
Ilha de Itamaracá-Maracaípe	0,035	0,354
São José da Coroa Grande-Barra de Sirinhaém	0,191	1,000
São José da Coroa Grande-Maracaípe	0,237	1,000
Barra de Sirinhaém-Maracaípe	0,758	1,000
Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.		
^a . Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.		

Comparações por Método Pairwise entre os locais das concentrações de V.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
Tamandaré-Ilha de Itamaracá	0,039	0,386
Tamandaré-Barra de Sirinhaém	0,007	0,067
Tamandaré-Maracaípe	0,000	0,001
Tamandaré-São José da Coroa Grande	0,000	0,000
Ilha de Itamaracá-Barra de Sirinhaém	0,609	1,000
Ilha de Itamaracá-Maracaípe	0,018	0,184
Ilha de Itamaracá-São José da Coroa Grande	0,000	0,002
Barra de Sirinhaém-Maracaípe	0,036	0,356
Barra de Sirinhaém-São José da Coroa Grande	0,000	0,005
Maracaípe-São José da Coroa Grande	0,760	1,000
Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.		
^a . Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.		

Comparações por Método Pairwise entre os locais das razões V/Ni.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
Barra de Sirinhaém-Maracaípe	0,827	1,000
Barra de Sirinhaém-São José da Coroa Grande	0,029	0,293
Barra de Sirinhaém-Ilha de Itamaracá	0,020	0,202
Barra de Sirinhaém-Tamandaré	0,000	0,000
Maracaípe-São José da Coroa Grande	0,209	1,000
Maracaípe-Ilha de Itamaracá	0,161	1,000
Maracaípe-Tamandaré	0,003	0,035
São José da Coroa Grande-Ilha de Itamaracá	0,807	1,000
São José da Coroa Grande-Tamandaré	0,020	0,197
Ilha de Itamaracá-Tamandaré	0,043	0,430
Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.		
^a . Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.		

Amostras Independentes de Teste de Kruskal-Wallis entre as espécies *Aspistor luniscutis* (n = 9), *Bagre marinus* (n = 25), *Sciades couma* (n = 9) e *Ocyurus chrysurus* (n = 30).

Grandeza	Sig. ^a	Resultado do Teste Kruskal-Wallis
$\delta^{13}\text{C}$	0,000	Rejeitar a hipótese nula.
$\delta^{15}\text{N}$	0,000	Rejeitar a hipótese nula.
%C	0,270	Reter a hipótese nula.
%N	0,001	Rejeitar a hipótese nula.
C/N	0,000	Rejeitar a hipótese nula.
Ni	0,000	Rejeitar a hipótese nula.
V	0,000	Rejeitar a hipótese nula.
V/Ni	0,001	Rejeitar a hipótese nula.
^a . O nível de significância é 0,050.		
Hipótese nula: As distribuições são iguais nas categorias de Espécie.		

Comparações por Método Pairwise entre as espécies das razões isotópicas do carbono $\delta^{13}\text{C}$.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
<i>Ocyurus chrysurus</i> - <i>Bagre marinus</i>	0,000	0,000
<i>Ocyurus chrysurus</i> - <i>Aspistor luniscutis</i>	0,000	0,000
<i>Ocyurus chrysurus</i> - <i>Sciades couma</i>	0,000	0,000
<i>Bagre marinus</i> - <i>Aspistor luniscutis</i>	0,239	1,000
<i>Bagre marinus</i> - <i>Sciades couma</i>	0,038	0,225
<i>Aspistor luniscutis</i> - <i>Sciades couma</i>	0,457	1,000
Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.		
^a . Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.		

Comparações por Método Pairwise entre as espécies das razões isotópicas do nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
<i>Ocyurus chrysurus</i> - <i>Aspistor luniscutis</i>	0,000	0,002
<i>Ocyurus chrysurus</i> - <i>Bagre marinus</i>	0,000	0,000
<i>Ocyurus chrysurus</i> - <i>Sciades couma</i>	0,000	0,000
<i>Aspistor luniscutis</i> - <i>Bagre marinus</i>	0,526	1,000
<i>Aspistor luniscutis</i> - <i>Sciades couma</i>	0,029	0,172
<i>Bagre marinus</i> - <i>Sciades couma</i>	0,043	0,260
Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.		
^a . Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.		

Comparações por Método Pairwise entre as espécies das porcentagens de carbono %C.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
<i>Sciades couma-Aspistor luniscutis</i>	0,807	1,000
<i>Sciades couma-Bagre marinus</i>	0,362	1,000
<i>Sciades couma-Ocyurus chrysurus</i>	0,093	0,558
<i>Aspistor luniscutis-Bagre marinus</i>	0,538	1,000
<i>Aspistor luniscutis-Ocyurus chrysurus</i>	0,169	1,000
<i>Bagre marinus-Ocyurus chrysurus</i>	0,295	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

^a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Comparações por Método Pairwise entre as espécies das porcentagens de nitrogênio %N.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
<i>Ocyurus chrysurus-Aspistor luniscutis</i>	0,576	1,000
<i>Ocyurus chrysurus-Sciades couma</i>	0,118	0,705
<i>Ocyurus chrysurus-Bagre marinus</i>	0,000	0,000
<i>Aspistor luniscutis-Sciades couma</i>	0,417	1,000
<i>Aspistor luniscutis-Bagre marinus</i>	0,023	0,140
<i>Sciades couma-Bagre marinus</i>	0,199	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

^a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Comparações por Método Pairwise entre as espécies das razões C/N.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
<i>Bagre marinus</i> - <i>Sciades couma</i>	0,467	1,000
<i>Bagre marinus</i> - <i>Aspistor luniscutis</i>	0,241	1,000
<i>Bagre marinus</i> - <i>Ocyurus chrysurus</i>	0,000	0,000
<i>Sciades couma</i> - <i>Aspistor luniscutis</i>	0,714	1,000
<i>Sciades couma</i> - <i>Ocyurus chrysurus</i>	0,004	0,023
<i>Aspistor luniscutis</i> - <i>Ocyurus chrysurus</i>	0,015	0,087

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

^a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Comparações por Método Pairwise entre as espécies das concentrações de Ni.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
<i>Ocyurus chrysurus</i> - <i>Bagre marinus</i>	0,000	0,001
<i>Ocyurus chrysurus</i> - <i>Aspistor luniscutis</i>	0,000	0,002
<i>Ocyurus chrysurus</i> - <i>Sciades couma</i>	0,000	0,002
<i>Bagre marinus</i> - <i>Aspistor luniscutis</i>	0,346	1,000
<i>Bagre marinus</i> - <i>Sciades couma</i>	0,346	1,000
<i>Aspistor luniscutis</i> - <i>Sciades couma</i>	1,000	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

^a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Comparações por Método Pairwise entre as espécies das concentrações de V.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
<i>Ocyurus chrysurus-Aspistor luniscutis</i>	0,109	0,654
<i>Ocyurus chrysurus-Sciades couma</i>	0,007	0,041
<i>Ocyurus chrysurus-Bagre marinus</i>	0,000	0,000
<i>Aspistor luniscutis-Sciades couma</i>	0,374	1,000
<i>Aspistor luniscutis-Bagre marinus</i>	0,045	0,271
<i>Sciades couma-Bagre marinus</i>	0,355	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

^a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Comparações por Método Pairwise entre as espécies das razões V/Ni.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
<i>Aspistor luniscutis-Sciades couma</i>	0,764	1,000
<i>Aspistor luniscutis-Bagre marinus</i>	0,130	0,782
<i>Aspistor luniscutis-Ocyurus chrysurus</i>	0,001	0,006
<i>Sciades couma-Bagre marinus</i>	0,251	1,000
<i>Sciades couma-Ocyurus chrysurus</i>	0,003	0,021
<i>Bagre marinus-Ocyurus chrysurus</i>	0,014	0,086

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

^a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Amostras Independentes de Teste de Kruskal-Wallis entre as espécies *Aspistor luniscutis* (n = 6), *Bagre marinus* (n = 4), *Sciades couma* (n = 5) e *Ocyurus chrysurus* (n = 7) de Barra de Sirinhaem.

Grandeza	Sig. ^a	Resultado do Teste Kruskal-Wallis
$\delta^{13}\text{C}$	0,016	Rejeitar a hipótese nula.
$\delta^{15}\text{N}$	0,002	Rejeitar a hipótese nula.
%C	0,808	Reter a hipótese nula.
%N	0,068	Reter a hipótese nula.
C/N	0,002	Rejeitar a hipótese nula.
Ni	0,428	Reter a hipótese nula.
V	0,218	Reter a hipótese nula.
V/Ni	0,416	Reter a hipótese nula.
^a . O nível de significância é 0,050. Hipótese nula: As distribuições são iguais nas categorias de Espécie.		

Comparações por Método Pairwise entre as espécies das razões isotópicas do carbono $\delta^{13}\text{C}$ de Barra de Sirinhaem.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
<i>Ocyurus chrysurus</i> - <i>Bagre marinus</i>	0,066	0,399
<i>Ocyurus chrysurus</i> - <i>Aspistor luniscutis</i>	0,019	0,114
<i>Ocyurus chrysurus</i> - <i>Sciades couma</i>	0,003	0,019
<i>Bagre marinus</i> - <i>Aspistor luniscutis</i>	0,811	1,000
<i>Bagre marinus</i> - <i>Sciades couma</i>	0,389	1,000
<i>Aspistor luniscutis</i> - <i>Sciades couma</i>	0,484	1,000
Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.		
^a . Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.		

Comparações por Método Pairwise entre as espécies das razões isotópicas do nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$ de Barra de Sirinhaem.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
<i>Ocyurus chrysurus-Aspistor luniscutis</i>	0,016	0,099
<i>Ocyurus chrysurus-Bagre marinus</i>	0,006	0,034
<i>Ocyurus chrysurus-Sciades couma</i>	0,000	0,002
<i>Aspistor luniscutis-Bagre marinus</i>	0,538	1,000
<i>Aspistor luniscutis-Sciades couma</i>	0,210	1,000
<i>Bagre marinus-Sciades couma</i>	0,590	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

^a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Comparações por Método Pairwise entre as espécies das porcentagens de carbono %C de Barra de Sirinhaem.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
<i>Sciades couma-Aspistor luniscutis</i>	0,445	1,000
<i>Sciades couma-Ocyurus chrysurus</i>	0,388	1,000
<i>Sciades couma-Bagre Marinus</i>	0,422	1,000
<i>Aspistor luniscutis-Ocyurus chrysurus</i>	0,937	1,000
<i>Aspistor luniscutis-Bagre Marinus</i>	0,905	1,000
<i>Ocyurus chrysurus-Bagre Marinus</i>	0,958	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

^a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Comparações por Método Pairwise entre os locais das porcentagens de nitrogênio %N de Barra de Sirinhaem.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
<i>Ocyurus chrysurus-Aspistor luniscutis</i>	0,112	0,673
<i>Ocyurus chrysurus-Bagre Marinus</i>	0,063	0,377
<i>Ocyurus chrysurus-Sciades couma</i>	0,014	0,082
<i>Aspistor luniscutis-Bagre Marinus</i>	0,662	1,000
<i>Aspistor luniscutis-Sciades couma</i>	0,355	1,000
<i>Bagre Marinus-Sciades couma</i>	0,679	1,000
Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.		
^a . Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.		

Comparações por Método Pairwise entre as espécies das razões C/N de Barra de Sirinhaem.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
<i>Sciades couma-Bagre Marinus</i>	0,389	1,000
<i>Sciades couma-Aspistor luniscutis</i>	0,204	1,000
<i>Sciades couma-Ocyurus chrysurus</i>	0,000	0,001
<i>Bagre Marinus-Aspistor luniscutis</i>	0,766	1,000
<i>Bagre Marinus-Ocyurus chrysurus</i>	0,012	0,071
<i>Aspistor luniscutis-Ocyurus chrysurus</i>	0,013	0,076
Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.		
^a . Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.		

Comparações por Método Pairwise entre as espécies das concentrações de Ni de Barra de Sirinhaem.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
<i>Ocyurus chrysurus</i> - <i>Sciades couma</i>	0,513	1,000
<i>Ocyurus chrysurus</i> - <i>Aspistor luniscutis</i>	0,295	1,000
<i>Ocyurus chrysurus</i> - <i>Bagre Marinus</i>	0,108	0,650
<i>Sciades couma</i> - <i>Aspistor luniscutis</i>	0,741	1,000
<i>Sciades couma</i> - <i>Bagre Marinus</i>	0,353	1,000
<i>Aspistor luniscutis</i> - <i>Bagre Marinus</i>	0,512	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

^a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Comparações por Método Pairwise entre as espécies das concentrações de V de Barra de Sirinhaem.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
<i>Aspistor luniscutis</i> - <i>Bagre Marinus</i>	0,311	1,000
<i>Aspistor luniscutis</i> - <i>Sciades couma</i>	0,084	0,502
<i>Aspistor luniscutis</i> - <i>Ocyurus chrysurus</i>	0,058	0,346
<i>Bagre Marinus</i> - <i>Sciades couma</i>	0,558	1,000
<i>Bagre Marinus</i> - <i>Ocyurus chrysurus</i>	0,522	1,000
<i>Sciades couma</i> - <i>Ocyurus chrysurus</i>	0,988	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

^a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Comparações por Método Pairwise entre as espécies das razões V/Ni de Barra de Sirinhaem.

Amostra 1 - Amostra 2	Sig.	Adj. Sig. ^a
<i>Bagre Marinus-Aspistor luniscutis</i>	0,850	1,000
<i>Bagre Marinus-Sciades couma</i>	0,398	1,000
<i>Bagre Marinus-Ocyurus chrysurus</i>	0,158	0,949
<i>Aspistor luniscutis-Sciades couma</i>	0,462	1,000
<i>Aspistor luniscutis-Ocyurus chrysurus</i>	0,171	1,000
<i>Sciades couma-Ocyurus chrysurus</i>	0,588	1,000
Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.		
^a . Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.		

Correlações não paramétricas de Spearman para as amostras de Barra de Sirinhaem (n = 22).

	M	C.T.	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	%C	%N	C/N	Ni	V	V/Ni
M	--									
	ρ									
	Sig.									
C.T.	ρ	--								
	Sig.									
$\delta^{13}\text{C}$	ρ	0,073	0,141	--						
	Sig.	0,747	0,531							
$\delta^{15}\text{N}$	ρ	-0,185	-0,081	0,610**						
	Sig.	0,411	0,721	0,003						
%C	ρ	0,412	0,301	0,157	-0,092	--				
	Sig.	0,0570	0,173	0,487	0,684					
%N	ρ	0,099	0,079	0,481*	0,440*	0,465*	--			
	Sig.	0,662	0,728	0,023	0,041	0,029				
C/N	ρ	0,399	0,314	-0,505*	-0,697**	0,427*	--			
	Sig.	0,066	0,154	0,017	0,000	0,047	0,016			
Ni	ρ	-0,197	-0,227	0,605**	0,234	0,278	0,317	-0,184	--	
	Sig.	0,379	0,309	0,003	0,294	0,210	0,151	0,414		
V	ρ	-0,018	0,091	-0,092	-0,315	-0,333	-0,132	-0,115	-0,172	--
	Sig.	0,938	0,687	0,685	0,154	0,130	0,559	0,612	0,443	
V/Ni	ρ	0,208	0,244	-0,574**	-0,287	-0,303	-0,286	0,143	-0,966**	0,363
	Sig.	0,354	0,274	0,005	0,195	0,170	0,196	0,525	0,000	0,097

*. A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

**. A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

Amostras Independentes de Teste U de Mann-Whitney entre as espécies *Sciades couma* (n = 4) e *Ocyurus chrysurus* (n = 11) de Ilha de Itamaracá.

Grandeza	Sig.^a	Resultado do Teste U
$\delta^{13}\text{C}$	0,001	Rejeitar a hipótese nula.
$\delta^{15}\text{N}$	0,001	Rejeitar a hipótese nula.
%C	0,571	Reter a hipótese nula.
%N	0,412	Reter a hipótese nula.
C/N	0,489	Reter a hipótese nula.
Ni	0,010	Rejeitar a hipótese nula.
V	0,056	Reter a hipótese nula.
V/Ni	0,056	Reter a hipótese nula.

^a. O nível de significância é 0,050.

Hipótese nula: As distribuições são iguais nas categorias de Espécie.

Correlações não paramétricas de Spearman para as amostras de Ilha de Itamaracá (n = 15).

	M	C.T.	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	%C	%N	C/N	Ni	V	V/Ni
M	--									
	ρ									
	Sig.									
C.T.	0,939**	--								
	ρ									
	Sig.									
$\delta^{13}\text{C}$	0,182	0,293	--							
	ρ									
	Sig.									
$\delta^{15}\text{N}$	0,482	0,525*	0,495	--						
	ρ									
	Sig.									
%C	0,132	-0,046	-0,493	-0,021	--					
	ρ									
	Sig.									
%N	0,179	0,139	0,088	0,400	0,064	--				
	ρ									
	Sig.									
C/N	0,004	-0,161	-0,427	-0,243	0,539*	-0,639*	--			
	ρ									
	Sig.									
Ni	0,193	0,314	0,602*	0,336	-0,254	0,450	-0,514*	--		
	ρ									
	Sig.									
V	0,236	0,325	0,513	0,575*	-0,296	0,214	-0,286	0,343	--	
	ρ									
	Sig.									
V/Ni	-0,225	-0,318	-0,390	-0,208	0,073	-0,519*	0,467	-0,928**	-0,036	--
	ρ									
	Sig.									

*. A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

**. A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

Amostras Independentes de Teste U de Mann-Whitney entre as espécies *Aspistor luniscutis* (n = 3) e *Bagre marinus* (n = 3) de Maracaípe.

Grandeza	Sig.^a	Resultado do Teste U
$\delta^{13}\text{C}$	0,100	Reter a hipótese nula.
$\delta^{15}\text{N}$	0,100	Reter a hipótese nula.
%C	0,400	Reter a hipótese nula.
%N	0,200	Reter a hipótese nula.
C/N	0,700	Reter a hipótese nula.
Ni	0,400	Reter a hipótese nula.
V	0,400	Reter a hipótese nula.
V/Ni	0,700	Reter a hipótese nula.

^a. O nível de significância é 0,050.

Hipótese nula: As distribuições são iguais nas categorias de Espécie.

Correlações não paramétricas de Spearman para as amostras de Maracaípe (n = 6).

	M	C.T.	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	%C	%N	C/N	Ni	V	V/Ni
M	ρ	--								
	Sig.									
C.T.	ρ	0,714	--							
	Sig.	0,111								
$\delta^{13}\text{C}$	ρ	-0,086	-0,371	--						
	Sig.	0,872	0,468							
$\delta^{15}\text{N}$	ρ	-0,029	0,143	-0,771	--					
	Sig.	0,957	0,787	0,072						
%C	ρ	0,486	0,543	-0,714	0,257	--				
	Sig.	0,329	0,266	0,111	0,623					
%N	ρ	0,200	0,143	-0,657	0,429	0,371	--			
	Sig.	0,704	0,787	0,156	0,397	0,468				
C/N	ρ	0,371	0,314	0,086	-0,314	0,543	--			
	Sig.	0,468	0,544	0,872	0,544	0,266				
Ni	ρ	-0,714	-0,714	0,600	-0,143	-0,943**	-0,429	--		
	Sig.	0,111	0,111	0,208	0,787	0,005	0,397	0,329		
V	ρ	0,543	-0,086	0,486	-0,600	0,143	-0,143	0,486	--	
	Sig.	0,266	0,872	0,329	0,208	0,787	0,787	0,329	0,623	
V/Ni	ρ	0,657	0,371	-0,429	-0,029	0,829*	0,543	0,371	-0,886*	0,543
	Sig.	0,156	0,468	0,397	0,957	0,042	0,266	0,468	0,019	0,266

*. A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

**. A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

Correlações não paramétricas de Spearman para as amostras de São José da Coroa Grande (n = 18).

	M	C.T.	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	%C	%N	C/N	Ni	V	V/Ni
M	ρ	--								
	Sig.									
C.T.	ρ	0,811*	--							
	Sig.	0,000								
$\delta^{13}\text{C}$	ρ	0,585*	0,581*	--						
	Sig.	0,012	0,011							
$\delta^{15}\text{N}$	ρ	0,323	0,258	0,220	--					
	Sig.	0,191	0,301	0,379						
%C	ρ	0,340	0,286	0,309	0,115	--				
	Sig.	0,168	0,250	0,212	0,650					
%N	ρ	-0,071	-0,063	0,067	0,234	0,236	--			
	Sig.	0,780	0,804	0,792	0,348	0,344				
C/N	ρ	0,154	0,135	-0,036	-0,282	0,261	-0,738*	--		
	Sig.	0,541	0,593	0,889	0,256	0,294	0,001			
Ni	ρ	-0,432	-0,185	-0,234	-0,046	-0,482*	0,251	-0,540*	--	
	Sig.	0,075	0,463	0,348	0,856	0,045	0,314	0,023		
V	ρ	-0,092	0,019	-0,203	-0,051	-0,282	-0,583	0,467	-0,051	--
	Sig.	0,717	0,942	0,417	0,844	0,256	0,013	0,052	0,844	
V/Ni	ρ	0,381	0,187	0,197	0,131	0,387	-0,397	0,643	-0,946*	0,298
	Sig.	0,120	0,458	0,431	0,603	0,114	0,104	0,005	0,000	0,229

*. A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

Correlações não paramétricas de Spearman para as amostras de Tamararé (n = 12).

	M	C.T.	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	%C	%N	C/N	Ni	V	V/Ni
M	--									
	ρ									
	Sig.									
C.T.	0,956*	--								
	ρ									
	Sig.									
$\delta^{13}\text{C}$	-0,147	-0,364	--							
	ρ									
	Sig.	0,651	0,244							
$\delta^{15}\text{N}$	-0,287	-0,462	0,741*	--						
	ρ									
	Sig.	0,366	0,130	0,008						
%C	0,098	0,137	-0,455	-0,175	--					
	ρ									
	Sig.	0,766	0,672	0,140	0,588					
%N	0,217	0,165	0,455	0,490	0,070	--				
	ρ									
	Sig.	0,499	0,609	0,140	0,110	0,834				
C/N	-0,189	-0,116	-0,622*	-0,322	0,636*	-0,580	--			
	ρ									
	Sig.	0,558	0,721	0,035	0,308	0,052				
Ni	-0,301	-0,340	0,490	0,364	-0,364	0,608*	-0,643*	--		
	ρ									
	Sig.	0,343	0,280	0,110	0,246	0,040	0,028			
V	0,091	0,214	-0,280	-0,126	0,448	0,280	0,273	-0,056	--	
	ρ									
	Sig.	0,783	0,505	0,379	0,700	0,379	0,391	0,869		
V/Ni	0,175	0,263	-0,497	-0,357	0,364	-0,559	0,636*	-0,902*	0,392	--
	ρ									
	Sig.	0,588	0,409	0,104	0,256	0,063	0,030	0,000	0,210	

*. A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

