



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ

Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal

Glaucia Batista Maciel dos Santos

**QUALIDADE AMBIENTAL DOS ESTUÁRIOS DO SUL DA BAHIA: UMA
ABORDAGEM QUÍMICA, NUTRICIONAL E PARASITOLÓGICA**

ILHÉUS – BAHIA

2021

GLAUCIA BATISTA MACIEL DOS SANTOS

**QUALIDADE AMBIENTAL DOS ESTUÁRIOS DO SUL DA BAHIA: UMA
ABORDAGEM QUÍMICA, NUTRICIONAL E PARASITOLÓGICA**

Tese apresentada como um dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciência Animal, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, da Universidade Estadual de Santa Cruz.

Área de Concentração: Ciência Animal

Orientadora: Profa. Dra. Guisla Boehs

ILHÉUS – BAHIA

2021

S237

Santos, Glaucia Batista Maciel dos.

Qualidade ambiental dos estuários do sul da Bahia: uma abordagem química, nutricional e parasitológica / Glaucia Batista Maciel dos Santos. – Ilhéus, BA: UESC, 2021.

99f. : il.

Orientadora: Guisla Boehs

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Santa Cruz. Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal – PPGCA

Inclui referências e apêndice.

1. Bivalve (Molusco). 2. Ecologia dos manguezais. 3. Metais. 4. Parasitos. 5. Qualidade ambiental. I. Título.

CDD 594

GLAUCIA BATISTA MACIEL DOS SANTOS

**QUALIDADE AMBIENTAL DOS ESTUÁRIOS DO SUL DA BAHIA: UMA
ABORDAGEM QUÍMICA, NUTRICIONAL E PARASITOLÓGICA**

Ilhéus (BA), **02/12/2021**

Dra. GUISLA BOEHS
UESC (Orientadora)

Dra. DANIELA MARIANO LOPES DA SILVA
UESC

Dra. GABRIELA CALVI ZEIDAN
UFV

Dr. RODOLFO MARIANO LOPES DA SILVA
UESC

Dr. TIAGO MORAES LENZ
IFAL

DEDICATÓRIA

*A aquele que apesar da pouca escolaridade, apoiou-me de todas as formas para
que eu atingisse meu objetivo, meu pai*

João Costa do Livramento

(in memoriam)

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a:

Jeová Deus, pela dádiva da vida, sem ela eu não poderia ter vivenciado essa experiência.

Meu pai, pelo suporte financeiro inicial.

Meu esposo Luciano e à minha filha Maria Eduarda, pelo incentivo e ajuda prática, sem o apoio de vocês eu não teria conseguido.

Minha mãe, pelos pensamentos positivos, sempre!

Professores PPGCA que compartilharam seus conhecimentos.

Colegas de turma, pelo companheirismo, em especial agradeço ao meu amigo para o resta da vida Willian Moraes e a Mirian que sempre me deram suporte quando necessário.

Eduardo (PPGCA), por estar sempre disposto para solucionar nossos problemas no colegiado.

CAPES e FAPESB pela concessão da bolsa de estudos.

Motoristas da UESC por terem me conduzido com segurança durante os trabalhos de campo.

Pescadores, pelo auxílio com a coleta dos bivalves e do sedimento.

Juliede, pela amizade e estadia durante as coletas em Belmonte.

Meus amigos Jaciara e Arisvaldo, pela estadia durante o trabalho de campo em Canavieiras.

Professores Raildo, Gustavo e Fabiana, por disponibilizarem, respectivamente, os laboratórios de Química, AQUANUT e de Histopatologia da UESC.

Professor Raul e Gildeci, por permitirem a utilização do laboratório de Solos da CEPLAC para digestão das amostras biológicas do capítulo 1.

Deise Costa, Vinícius Henrique, Virgínia Silva e Julia Benevides pela ajuda prática nas atividades em laboratório.

Jamile (Laboratório de Microscopia Eletrônica – UESC), pelas experiências e por sempre ceder água necessária para os experimentos em laboratório.

Ivo, pelo suporte fornecido durante as análises histológicas.

Professor Luiz Roberto Martins Pinto, pelas muitas orientações com estatística.

Ricardo Viana, pelos excelentes mapas.

Professor Fábio Oliveira (UFRB), por toda a ajuda e humanismo. Não existem palavras para agradecer seu altruísmo.

Linsmar (UFRB) pelo “mini curso” na condução do Liofilizador.

Professores da banca de Qualificação e de Defesa, por aceitarem o convite e contribuírem com suas experiências.

Gabriela Zeidan, sempre agradecimentos por me permitir conhecer o universo acadêmico.

Minha orientadora, Guisla Boehs, a você minha mais pura gratidão e respeito.

Obrigada pela oportunidade, confiança, paciência e experiências compartilhadas, sem você com certeza eu não teria chegado até aqui!

Aos demais que direta ou indiretamente contribuíram com a conclusão desse trabalho.

RESUMO

Estuários recebem entradas diárias de elementos químicos, que podem impactar a qualidade da água e do sedimento e conseqüentemente da biota desses ambientes. O objetivo deste estudo foi analisar os elementos metálicos de cinco estuários do litoral sul do estado da Bahia, o teor de micronutrientes em moluscos bivalves da região e a relação entre metais e parasitoses. Investigou-se os elementos químicos As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn no sedimento e em bivalves (*Crassostrea gasar*, *C. rhizophorae* e *Mytella guyanensis*) dos municípios de Valença, Taperoá, Ilhéus, Belmonte e Santa Cruz Cabrália (Capítulo 1). Exceto Santa Cruz Cabrália, os demais estuários foram escolhidos para um estudo de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) em *C. rhizophorae* e em *M. guyanensis* (Capítulo 2). A ostra *C. gasar* de dois estuários (Ilhéus e Santa Cruz Cabrália) foi avaliada quanto a parâmetros parasitológicos (Capítulo 3). As amostras de moluscos e sedimento foram submetidas à digestão ácida e analisadas por espectrometria de emissão óptica de plasma indutivamente acoplado (ICP OES) quanto a metais e mediante análises macro e microscópicas (histologia) quanto a parasitos. As comparações entre locais e espécies foram feitas por análise de variância, seguidas por testes de Tukey ($\alpha=0,05$). Os estuários de Valença, Taperoá, Ilhéus e Belmonte mostraram níveis de metais compatíveis com os estabelecidos pela legislação brasileira, porém, em Santa Cruz Cabrália, além da presença do As, verificou-se alto nível de Pb, o que foi atribuído aos impactos por atividades náuticas nesse local. Ostras (*C. rhizophorae* e *C. gasar*) mostraram alto teor de Zn e *M. guyanensis* alta concentração de Fe, evidenciando o valor nutricional desses bivalves quanto a esses e outros micronutrientes. Na análise parasitária, foram encontradas três espécies de ciliados (*Ancistrocoma* Chatton e Lwoff, 1926, *Sphenophrya* Chatton e Lwoff, 1921 e *Trichodina* Ehrenberg, 1830), um apicomplexo (*Nematopsis* Schneider, 1892) e três espécies de metazoários, sendo: *Urastoma cyprinae* (Graff, 1882) (Turbellaria), um Digenea não identificado e *Tylocephalum* Linton, 1890 (Cestoda). Em *C. gasar* de Santa Cruz Cabrália verificou-se carga parasitária mais alta de *Nematopsis* sp. e também maior número de células marrons, de ação detoxificante, assim como a presença de um tumor (xenoma). Os resultados apontam para uma possível correlação entre poluentes metálicos com células marrons, xenomas, condição de peso das ostras e expressão de *Nematopsis* sp.

PALAVRAS-CHAVE: Bivalves, Manguezais, Metais, Parasitos, Qualidade ambiental.

ENVIRONMENTAL QUALITY OF THE ESTUARY OF SOUTH BAHIA: A CHEMICAL, NUTRITIONAL AND PARASITOLOGICAL APPROACH

ABSTRACT

Estuaries receive daily inputs of chemical elements, which can impact the quality of water and sediment and consequently the biota of these environments. The aim of this study was to analyze the metallic elements of five estuaries on the southern coast of Bahia State, the micronutrient content in bivalve mollusks from this region and the relationship between metals and parasite diseases. The chemical elements As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn were investigated in the sediment and in bivalves (*Crassostrea gasar*, *C. rhizophorae* and *Mytella guyanensis*) from the counties of Valença, Taperoá, Ilhéus, Belmonte and Santa Cruz Cabrália (Chapter 1). Except in Santa Cruz Cabrália, the other estuaries were chosen for a study of micronutrients (Cu, Fe, Mn and Zn) in *C. rhizophorae* and in *M. guyanensis* (Chapter 2). The oyster *C. gasar* from two estuaries (Ilhéus and Santa Cruz Cabrália) was evaluated for parasitological parameters (Chapter 3). Mollusks and sediment samples were subjected to acid digestion and analyzed by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP OES) for metals, and by macro and microscopic analysis (histology) for the evaluation of parasites. Comparisons among places and species were made by analysis of variance, followed by Tukey tests ($\alpha=0.05$). The estuaries of Valença, Taperoá, Ilhéus and Belmonte showed metal levels compatible with those established by Brazilian legislation, however, in Santa Cruz Cabrália, in addition to the presence of As, there was a high level of Pb, which was attributed to impacts by nautical activities in that estuary. Oysters (*C. rhizophorae* and *C. gasar*) showed high content of Zn and *M. guyanensis* high concentration of Fe, evidencing the nutritional value of these bivalves regarding these and other micronutrients. In the parasitic analysis, were found three species of ciliates (*Ancistrocoma* Chatton and Lwoff, 1926, *Sphenophrya* Chatton and Lwoff, 1921 and *Trichodina* Ehrenberg, 1830), one Apicomplexa (*Nematopsis* Schneider, 1892) and three species of metazoans, being: *Urastoma cyprinae* (Graff, 1882) (Turbellaria), one unidentified Digenea and *Tylocephalum* Linton, 1890 (Cestoda). In *C. gasar* of Santa Cruz Cabrália, there was a higher parasite load of *Nematopsis* sp. and also a greater number of brown cells (with detoxifying action), as well as the presence of a tumor (xenoma). The results point to a possible correlation among metallic pollutants with brown cells, xenomas, oyster weight condition and expression of *Nematopsis* sp.

KEYWORDS: Bivalves, Mangroves, Metals, Parasites, Environmental quality.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

CHEMICAL ELEMENTS IN SEDIMENTS AND IN BIVALVE MOLLUSKS FROM ESTUARINE REGIONS IN THE SOUTH OF BAHIA STATE, NORTHEAST BRAZIL

- Figure 1** Map of the region indicating the sampling stations and counties, where Q1-Q4 define details of each sampling station. 38
- Figura 2** Graphic result of Principal Component Analysis (PCA), showing variables (chemical elements) and observations (analysis matrices and localities) on axes 1 and 2, which together explained 91.66% of the data variability, with axis 1 being defined mostly by sediment (and associated elements) and also by Cr and Mg matrices, while axis 2 was basically defined by matrix Cg and associated elements. 41

CAPÍTULO 3

PARASITOS E PATOLOGIAS NA OSTRAS *Crassostrea gasar* (ADANSON, 1757) EM ESTUÁRIOS COM DIFERENTES NÍVEIS DE ELEMENTOS METÁLICOS

- Figura 1** Mapa do litoral sul do Estado da Bahia, mostrando a localização das estações de coleta (St1 e St2). 74
- Figura 2** Imagem da realização da coleta de ostras na St2 (Santa Cruz Cabrália). 75
- Figura 3** Organismos macroscopicamente associados com *Crassostrea gasar* em Santa Cruz Cabrália (Bahia), em coleta realizada em 27/06/2021. Seta superior indica planária encontrada entre as valvas de uma ostra morta e seta inferior a localização do pinoterídeo *Zaops ostreum* em outra ostra, viva. 80
- Figura 4** Vista dorsal macroscópica de pinoterídeo (*Zaops ostreum*) associado à ostra *Crassostrea gasar* na St2 (Santa Cruz Cabrália, Bahia). 81
- Figura 5** Cortes histológicos de macho (A), fêmea (B) e hermafrodita (C) de *Crassostrea gasar*. Aumentos de 40x. 82
- Figura 6** Parasitos observados nos tecidos da ostra *Crassostrea gasar* no sul da Bahia (Brasil). 83
- Figura 7** Células marrons no manto de *Crassostrea gasar*. Aumento de 40x. Coloração: H&E. 85

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

CHEMICAL ELEMENTS IN SEDIMENTS AND IN BIVALVE MOLLUSKS FROM ESTUARINE REGIONS IN THE SOUTH OF BAHIA STATE, NORTHEAST BRAZIL

Tabela 1	Means and standard deviation of shell height, expressed in cm, and chemical element contents, expressed in mg kg ⁻¹ , dry weight, of bivalves from five estuaries on the south/extreme south coast of the State of Bahia (NE-Brazil)	40
Tabela 2	Means and standard deviation, expressed in mg kg ⁻¹ , in dry weight, of chemical element contents found in sediments in four estuaries on the south/extreme south coast of the State of Bahia (NE-Brazil) and maximum values allowed by CONAMA Resolution number 420 (BRASIL, 2009)	40
Tabela 3	Comparison of results obtained in the present study with some other studies carried out on the Brazilian coast and values established by ANVISA-Brazil (Decree nr. 55.871 and Ordinance nr. 685; BRASIL, 1965 and BRASIL, 1998, respectively). Average values, in mg kg ⁻¹ , wet weight	45

CAPÍTULO 2

MICRONUTRIENTES METÁLICOS NOS MOLUSCOS BIVALVES *Crassostrea rhizophorae* E *Mytella guyanensis*

Tabela 1	Informações sobre as amostras utilizadas no estudo: espécies, locais das coletas*, número de animais coletados (n) e médias/desvio padrão dos parâmetros: altura da concha (cm), peso total (concha e carne) e peso da carne (g)	60
Tabela 2	Parâmetros instrumentais e operacionais utilizados no espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado na determinação analítica	61
Tabela 3	Médias e desvio padrão, em mg kg ⁻¹ , em peso úmido, dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn em dois bivalves de manguezais (L) (manguezais) do sul da Bahia, Brasil	63

CAPÍTULO 3

PARASITOS E PATOLOGIAS NA OSTRA *Crassostrea gasar* (ADANSON, 1757) EM ESTUÁRIOS COM DIFERENTES NÍVEIS DE ELEMENTOS METÁLICOS

Tabela 1	Médias e desvio padrão da altura (cm), peso (g) e dos índices (IC = Índice de condição e R = Rendimento) de <i>Crassostrea gasar</i> coletada em dois estuários do sul da Bahia (Brasil) e valores de F e p da ANOVA.	78
Tabela 2	Prevalências de parasitos microscopicamente associados à ostra <i>Crassostrea gasar</i> em dois estuários do litoral sul do estado da Bahia (Brasil).	84
Tabela 3	Frequência relativa (%) de células marrons nos órgãos de <i>Crassostrea gasar</i> , num total de 22/80 exemplares na St1 e de 46/80 exemplares na St2.	86
Tabela 4	Distribuição percentual (%) de <i>Nematopsis</i> sp. nos órgãos de <i>Crassostrea gasar</i> nas duas estações de coleta.	86
Tabela 5	Carga parasitária*/total de infectados em diferentes órgãos de <i>Crassostrea gasar</i> nas duas estações de coleta e médias por hospedeiro.	87

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	13
OBJETIVOS	15
Geral	15
Específicos	15
REVISÃO DE LITERATURA	16
Ambientes estuarinos, poluição, metais e moluscos bivalves	16
Área de Estudo	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
CAPÍTULO 1 (Artigo Científico I)	33
1. Introduction	35
2. Material and Methods	37
3. Results	39
4. Discussion	42
References	50
CAPÍTULO 2 (Artigo Científico II)	56
Introdução	57
Material e Métodos	59
Resultados e Discussão	62
Conclusão	67
Referências	68
CAPÍTULO 3	72
Introdução	73
Material e Métodos	74
Resultados e Discussão	78
Conclusão	91
Referências	91
Apêndice - Referências dos descritores taxonômicos	96
CONCLUSÕES GERAIS	98
CONSIDERAÇÕES FINAIS	99

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil tem um extenso litoral, circundado por praias e cidades, e também por estuários e manguezais, cujos sistemas servem de abrigo e habitat para diversas espécies animais, como peixes, crustáceos e moluscos, muitas de interesse econômico e frequentemente utilizadas como fonte de consumo e renda pelas populações litorâneas (PALMEIRA et al., 2016). Apesar da importância socioambiental desses sistemas, a ocupação desordenada e a entrada de poluentes dos mais variados tipos, têm contribuído para a degradação desses ambientes (MARCOVECHIO; FREIJE, 2013).

Os metais são poluentes inorgânicos persistentes e têm impactado os sistemas costeiros em todo o mundo, sendo que geralmente adentram o ambiente aquático através dos ciclos geológicos (HATJE et al., 2009). As atividades humanas, principalmente as ligadas à indústria e à agricultura, têm contribuído para o aumento dos níveis metálicos nesses locais, o que tem afetado a qualidade da água, o sedimento e a biota de estuários e manguezais (MARCOVECHIO; FREIJE, 2013).

Com o objetivo de avaliar a sanidade dos ambientes estuarinos em termos de teores de metais, utiliza-se como matrizes de análise a água, o sedimento e a própria biota, o que inclui os moluscos bivalves, interessantes nesse contexto por apresentarem hábito filtrador e com isso possibilidade de maior bioacumulação em relação a outros organismos, além de serem geralmente conspicuos e de fácil captura (KIMBROUGH et al., 2008). Por outro lado, os bivalves são ricas fontes de nutrientes, como proteínas e elementos metálicos essenciais (TABAKAEVA et al., 2018) e não raramente compõem a dieta alimentar básica de diversas famílias litorâneas em todo o mundo, sendo consumidos de diversas formas, seja crus ou cozidos (PEDROSA; COZZOLINO, 2001; RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ et al., 2019).

O sul do estado da Bahia, que inclui o Baixo Sul, o Litoral Sul e o Extremo Sul, é uma região com intenso extrativismo marinho, principalmente de peixes,

crustáceos e moluscos, estando ostras (*Crassostrea* spp.) e o sururu *Mytella guyanensis* dentre os recursos mais comercializados na região (BOEHS et al., 2010; SILVA NETA et al., 2015). A comercialização desses bivalves é muitas vezes realizada por meio de “atravessadores” ou vendidos diretamente nas feiras livres (SANTOS, 2018).

Estudos sobre a presença de poluentes metálicos incluem os estudos realizados por Angeli et al. (2019), Cagnin et al. (2017), Costa et al. (2019), Hatje et al. (2008), Pacheco et al. (2017) e Santos (2018). Apesar da existência desses estudos, ainda há poucos parâmetros para a avaliação da qualidade dos recursos extrativistas para o consumo, tampouco sobre o impacto de poluentes metálicos sobre a biota estuarina. Nesse último contexto, embora uma série de estudos tenha sido realizada em anos recentes sobre parasitos e patologias nos moluscos na região (AGUIAR; BOEHS, 2015; BOEHS et al., 2010; BOEHS et al., 2009; BRANDÃO et al., 2013; CEUTA; BOEHS, 2012; COVA et al., 2015; LUZ; BOEHS, 2015; LUZ et al., 2018; PINTO; BOEHS, 2008; PINTO et al., 2016; RIBEIRO et al., 2018; ZEIDAN et al., 2012), nenhum enfocou a relação entre as parasitoses e os metais contidos nos bivalves, que é a proposta do presente projeto.

Esta tese foi dividida em três capítulos, sendo que no Capítulo 1 foi avaliado o teor dos elementos metálicos As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn de cinco estuários de diferentes municípios do sul/extremo sul do Estado, com análise de amostras de sedimento e de moluscos. No Capítulo 2 foi feito um enfoque nutricional, com o objetivo de analisar o teor dos micronutrientes metálicos Cu, Fe, Mn e Zn em duas espécies de bivalves de quatro estuários da região em que os teores de metais estavam dentro dos limites para o consumo humano segundo a legislação brasileira. No Capítulo 3 foi analisada a riqueza e a carga parasitária de uma espécie de molusco de dois estuários em relação aos impactos metálicos distintos, sendo um com baixo impacto e outro com valores que extrapolaram os limites estabelecidos pela legislação brasileira, principalmente no que se refere ao arsênio e ao chumbo.

OBJETIVOS

Geral

Analisar os elementos metálicos de cinco regiões estuarinas do litoral sul do estado da Bahia, o teor de micronutrientes metálicos em moluscos bivalves e a relação entre metais e parasitoses nesses organismos, na perspectiva de avaliar, respectivamente: o estado de conservação dos locais, a importância desses recursos na alimentação humana e o possível impacto dos elementos metálicos sobre os moluscos.

Específicos

- (a) Avaliar o teor de elementos químicos (As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) no sedimento superficial e em bivalves (*Crassostrea rhizophorae*, *C. gasar* e *Mytella guyanensis*) de estuários do sul da Bahia;
- (b) Avaliar o teor nutricional de *C. rhizophorae* e de *M. guyanensis* em termos de microelementos metálicos (Cu, Fe, Ni e Zn) em estuários do sul da Bahia;
- (c) Avaliar a riqueza e carga parasitárias, assim como a histopatologia e índices de condição fisiológica na ostra *C. gasar* de estuários com diferentes impactos metálicos.

REVISÃO DE LITERATURA

Ambientes estuarinos, poluição, metais e moluscos bivalves

O Brasil apresenta um grande número de estuários ao longo dos seus 8,5 mil km de costa e estes ambientes são considerados de grande importância socioambiental para as regiões litorâneas (BRASIL, 2018).

O ecossistema estuarino pode ser definido como:

“... uma reentrância de mar num vale fluvial, estendendo-se até o limite da propagação da maré dinâmica, e divisível em três setores: a) o baixo estuário, ou zona marítima, com ligação aberta com o mar; b) o estuário médio, onde ocorre mistura intensa de água doce e salgada; e c) o estuário superior ou fluviomarítimo, com água doce, mas sujeito à influência da maré dinâmica” (FAIRBRIDGE, 1980).

Do ponto de vista ecológico, os estuários são importantes porque abrigam diversas espécies, invertebrados e vertebrados, que vivem em parte ou em todo o seu ciclo de vida; no primeiro grupo encontram-se várias espécies que realizam apenas a desova e/ou o desenvolvimento das fases iniciais de vida (como larvas ou juvenis), o que é favorecido pela alta disponibilidade de nutrientes e pelo baixo número de predadores nesses locais (MARCOVECCHIO; FREIJE, 2013).

As áreas estuarinas têm também valor social e econômico, já que contribuem para o estabelecimento de cidades, portos, empreendimentos recreativos (como o turismo náutico) e atividades de aquicultura, sendo também fonte de renda e subsistência (relacionadas principalmente ao extrativismo) para diversas comunidades costeiras (DUARTE; VIEIRA, 1997; MARCOVECCHIO; FREIJE, 2013).

Manguezais são os sistemas associados aos estuários responsáveis pelo equilíbrio físico, químico e biológico dessas regiões (SANT'ANA; WHATELY, 1981). No Brasil, esses ecossistemas têm ampla distribuição geográfica, estando presentes de forma descontínua, desde o estado do Amapá até o litoral de Santa

Catarina (BRASIL, 2018). Por apresentarem altos teores de matéria orgânica, manguezais são sistemas propícios para o habitat de diversas espécies de organismos, principalmente de peixes, crustáceos e moluscos, contribuindo assim para uma alta diversidade biológica e para a sustentação da cadeia trófica litorânea (SANT'ANA; WHATELY, 1981).

A poluição aquática é um problema recorrente em todo o mundo. No Brasil, têm-se verificado, nos últimos anos, grande aumento de matéria orgânica nos corpos aquáticos, o que foi atribuído por Montagner et al. (2017) ao precário sistema de saneamento básico dos efluentes domésticos, industriais e hospitalares, às atividades agrícolas e pecuárias e aos contaminantes ditos “emergentes”. O resultado final da poluição aquática é a afecção da maior parte da biota de um ecossistema, sendo que, quanto maior o nível trófico do organismo, maior será sua exposição ao poluente (BERTI et al., 2009).

Berti et al. (2009) citaram os agrotóxicos e óleos como importantes poluentes dos corpos d'água. Segundo esses autores, no caso dos agrotóxicos, estes são formulados para destruir algum tipo de vida, podendo atingir organismos não alvo e conseqüentemente afetar toda a cadeia trófica de um ambiente aquático. Ainda segundo esses autores, no caso dos óleos (*e.g.*, hidrocarbonetos, gorduras e ésteres), estes formam uma fina película na superfície aquática, impedindo a entrada de oxigênio nos corpos d'água, causando desequilíbrio e morte de diversas espécies de plantas e de animais.

Segundo Montagner et al. (2017), em períodos secos predominam nos corpos d'água os contaminantes industriais, domésticos e hospitalares, o que é ocasionado pela ausência de diluição propiciada pelas chuvas. No período chuvoso, os contaminantes agrícolas e advindos da pecuária são preponderantes, devido ao processo de lixiviação sofrido pelos solos em função das chuvas.

Constando dentre os contaminantes inorgânicos mais agressivos aos sistemas estuarinos, os elementos metálicos têm sido um dos principais temas de estudos em todo o mundo (MARCOVECCHIO; FREIJE, 2013). De acordo com Atkins e Jones

(1997) os metais são “elementos que conduzem eletricidade, têm brilho metálico, são maleáveis e dúcteis, formam cátions e possuem óxidos básicos”.

Duffus (2002) observou que para “metais pesados” há várias definições e citou que para Lima e Rand (1995) “metal pesado” é todo aquele elemento que tem número atômico igual ou superior a 20, ou seja, a partir do cálcio e que outros autores definem estes em termos de massa atômica, número atômico ou densidade. Ainda nessa revisão, Duffus (2002) ponderou que no uso convencional, “metais pesados” definem um grupo de elementos químicos com alta densidade, mas que esse termo é frequentemente usado em alusão a um grupo de elementos, metais e semimetais (metaloídes) associados com contaminação e potencial de toxicidade; que um metal traço seria “um metal encontrado em baixa concentração” e que um semimetal ou metaloide seria “um elemento que tem a aparência física e as propriedades de um metal, mas que se comporta quimicamente como um não metal”. Ainda com relação ao uso do termo “metal pesado”, esse autor pondera que o termo é controverso, uma vez que classificar os metais, seja por sua massa atômica, número atômico ou densidade têm causado divergências entre químicos e pesquisadores que enfocam esse tema. Segundo esse autor, é por esse motivo que o termo não é aceito até hoje pelo IUPAC - *International Union of Pure and Applied Chemistry*, um compêndio de terminologia química.

Os metais, quando lançados nos corpos d’água afetam negativamente todo o sistema estuarino, contaminando a água, o sedimento e a biota (KIMBROUGH et al., 2008). A entrada desses elementos no ambiente aquático ocorre de maneira natural, porém, a pressão exercida por atividades antrópicas tem aumentado drasticamente os níveis desses poluentes nos ecossistemas aquáticos (MARCOVECCHIO; FREIJE, 2013).

As atividades humanas que mais contribuem para a entrada dos metais nos corpos d’água são a queima de combustíveis fósseis e de resíduos, a mineração, a produção química e a agricultura (KIMBROUGH et al., 2008). Os metais podem ser transportados para os estuários a partir de escoamento ou por deposição atmosférica, sendo que através das águas podem ser transportados dissolvidos na

coluna d'água ou na água intersticial ou ainda estarem adsorvidos no sedimento ou a partículas em suspensão (KIMBROUGH et al., 2008; MARCOVECCHIO; FREIJE, 2013).

A toxicidade de um elemento metálico em regiões costeiras e estuarinas depende em grande parte do tipo do metal, da concentração, da fase em que o metal se encontra (dissolvido ou particulado) e da proximidade do local atingido com a fonte poluidora, porém, sabe-se que uma fonte contaminante pode poluir localidades a milhares de quilômetros de distância (KIMBROUGH et al., 2008; SOUZA et al., 2015). Por essa razão, diversos estudos têm sido realizados em regiões estuarinas, seja para quantificar a presença e/ou avaliar a toxicidade dos metais na água, no sedimento e nos diversos organismos que ali vivem (BIRCH et al., 2018; SHENAI-TIRODKAR et al., 2018).

Os metais ligados aos sedimentos ou a compostos orgânicos que sejam resistentes a degradação são mobilizados por processos físicos, químicos ou biológicos e desse modo tornam-se disponíveis para a biota aquática (MARCOVECCHIO; FREIJE, 2013). Sedimentos estuarinos servem como filtros biológicos para a entrada de metais no ambiente marinho (TEUCHIES et al., 2013). Assim, a análise de teor desses elementos nessa matriz serve para identificar as fontes e os níveis de poluição estuarina (JESUS et al., 2004). Sendo assim, diversos estudos têm sido realizados mundialmente para avaliar a qualidade do sedimento de regiões estuarinas, como exemplo, os realizados por Charry et al. (2018), Enya et al. (2019), Overesch et al. (2007), Pan e Wang (2012) e Shenai-Tirodkar et al. (2018).

No Brasil, a avaliação do teor de metais em sedimentos foi realizada em diversos locais ao longo da costa, como, por exemplo, no litoral sudeste (BARROS; BARBIERI, 2012; CAGNIN et al., 2017; JESUS et al., 2004; KIM et al., 2016; ONOFRE et al., 2007), nordeste (ANGELI et al., 2019; CAGNIN et al., 2017; HATJE et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2009), norte (SILVA et al., 2018) e sul (ANTUNES et al., 2008) do Brasil.

Os monitoramentos de metais também se utilizam de diversos organismos aquáticos para avaliar a sanidade dos sistemas estuarinos. Por exemplo, várias

espécies de macrófitas, copépodes, gastrópodes, bivalves, crustáceos, peixes e aves foram utilizados em estudos recentes de contaminação por metais em estuários (BORDON et al., 2016; EINODER et al., 2018; FARIAS et al., 2018; KRULL et al., 2014; MCVAY et al., 2019; SIMONETTI et al., 2018; TREVIZANI et al., 2019).

Dentre os organismos acima mencionados, os moluscos bivalves são os mais utilizados nas pesquisas que envolvem avaliação de elementos metálicos em regiões costeiras e estuarinas em todo o mundo, uma vez que esses organismos podem acumular os metais em seus tecidos (KIMBROUGH et al., 2008; MARCOVECCHIO; FREIJE, 2013). Kimbrough et al. (2008) definiram os benefícios da utilização de bivalves como bioindicadores no estudo com poluentes, sendo que estes são: (a) animais cosmopolitas e abundantes, podendo assim serem encontrados em longas distâncias; (b) organismos geralmente sésseis e por isso refletem a verdadeira sanidade do local amostrado; e (c) animais com hábitos filtradores, alimentando-se de partículas em suspensão na coluna d'água e por isso podem acumular contaminantes em seus tecidos. Com essas características, várias espécies de bivalves têm sido utilizadas nos últimos anos em diversos estudos ao redor do mundo no intento de avaliar a qualidade das águas costeiras e estuarinas (AKKAJIT et al., 2018; BILGIN; ULUTURHAN, 2017; KE; WANG, 2018; MELWANI et al., 2014; RUIZ-FERNÁNDEZ et al., 2018). No Brasil, vários pesquisadores fizeram uso de bivalves na avaliação da sanidade de áreas costeiras quanto ao teor de metais (BARBOSA et al., 2019; BARROS; BARBIERI, 2012; CAMPOLIM et al., 2018; LINO et al., 2016; MOREIRA et al., 2019; VILHENA et al., 2021).

Bivalves têm grande importância, não somente como ferramentas ecotoxicológicas, mas também como fontes de nutrientes, incluindo os elementos metálicos essenciais. Um metal é considerado nutricionalmente essencial quando a falta deste produz alguma anormalidade em nível funcional ou estrutural, sendo que essa anormalidade pode ser revertida com a presença do metal essencial (WHO, 1996). O cobalto, o cobre, o ferro, o magnésio, o manganês, o molibdênio, o selênio

e o zinco são geralmente considerados como metais essenciais (GOYER; CLARKSON, 2001). Por exemplo, Rodriguez-Hernández et al. (2019) recomendaram a ingestão diária de mexilhões como fonte segura de elementos metálicos essenciais.

Goyer e Clarkson (2001) ainda apontam a essencialidade e os resultados da deficiência em função desses metais, principalmente em humanos. Por exemplo, esses autores revelam que o cobre é um componente importante de todas as células vivas e a sua ausência estaria associada a processos oxidativos. Ainda segundo esses autores, a deficiência de ferro, além de causar anemia, também pode comprometer o desenvolvimento intelectual, baixar a imunidade e, além disso, pode deixar uma pessoa mais vulnerável a toxicidade por chumbo e cádmio. Os autores ainda relatam que o manganês é um metal essencial, pois está presente em todos os organismos vivos, atuando como cofator em várias atividades enzimáticas e sua deficiência poderia causar, em animais, danos ao crescimento, anormalidades esqueléticas, além do comprometimento da reprodução. Com relação ao zinco, os mesmos autores afirmam que este é um metal essencial para várias reações metabólicas. A deficiência desse elemento no organismo causaria desde dermatites até anormalidade neuropsicológicas em crianças e em adultos, além de problemas como colite ulcerativa, síndrome de má absorção, doença renal crônica e anemia hemolítica.

Algumas pesquisas têm revelado que existe uma correlação entre bivalves e elementos metálicos, podendo expor esses organismos a infecções parasitárias e a patologias. Como exemplo, foi relatado que existe uma interação entre viroses e poluição em moluscos, onde os estressores podem maximizar o efeito do vírus, causando o surgimento de tumores (MORLEY, 2010).

No Programa Nacional de Observação de Mexilhão e Tendências da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos EUA (Mussel Watch), um programa de monitoramento de contaminantes da água iniciado em 1986, Kim et al. (2008) avaliaram por três anos a correlação entre contaminantes, incluindo os metais e a taxa de parasitas e patologias nos mitilídeos. Os autores observaram que

tanto esporocistos quanto metacercárias de trematódeos (Platyhelminthes: Digenea) tiveram uma correlação positiva significativa com os metais. O estudo também indicou que cestoides (Platyhelminthes: Cestoda) e gregarinas (Apicomplexa) associados aos metais podem adicionalmente serem biomarcadores válidos no monitoramento desses bivalves e recomendaram associar o estudo de parasitas e patologias com estudos de biomonitoramento e toxicidade ambiental.

Papo et al. (2014) verificaram, na Lagoa de Veneza (Itália), que a resposta imunológica do bivalve *Venerupis philippinarum* foi mais comprometida pela Perkinsiose (causada por uma espécie não identificada de *Perkinsus*) em áreas de maior exposição a metais e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs). Na Baía de San Jorge, no Chile, Montenegro et al. (2019) também avaliaram a carga parasitária do bivalve *Protothaca thaca* de três locais reconhecidos como poluídos por metais e de um local controle. Os autores observaram maior prevalência e intensidade de parasitas, assim como de lesões nos animais dos locais com maior nível de contaminação metálica. Estudos em laboratório também foram realizados para avaliar a correlação entre metais e parasitas. Por exemplo, Mínguez et al. (2012) observaram que a carga de microparasitas *Ophryoglena* spp. e Rickettsiales no bivalve *Dreissena polymorpha* era aumentada quando este era exposto ao níquel.

Área de Estudo

De acordo com o Plano Territorial de Desenvolvimento Sustentável do Território Baixo Sul da Bahia (BRASIL, 2010a), a região sul do estado da Bahia é composta por três territórios, sendo eles o Baixo Sul, o Litoral Sul e o Extremo Sul. Essa região contém uma extensa faixa marítima composta por diversos rios e manguezais bem desenvolvidos (BRASIL, 2018). De acordo com Brasil, 2010a, ao Baixo Sul pertencem 14 municípios, sendo que as principais cidades são Camamu, Igrapiúna, Ituberá, Nilo Peçanha, Taperoá e Valença. A região tem clima com temperaturas altas, com média anual variando entre os 21° e 25°C; devido à proximidade com o mar, as chuvas são abundantes e bem distribuídas, com médias

anuais superiores a 1.750 mm; a região é composta por uma vegetação de florestas ombrófilas, restinga e mangue. Ainda de acordo com o mesmo documento, os manguezais do Baixo Sul são férteis, apresentando diversas espécies de peixes e uma diversa macrofauna bêntica, composta por caranguejos, siris, aratus, ostras e lambretas e com base nessa diversidade biológica, a fonte conclui que além de contribuírem para o equilíbrio ecológico da região, os manguezais também são economicamente importantes para as comunidades pesqueiras do entorno. Ainda segundo [BRASIL \(2010a\)](#), a região é rica em recursos hídricos e apresenta um expressivo complexo de cachoeiras e manguezais, que possibilitam o turismo ecológico, agregando valor ambiental e econômico para a região.

Apesar da importância econômica proporcionada pela zona costeira da região, pescadores têm sofrido com a diminuição dos recursos pesqueiros causados pelos agrotóxicos utilizados na agricultura ribeirinha, pelo lixo, assoreamento e o despejo de efluentes domésticos e industriais lançados no ambiente aquático, além de outros impactos ambientais como, por exemplo, o aterro e a ocupação desordenada das regiões de manguezais ([BRASIL, 2010b](#)).

Com o objetivo de garantir a sanidade dos recursos naturais do Baixo Sul, diversas Unidades de Conservação (UCs) foram criadas, sendo elas: a Área de Proteção Ambiental (APA) de Pratigi, a APA Tinharé / Boipeba, a APA de Guaibim, a APA da Baía de Camamu, a APA de Candengo, a APA de Pancada Grande, a Reserva Ecológica Estadual do Juliana, a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e a Reserva Ecológica de Cachoeira do Pau ([BRASIL, 2010a](#)).

Conforme o Plano Territorial de Desenvolvimento Sustentável do Litoral Sul ([BRASIL, 2010b](#)) o litoral sul também é contemplado com diversas Unidades de Conservação, sendo elas: a APA da Lagoa Encantada e do Rio Almada, a APA da Costa de Itacaré/Serra Grande, a APA da Península de Marau, a APA Serra das Candeias, a APA Vale das Cascatas, a APA da Baía de Camamu, a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Estância Manacá, a RPPN Boa União, a RPPN Fazenda Arte Verde, a RPPN Fazenda São João, a RPPN Helico, a RPPN Mãe da Mata, a RPPN Reserva Salto Apepique, a RPPN Araçari, a RPPN Pedra do

Sabiá, a RPPN Rio Capitão, a RPPN Reserva Natural da Serra do Teimoso, a RPPN Juera, a RPPN Ecoparque de Una, a RPPN Fazenda Ararauna, a RPPN Nova Angélica, a RPPN Fazenda Paraíso, a RPPN Fazenda Sossego, o Parque Estadual da Serra do Conduru, o Parque Municipal da Boa Esperança, o Refúgio de Vida Silvestre de Una, a Reserva Biológica de Una e a Reserva Extrativista (RESEX) de Canavieiras.

De acordo com o Plano Territorial de Desenvolvimento Sustentável e Solidário do Extremo Sul Bahia (BAHIA, 2016), o Extremo Sul do Estado da Bahia é composto por 21 municípios, sendo eles, Alcobaça, Belmonte, Caravelas, Eunápolis, Guaratinga, Ibirapóã, Itabela, Itagimirim, Itamarajú, Itanhém, Itapebi, Jucuruçu, Lajedão, Medeiros Neto, Mucuri, Nova Viçosa, Porto Seguro, Prado, Santa Cruz Cabralia, Teixeira de Freitas e Vereda. Segundo essa fonte, o clima de maior predominância da região é o úmido a subúmido e o Extremo Sul apresenta uma extensa faixa litorânea, composta por diversos rios e importantes manguezais. Abrolhos, a Reserva Extrativista de Cassurubá, a APA da Costa Dourada e o Parque Nacional do Descobrimento. Ainda segundo BAHIA (2016), nessa região está localizada a Costa do Descobrimento, que é o segundo maior polo de turismo do estado da Bahia, influenciando de maneira positiva a economia regional. A região possui uma forte influência fluvio-marinha e abriga 28 UCs, sendo as mais importantes, a APA da Ponta da Baleia/Abrolhos, o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, a Reserva Extrativista de Cassurubá, a APA da Costa Dourada e o Parque Nacional do Descobrimento.

Os principais recursos extrativistas marinhos de toda a região litorânea mencionada (Baixo Sul, Litoral Sul e Extremo Sul) incluem peixes, camarões e moluscos. No que tange a estes últimos, são explotados na região os bivalves *Anomalocardia brasiliiana*, *Iphigenia brasiliiana*, *Lucina pectinata*, *Mytella guyanensis*, *Crassostrea rizophorae* e *C. gasar* (BOEHS et al., 2010).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M.S.; BOEHS, G. Parasites in the oyster *Crassostrea rhizophorae* from farmed and natural stocks in the Bay of Camamu, Bahia, northeastern Brazil. **Journal of Parasitology and Vector Biology**, v. 7, p. 120-128, 2015. Doi: 10.5897/JPVB2015.0198.
- AKKAJIT, P.; FAJRIATI, P.; ASSAWADITHALERD, M. Metal accumulation in the marine bivalve, *Marcia optima* collected from the coastal area of Phuket Bay, Thailand. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 36147-36157, 2018.
- ANGELI, J.L.F.; RUBIO, B.; KIM, B.S.M.; FERREIRA, P.A.L.; SIEGLE, E.; FIGUEIRA, R.C.L. Environmental changes reflected by sedimentary geochemistry for the last one hundred years of a tropical estuary. **Journal of Marine Systems**, v. 189, p. 36-49, 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.09.004>.
- ANTUNES, M.; DILON, D. B.; CRESPO, J. S.; GIOVANELA, M. Avaliação dos parâmetros físico-químicos e do teor de metais em amostras de sedimento de uma microbacia gaúcha. **Geochimica Brasiliensis**, v. 22, p. 178-188, 2008.
- ATKINS, P.; JONES, L. **Chemistry - Molecules, Matter and Change**, Third Edition, New York, W. H. Freeman, 1997.
- BAHIA (Estado). Secretaria de Planejamento. Plano Territorial de Desenvolvimento Sustentável e Solidário do Extremo Sul da Bahia. Bahia: Secretaria de Planejamento, 2016.
- BARBOSA, I. S., BRITO, G. B., SANTOS, G. L., SANTOS, L. N., TEIXEIRA, L. S. G., ARAUJO, R. G. O.; KORN, M. G. A. Multivariate data analysis of trace elements in bivalve molluscs: Characterization and food safety evaluation. **Food Chemistry**, v. 273, p. 64-70, 2019.
- BARROS, D.; BARBIERI, E. Análise da ocorrência de metais: Ni, Zn, Cu, Pb e Cd em ostras (*Crassostrea brasiliiana*) e sedimentos coletados no Estuário de Cananeia-SP (Brasil). **O Mundo da Saúde**, v. 34, no. 4, p. 635-642, 2012.
- BERTI, A. P.; DÜSMAN, E.; SOARES, L. C. GRASSI, L. E. A. Efeitos da Contaminação do Ambiente Aquático por Óleos e Agrotóxicos. **SaBios: Revista de Saúde e Biologia**, v. 4, p. 45-51, 2009.
- BILGIN, M.; ULUTURHAN-SUZER, E. Assessment of trace metal concentrations and human health risk in clam (*Tapes decussatus*) and mussel (*Mytilus*

galloprovincialis) from the Homa Lagoon (Eastern Aegean Sea). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 4174-4184, 2017.

BIRCH, G. F.; COX, B. M.; BESLEY, C. H. Metal concentrations in seagrass (*Halophila ovalis*) tissue and ambient sediment in a highly modified estuarine environment (Sydney estuary, Australia). **Marine Pollution Bulletin**, v. 131, p. 130-141, 2018.

BOEHS, G.; LENZ, T. M.; VILLALBA, A. Xenomas in *Crassostrea rhizophorae* (Ostreidae) from Camamu Bay, Bahia, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, p. 457-458, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842009000200032>.

BOEHS, G.; LUZ, M. S. A.; ANDRADE, V. R. D. Molecular identification of cryptic species of oysters (Genus *Crassostrea* Sacco, 1897) in the Northeast Atlantic coast of Brazil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 45, p. 1-6, 2019. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2019.45.2.446>.

BOEHS, G.; VILLALBA, A.; CEUTA, L. O.; LUZ, J. R. Parasites of three commercially exploited bivalve mollusc species of the estuarine region of the Cachoeira river (Ilhéus, Bahia, Brazil). **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 103, p. 43-47, 2010.

BORDON, I. C. A. C.; SARKIS, J. E. S.; ANDRADE, N. P.; HORTELLANI, M. A.; FAVARO, D. I. T.; KAKAZU, M. H.; COTRIM, M. E. B.; LAVRADAS, R. T.; MOREIRA, I.; SAINT'PIERRE, T. D.; HAUSER-DAVIS, R. A. An environmental forensic approach for tropical estuaries based on metal bioaccumulation in tissues of *Callinectes danae*. **Ecotoxicology**, v. 25, p. 91-104, 2016.

BRANDÃO, R.P.; BOEHS, G.; DA SILVA, P.M.S. Health assessment of the oyster *Crassostrea rhizophorae* on the southern coast of Bahia State, northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 22, p. 84-91, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1984-29612013005000007>.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. **Plano Territorial de Desenvolvimento Sustentável do Território Baixo Sul da Bahia**. Secretaria de Desenvolvimento Territorial – SDT, 2010a. Disponível em: http://www.seplan.ba.gov.br/arquivos/File/politica-territorial/PUBLICACOES_TERRITORIAIS/Planos-Territoriais-de-Desenvolvimento-Sustentavel-PTDS/PTDS-Baixo-Sul.pdf. Acesso em: 10/12/2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. **Plano Territorial do Desenvolvimento Rural Sustentável Litoral Sul**. Secretaria de Desenvolvimento Territorial – SDT, 2010b. Disponível em: http://sit.mda.gov.br/download/ptdrs/ptdrs_qua_territorio090.pdf. Acesso em: 10/12/2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Atlas dos Manguezais do Brasil**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018.

CAGNIN, R. C.; QUARESMA, V. S.; CHAILLOU, G.; FRANCO, T.; BASTOS, A. C. Arsenic enrichment in sediment on the eastern continental shelf of Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 607-608, p. 304-316, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.162>.

CAMPOLIM, M. B., HENRIQUES, M. B.; BARBIERE, E. Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn in mussels collected in Santos Bay, São Paulo, Brazil: Limits required by local legislation. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 44, p. 1-8, 2018.

CEUTA, L. O.; BOEHS, G. Parasites of the mangrove mussel *Mytella guyanensis* (Bivalvia: Mytilidae) in Camamu Bay, Bahia, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, p. 421-427, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000300002>.

CHARRY, M. P.; KEESING, V.; COSTELLO, M.; TREMBLAY, L. A. Assessment of the ecotoxicity of urban estuarine sediment using benthic and pelagic copepod bioassays. **PeerJ**, v.6, p. 1-19, 2018.

COSTA, V. C.; AMORIM, F. A. C.; BABOS, D. V.; PEREIRA-FILHO, E. R. Direct determination of Ca, K, Mg, Na, P, S, Fe and Zn in bivalve mollusks by wavelength dispersive X-ray fluorescence (WDXRF) and laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS). **Food Chemistry**, v. 273, p. 91-98, 2019. Doi: [10.1016/j.foodchem.2018.02.016](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.016).

COVA, A.W.; SERAFIM JR., M.; BOEHS, G.; DE SOUZA, J.M. Parasites in the mangrove oyster *Crassostrea rhizophorae* cultivated in the estuary of the Graciosa River in Taperoá, Bahia. **Brazilian Journal of Veterinary Parasitology**, v. 24, p. 21-27, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1984-29612015012>.

DUARTE, A. A. L.; VIEIRA, J. M. P. Caracterização dos Ambientes Estuarinos. Mistura em Estuários. **Engenharia Civil**, n. 6, 1997.

DUFFUS, J. H. "Heavy Metals" – A meaningless term?. **Pure and Applied Chemistry**, v. 74, p. 793–807, 2002.

EINODER, L. D.; MACLEOD, C. K.; COUGHANOWR, C. Metal and isotope analysis of bird feathers in a contaminated estuary reveals bioaccumulation, biomagnification, and potential toxic effects. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 75, p. 96-110, 2018.

ENYA, O.; LIN, C.; QIN, J. Heavy metal contamination status in soil-plant system in the upper Mersey estuarine floodplain, northwest England. **Marine Pollution Bulletin**, v. 146, p. 292-304, 2019.

FAIRBRIDGE, R. W. **The Estuary: its Definition and Geodynamic Cycle**. In: OLAUSSON, E.; CATO, I. (Eds.). *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*, p. 1-35. New York: Interscience Publication/ John Wiley and Sons, 1980.

FARIAS, D. R.; HURD, C. L.; ERIKSEN, R. S.; MACLEOD, C. K. Macrophytes as bioindicators of heavy metal pollution in estuarine and coastal environments. **Marine Pollution Bulletin**, v. 128, p. 175-184, 2018.

GOYER, R.A.; CLARKSON, T.W. **Casarett and doull's toxicology: The basic science of poisons**. McGraw-Hill Companies, v. 6, p. 811-868, 2001.

HATJE, V.; BARROS, F.; MAGALHÃES, W.; RIATTO, V.B.; AMORIM, F.N.; FIGUEIREDO, M.B.; SPANÓ, S.; CIRANO, M. Trace metals and benthic macrofauna distributions in Camamu Bay, Brazil: Sediment quality prior oil and gas exploration. **Marine Pollution Bulletin**, v. 56, p. 348-379, 2008.

HATJE, V.; BÍCEGO, M. C.; CARVALHO, G. C.; ANDRADE, J. B. **Baía de Todos os Santos: Aspectos Oceanográficos**. Salvador, EDUFBA, p. 247-248, 2009.

JESUS, H. C.; COSTA, E. A.; MENDONÇA, A. S. F.; ZANDONADE, E. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da ilha de Vitória-ES. **Química Nova**, v. 27, p. 378-386, 2004.

KE, Y.; WANG, W.X. Metal accumulation, grow and reproduction of razor clam *Sinonovacula constricta* transplanted in a multi-metal contaminated estuary. **Science of the Total Environment**, v. 636, p. 829-837, 2018.

KIM, B. S. M.; SALAROLI, A. B.; DE LIMA FERREIRA, P. A.; SARTORETTO, J. R.; DE MAHIQUES, M. M. and FIGUEIRA, R. C. L. Spatial distribution and enrichment assessment of heavy metals in surface sediments from Baixada Santista, Southeastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 103, p. 333-338, 2016.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.12.041>.

KIM, Y.; POWELL, E. N.; WADE, T. L.; PRESLEY, B. J. Relationship of parasites and pathologies to contaminant body burden in sentinel bivalves: NOAA status and trends 'Mussel Watch' program. **Marine Environmental Research**, v. 65, p. 101-127, 2008.

KIMBROUGH, K.L.; JOHNSON, W.E.; LAUENSTEIN, G.G.; CHRISTENSEN, J.D.; APETI, D.A. **An assessment of two decades of contaminant monitoring in the Nation's Coastal Zone**. Silver Spring, MD. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS, 2008.

KRULL, M.; ABESSA, D. M. S.; HATJE, V.; BARROS, F. Integrated assessment of metal contamination in sediments from two tropical estuaries. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 106, p. 195-203, 2014.

LINO, A. S., GALVÃO, P. M. A., LONGO, R. T. L., AZEVEDO-SILVA, C. E., DORNELES, P. R. TORRES, J. P. M.; MALM, O. Metal bioaccumulation in consumed marine bivalves in Southeast Brazilian coast. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 34, p. 50-55, 2016.

LUZ, M.S.A.; CARVALHO, F. S.; OLIVEIRA, H. C.; BOEHS, G. *Perkinsus beihaiensis* (Perkinsozoa) in oysters of Bahia State, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, p. 289-295, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.07016>.

LYMAN, W. J. "Transport and transformation processes", in **Fundamentals of Aquatic Toxicology**, G. M. Rand (Ed.), Taylor & Francis, Washington DC, 1995.

MARCOVECCHIO, J. E.; FREIJE, R. H. **Processos Químicos em Estuários**. Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional, 2013.

MCVAY, I. R.; MAHER, W. A.; KRIKOWA, F.; UBRHIEN, R. Metal concentrations in waters, sediments and biota of the far south-east coast of New South Wales, Australia, with an emphasis on Sn, Cu and Zn used as marine antifoulant agents. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 41, p. 1351-1367, 2019.

MELWANI, A. R.; GREGORIO, D.; JIN, Y.; STEPHENSON, M.; ICHIKAWA, G.; SIEGEL, E.; CRANE, D.; LAUENSTEIN, G.; DAVIS, J. A. Mussel watch update: Long-term trends in selected contaminants from coastal California, 1977 – 2010. **Marine Pollution Bulletin**, v. 81, p. 291-302, 2014.

MINGUEZ, L.; BOICHÉ, A.; SRODA, S.; MASTITSKY, S.; BRULÉ, N.; BOUQUEREL, J.; GIAMBÉRINI, L. Cross-effects of nickel contamination and parasitism on zebra mussel physiology. **Ecotoxicology**, v. 21, p. 538-547, 2012.

MONTAGNER, C. C.; VIDAL, C., ACAYABA, R. D. Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: Cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. **Química Nova**, v. 40, p. 1094-1110, 2017.

MONTENEGRO, D.; VALDÉS, J.; GONZÁLEZ, M. T. Histopathological lesions, pathogens and parasites as health indicators of an edible clam (*Protothaca theca*) inhabiting a bay exposed to anthropogenic activities in Northern Chile. **Environmental Monitoring Assessment**, v. 191, p. 1-14, 2019.

MOREIRA, L.B.; SASAKI, S.T.; TANIGUCHI, S.; BÍCEGO, M.C.; COSTA-LOTUFO, L.V.; ABESSA, D.M.S. Impacts of dredging on biomarkers responses of

caged bivalves in a semi-arid region (Ceará State, NE Brazil). **Marine Environmental Research**, v. 151, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.104784>.

MORLEY, N.J. Interactive effects of infectious diseases and pollution in aquatic molluscs. **Aquatic Toxicology**, v. 96, p. 27-36, 2010.

OLIVEIRA, O. M. C.; CRUZ, M. J. M.; QUEIROZ, A. F. S. Comportamento geoquímico de metais em sedimentos de manguezal da baía de Camamu – Bahia. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 13, p. 1-8, 2009.

ONOFRE, C. R. E.; CELINO, J. J.; NANO, R. M. W.; QUEIROZ, A. F. S. Biodisponibilidade de metais traços nos sedimentos de manguezais da porção norte da Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, p. 65-82, 2007.

OVERESCH, M.; RINKLEBE, J.; BROLL, G.; NEUE, H. U. Metals and arsenic in soils and corresponding vegetation at Central Elbe river floodplains (Germany). **Environmental Pollution**, v. 145, p. 800-812, 2007.

PACHECO, C. S. V.; SILVA, E. G. P.; HAUSER-DAVIS, R. A.; DIAS, F.; AMORIM, F. A. C.; JESUS, R. M.; NOVAES, C. G.; SANTOS, A. M. P.; SAINT'PIERRE, T. D. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 98, p. 84-90, 2017.

PALMEIRA, K. R.; CALIXTO, F. A.; KELLER, L. A.; MESQUITA, E. F. M. O sururu como produto de subsistência e renda da população ribeirinha, Brasil. **Semioses**, v.10, p. 49-61, 2016. doi: 10.15202 / 1981996x.2016v10n3p49.

PAN, K.; WANG, W. X. Trace metal contamination in estuarine and coastal environments in China. **Science of the Total Environment**, v. 421-422, p. 3-16, 2012.

PAPO, M. B.; BERTOTTO, D.; QUAGLIO, F.; VASCELLARI, M.; PASCOLI, F.; NEGRATO, E.; BINATO, G.; RADAELLI, G. Histopathology and stress biomarkers in the clam *Venerupis philippinarum* from the Venice Lagoon (Italy). **Fish & Shellfish Immunology**, v. 39, p. 42-50, 2014.

PEDROSA, L. F. C.; COZZOLINO, S. M. F. Composição Centesimal e de Minerais de Mariscos Crus e Cozidos da Cidade de Natal/RN. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.21, p.154-157, 2001. doi: 10.1590 / s0101-20612001000200006.

PINTO, T. R.; BOEHS, G. *Nematopsis* sp. (Apicomplexa: Eugregarinida) em *Mytella guyanensis* (Lamarck, 1819) (Bivalvia: Mytilidae) da região estuarina do Rio Cachoeira, Ilhéus, Bahia, Brasil. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 45, p. 95-100, 2008. Doi: <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2008.26705>.

PINTO, T. R.; BOEHS, G.; PESSOA, W.F.B.; LUZ, M.S.A.; COSTA, H. Detection of *Perkinsus marinus* in the oyster *Crassostrea rhizophorae* in southern Bahia by proteomic analysis. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 53, p. 1-4, 2016. Doi: <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2016.104524>.

RIBEIRO, M.M.; OLIVEIRA, J. B.; BOEHS, G. Parasitism by a Digenea in *Lucina pectinata* (Mollusca: Lucinidae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, p. 94-97, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.07116>.

RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, A.; ZUMBADO, M.; HENRÍQUEZ-HERNÁNDEZ, L. A.; BOADA, L. D.; LUZARDO, O. P. Dietary intake of essential, toxic, and potentially toxic elements from mussels (*Mytilus* spp.) in the Spanish population: A nutritional assessment. **Nutrients**, v. 11, p. 1-18, 2019.

RUIZ- FERNÁNDEZ, A. C.; WU, R. S. S.; LAU, T. C.; PÉREZ-BERNAL, L. H.; SÁNCHEZ – CABEZA, J. A.; CHIU, J. M. Y. A comparative study on metal contamination in Estero de Urias Lagoon, Gulf of California, using oysters, mussels and artificial mussels: Implications on pollution monitoring and public health risk. **Environmental Pollution**, v. 243, p. 197-205, 2018.

SANT'ANA, E. M.; WHATELY, M. H. Distribuição dos manguezais do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 43, p. 47-63, 1981.

SANTOS, G. B. M. **Elementos nutrientes e chumbo em bivalves comercializados no sul da Bahia**. 2018. 82 p. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência Animal) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2018.

SHENAI-TIRODKAR, P.; GAUNS, M.; KUMAR, G.; ANSARI, Z. Seasonal variations and relationships between environmental parameters and heavy metal concentrations in tissues of *Crassostrea* species and in its ambience from the tropical estuaries. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 20930-20945, 2018.

SILVA NETA, M.T.; MACIEL, B.M.; LOPES, A.T.S.; MARQUES, E.L.S.; REZENDE, R.P.; BOEHS, G. Microbiological quality and bacterial diversity of the tropical oyster *Crassostrea rhizophorae* in a monitored farming system and from natural stocks. **Genetics and Molecular Research**. v. 14, n. 4, p. 15754-15768, 2015.

SILVA, R. G.; SANTOS, R. M.; LIMA, M. O.; MENDES, L. C. S.; MESQUITA, K. F. C.; SANTOS, M. L. S. Trace elements in oyster farming areas in the Amazon. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 44, p. 1-8, 2018.

SIMONETTI, P.; BOTTÉ, S. E.; MARCOVECCHIO, J. E. Heavy metal bioconcentration factors in the burrowing crab *Neohelice granulata* of a temperate ecosystem in South America: Bahía Blanca estuary, Argentina. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 34652-34660, 2018.

SOUZA, V. L. B.; LIMA, V.; HAZIN, C. A.; FONSECA, C. K. L.; SANTOS, S. O. Biodisponibilidade de metais-traço em sedimentos: uma revisão. **Brazilian Journal of Radiation Science**, v. 3, p. 1-13, 2015.

TABAKAEVA, O. V.; TABAKAEV, A. V.; PIEKOSZEWSKI, W. Nutritional composition and total collagen content of two commercially important edible bivalve molluscs from the Sea of Japan coast. **Journal of Food Science and Technology**, v.55, p. 4877-4886, 2018. doi: 10.1007 / s13197-018-3422-5.

TEUCHIES, J.; VANDENBRUWAENE, W.; CARPENTIER, R.; BERVOETS, L.; TEMMERMAN, S.; WANG, C.; MARIS, T.; COX, T. J. S.; BRAECKEL, A. V.; MEIRE, P. Estuaries as filters: The role of tidal marshes in trace metal removal. **Plos One**, v. 8, p. 1-11, 2013.

TREVIZANI, T. H.; DOMIT, C.; VEDOLIN, M. C.; ANGELI, J. L. F.; FIGUEIRA, R. C. L. Assessment of metal contamination in fish from estuaries of southern and southeastern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, p. 1-16, 2019.

VILHENA, M. P. S. P.; COSTA, M. L.; BERRÊDO, J. F.; PAIVA, R. S.; MOREIRA, M. Z. Trace elements and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ isotopes in sediments, phytoplankton and oysters as indicators of anthropogenic activities in estuaries in the Brazilian Amazon. **Regional Studies in Marine Science**, v. 41, p. (in press), 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101618>.

WHO: WHO/FAO/IASEA **Report on Trace Elements in Human Nutrition and Human Health**. Geneva: World Health Organization, 1996.

ZEIDAN, G.C.; LUZ, M.S.; BOEHS, G. Parasites of economically important bivalves from the southern coast of Bahia State, Brazil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 21, p. 391-398, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1984-29612012000400009>.

CAPÍTULO 1 (Artigo Científico I)

Artigo publicado no periódico: **Brazilian Journal of Biology (BJB)** [ISSN:1519-6984; Fator de Impacto (JCR) = 0,783; Scopus Q2; Qualis CAPES A4] em **20/09/2021, volume 83, número 01, pp. 1-10.**

DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.249641>.

Chemical elements in sediments and in bivalve mollusks from estuarine regions in the south of Bahia State, northeast Brazil

Elementos químicos em sedimentos e em moluscos bivalves de regiões estuarinas do sul do Estado da Bahia, Nordeste do Brasil

G. B. M. Santos^a <https://orcid.org/0000-0002-2727-9254> and G. Boehs^{a,b*}

<https://orcid.org/0000-0002-2601-5599>

^aUniversidade Estadual de Santa Cruz – UESC, Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais – DCAA, Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, Ilhéus, BA, Brasil

^bUniversidade Estadual de Santa Cruz – UESC, Departamento de Ciências Biológicas – DCB, Ilhéus, BA, Brasil

*e-mail: guislaboehs@hotmail.com

Received: March 9, 2021 – Accepted: May 27, 2021

Abstract

Estuaries receive daily inputs of chemical elements which can impact the quality of water and sediment, as well as the health of biota. In addition to the sediment, bivalve mollusks have been used in the chemical monitoring of these systems. This

study investigated the presence and contents of **As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb** and **Zn** in superficial sediment and in bivalves (*Crassostrea gasar*, *C. rhizophorae* and *Mytella guyanensis*) from estuaries in the south / extreme south of Bahia State, northeast Brazil. The samples were evaluated with inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES, Varian 710). Except for **Cd**, all other elements were found in the samples, being that **Co** was exclusive in the sediment. The estuaries equivalent to sampling stations #1 - Valença, #2 - Taperoá, #3 - Ilhéus and #4 - Belmonte showed levels of metals compatibles with those established by the Brazilian legislation, however, the #5 - Santa Cruz Cabrália, in addition to the presence of **As**, presented a high level of **Pb** and **Cu** in *C. gasar*, which was attributed to the impacts of nautical activities in that locality.

Keywords: arsenic, heavy metals, lead, mangroves, pollution, preservation.

Resumo

Estuários recebem entradas diárias de elementos químicos, que podem impactar a qualidade de água e do sedimento, assim como a saúde da biota. Além do sedimento, moluscos bivalves têm sido utilizados no monitoramento químico desses sistemas. Neste estudo investigou-se a presença e os teores de **As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb** e **Zn** no sedimento superficial e em bivalves (*Crassostrea gasar*, *C. rhizophorae* e *Mytella guyanensis*) de estuários do sul / extremo sul do estado da Bahia, Nordeste do Brasil. As amostras foram avaliadas por espectrometria de emissão óptica de plasma indutivamente acoplado (ICP-OES, Varian 710). Exceto **Cd**, todos os demais elementos foram encontrados nas amostras, sendo que **Co** foi exclusivo no sedimento. Os estuários equivalentes às estações amostrais #1 - Valença, #2 - Taperoá, #3 - Ilhéus e #4 - Belmonte mostraram níveis de metais compatíveis com os estabelecidos pela legislação brasileira, porém, a #5 - Santa Cruz Cabrália, além da presença de **As**, apresentou alto nível de **Pb** e de **Cu** em *C. gasar*, o que foi atribuído aos impactos por atividades náuticas nesse local. **Palavras-chave:** arsênio, metais pesados, chumbo, manguezais, poluição, preservação.

1. Introduction

Estuaries and mangroves receive daily discharges of chemical elements, like heavy metals. This input being the partial result of natural processes, whose substances are usually leached from their place of origin and transported by river waters to their final destination, represented almost always by estuarine sediments (Liu et al., 2020). However, human activities, such as the discharge of industrial and domestic effluents into water bodies, are the most accountable for the increase in chemical levels in these systems (Bakshi et al., 2017; Charry et al., 2018). When a chemical element is released into the aquatic environment, it usually associates with particulate matter in suspension, being subsequently deposited in the sediment and, through remobilization, the particles of the element return to the water column, then becoming bioavailable (Hatje et al., 2009).

All aquatic invertebrates accumulate, to a lesser or greater degree, chemical elements in their tissues, whether they are essential or not to their metabolism (Rainbow, 2002). When the rate of elimination (by detoxification or excretion) is less than the rate of entry of the chemical agent into the organism, bioaccumulation occurs (DeForest et al., 2007; Gomes and Sato, 2011). For this reason, in chemical studies and monitoring of estuarine areas, in addition to sediment, biological matrices have also been used. Bivalve mollusks are especially interesting in this context because they have a filtering habit, are generally sessile and usually have a wide geographical distribution (Kimbrough et al., 2008; Melwani et al., 2014). Metals are transferred to bivalve tissues through phytoplankton, which is at the base of the marine food chains (Bragigand et al., 2004).

On the Brazilian coast, sediments have often been used in the analysis of metallic contaminants in aquatic systems (e.g., Onofre et al., 2007; Hatje et al., 2008; Barros and Barbieri, 2012; Mirlean et al., 2012; Kim et al., 2016; Cagnin et al., 2017; Silva et al., 2018). Bivalve mollusks have also been gaining prominence as metal analysis matrices, citing the studies done by: Barros and Barbieri (2012) in Cananeia Estuary (São Paulo, SE-Brazil), using *Crassostrea brasiliiana* (= *C. gasar*) (Adanson, 1757) (Ostreidae), Lino et al. (2016) in Guanabara Bay and in Ilha Grande (Rio de Janeiro, SE-Brazil), with respective use of *Perna perna* (Linnaeus, 1758) (Mytilidae) and *Nodipecten nodosus* (Linnaeus, 1758) (Pectinidae), Campolim et al. (2018) in Santos Bay (São Paulo, SE-Brazil), using *P. perna*, Barbosa et al. (2019) in Todos os Santos Bay (Bahia, NE-Brazil), using *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791) (Veneridae), *Iphigenia brasiliiana* (Lamarck,

1818) (Donacidae), *Lucina pectinata* (Gmelin, 1791) (= *Phacoides pectinata*) (Lucinidae) and *Trachycardium muricatum* (Linnaeus, 1758) (Cardiidae), [Moreira et al. \(2019\)](#) in Mucuripe bay (Ceará, NE-Brazil) with *Anomalocardia flexuosa* (Linnaeus, 1767) (Veneridae) and *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) (Ostreidae), and [Vilhena et al. \(2021\)](#) in estuaries of the Mocajuba, Tijoca and Pará Rivers (Pará, N-Brazil), using *C. gasar* and *Paxyodon ponderosus* Schumacher, 1817 (Hyriidae).

In the present study, we used sediment samples and also the bivalves: oysters *C. rhizophorae* and *C. gasar*, and the mangrove mussel (“sururu”) *Mytella guyanensis* (Lamarck, 1819) (Mytilidae) as metal analysis matrices. *Crassostrea rhizophorae*, the mangrove oyster, lives generally on aerial roots (rhizomes) and stems of red mangle *Rhizophora mangle* L., while *C. gasar*, the bottom oyster, is often attached to rock outcrops, clearly at a lower intertidal level than *C. rhizophorae* ([Boehs et al., 2019](#)). In turn, *M. guyanensis* lives superficially buried in mangroves, adhering by byssus to underground roots of mangrove plants ([Boehs et al., 2010](#)). The three species are economically important throughout the Brazilian coast, mainly as extractive resources for coastal populations.

The estuaries in the south of the state of Bahia, comprising a coastal region of approximately 500 km of extension, are poorly contemplated in relation to studies on chemical elements, citing the study made by [Hatje et al. \(2008\)](#) in sediments from Camamu Bay, as well as by [Cagnin et al. \(2017\)](#) in mangroves and in the continental shelf region of Abrolhos and by [Angeli et al. \(2019\)](#) in Caravelas estuary, both in the extreme south of the State. In Todos os Santos Bay, central region of the State, there are the works done by [Onofre et al. \(2007\)](#) and [Barbosa et al. \(2019\)](#), analysis of metals in sediment and bivalves, respectively. In the present study we aimed to investigate the presence and content of the elements As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn in estuaries in the south / extreme south of the state of Bahia, between the municipalities of Valença and Santa Cruz Cabrália. The hypothesis of the study is that the mangroves/estuaries in the region are little impacted by chemical elements, given the low industrial activity and other potentially polluting sources in this region.

2. Material and Methods

2.1. Study area

The study was conducted in estuarine areas between latitudes 13°26' S and 15°87' S, along a coastal stretch of about 450 km in length (Figure 1). This region, which comprises the south/extreme south coast of the Bahia State, northeastern Brazil, is characterized by the presence of numerous estuaries and extensive mangroves, whose forests are predominantly constituted by the red mangrove *Rhizophora mangle* (Brasil, 2018). The region has an Af type climate in the Köppen classification (humid tropical climate, without a dry season, with an average temperature of the warmest month exceeding 18 °C and total rainfall in the driest month exceeding 60 mm). This coast is also defined by the cocoa culture (mainly in Ilhéus and Belmonte counties) and by the extraction of fishing resources, as well as for beach tourism. Several stretches are protected by Environmental Protection Areas (EPAs), such as the Guaibim and *Caminhos da Boa Esperança* in municipalities of Valença and Taperoá, the *Lagoa Encantada/Rio Almada*, in Ilhéus and the *Coroa Vermelha*, which covers part of the coast of Santa Cruz Cabrália. According to Brasil (2018), these conservation units are primarily responsible for protecting biological diversity and ensuring the sustainability of natural resources in coastal areas, including estuaries and mangroves.

2.2. Field methodology

Sampling was carried out in December 2018 in five estuaries (#1- Valença, #2 - Taperoá, #3 - Ilhéus, #4 - Belmonte and #5 - Santa Cruz Cabrália) (Figure 1). The collects of sediment and of biological material was previously authorized by the Chico Mendes Institute for Biodiversity and Conservation - ICMBio, Brazil, License number 20912-6. Manual samples of surface sediment were obtained at each estuary, with three repetitions. With regard to bivalves, were captured 15 to 30 specimens / species / estuary, being that *C. rhizophorae* was collected from the aerial roots and trunks of the red mangrove *R. mangle*, *M. guyanensis* in the sediment among the mangrove trees (where sediment samples were also obtained) and *C. gasar* in artificial substrate in an area of pier, close to the ground. This last bivalve was collected only at #5, as the only analysis matrix at that place. Sediment and bivalves were packed in properly labeled plastic bags and transported in polystyrene boxes with ice to the laboratory.

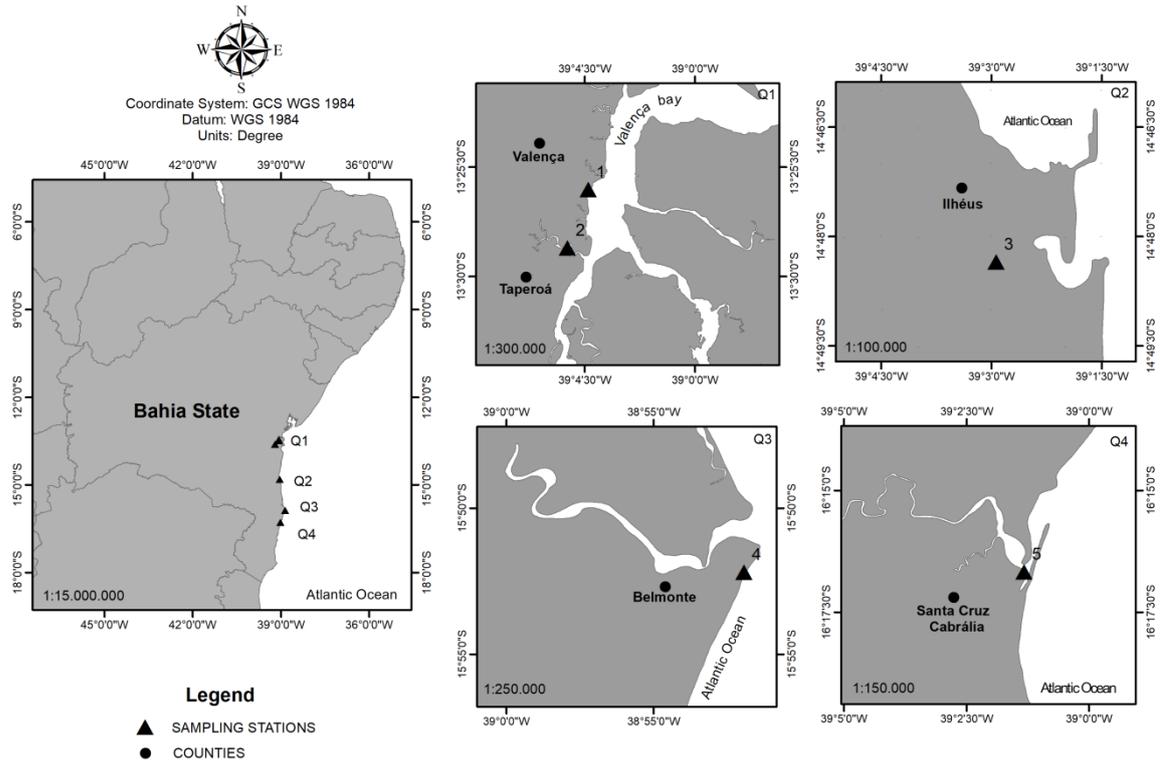


Figure 1. Map of the region indicating the sampling stations and counties, where Q1-Q4 define details of each sampling station.

2.3. Laboratory processing

Sub-samples of sediment were separated, in triplicate, which were dried in an oven at 65 °C until constant weight, after which the sediment was macerated, sieved and stored in plastic tubes, at room temperature. Nitric acid (HNO₃) 10% was used for 24 hours for the previous decontamination of the tubes. Procedures for processing bivalves included: measurement of animals (shell height = distance between the umbo and the ventral region; Galtsoff, 1964), removal of the shell, washing the edible part (meat) with Milli-Q water (to remove possible impurities), freezing the samples in a freezer at -80 °C, lyophilization (FreeZone 4.5 L Labconco) until constant weight, manual crushing with the help of mortar and pestle, screening, and storage in plastic bags at -20 °C.

The digestion process was based on the protocols of the Environmental Protection Agency (EPA, 1996) and Costa et al. (2009), for sediment and bivalves, respectively. For the determination of the chemical elements in all matrices, an Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer - ICP-OES (Varian 710 - ES) was used. For the validation

of the chemical analysis of the elements, was used standard reference material certified by the Environmental Protection Agency (EPA, 1996).

2.4. Data processing and parameters of Brazilian legislation

The values of the chemical elements were compared among matrices and among localities through one-way analysis of variance (followed, when convenient, by Tukey's test) or by Kruskal-Wallis test, according to the normality of the data, with use of BioEstat 5.0 software. The data were also analyzed through a Principal Component Analysis - PCA, in the MVSP-Multi-Variate Statistical Package, version 3.22. For this analysis, the data (variables = matrices / localities and cases = chemical elements) were standardized and transformed into log (2). For all analyzes, a 95% confidence level ($\alpha = 0.05$) was used.

As legal parameters for maximum values contained in the matrices for each element, was used the Resolution nr. 420 of the National Environment Council - CONAMA (Brasil, 2009) for soils, as the Decree number 55.871 (Brasil, 1965) and Ordinance number 685 (Brasil, 1999), both from the National Health Surveillance Agency of the Ministry of Health - ANVISA, for food.

3. Results

Except for **Cd**, all the elements investigated (**As, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb** and **Zn**) were detected in the samples. **Co** was exclusive in the sediment and this matrix was still characterized by high **Fe** contents, as well as by expressive values of **Ba, Cr, Mn** and **Zn**, the latter, however, in lower levels than those found in bivalves (Tables 1 and 2).

As was found only in #5 - Santa Cruz Cabrália, whose sampling station was also characterized by high levels of **Pb** and **Cu** (Table 1; Figure 2) in *C. gasar*. Regarding **Pb**, #5 was the only place where this metal was found in a biological sample, since in other localities (#1-4) it was found exclusively in the sediment (Tables 1 and 2). With regard to **Cu**, in addition to the high concentration of this metal in *C. gasar* in #5 (significantly higher than in other localities), a high content of this metal was also found in *C. rhizophorae* at #4 - Belmonte, whose the value differed significantly ($p < 0.05$) from the values found in this species and also in relation to *M. guyanensis* of the estuaries corresponding to sample stations #1-3 (Valença, Taperoá and Ilhéus, respectively) (Table 1).

The two species of oysters (*C. gasar* and *C. rhizophorae*) were characterized, together, by the high content of **Zn** (Table 1). The levels of this metal in *M. guyanensis* were also lower in relation to the sediment, in all places where this species was investigated (#1-4). In turn, this species was more expressive ($p < 0.05$) when compared with the oysters, both in the content of **Fe** and **Mn**. Although there was no statistical difference at the level of $\alpha = 0.05$ in relation to the two species of oysters, in *M. guyanensis* there was also greater expression of the **Ba** and **Cr**. Furthermore, *M. guyanensis* was exclusive in relation to oysters regarding the occurrence of **Ni** (Table 1).

Table 1. Means and standard deviation of shell height (between parenthesis, in cm), and of chemical element contents (in mg kg⁻¹, dry weight) of bivalves from estuaries on the south/extreme south coast of the State of Bahia (NE-Brazil).

	Sampling stations, species and shell height values								
	#1		#2		#3		#4		#5
	Cr (5.63±0.75)	Mg (4.60±0.48)	Cr (6.53 ±1.05)	Mg (4.95±0.33)	Cr (5.42 ±0.74)	Mg (4.97±0.45)	Cr (9.28 ±1.78)	Mg (5.37±0.93)	Cg (3.77±0.51)
As	-	-	-	-	-	-	-	-	3.22±0.22
Ba	4.40±0.00	7.96±0.01	5.35±0.29	7.22 ±0.57	4.46±0.26	7.72±0.48	5.38±0.07	6.40±0.03	5.64±0.68
Cr	3.20±0.02	4.55±0.03	3.46±0.45	4.55±0.04	3.05±0.17	5.08±0.10	3.37±0.06	4.32±0.04	3.33±0.02
Cu	17.39±0.44	9.93±0.41	14.7±0.40	11.14±2.42	23.6±1.04	14.6±1.11	37.2* ±0.47	18.19±0.68	160.2* ±2.25
Fe	337±2.83	1,057 ±77.39	403±2.69	1,085 ±15.02	299±8.37	1,690 ±70.84	382±5.98	1,133 ±61.33	522±29.08
Mn	20.46±0.53	64.24 ±1.22	15.32±0.36	71.56 ±0.68	26.08±0.67	78.02 ±6.34	15.91±0.44	102.54 ±4.77	22.77±0.49
Ni	-	1.92±0.14	-	3.86±0.20	-	3.83±0.55	-	2.71±0.12	-
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	596.73±391.52
Zn	1,202.1 ±13.49	61.6±1.49	1,528.6 ±21.04	69.9±0.33	1,212.2 ±39.69	76.4±5.68	1,801.7 ±9.73	74.4±0.73	2,631.2* ±291.35

Cg: *Crassostrea gasar*; Cr: *Crassostrea rhizophorae*; Mg: *Mytella guyanensis*; #1: Valença; #2: Taperoá; #3: Ilhéus; #4: Belmonte; #5: Santa Cruz Cabralia; - not detected; in bold: higher values ($p < 0.05$) in relation to other (s) bivalve (s); *higher values in relation to other sampling stations.

Table 2. Means and standard deviation (in mg kg⁻¹, dry weight) of chemical element contents found in sediments in estuaries on the south/extreme south coast of the State of Bahia (NE-Brazil) and maximum values allowed by CONAMA Resolution number 420 (Brasil, 2009).

Chemical Elements/ Stations	#1	#2	#3	#4	CONAMA reference*
Ba	43.4 ±2.02	44.27 ±1.45	47.3 ±3.83	59.43 ±9.82	150
Co	7.12 ±0.49	9.47 ±0.12	7.15 ±0.17	9.59 ±0.14	25
Cr	56.41 ±1.95	63.54 ±2.49	37.22 ±3.00	40.80 ±0.55	75
Cu	4.68 ±0.34	5.88 ±0.38	9.91 ±1.00	11.36 ±0.27	60
Fe	18,851 ±1,55	21,992 ±517.3	20,628 ±1,318	22,604 ±2,000	**
Mn	115.01 ±3.69	135.06 ±4.89	195.3 ±15.51	187.82 ±4.02	**
Ni	14.76 ±0.64	16.6 ±0.65	12.06 ±0.58	16.2 ±0.29	30
Pb	6.97 ±1.24	7.53 ±2.19	7.90 ±4.52	9.42 ±3.62	72
Zn	53.3 ±3.27	68.1 ±6.29	74.9 ±9.95	68.9 ±7.26	300

#1: Valença; #2: Taperoá; #3: Ilhéus; #4: Belmonte; *maximum allowed values; **not established.

In general, especially considering sample stations #1-4, all matrices were consistent with regard to the content of each chemical element, that is, the values of each element were close to each other. This was also evidenced by the graphic result of the principal component analysis (PCA), in which there was a separation among the matrices, with the formation of specific groups of matrices involving the sampling stations #1-4, being separated only to #5. The PCA, whose axes 1 and 2 defined more than 90% of the total variability of the data, also corroborated that the elements **Cu**, **As**, **Pb** and **Zn** were mainly correlated to the oyster *C. gasar*, at the sampling station #5 (Santa Cruz Cabrália). In turn, the elements **Co**, **Ba**, **Cr**, **Ni**, **Fe** and **Mn** were strongly associated with sediment in the other sampling stations (# 1-4), in a negative correlation with biological matrices (Figure 2).

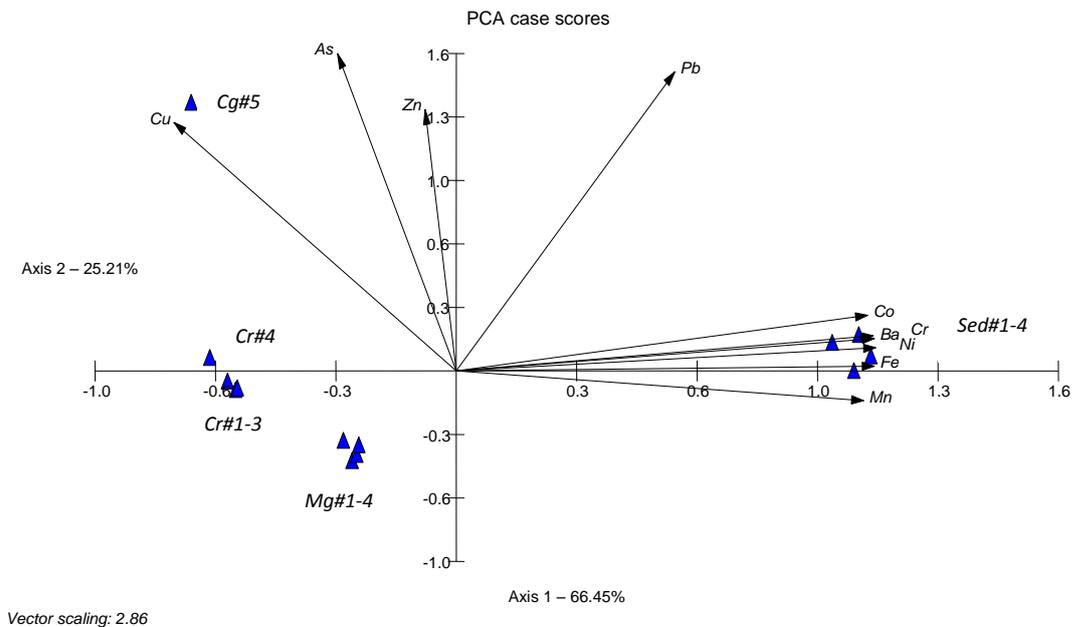


Figure 2. Graphic result of Principal Component Analysis (PCA), showing variables (chemical elements) and observations (analysis matrices and localities) on axes 1 and 2, which together explained 91.66% of the data variability, with axis 1 being defined mostly by sediment (and associated elements) and also by Cr and Mg matrices, while axis 2 was basically defined by matrix Cg and associated elements. Cr: *Crassostrea rhizophorae*; Cg: *Crassostrea gasar*; Mg: *Mytella guyanensis*; Sed: Sediment; #1-5: Sample stations.

4. Discussion

The results of the present study showed that the chemical element levels in the superficial sediment of the mangroves corresponding to the sampling stations #1-Valença, #2-Taperoá, #3-Ilhéus and #4-Belmonte were compatible with the maximum limits recommended by Resolution CONAMA nr. 420 (Brasil, 2009) with regard to the elements **Ba**, **Co**, **Cr**, **Cu**, **Ni**, **Pb** and **Zn**. In this context, comparing all values in dry weight, the levels of **Pb** (6.97-9.42 mg kg⁻¹) in sediment were something similar to the results found in Camamu Bay (Bahia), where Hatje et al. (2008) observed an average of 4.48 mg kg⁻¹. Our values of **Pb** were also similar to the levels obtained by Onofre et al. (2007) in Todos os Santos Bay (BTS) (Bahia) (6.27 mg kg⁻¹), but above those verified by Barros and Barbieri (2012) in Cananeia estuary (São Paulo), which observed mean values below 1 mg kg⁻¹. Additionally, Vilhena et al. (2021) observed levels of 4 and 12 mg kg⁻¹ in two estuaries of Pará State, northern Brazil and Kim et al. (2016) found an average of 11.41 mg kg⁻¹ in the SãoVicente estuary, Baixada Santista (São Paulo). The CONAMA legislation (BRASIL, 2009) indicates a maximum of 72 mg kg⁻¹ of **Pb** for soils to be classified as not contaminated. The levels of **Cu** (4.68-11.36 mg kg⁻¹) were in alignment with other results found on the Brazilian coast, such as in BTS (5.55 mg kg⁻¹) (Onofre et al., 2007), Amazon estuary (6.5 mg kg⁻¹) (Silva et al., 2018), Pará State estuaries (4.2 and 7.6 mg kg⁻¹) (Vilhena et al., 2021) and in Baixada Santista (8.87 mg kg⁻¹) (Kim et al., 2016). The CONAMA legislation establishes a maximum limit of 60 mg kg⁻¹ for **Cu** in soils (Brasil, 2009). As for **Ba**, the aforementioned legislation provides for a maximum of 150 mg kg⁻¹. In our study, the mean values of this element ranged from 43.4 to 59.43 mg kg⁻¹, Hatje et al. (2008) observed an average of 42.4 mg kg⁻¹ in Camamu Bay (Bahia) and Vilhena et al. (2021) found 133 and 210 mg kg⁻¹ in two estuaries in Pará State. Therefore, these last authors found higher values of **Ba** than those found in the state of Bahia and in extrapolation to that recommended by the Brazilian legislation. The maximum **Co** limit stipulated by CONAMA is 25 mg kg⁻¹. The average value of this element observed in the Camamu Bay (Hatje et al., 2008) was 1.63 mg kg⁻¹, in the Amazon estuary was 13.3 mg kg⁻¹ (Silva et al., 2018) and in the present study the variation was from 7.12 to 9.59 mg kg⁻¹. The **Cr** values obtained in this study (37.22- 63.54 mg kg⁻¹) were below the limit proposed by CONAMA, which is 75 mg kg⁻¹. Even so, our levels were higher than those found in Baixada Santista (18.21 mg kg⁻¹) (Kim et al., 2016) and in Camamu Bay (4.42 mg

kg⁻¹) (Hatje et al., 2008) but were lower than those observed in the Amazon estuary (91.5 mg kg⁻¹) (Silva et al., 2018), whose values went beyond the limits of Brazilian legislation. The last authors related the fact to the dynamics of this element in the environment, with a positive correlation to rainfall and an increase in organic matter in the estuary. **Ni** is established in the CONAMA resolution with a maximum limit of 30 mg kg⁻¹. In the present study, **Ni** averages ranging from 12.06 to 16.6 mg kg⁻¹ were obtained, whose values were close to the found by Silva et al. (2018) in an Amazonian estuary (22.3 mg kg⁻¹), but lower values of **Ni** were found for BTS (6.07 mg kg⁻¹) (Onofre et al., 2007), Camamu Bay (1.9 mg kg⁻¹) (Hatje et al., 2008) and in Baixada Santista (7.41 mg kg⁻¹) (Kim et al., 2016). As for **Zn**, CONAMA establishes the maximum limit of 300 mg kg⁻¹. In the present study, the average values of **Zn** in sediment were 53.3 to 74.9 mg kg⁻¹. These values were, however, at least three times higher than those found by Onofre et al. (2007) at BTS (18.27 mg kg⁻¹) and at least four times higher than those observed in Camamu Bay (13.7 mg kg⁻¹) (Hatje et al., 2008), but only slightly above those obtained by Kim et al. (2016) in Baixada Santista (47.68 mg kg⁻¹). The levels of **Fe**, which varied in this study from 18,851 to 22,604 mg kg⁻¹, were similar to the **Fe** values in the sediment of the São Vicente estuary (SP), which was 18,893 mg kg⁻¹ (Kim et al., 2016). There is no maximum limit established in Brazilian legislation for this metal. Equally not having a maximum limit established by CONAMA, **Mn** was at slightly lower levels (115.01 to 195.3 mg kg⁻¹) in the present study at the average obtained by Kim et al. (2016) (258.9 mg kg⁻¹) on São Vicente estuary (SP).

As for the bivalves, in # 5-Santa Cruz Cabralia, **As** was detected in the tissues of *C. gasar*, an element that was not found in the sediment or in the bivalves of the other estuaries. In #5 there was also a high level of **Pb** and, although compatible with current Brazilian legislation, a conspicuous **Cu** content in this oyster. Both *C. gasar* (#5) and *C. rhizophorae* (#1-4) were characterized by high levels of **Zn**. *Mytella guyanensis* was a protagonist in terms of **Fe** and **Mn** contents in relation to the oysters and was also exclusive in terms of the presence of **Ni**. The three species were also characterized by excess levels of **Cr** to those recommended by the Brazilian food legislation (ANVISA). Bivalves were also protagonists in levels of **Zn** and **Cu** in relation to the sediment.

The level of **As** in *C. gasar* (0.33 mg kg⁻¹, in wet weight - ww) at #5 was below the maximum value established by ANVISA (Brasil, 1965, 1999), which is 1 mg kg⁻¹ in ww

and this element was found exclusively in Santa Cruz Cabrália. With multiple uses (e.g., in herbicides and insecticides), one of the main uses of As is as a wood preservative (ATSDR, 2007a; Reimann et al., 2009). In addition, there is also the use of As in anti-fouling paints on vessels (Almeida et al., 2007). Samples of oysters from #5 were collected on a dock for crossing ferries and small fishing and tourism vessels, which may have been the immediate cause of contamination of that oyster by this metalloïd. Barbosa et al. (2019) found As levels above those allowed by ANVISA (Table 3) for food in the bivalves: *Anomalocardia brasiliiana* (3.07 mg kg⁻¹), *Iphigenia brasiliiana* (4.23 mg kg⁻¹), *Lucina (Phacoides) pectinata* (3.5 mg kg⁻¹) and in *Trachycardium muricatum* (3.05 mg kg⁻¹) (all values in ww), in different localities in the Todos os Santos Bay (BTS) (Bahia), therefore higher than those found in Santa Cruz Cabrália and also not compatible with the level allowed by ANVISA, remembering that all the aforementioned bivalves are used in human food. The most expressive values of As observed by Barbosa et al. (2019) were those from bivalves (mainly in *L. pectinata*) collected in areas close to industrial and port activities, which reinforces that the presence of this pollutant is directly related to anthropic impacts. As is a persistent chemical element and it generally reaches the estuarine aquatic environments by fluvial flow, with the major part being deposited in the sediment (Kimbrough et al., 2008). When comparing values in dry weight (dw), other studies carried out on the Brazilian coast confirm levels exceeding 15 mg kg⁻¹ (BRASIL, 2009) of this contaminant in sediments. This is the case of the study carried out by Mirlean et al. (2012) on the continental shelf of Espírito Santo State, however, these authors observed lower levels in the mangrove sediments (average of 9.2 mg kg⁻¹, dw). The authors attributed the conspicuous levels of this element in platform sediments to natural phenomena related to the composition and dynamics of the soils of this region. Cagnin et al. (2017), who investigated the As in the continental shelf of Abrolhos region, southern Bahia, verified values of up to 232.32 mg kg⁻¹ in the surface sediments. In addition to analyzing natural causes as the primary source of this element, these authors considered the influence of gold and iron mining in adjacent areas as a cause of the high values in the region.

Table 3. Comparison of results obtained in the present study with some other studies carried out on the Brazilian coast and values established by ANVISA-Brazil (Decree nr. 55.871 and Ordinance nr. 685; Brasil, 1965, 1999, respectively).

Chemical Elements	Localities/Matrices										ANVISA reference values
	BTS				GB	IG	BS	Present Study			
	Ab	Ib	Lp	Tm	Pp	Nn	Pp	Cr	Cg	Mg	
As	3.07	4.23	3.5	3.05	*	*	*	-	0.33	-	1
Cr	0.13	0.46	0.29	0.82	2.8	2.6	0.37	0.29	0.35	0.79	0.1
Cu	2.63	2.48	121.3	0.43	698	3.3	1.63	2.09	16.59	2.31	30
Fe	*	*	*	*	197	40	179.97	32.03	54.06	213.36	**
Mn	*	*	*	*	22	76	2.33	1.75	2.36	13.61	**
Ni	*	*	*	*	2.3	-	2.31	-	-	0.53	5.0
Pb	0.11	0.13	3.17	0.18	-	-	0.38	-	61.82	-	2.0
Zn	11.15	30.2	28.97	11.15	62	52	27.11	129.54	272.59	12.26	50

Average values, in mg kg⁻¹, wet weight. BTS: Baía de Todos os Santos (Barbosa et al., 2019); GB: Guanabara Bay (Lino et al., 2016); IG: Ilha Grande (Lino et al., 2016); BS: Baía de Santos (Campolim et al., 2018); Ab: *Anomalocardia brasiliiana*; Cg: *Crassostrea gasar*; Cr: *Crassostrea rhizophorae*; Ib: *Iphigenia brasiliiana*; Lp: *Lucina pectinata*; Mg: *Mytella guyanensis*; Nn: *Nodipecten nodosus*; Pp: *Perna perna*; Tm: *Trachycardium muricatum*. -: not detected; *not investigated; **not established.

Regarding **Pb** in bivalve tissues, this metal was not detected in #1-4, however, the high level of this element in the tissues of *C. gasar* in #5 was evident: 61.82 mg kg⁻¹ in wet weight (ww), whereas the ANVISA legislation (Brasil, 1965, 1999) provides for a maximum of 2 mg kg⁻¹ in ww, therefore, this limit has been exceeded by at least 30 times in the tissues of this oyster in this estuary. The **Pb** values in *C. gasar* in #5 were also at least 20 times higher than the averages found by Barbosa et al. (2019) in other bivalves of economic interest in BTS (Bahia): 0.11 mg kg⁻¹ in *A. brasiliiana*, 0.13 mg kg⁻¹ in *I. brasiliiana*, 0.18 mg kg⁻¹ in *T. muricatum* and 3.17 mg kg⁻¹ in *L. pectinata*, all values in wet weight. The value of **Pb** obtained in *L. pectinata* by these authors also exceeded the maximum allowed by ANVISA (Table 3). In its turn, Campolim et al. (2018) found an average value of 0.38 mg kg⁻¹ (ww) in *Perna perna* from Santos Bay (São Paulo), compatible with ANVISA legislation, while Lino et al. (2016), curiously, they did not detect this element in *P. perna* in Guanabara Bay (Rio de Janeiro), which is known to be polluted, nor in *Nodipecten nodosus* collected in Ilha Grande, also in the state of Rio de Janeiro (Table 3). When comparing dry weight (dw) values in bivalve tissues (for which there are no parameters in Brazilian food legislation), Vilhena et al. (2021) reported **Pb** averages of 1.85 mg kg⁻¹ in *C. gasar* from the Mocajuba river in the Pará State, in contrast to the alarming value of 596.73 mg kg⁻¹ found in the present study in *C. gasar* of Santa

Cruz Cabrália (Table 3). According to ATSDR (2007b), **Pb** is a naturally low-abundant element in the earth's crust, but certain industrial activities and its addition to gasoline have generated increases in this pollutant worldwide in recent decades. In #5 of the current study, nautical activities may have been the cause of the high levels of **Pb**, since it is used in paints and pigments and in the burning of fossil fuels (e.g., painting boats and supply of gasoline and diesel oil vessels near or in the body of water, with possible leaks and washing of boats). These results in #5 converge with that observed by Barbosa et al. (2019) in BTS (Bahia), which registered an expressive level of **Pb** in *L. pectinata* collected near the port and industries. **Pb** is known to be neurotoxic and carcinogenic for humans (ATSDR, 2007b; Kimbrough et al., 2008).

As for the **Cu** levels found in the current study, the highest values were also those of #5-Santa Cruz Cabrália, in *C. gasar* (16.59 mg kg⁻¹, in wet weight and 160.2 mg kg⁻¹, in dry weight). In the oyster *C. rhizophorae* of the other localities, the values ranged from 14.7 to 37.2 mg kg⁻¹ (dw) (Table 1) and the average, in wet weight, was 2.09 mg kg⁻¹ (Table 3), that is, below that established by ANVISA. The average values of **Cu** in *M. guyanensis* were also low (9.93 to 18.19 mg kg⁻¹, in dry weight and 2.31 mg kg⁻¹, in wet weight: Tables 1 and 3, respectively). In the intraspecific comparison, *C. rhizophorae* from #4 had higher averages ($p < 0.05$) of **Cu** in relation to specimens from #1-3, but the exact cause of this fact could not be verified. One detail that could be considered is that the samples from this first locality were constituted of animals slightly larger than those from the other locations (see Table 1), however, this aspect would have to be further investigated. Although at high levels, **Cu** levels in #5 were below that established by ANVISA legislation, which is 30 mg kg⁻¹. When verifying the values of this metal in bivalves from other places on the Brazilian coast, we find some values that went far beyond the limits of the legislation. For example, Barbosa et al. (2019) found an average of 121.3 mg kg⁻¹ (ww) in *L. pectinata*, from a region close to the port and industries in BTS (Bahia) and Lino et al. (2016), found a value of 698 mg kg⁻¹ (ww) in *P. perna* in Guanabara Bay (Rio de Janeiro). When comparing dry weight values of **Cu** in *C. gasar*, Vilhena et al. (2021) observed an average of 75 mg kg⁻¹ in an estuary in the state of Pará, while in #5 this oyster showed 160.2 mg kg⁻¹. Among the anthropic activities that generate the presence of **Cu** in the environment, are nautical activities related to the use of this metal as a wood preservative and also in anti-fouling paints (ATSDR, 2004). The high content of **Cu** in

oysters of #5 is probably related to activity of boats of this locality, mainly used in artisanal fishing in the region. This metal has been used for thousands of years in anti-fouling paints and after the ban of inks containing tributyltin (TBT) worldwide in 2003, manufacturers replaced TBT with **Cu** (and Zn) as biocides (Almeida et al., 2007). **Cu** can be toxic to aquatic animals and humans when present at levels above those supported by them, but at trace levels it is essential for the functioning of organisms (ATSDR, 2004). Studies made by Pan and Wang (2009) and by Cai and Wang (2019) showed a correlation of **Cu** with metallothioneins in bivalves, proteins related to the control and elimination (detoxification) of this metal by these organisms, causing large concentrations to be supported and metabolized by these mollusks.

As for the presence and contents of **Zn**, *M. guyanensis* presented about ¼ of this metal at the maximum value stipulated by ANVISA, which is 50 mg kg⁻¹ (ww). On the other hand, the two species of oysters were prominent as to the occurrence of **Zn**. In *C. rhizophorae*, considering the estuaries corresponding to sampling stations #1-4, an average of 129.54 mg kg⁻¹ (ww) was obtained and consistent (similar) values were found among localities. In *C. gasar* at #5, mean **Zn** values was 272.59 mg kg⁻¹ (ww), slightly more than the double found in *C. rhizophorae*, which was probably determined by the characteristics of the place and not by the species of oyster. Despite its low toxicity, nautical activities related to the use of anti-fouling paints potentially introduce artificially **Zn** into the environment (Almeida et al., 2007), which may be one of the reasons for the high concentration of this element in #5. In other bivalves of economic interest from BTS (Bahia), Barbosa et al. (2019) recorded **Zn** levels below 30 mg kg⁻¹ (ww), the same having been recorded for *P. perna* in the Santos Bay (São Paulo) (Campolim et al., 2018). Lino et al. (2016) obtained mean values of 62 mg kg⁻¹ (ww) for this same species in Guanabara Bay (Rio de Janeiro), while these same authors found 52 mg kg⁻¹ of **Zn** in *N. nodosus* from Ilha Grande (RJ) (Table 3). These comparisons allow us to suppose that the levels of **Zn** are greatly influenced by the levels of this metal in the environment (water and soil), but that, in addition, some species (such as oysters) have a natural propensity to bioaccumulate this element. Góngora-Gómez et al. (2017) found mean **Zn** values of 267.42 mg kg⁻¹ (dw) in *C. gigas* cultivated in the La Pitahaya estuary, Gulf of California (Mexico). Likewise, Vilhena et al. (2021) found an average of 8.017 mg kg⁻¹ in *C. gasar* from Mocajuba river (Pará, Brazil), while in *Paxyodon ponderosus*, an untrue oyster (belonging to the family Hyriidae

and not Ostreidae), the average content was 184 mg kg^{-1} (dw) on the Pará river, therefore, at a much lower level than that of *C. gasar*. The physiological reason why oysters accumulate **Zn** in high proportion remains to be investigated, but it is possible that it is related to the detoxification proteins mentioned above.

As for **Cr**, all bivalve samples in this study exceeded the limits established by ANVISA, which is 0.1 mg kg^{-1} in wet weight. Studies carried out in BTS (Barbosa et al., 2019), as well as in Santos Bay (São Paulo) (Campolim et al., 2018) showed values in order of magnitude similar to ours in other species of bivalves, but Lino et al. (2016) obtained higher values of **Cr** in bivalves in the state of Rio de Janeiro (Table 3). In the analysis of the dry weight averages of our study (Table 1), there is a similarity among places and species, with a variation between 3.05 and 5.08 mg kg^{-1} . Góngora-Gómez et al. (2017) observed an average value of 24.97 mg kg^{-1} (dw) in *C. gigas* from the Gulf of California (Mexico), but did not explain the possible cause of this high value. These authors drew attention to the importance of **Cr** in glucose tolerance by the human body and that its excess can cause diabetes. Although not exceeding the maximum value of Resolution CONAMA nr. 420 (Brasil, 2009) for **Cr** in the sediment (75 mg kg^{-1} , dw), the values obtained in the soil for this study are conspicuous (averages between 37.22 and 63.54 mg kg^{-1}) when, for example, compared to estuarine sediments obtained in the Baixada Santista (18.21 mg kg^{-1}) (dw) (Kim et al., 2016). As anthropogenic activities that potentially introduce **Cr** into the environment (e.g., tanneries and metallurgies) are scarce on the southern coast of the state of Bahia, it is assumed that the presence of this element is related to particularities of the region's soil composition, since the state has the greater reserves of this metal among all Brazilian states (33.53%) (Lima and Neves, 2016), however, specific and detailed studies regarding the presence of **Cr** in the state's estuaries are necessary to obtain more precise conclusions.

Ni is included in the observance of ANVISA with maximum levels of 5 mg kg^{-1} (ww), a limit not reached for *P. perna* in Guanabara Bay (Lino et al., 2016) and also not for *M. guyanensis* in present study, the only species in which this metal was recorded, at low levels (0.53 mg kg^{-1}) (ww) (Table 3). Lino et al. (2016) and Campolim et al. (2018) recorded 2.3 and 2.31 mg kg^{-1} (ww), respectively, in *P. perna* in other Brazilian states. Although it is an essential element in small quantities, exposure to high doses can cause problems with bronchitis and for long-term exposure, cancer (Kimbrough et al., 2008).

The maximum values of **Ba**, **Fe** and **Mn** in food are not established in Brazilian legislation. In the case of **Ba**, in the present study this element was present at low levels in the species investigated. In dry weight, in *C. rhizophorae* the averages were from 4.4 to 5.38 mg kg⁻¹, in *M. guyanensis* from 6.40 to 7.96 mg kg⁻¹ and in *C. gasar* 5.64 mg kg⁻¹. Comparing these results to those obtained by Vilhena et al. (2021), these obtained averages of 1.70 mg kg⁻¹ (dw) in *C. gasar* and 1.286 mg kg⁻¹ (dw) in *P. ponderosus*, therefore, the greatest accumulation of **Ba** occurred in this last bivalve, a species of fresh water. As for **Fe** and **Mn**, the high level of these metals in *M. guyanensis*, when compared to the levels observed in the oysters, drew attention in the current study. Thus, *M. guyanensis* collected in the same localities where *C. rhizophorae* samples were obtained showed six times higher **Fe** and eight times higher **Mn** values in relation to this oyster. In the dry weight comparison, the **Fe** values obtained for *C. gasar* by Vilhena et al. (2021) were 374 mg kg⁻¹, for 522 mg kg⁻¹ in the same species in our study, as well as for averages from 299 to 403 mg kg⁻¹ in *C. rhizophorae*, also in the present study. For *M. guyanensis*, the values of **Fe** in our study were from 1.057 to 1.690 mg kg⁻¹. Although it does not live in the sediment, but rather adheres to consolidated substrates (mainly in rocky shores), it is observed that high values of **Fe** were also found in *P. perna*, both in Guanabara Bay (Lino et al., 2016) and in Santos Bay (Campolim et al., 2018) (Table 3). For **Mn**, Vilhena et al. (2021) observed an average of 14 mg kg⁻¹ (dw) in *C. gasar* and in the present study we obtained 22.77 mg kg⁻¹ (dw) in this species, values between 15.32 and 26.08 mg kg⁻¹ (dw) in *C. rhizophorae* and 64.24 and 102.54 mg kg⁻¹ (dw) in *M. guyanensis*, therefore, the latter species showed much higher values than those found in oysters. It is possible that the habit of living buried in the sediment (Boehs et al., 2010) provides *M. guyanensis* with a greater advantage of acquiring **Mn** from the substrate. Vilhena et al. (2021), observed an average **Mn** content of 2.020 mg kg⁻¹ (dw) in *P. ponderosus* in the Pará river (Pará), a species that lives in the sediment. According to Cheng et al. (2013), the sediment is the main source of metals for organisms, which accumulates levels of metals that are higher than those in the water. Oysters such as *C. rhizophorae*, generally live attached to the aerial parts of mangrove plants (Boehs et al., 2019), having less contact with the soil, which could partly explain these differences in the levels of these elements.

We conclude that the levels of chemical elements investigated indicated, in general, low anthropic impact of estuarine areas of the south/extreme south coast of the state of Bahia,

confirming the hypothesis of the present study. The exception was #5, regarding the presence of **As** and the high levels of **Pb** and **Cu**, attributed to the nautical activities in that locality.

Acknowledgements

The authors would like to thank Julia Benevides and Deise S. Costa, both for their assistance in laboratory processing, to Vinícius H. C. da Silva, for reading the samples at ICP, to Prof. Luiz Roberto M. Pinto, for his guidance on data processing and Ricardo L. Viana, for making the map. To the *Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia - FAPESB* for the granting of the scholarship to the first author and to the *Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira - CEPLAC*, for granting the use of the Soil Laboratory for the digestion of biological samples.

References

- ALMEIDA, E.; DIAMANTINO, T. and DE SOUSA, O., 2007. Breve História das tintas antivegetativas. *Corrosion and Protection of Materials*, vol. 26, no. 01, pp. 6-12.
- ANGELI, J. L. F.; RUBIO, B.; KIM, B. S. M.; DE LIMA FERREIRA, P. A.; SIEGLE, E. and FIGUEIRA, R.C.L., 2019. Environmental changes reflected by sedimentary geochemistry for the last one hundred years of a tropical estuary. *Journal of Marine Systems*, vol. 189, no. 01, pp. 36-49. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.09.004>.
- ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y 50r Registro de Enfermedades)., 2004. *Reseña Toxicológica 50re Cobre*. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry)., 2007a. *Toxicological Profile for Arsenic* (Update). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 2007b., *Toxicological Profile for lead* (Update). Atlanta, GA: U.S. Department of Public Health and Human Services, Public Health Service.
- BAKSHI, M.; RAM, S. S.; GHOSH, S.; CHAKRABORTY, A.; SUDARSHAN, M. and CHAUDHURI, P., 2017. Micro-spatial variation of elemental distribution in estuarine sediment and their accumulation in mangroves of Indian Sudarban. *Environmental*

- Monitoring Assessment*, vol. 189, no. 221, pp. 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5891-9>.
- BARBOSA, I. S.; BRITO, G. B.; SANTOS, G. L.; SANTOS, L. N.; TEIXEIRA, L. S. G.; ARAUJO, R. G. O. and KORN, M. G. A., 2019. Multivariate data analysis of trace elements in bivalve molluscs: Characterization and food safety evaluation. *Food Chemistry*, vol. 273, no. 01, pp. 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.063>.
- BARROS, D. And BARBIERI, E., 2012. Análise da ocorrência de metais: Ni, Zn, Cu, Pb e Cd em ostras (*Crassostrea brasiliensis*) e sedimentos coletados no Estuário de Cananeia-SP (Brasil). *O Mundo da Saúde*, vol. 34, no. 4, pp. 635-642.
- BOEHS, G.; LUZ, M. S. A. and ANDRADE, V. R. D., 2019. Molecular identification of cryptic species of oysters (Genus *Crassostrea* Sacco, 1897) in the Northeast Atlantic coast of Brazil. *Boletim do Instituto de Pesca*, vol. 45, no. 02, pp. 1-6. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2019.45.2.446>.
- BOEHS, G.; VILLALBA, A.; CEUTA, L. O. And LUZ, J. R., 2010. Parasites of three commercially exploited bivalve species of the estuarine region of the Cachoeira river (Ilhéus, Bahia, Brazil). *Journal of Invertebrate Pathology*, vol. 103, no. 01, pp.43-47. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.10.008>.
- BRAGIGAND, V.; BERTHET, B.; AMIARD, J. C. and RAINBOW, P. S., 2004. Estimates of trace metal bioavailability to humans ingesting contaminated oysters. *Food and Chemical Toxicology*, vol. 42, no. 01, pp. 1893-1902. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2004.07.011>.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE., 1965. *Decreto nº 55.871 de 26 de março de 1965*. Brasília: Diário Oficial, 09 de abril de 1965.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE., 1998. *Portaria nº 685 de 27 de agosto de 1998*. Brasília: Agência Nacional da Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde, 01 de fevereiro de 1999.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE., 2009. *Resolução 420 de 28 de dezembro de 2009*. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 30 de dezembro de 2009.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE., 2018. *Atlas dos Manguezais do Brasil*. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.

- CAGNIN, R. C.; QUARESMA, V. S.; CHAILLOU, G.; FRANCO, T. and BASTOS, A. C., 2017. Arsenic enrichment in sediment on the eastern continental shelf of Brazil. *Science of the Total Environment*, vol. 607-608, no. 1, pp. 304-316. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.162>.
- CAI, C. And WANG, W. X., 2019. Inter – species difference of copper accumulation in three species of marine mussels: Implication for biomonitoring. *Science of the Total Environment*, vol. 692, no. 20, p. 1029-1036. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.298>.
- CAMPOLIM, M. B.; HENRIQUES, M. B. And BARBIERI, E., 2018. Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn in mussels collected in Santos Bay, São Paulo, Brazil: Limits required by local legislation. *Boletim do Instituto de Pesca*, vol. 44, no. 04, pp.1-8. [10.20950/1678-2305.2018.44.4.374](https://doi.org/10.20950/1678-2305.2018.44.4.374).
- CHARRY, M. P.; KEESING, V.; COSTELLO, M. and TREMBLAY, L. A., 2018. Assessment of the ecotoxicity of urban estuarine sediment using benthic and pelagic copepod bioassays. *PeerJ*, vol. 6, no. 01, pp.1-19. <https://doi.org/10.7717/peerj.4936>.
- CHENG, Z.; MANA, Y. B.; NIE, X. P. and WONG, M. H., 2013. Trophic relationships and health risk assessments of trace metals in the aquaculture pond ecosystem of Pearl River Delta, China. *Chemosphere*, vol. 90, no. 07, pp. 2142-2148. [52rea://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.11.017](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.11.017).
- COSTA, L. M.; SANTOS, D. C. M. B.; HATJE, V.; NÓBREGA, J. A. and KORN, M. G. A., 2009. Focused- microwave-assisted acid digestion: Evaluation of losses of volatile elements in marine invertebrate samples. *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 22, no. 03, pp. 238-241. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.10.017>.
- DEFOREST, D. K.; BRIX, K.V. and ADAMS, W.J., 2007. Assessing metal bioaccumulation in aquatic environments: the inverse relationship between bioaccumulation factors, trophic transfer factors and exposure concentration. *Aquatic Toxicology*, vol. 84, no. 02, pp. 236-246. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2007.02.022>.
- EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY), 1996. *Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils*. Revision 2.
- GALTSOFF, P. S., 1964. The American oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin). *Fish and Wildlife Service Bulletin*, vol. 64, no. 01, pp. 1-16.
- GOMES, M. V. T. And SATO, Y., 2011. Avaliação da contaminação por metais pesados

- em peixes do rio São Francisco à jusante da represa de Três Marias, Minas Gerais, Brasil. *Saúde & Ambiente em Revista*, vol. 6, no. 01, pp. 24-30.
- GÓNGORA-GÓMEZ, A. M.; GARCÍA-ULLOA, M.; MUÑOZ SEVILLA, N. P.; DOMÍNGUEZ-OROZCO, A. L.; VILLANUEVA-FONSECA, B. P.; HERNÁNDEZ-SEPÚLVEDA, J. A. and ORTEGA IZAGUIRRE, R., 2017. Heavy-metal contents in oysters (*Crassostrea gigas*) cultivated on the southeastern coast of the Gulf of California, Mexico. *Hidrobiológica*, vol. 27, no. 02, pp. 219-227.
- HATJE, V.; BARROS, F.; MAGALHÃES, W.; RIATTO, V. B.; AMORIM, F. N.; FIGUEIREDO, M. B.; SNAPÓ, S. and CIRANO, M., 2008. Trace metals and benthic macrofauna distributions in Camamu Bay, Brazil: Sediment quality prior oil and gas exploration. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 56, no. 02, pp. 363-370. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.10.029>.
- HATJE, V., BÍCEGO, M. C., CARVALHO, G. C. & ANDRADE, J. B. 2009. *Baía de Todos os Santos: Aspectos Oceanográficos*, Salvador, EDUFBA.
- KIM, B. S. M.; SALAROLI, A. B.; DE LIMA FERREIRA, P. A.; SARTORETTO, J. R.; DE MAHIQUES, M. M. and FIGUEIRA, R. C. L., 2016. Spatial distribution and enrichment assessment of heavy metals in surface sediments from Baixada Santista, Southeastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 103, no. 1-2, pp. 333-338. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.12.041>.
- KIMBROUGH, K.L.; JOHNSON, W.E.; LAUENSTEIN, G.G.; CHRISTENSEN, J.D. and APETI, D.A., 2008. *An assessment of two decades of contaminant monitoring in the Nation's Coastal Zone*. Silver Spring, MD. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS.
- LIMA, T. M. and NEVES, C.A.R., 2016. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), *Sumário Mineral 2015*, vol. 35, pp. 135. ISSN: 01012053.
- LINO, A.S.; GALVÃO, P. M. A.; LONGO, R. T. L.; AZEVEDO-SILVA, C. E.; DORNELES, P. R.; TORRES, J. P. M. and MALM, O., 2016. Metal bioaccumulation in consumed marine bivalves in Southeast Brazilian coast. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, vol. 34, no. 01, pp. 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2015.12.004>.

- LIU, W. C.; LIU, H. M. and KEN, P.J., 2020. Investigating the contaminant transport of heavy metals in estuarine waters. *Environmental Monitoring Assessment*, vol. 192, no. 31, pp. 1-17. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-8012-0>.
- MELWANI, A. R.; GREGORIO, D.; JIN, Y.; STEPHENSON, M.; ICHIKAWA, G.; SIEGEL, E.; CRANE, D.; LAUENSTEIN, G. and DAVIS, J.A., 2014. Mussel watch update: long – term trends in selected contaminants from coastal California, 1977 – 2010. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 81, no. 02. Pp. 291-302. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.04.025>.
- MIRLEAN, N.; MEDEANIC, S.; GARCIA, F.A.; TRAVASSOS, M.P. and BAISCH, P., 2012. Arsenic enrichment in shelf and coastal sediment of the Brazilian subtropics. *Continental Shelf Research*, vol. 35, no. 1, pp. 129-136. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.01.006>.
- MOREIRA, L.B.; SASAKI, S.T.; TANIGUCHI, S.; BÍCEGO, M.C.; COSTA-LOTUFO, L.V. and ABESSA, D.M.S., 2019. Impacts of dredging on biomarkers responses of caged bivalves in a semi-arid region (Ceará State, NE Brazil). *Marine Environmental Research*, vol. 151, no. 1. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.104784>.
- ONOFRE, C. R. E.; CELINO, J. J.; NANO, R. M. W. and QUEIROZ, A. F. S., 2007. Biodisponibilidade de metais traços nos sedimentos de manguezais da porção norte da Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, vol. 7, no. 2, pp. 65-82. ISSN: 1519-5228.
- PAN, K. And WANG, W. X., 2009. Biodynamics to explain the difference of copper body concentrations in five marine bivalve species. *Environmental Science & Technology*, vol. 43, no. 6, pp. 2137-2143. <https://doi.org/10.1021/es802888u>.
- RAINBOW, P.S., 2002. Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: why and so what?. *Environmental Pollution*, vol. 120, no. 03, pp. 497-507. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00238-5](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00238-5).
- REIMANN, C.; MATSCHULLAT, J.; BIRKE, M. And SALMINEN, R., 2009. Arsenic distribution in the environment: thee ffects of scale. *Applied Geochemistry*, vol. 24, no. 07, pp.1147-1167. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2009.03.013>.
- SILVA, R. G.; SANTOS, R. M.; LIMA, M. O.; MENDES, L. C. S.; MESQUITA, K. F. C. and SANTOS, M. L. S., 2018. Trace elements in oyster farming 54reas in the Amazon.

Boletim do Instituto de Pesca, vol. 44, no. 04, pp. 513-526.
<https://doi.org/10.20950/1678-2305.2018.44.4.366>.

VILHENA, M. P. S. P.; COSTA, M. L.; BERRÊDO, J. F.; PAIVA, R. S. and MOREIRA, M. Z., 2021. Trace elements and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ isotopes in sediments, phytoplankton and oysters as indicators of anthropogenic activities in estuaries in the Brazilian Amazon. *Regional Studies in Marine Science*, vol. 41, n. 1, pp. (in press)
<https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101618>.

CAPÍTULO 2 (Artigo Científico II)

Artigo publicado no periódico **Acta Brasiliensis** (ISSN: 2526-4338; Qualis CAPES B1) em 30/09/2021, **volume 05, número 03, pp. 103-107.**

DOI: <http://dx.doi.org/10.22571/2526-4338536>.

Micronutrientes metálicos nos moluscos bivalves *Crassostrea rhizophorae* e *Mytella guyanensis*

Título abreviado: Micronutrientes em ostras e sururus...

Resumo

Os micronutrientes, micro ou oligoelementos, incluem vitaminas e alguns metais, sendo que uma parcela significativa da população mundial apresenta deficiência nutricional desses elementos. Este estudo avaliou os teores de micronutrientes metálicos em *Crassostrea rhizophorae* (ostra) e *Mytella guyanensis* (sururu) coletados no sul da Bahia, Brasil, num trecho de 280 km de extensão. Os teores dos metais (Cu, Fe, Mn e Zn) da parte edível das espécies foram avaliados em espectrometria de emissão óptica de plasma indutivamente acoplado (ICP OES). Foram encontradas as seguintes concentrações médias para *C. rhizophorae* e *M. guyanensis*, respectivamente, em mg kg⁻¹: Cu (2,09 ± 0,90 e 2,31 ± 0,63); Fe (32,03 ± 4,18 e 213,36 ± 51,67); Mn (1,75 ± 0,44 e 13,61 ± 2,83) e Zn (129,54 ± 25,88 e 12,13 ± 1,13). Ambos os bivalves foram relevantes na concentração dos micronutrientes investigados, com destaque para os valores elevados de Zn em *C. rhizophorae* e de Fe em *M. guyanensis*.

Palavras-chave: Cobre, Elementos essenciais, Ferro, Manganês, Zinco.

Metallic micronutrients in bivalve molluscs *Crassostrea rhizophorae* and *Mytella guyanensis*

Abstract

Micronutrients, micro or oligoelements include vitamins and some metals, being that a significant portion of the world population is nutritionally deficient in these elements. This study evaluated the levels of metallic micronutrients in *Crassostrea rhizophorae* (oyster) and *Mytella guyanensis* (mangrove mussel) collected in southern Bahia, Brazil, in a stretch of 280 km long. The metal contents (Cu, Fe, Mn and Zn) of the edible part of the species were evaluated with inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP OES). The following mean concentrations were found for *C. rhizophorae* and *M. guyanensis*, respectively, in mg kg⁻¹: Cu (2.09 ± 0.90 and 2.31 ± 0.63); Fe (32.03 ± 4.18 and 213.36 ± 51.67); Mn (1.75 ± 0.44 and 13.61 ± 2.83) and Zn (129.54 ± 25.88 and 12.13 ± 1.13). Both bivalves were relevant in the concentration of micronutrients investigated, with emphasis on the high values of Zn in *C. rhizophorae* and Fe in *M. guyanensis*.

Keywords: Copper, Essential elements, Iron, Manganese, Zinc.

Introdução

Micronutrientes (oligoelementos, microelementos, microminerais ou elementos essenciais) são indispensáveis ao crescimento e ao funcionamento do organismo humano. A deficiência desses elementos constitui-se em um problema de Saúde Pública (Maggini, Pierre & Calder, 2018). Uma dieta pobre em micronutrientes pode resultar em comprometimento orgânico irreversível, mesmo mediante reposição (Gimenez, Oliveros & Gomez, 2011). Por exemplo, o cobre participa de atividades enzimáticas e é essencial ao desenvolvimento cerebral (Scheiber, Mercer & Dringen, 2014), o ferro é importante no combate à anemia e no fortalecimento do sistema imune (Maggini et al., 2018), o

manganês atua como cofator em diversas reações enzimáticas (Goyer & Clarkson, 2001) e o zinco atua em atividades proteicas, sendo que a deficiência desse nutriente implica em alopecia, perda de peso e diarreia (Muhamed & Vadstrup, 2014).

Moluscos bivalves são apreciados mundialmente na dieta humana, principalmente por possuírem alto valor proteico e baixo teor lipídico (Prato, Biandolino, Parlapiano, Giandomenico, Denti, Calò, Spada, & Di Leo, 2019) e serem, igualmente, ricos e diversos em microminerais (Tabakaeva, Tabakaev & Piekoszewski, 2018), podendo suprir necessidades nutricionais essenciais (Rodríguez-Hernández, Zumbado, Henríquez-Hernández, Boada & Luzardo, 2019). A ingestão destes tem contribuído para a melhora de diversas enfermidades, como no tratamento de doenças inflamatórias, incluindo a artrite reumatoide (Lindqvist, Gjertsson, Eneljung & Winkvist, 2018) e no combate à desnutrição infantil (Correia, Veiga, Santos, Cavalcante, Sawaya & Florêncio, 2018). Há indicações, também, que a ingestão de bivalves contribui para a prevenção e recuperação de transtornos depressivos (LaChance & Ramsey, 2018).

Diante de tantos benefícios, milhões de toneladas de bivalves são anualmente produzidas em diversas partes do mundo, principalmente via aquicultura (FAO, 2020). Dentre os bivalves comercialmente importantes da costa brasileira estão *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) (Ostreidae), a ostra-do-mangue e *Mytella guyanensis* (Lamarck, 1819) (Mytilidae), o sururu ou marisco-do-mangue (Boehs, Villalba, Ceuta & Luz, 2010). A primeira fixa-se sobre raízes aéreas de plantas de mangue, em especial sobre *Rhizophorae mangle* L. (Boehs, Luz & Andrade, 2019) e *M. guyanensis* enterra-se no sedimento, próximo a raízes subterrâneas dessas plantas (Boehs et al., 2010).

Embora bivalves tenham sido contemplados em uma série de estudos realizados nos últimos anos no litoral sul do estado da Bahia nos aspectos da ecologia, reprodução,

cultivo, patologias e mais recentemente, também quanto ao teor de elementos químicos, não há estudos com enfoque no valor nutricional desses moluscos em termos de micronutrientes metálicos. Assim como em outros locais da costa brasileira, o foco das pesquisas envolvendo metais está geralmente voltado para o aspecto da toxicidade. Nesse contexto, e partindo-se da premissa que moluscos bivalves são bons bioacumuladores de metais, este estudo avaliou os teores dos microelementos Cu, Fe, Mn e Zn em *C. rhizophorae* e *M. guyanensis* de estuários do sul da Bahia (Brasil).

Material e Métodos

Coleta e preparo das amostras

Os bivalves foram coletados em quatro locais (L) (manguezais) do litoral sul do estado da Bahia, nos municípios de Valença (13°26'S; 39°04'W) (L1), Taperoá (13°28'S; 39°05' W) (L2), Ilhéus (14°48'S; 39°02'W) (L3) e Belmonte (15°87'S; 38°86'W) (L4), num trecho de aproximadamente 280 km de extensão.

Os exemplares de *C. rhizophorae* foram coletados sobre raízes aéreas e caules do mangue vermelho *R. mangle*, ao passo que *M. guyanensis* foi coletada em substrato arenoso próximo, ainda no manguezal. As coletas foram feitas manualmente, durante maré baixa, em dezembro de 2018, tendo sido previamente autorizadas pelo Instituto Chico Mendes da Biodiversidade e Conservação - ICMBio (concessão número 20912-6/2018).

As amostras foram armazenadas em sacos plásticos devidamente etiquetados e imediatamente processadas em laboratório. Após lavagem dos exemplares em água corrente, seu maior eixo (altura) foi medido com um paquímetro digital (Starfer, precisão de 0,01 mm) e o peso individual, total (com concha) e somente do conteúdo intervalvar (carne), foram aferidos com balança de precisão (Marte, 0,001 g). O número de exemplares coletados por local e as informações biométricas das amostras estão expressas na **tabela 1**.

Tabela 1. Informações sobre as amostras utilizadas no estudo: espécies, locais das coletas*, número de animais coletados (n) e médias/desvio padrão dos parâmetros: altura da concha (cm), peso total (concha e carne) e peso da carne (g).

Espécies	Locais das coletas	N	Altura da concha (cm)	Peso total (g)	Peso da carne (g)
<i>Crassostrea rhizophorae</i>	L1	16	5,62±0,74	18,59±5,95	2,37±0,97
	L2	15	6,53±1,04	36,6±11,46	5,01±1,70
	L3	20	5,42±0,73	18,86±5,31	2,60±0,60
	L4	12	9,28±1,78	65,25±21,96	6,66±1,89
<i>Mytella guyanensis</i>	L1	30	4,60±0,48	4,99±1,32	1,60±0,42
	L2	30	4,95±0,33	5,77±1,19	1,64±0,27
	L3	30	4,97±0,45	6,31±1,61	1,80±0,46
	L4	30	5,37±0,39	7,98±1,49	2,26±0,38

*L1=Valença, L2=Taperoá, L3=Ilhéus, L4=Belmonte.

Para dar início aos procedimentos de determinação dos metais, toda a vidraria utilizada foi previamente lavada com Ácido Nítrico (HNO₃) a 10% para descontaminação e posteriormente foi enxaguada em água de osmose. Foi feito um *pool* de amostras, em triplicata, do conteúdo intervalvar de cada espécie, por ponto amostral, cujas amostras foram congeladas em freezer a -80°C e em seguida liofilizadas (Labconco, modelo FreeZone 4.5) até peso constante.

Após secas, as amostras foram trituradas e peneiradas em malha de nylon de 3,5 mm. Foram então pesados 250 mg de cada *pool* de amostras, em triplicata, que foram transferidos para frascos de teflon (TFM), com adição posterior de 7 ml de HNO₃ a 65% e após 30 minutos de contato em temperatura ambiente (25±1°C), foi adicionado 1 ml de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) a 30%, após o que os frascos eram fechados e seguiam para o programa de digestão em forno microondas (modelo Mars Xpress-CEM). Foi utilizada temperatura de 90°C por 10 minutos em potência de 1.600 W, seguido por um intervalo de 5 minutos, após o que a temperatura foi aumentada para 180°C por 15 minutos e nessa condição as amostras eram mantidas por mais 20 minutos após temperatura constante, com

resfriamento posterior de 15 minutos. Após a digestão, as amostras foram transferidas para balões volumétricos, que foram preenchidos com água Milli-Q até a marca dos 25 ml. As soluções foram transferidas para tubos *Falcon* de 50 ml e armazenadas em geladeira até a quantificação dos metais.

Determinação analítica

Para a determinação dos elementos Cu, Fe, Mn e Zn, foi feito uso de um espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES), (modelo 710-ES Varian, Mulgrave, Austrália), equipado com um nebulizador concêntrico Meinhard® (Santa Clara, EUA), acoplado a uma câmara de nebulização ciclônica - *single pass* (Varian), tocha de quartzo (Varian) e detector de estado sólido com arranjo de diodos CCD. Foi utilizado Argônio 99,998% (White Martins/Praxair, Bahia, Brasil), como gás gerador do plasma e do sistema de nebulização. Os parâmetros instrumentais estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros instrumentais e operacionais utilizados no espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) do Centro de Microscopia Eletrônica/Universidade Estadual de Santa Cruz (CME/UESC, Ilhéus, Bahia, Brasil) na determinação analítica.

Parâmetros Instrumentais	Condições Operacionais
Potência de radiofrequência (kW)	1,4
Vazão do gás do plasma (L min ⁻¹)	15,0
Vazão do gás auxiliar (L min ⁻¹)	1,5
Pressão de nebulização (kPa)	150
Tempo de estabilização (s)	15,0
Tempo de leitura das replicatas (s)	5
Número de replicatas	3
Detector	CCD
Velocidade da bomba peristáltica (rpm)	1
Linhas de emissão (nm)	Cu: 327.395; Fe: 259.940; Mn: 257.610; Zn: 213.857

Soluções estoque de padrões monoelementares da Specsol (Quimlab Química e Metrologia, São José dos Campos, Brasil) (1.000 mg L⁻¹ e 10.000 mg L⁻¹) foram utilizadas para preparar as curvas de calibração a partir de diluições apropriadas. Solução padrão

multielementar *High-purity Standards* (Carolina do Sul, EUA) foi utilizada para a calibração do sistema óptico do ICP OES. Não foi necessário o uso de padrão interno. As curvas de calibração foram construídas em uma faixa linear de 0,02 - 2,00 mg L⁻¹. Os cálculos para a determinação do Limite de Detecção (LD) e do Limite de Quantificação (LQ) foram feitos da seguinte forma: $LD = 3,3 \frac{s}{S}$; $LQ = 3,3 \frac{s}{S}$, onde s é o desvio padrão do sinal do branco analítico e S é o coeficiente angular da curva de calibração.

Tratamento dos dados

Os teores dos microelementos foram comparados entre espécies e entre locais através de análises de variância (ANOVAs), seguidas, quando necessário, pelo teste de Tukey. O nível de confiança utilizado foi de 95% e as análises foram feitas no programa estatístico BioEstat 5.0.

Como parâmetro para os valores máximos de metais permitidos pela legislação brasileira em alimentos, foi utilizado o Decreto nº 55.871 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde - ANVISA (Brasil, 1965).

Resultados e Discussão

O cobre apresentou concentrações médias iguais a $2,09 \pm 0,90$ mg kg⁻¹ (1,33 a 3,35 mg kg⁻¹) em *C. rhizophorae* e $2,31 \pm 0,63$ mg kg⁻¹ (1,71 a 3,13 mg kg⁻¹) em *M. guyanensis*. Houve similaridade ($p=0,5375$) nos teores desse elemento entre as espécies e o L4 (Belmonte) teve destaque nesse elemento, nas duas espécies (**Tabela 3**).

Tabela 3. Médias e desvio padrão, em mg kg⁻¹, em peso úmido, dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn em dois bivalves de manguezais do sul da Bahia, Brasil.

Espécies	Locais das coletas	Micronutrientes			
		Cu	Fe	Mn	Zn
<i>Crassostrea rhizophorae</i>	L1-Valença	1,57±0,04 ^c	30,36±0,26 ^c	1,85±0,05 ^b	108,43±1,22 ^c
	L2-Taperoá	1,33±0,04 ^d	36,32±0,24 ^a	1,38±0,03 ^c	137,88±1,90 ^b
	L3-Ilhéus	2,13±0,09 ^b	26,99±0,76 ^d	2,35±0,06 ^a	109,34±3,58 ^c
	L4-Belmonte	3,35±0,04 ^a	34,46±0,54 ^b	1,44±0,04 ^c	162,51±0,88 ^a
		(2,09±0,90) [p<0,0001]	(32,03±4,18) [p=0,0001]	(1,75±0,44) [p<0,0001]	(129,54±25,88) [p<0,0001]
<i>Mytella guyanensis</i>	L1-Valença	1,71±0,07 ^c	181,62±13,30 ^b	11,12±0,08 ^c	10,59±0,26 ^b
	L2-Taperoá	1,92±0,05 ^c	186,60±2,58 ^b	12,30±0,12 ^c	12,02±0,06 ^a
	L3-Ilhéus	2,51±0,19 ^b	290,45±12,18 ^a	13,41±1,09 ^b	13,14±0,98 ^a
	L4-Belmonte	3,13±0,12 ^a	194,79±10,54 ^b	17,63±0,82 ^a	12,79±0,13 ^a
		(2,31±0,63) [p=0,0002]	(213,36±51,67) [p=0,0002]	(13,61±2,83) [p=0,0003]	(12,13±1,13) [p=0,0027]

* Entre parênteses as médias gerais e entre colchetes, resultados do valor de p entre tratamentos. Valores médios com letras diferentes, para o mesmo elemento e espécie, apresentaram diferenças significativas (p<0,05) no teste de Tukey.

Apesar de ser um elemento essencial, os níveis de cobre para o consumo humano são normatizados, sendo que as concentrações encontradas estiveram dentro dos limites (máximo de 30 mg kg⁻¹) estabelecidos pela legislação brasileira (Brasil, 1965). Os valores encontrados (2,09 mg kg⁻¹ em *C. rhizophorae* e 2,31 mg kg⁻¹ em *M. guyanensis*) estiveram em faixas de concentração relativamente próximas às encontradas em *Nodipecten nodosus* (Linnaeus, 1758) (Pectinidae) coletada na Ilha Grande (Rio de Janeiro, Brasil) (3,30 mg kg⁻¹) (Lino, Galvão, Longo, Azevedo-Silva, Dorneles, Torres & Malm, 2016), em *Perna perna* (Linnaeus, 1758) (Mytilidae) coletada na Baía de Santos (São Paulo, Brasil) (1,63 mg kg⁻¹) (Campolim, Henriques & Barbieri, 2018), assim como em *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791) (Veneridae) (2,63 mg kg⁻¹) e em *Iphigenia brasiliiana* (Lamarck, 1818) (Donacidae) (2,48 mg kg⁻¹), ambas coletadas na Baía de Todos os Santos (Bahia, Brasil) (Barbosa, Brito, Santos, Santos, Teixeira, Araujo & Korn, 2019), mas foram muito

menores às concentrações observadas em *Lucina* (= *Phacoides*) *pectinata* (Gmelin, 1791) (Lucinidae) coletada em região próxima a porto e indústrias na Baía de Todos os Santos (121,30 mg kg⁻¹) (Barbosa et al., 2019). Igualmente, foram muito menores ao valor obtido por Lino et al. (2016) para *P. perna* coletada na Baía de Guanabara (Rio de Janeiro) (698 mg kg⁻¹), cujo valor extrapolou, em muito, os limites estabelecidos pela ANVISA (Brasil, 1965).

Nos moluscos bivalves o cobre está associado com metalotioneínas, proteínas que exercem a função de controle e eliminação (detoxificação) desse metal (Cai & Wang, 2019) e esta é também a razão pela qual esses animais conseguem concentrar altos níveis desse elemento em seus organismos. No caso de ostras, Weng, Jiang e Wang (2019) mostraram que nesses bivalves o cobre é um importante micronutriente na fase inicial da vida, atuando, por exemplo, de forma significativa no crescimento dos filamentos branquiais. No organismo humano, entre outros benefícios, esse micronutriente é importante ao bom funcionamento do sistema imune (Macêdo, Amorim, Silva & Castro, 2010).

O ferro apresentou concentrações médias iguais a $32,03 \pm 4,18$ mg kg⁻¹ (26,99 a 36,32 mg kg⁻¹) em *C. rhizophorae* e $213,36 \pm 51,67$ mg kg⁻¹ (181,62 a 290,45 mg kg⁻¹) em *M. guyanensis*, com diferença significativa ($p < 0,0001$) entre espécies, sendo que a segunda apresentou concentrações seis vezes maiores à primeira, com destaque para os valores altos em *M. guyanensis* no L3 (Ilhéus) (**Tabela 3**).

Lino et al. (2016) verificaram concentrações de ferro similares às de *M. guyanensis* deste estudo em outro mitilídeo (*P. perna*) (197 mg kg⁻¹) coletado na Baía de Guanabara (RJ) e valor similar (179,97 mg kg⁻¹) foi igualmente encontrado em *P. perna* em outro estudo, na Baía de Santos (SP) (Campolim et al., 2018). Representantes dessa família de

moluscos parecem ser bons bioacumuladores desse elemento, quando comparados, por exemplo, com bivalves como *C. rhizophorae* (presente estudo) e *N. nodosus*, que apresentou concentração de 40 mg kg⁻¹, em amostras provenientes da Ilha Grande (RJ) (Lino et al., 2016).

Não existe um limite máximo de ferro em alimentos estabelecido na legislação ANVISA. No organismo humano, esse micronutriente atua na resposta imunitária (Maggini et al., 2018), sendo que a carência deste pode causar, além da anemia (principal manifestação dessa deficiência), retardo intelectual, assim como o aumento à suscetibilidade a infecções (Goyer & Clarkson, 2001).

O manganês apresentou concentrações médias iguais a 1,75 ± 0,44 mg kg⁻¹ (1,38 a 2,35 mg kg⁻¹) em *C. rhizophorae* e 13,61 ± 2,83 mg kg⁻¹ (11,12 a 17,63 mg kg⁻¹) em *M. guyanensis* (p<0,0001 entre espécies), sendo que a segunda espécie apresentou concentrações de cerca de oito vezes maiores do que a primeira, com destaque para o L4 (Belmonte), onde ocorreu o maior valor, em *M. guyanensis* (**Tabela 3**).

Em *P. perna* coletada na Baía de Guanabara (RJ), Lino et al. (2016) observaram 22 mg kg⁻¹ de manganês e Campolim et al. (2018) verificaram 2,33 mg kg⁻¹ na Baía de Santos (SP) nesse mesmo mitilídeo, mostrando valores muito variáveis na mesma espécie em diferentes locais. Já *N. nodosus*, coletada na Ilha Grande (RJ) (Lino et al., 2016), apresentou concentração muito mais alta em relação às três espécies citadas (76 mg kg⁻¹). O manganês é um micronutriente presente em todos os organismos vivos, nos quais participa de diversas atividades enzimáticas (Goyer & Clarkson, 2001). Não há limite máximo para o consumo desse metal estabelecido na legislação brasileira (Brasil, 1965).

O zinco apresentou concentrações médias iguais a 129,54 ± 25,88 mg kg⁻¹ (108,43 a 162,51 mg kg⁻¹) em *C. rhizophorae* e 12,13 ± 1,13 mg kg⁻¹ (10,59 a 13,14 mg kg⁻¹) em

M. guyanensis ($p < 0,0001$ entre espécies), portanto, a primeira apresentou 10 vezes mais zinco do que a segunda espécie, com destaque para o L4 (Belmonte), onde ocorreu o maior valor, em *C. rhizophorae* (**Tabela 3**).

Os valores de Zn em *C. rhizophorae* foram superiores ao valor máximo estabelecido pela ANVISA em alimentos (Brasil, 1965) (50 mg kg^{-1} , em peso úmido). Na comparação do alto valor de Zn dessa espécie em relação a *M. guyanensis*, Barbosa et al. (2019) também observaram valores mais baixos desse elemento em outros bivalves coletados na Baía de Todos os Santos, com concentrações, em mg kg^{-1} , de 11,15 em *A. brasiliiana*, 30,20 em *I. brasiliiana*, 28,97 em *L. pectinata* e 11,15 em *Trachycardium muricatum* (Linnaeus, 1758) (Cardiidae), portanto, todos mais baixos em relação a *C. rhizophorae*. Lino et al. (2016) verificaram 62 mg kg^{-1} em *P. perna* da Baía de Guanabara e 52 mg kg^{-1} em *N. nodosus* da Ilha Grande e Campolim et al. (2018) observaram $27,11 \text{ mg kg}^{-1}$ em *P. perna* da Baía de Santos, portanto, todos valores mais baixos aos observados na ostra do presente estudo.

Ainda não está totalmente elucidado o motivo pelo qual ostras acumulam níveis tão altos de zinco. Pedrosa e Cozzolino (2001) consideraram a presença de facilitadores de biodisponibilidade, como a ausência de ácido fítico e a presença de aminoácidos como a glicina, assim como a baixa razão molar ferro: zinco nesses moluscos. Similarmente ao que ocorre com o cobre, o zinco induz a produção da metalotioneínas, assim como participa como componente funcional de várias proteínas, atuando na expressão e regulação gênicas (Miles, Hawksworth, Beattie & Rodilla, 2000).

A carência do zinco no organismo humano pode provocar diversos efeitos, como por exemplo, dermatite pustular, alopecia, perda de peso, diarreia, comprometimento imunológico, hipogonadismo e dificuldades na cicatrização de úlceras (Muhamed &

Vadstrup, 2014). A carência deste nutriente é também uma das causas de imunodepressão em crianças (Macêdo et al.,2010).

Os resultados do estudo confirmam que espécies distintas de um mesmo local concentram diferentes níveis de um mesmo elemento metálico. Esse fato pode estar relacionado tanto a fatores metabólicos específicos quanto a características do habitat, sendo que, mais provavelmente, está relacionado a ambos os fatores. No que se refere ao habitat, Cheng, Mana, Nie & Wong (2013) afirmaram que o sedimento é a principal fonte de metais para os organismos e que essa matriz os acumula em níveis substancialmente mais altos do que a água. Isso pode explicar, em parte, os níveis expressivos e mais altos do ferro e do manganês em *M. guyanensis* em relação a *C. rhizophorae*, já que a primeira, por ser infaunal, tem um maior contato com o sedimento em relação à segunda espécie, que vive sobre substratos consolidados na faixa entremarés.

As variações nas concentrações de metais entre locais necessitam de investigações adicionais sobre os fatores causais, mas é possível indicar que os níveis mais altos de cobre nas duas espécies e de zinco em *C. rhizophorae* no L4 (Belmonte), podem ter relação com a atividade de manutenção de pequenas embarcações na faixa litorânea desse município, já que ambos os metais são componentes da maioria das tintas antivegetativas, utilizadas na pintura náutica para evitar o acúmulo de organismos incrustantes (*fouling*).

Conclusão

Embora todos os microelementos investigados tenham sido encontrados em ambos os bivalves, *C. rhizophorae* teve absoluto destaque no que se refere à concentração de zinco, em todos os locais. As espécies foram similares em conteúdo de cobre e *M. guyanensis* foi protagonista em relação à concentração de ferro, assim como expressou teores mais altos de manganês em relação a *C. rhizophorae*.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia - FAPESB e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, ambas pela concessão da bolsa de doutorado ao primeiro autor e à Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira - CEPLAC, pelo uso do Laboratório de Solos para a digestão das amostras. Aos extrativistas pelo auxílio nas coletas; à Deise Costa e à Julia Benevides, pelo auxílio no processamento laboratorial; ao Vinícius H. C. da Silva, pelo auxílio nos procedimentos e informações analíticas; aos revisores anônimos *Ad hoc*, pelas contribuições ao manuscrito.

Referências

- Barbosa, I. S., Brito, G. B., Santos, G. L., Santos, L. N., Teixeira, L. S. G., Araujo, R. G. O., & Korn, M. G. A. (2019). Multivariate data analysis of trace elements in bivalve molluscs: Characterization and food safety evaluation. *Food Chemistry*, 273 (1), 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.063>.
- Boehs, G., Luz, M. S. A., & Andrade, V. R. D. (2019). Molecular identification of cryptic species of oysters (Genus *Crassostrea* Sacco, 1897) in the Northeast Atlantic coast of Brazil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 45 (2), 1-6. doi: 10.20950/1678-2305.2019.45.2.446.
- Boehs, G., Villalba, A., Ceuta, L. O., & Luz, J. R. (2010). Parasites of three Commercially exploited bivalve mollusc species of the estuarine region of the Cachoeira river (Ilhéus, Bahia, Brazil). *Journal of Invertebrate Pathology*, 103 (103), 43-47. doi: 10.1016/j.jip.2009.10.008.
- Brasil. (1965). *Decreto nº 55.871 de 26 de março de 1965*. Brasília: Diário Oficial, 09 de abril de 1965.

- Cai, C., & Wang, W. X. (2019). Inter-species difference of copper accumulation in three species of marine mussels: Implication for biomonitoring. *Science of the Total Environment*, 692 (20), 1029-1036. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.298.
- Campolim, M. B., Henriques, M. B., & Barbieri, E. (2018). Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn in mussels collected in Santos Bay, São Paulo, Brazil: Limits required by local legislation. *Boletim do Instituto de Pesca*, 44 (4), 1-8. 10.20950/1678-2305.2018.44.4.374.
- Cheng, Z., Mana, Y. B., Nie, X. P., & Wong, M. H. (2013). Trophic relationships and health risk assessments of trace metals in the aquaculture pond ecosystem of Pearl River Delta, China. *Chemosphere*, 90 (7), 2142-2148. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.11.017.
- Correia, L. T. A., Veiga, G. R. S., Santos, T. M. M., Cavalcante, C. G., Sawaya, A. L., & Florêncio, T. M. M. T. (2018). Eficácia do sururu (*Mytella falcata*) na recuperação de crianças desnutridas, moradoras de favelas de Maceió, Alagoas. *Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil*, 18 (01), 223-229. doi: 10.1590/1806-93042018000100011.
- FAO. [Food and Agriculture Organization] (2020). The state of world fisheries aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome. doi: 10.4060/ca9229en.
- Gimenez, M. S., Oliveros, L. B. & Gomez, N. N. (2011). Nutritional deficiencies and phospholipid metabolism. *International Journal of Molecular Science*, 12 (4), 2408-2433. doi:10.3390/ijms12042408.
- Goyer, R. A., & Clarkson, T. W. (2001). Toxic Effects of Metals. In: Klaasen, C.D., Ed., Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons, 6th Edition, McGraw-Hill, New York, 861-867.
- LaChance, L. R., & Ramsey, D. (2018). Antidepressant foods: An evidence-based nutrient

- profiling system for depression. *World Journal of Psychiatry*, 8 (3), 97-104. doi: 10.5498/wjp.v8.i3.97.
- Lindqvist, H. M., Gjertsson, I., Eneljung, T., & Winkvist, A. (2018). Influence of blue mussel (*Mytilus edulis*) intake on disease activity in female patients with rheumatoid arthritis: The MIRA randomized cross-over dietary intervention. *Nutrients*, 10 (481), 1-14. doi: 10.3390/nu10040481.
- Lino, A. S., Galvão, P. M. A., Longo, R. T. L., Azevedo-Silva, C. E., Dorneles, P. R., Torres, J. P. M., & Malm, O. (2016). Metal bioaccumulation in consumed marine bivalves in Southeast Brazilian coast. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 34 (1), 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2015.12.004>.
- Macêdo, E. M. C., Amorim, M. A. F., Silva, A. C. S., & Castro, C. M. M. B. (2010). Efeitos da deficiência de cobre, zinco e magnésio sobre o Sistema imune de crianças com desnutrição grave. *Revista Paulista de Pediatria*, 28 (3), 329-336. doi: 10.1590/s0103-05822010000300012.
- Maggini, S., Pierre, A., & Calder, P. C. (2018). Imune function and micronutrient requirements change over the life course. *Nutrients*, 10 (1531), 1-27. doi: 10.3390/nu10101531.
- Miles, A. T., Hawksworth, G. M., Beattie, J. H. & Rodilla, V. (2000). Induction, regulation, degradation and biological significance of mammalian metallothioneins. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 35 (1), 35-70. doi: 10.1080/10409230091169168.
- Muhamed, P. K., & Vadstrup, S. (2014). Zinc is the most important trace element. *Ugeskr Laeger*, 176 (5), 431-433, V11120654.
- Pedrosa, L. F. C., & Cozzolino, S. M. F. (2001). Composição Centesimal e de Minerais de

- Mariscos Crus e Cozidos da Cidade de Natal/RN. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 21 (2), 154-157. doi: 10.1590/s0101-20612001000200006.
- Prato, E., Biandolino, F., Parlapiano, I., Giandomenico, S., Denti, G., Calò, M., Spada, L., & Di Leo, A. (2019). Proximate, fatty acids and metals in edible marine bivalves from Italian market: Beneficial and risk for consumers health. *Science of The Total Environment*, 648 (1), 153-163. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.382.
- Rodríguez-Hernandez, A., Zumbado, M., Henríquez-Hernández, A., Boada, L. D., & Luzardo, O. P. (2019). Dietary intake of essential, toxic and potentially toxic elements from mussels (*Mytillus* spp.) in the Spanish population: A nutritional assessment. *Nutrients*, 11 (864), 1-18. doi: 10.3390/nu11040864.
- Scheiber, I. F., Mercer, J. F. B., & Dringen, R. (2014). Metabolism and functions of copper in brain. *Progress in Neurobiology*, 116 (1), 33-57. doi: 10.1016/j.pneurobio.2014.01.002.
- Tabakaeva, O. V., Tabakaev, A. V. & Piekoszewski, W. (2018). Nutritional composition and total collagen content of two commercially important edible bivalve molluscs from the Sea of Japan coast. *Journal of Food Science and Technology*, 55 (12), 4877-4886. doi: 10.1007/s13197-018-3422-5.
- Weng, N., Jiang, H., & Wang, W. X. (2019). Novel insights into the role of copper in critical life stages of oysters revealed by High-Resolution Nano SIMS Imaging. *Environmental Science & Technology*, 53 (24), 14724-14733. doi: 10.1021/acs.est.9b05877.

CAPÍTULO 3

PARASITOS E PATOLOGIAS NA OSTRAS *Crassostrea gasar* (ADANSON, 1757) EM ESTUÁRIOS COM DIFERENTES NÍVEIS DE ELEMENTOS METÁLICOS

RESUMO

O objetivo deste estudo foi comparar ostras *Crassostrea gasar* (Adanson, 1757) de dois estuários do litoral sul da Bahia com diferentes impactos metálicos (St1 - Ilhéus e St2 - Santa Cruz Cabralia) quanto à presença de parasitos. As ostras foram avaliadas quanto ao tamanho, peso e índices de condição, organismos macro e microscopicamente associados (n = 80/local). Para a análise parasitária de riqueza, prevalência e carga parasitárias (RP, PP e CP, respectivamente) foi utilizada técnica de histologia convencional, com fixação em solução de Davidson, inclusão em parafina e coloração com Hematoxilina e Eosina. Ostras da St2 tiveram pesos e índices de condição mais baixos ($p < 0,05$) em relação às ostras da St1. A análise macroscópica evidenciou a presença de uma planária (Turbellaria) e um pinoterídeo [*Zaops ostreum* (Say, 1817)]. Nos tecidos, foram observadas três espécies de ciliados, um apicomplexo e três espécies de platielminhos (RP: St1=4 e St2=6). O parasito mais prevalente foi *Nematopsis* sp. (PP: St1= 56,25%; St2= 66,25%), que também apresentou a maior média em termos de carga parasitária (CP = 4), juntamente com *Sphenophrya* sp., ambos na St2, sendo que esse último parasito foi responsável pela formação de um tumor conhecido por xenoma. Células marrons, com função de excreção e detoxificação em moluscos bivalves, foram encontradas em 27,5% das ostras da St1 e em 57,5% da St2. Os resultados apontam para uma possível correlação dos poluentes metálicos com células marrons, xenomas, condição de peso das ostras e expressão de *Nematopsis* sp.

Palavras-chave: Bivalves, Metais, Metazoários, Poluição, Protozoários.

INTRODUÇÃO

Moluscos bivalves são mundialmente reconhecidos como organismos sentinelas em estudos de qualidade ambiental de sistemas aquáticos, sendo utilizados como bioindicadores de diversos poluentes, especialmente de elementos metálicos (MELWANI et al., 2014). Atividades antrópicas diversas incrementam os níveis de metais nos ambientes aquáticos, o que eleva o risco de estes causarem danos à biota desses sistemas, efeito este que é potencializado pela sua baixa degradabilidade e alta persistência no ambiente (MARCOVECHIO; FREIJE, 2013).

Uma série de organismos, pertencentes a grupos como vírus, bactérias, protozoários, fungos e metazoários se associam como parasitos a moluscos bivalves (LAUCKNER, 1983) e várias dessas parasitoses foram descritas na costa brasileira (BOEHS et al., 2019b). Nenhum dos estudos enfatizou uma possível correlação entre parasitos e poluentes, entretanto, algumas investigações realizadas em outros países apontam para uma correlação positiva entre o efeito de patógenos e a carga de poluentes do meio (KIM et al., 2008; MORLEY, 2010; MINGUEZ et al., 2012; PAPO et al., 2014; MONTENEGRO et al., 2019), sendo, portanto, esta a proposta do presente estudo.

Crassostrea gasar (Adanson, 1757) (Ostreidae), denominada de “ostra do fundo” ou “ostra da pedra”, adere-se a substratos inconsolidados, naturais ou artificiais, em regiões estuarinas, sendo comercializada e consumida em toda a costa brasileira (BOEHS et al., 2019a) e também cultivada no sul do Brasil (LEGAT et al., 2017).

A hipótese deste estudo é de que ostras *C. gasar* contendo maior concentração de elementos metálicos reconhecidamente prejudiciais a metazoários (e.g., arsênio, cádmio e chumbo) apresentam carga parasitária mais alta em relação a outras de locais menos impactados por esses metais, já que supostamente podem estar imunodeprimidas no primeiro caso. Portanto, objetivou-se neste estudo analisar parâmetros parasitológicos (riqueza, prevalência, carga parasitária e afecção dos tecidos) em amostras de ostras coletadas em dois estuários do litoral do estado da Bahia com distinto impacto por metais.

MATERIAL E MÉTODOS

Coletas

As coletas de material biológico (exemplares de *C. gasar*) foram feitas em dois ambientes estuarinos do sul da Bahia, denominados de estações (St), sendo a St1 localizada no estuário do Cururupe, em Ilhéus (14°88'S; 39°02'O) e a St2 em Santa Cruz Cabrália (16°27'S; 39°02'O) (**Figura 1**).

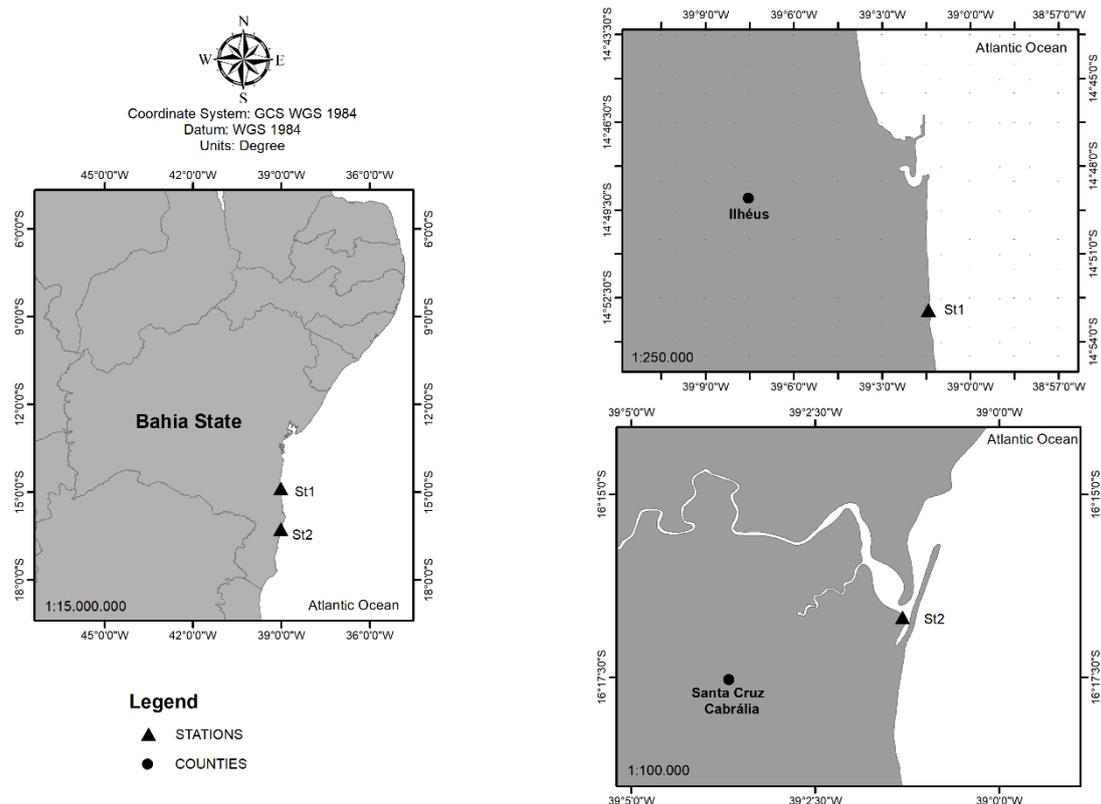


Figura 1. Mapa do litoral sul do Estado da Bahia, mostrando a localização das estações de coleta (St1 e St2).

Os critérios para a escolha desses locais foram os teores de elementos metálicos verificados em estudo anterior (SILVA, 2019; SANTOS; BOEHS, 2021). As coletas foram feitas no mês de junho de 2021, durante maré baixa de sizígia. As ostras (n total/local = 140) foram coletadas com o auxílio de uma faca, em estruturas de concreto (St1: ponte do Cururupe, Ilhéus e St2: píer em Santa Cruz Cabrália) (**Figura 2**). Estas foram acondicionadas em baldes e transportadas em

semisubmersão até o laboratório, onde foram processadas em 24 horas. Em cada local foram aferidas as condições momentâneas de temperatura e salinidade da água, com o uso respectivo de um termômetro de mercúrio padrão e de um refratômetro óptico manual (Marca Atago, S/Mill). A identificação da ostra foi feita com base em [Boehs et al. \(2019a\)](#).

As coletas foram previamente autorizadas pelo Instituto Chico Mendes da Biodiversidade e Conservação - ICMBio, através da concessão de número 20912-6/2018.



Figura 2. Imagem da realização da coleta de ostras na St2 (Santa Cruz Cabrália).

Análise de parasitos

As ostras ($n = 80$ /estação amostral) foram lavadas fechadas em água corrente e depois foram medidas quanto ao seu maior eixo (altura = eixo dorso-ventral; [GALTSOFF, 1964](#)), utilizando-se um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm (modelo Starfer Caliper) e posteriormente foram pesadas quanto ao peso da carne e da concha, em balança de precisão de 0,001 g (Marte).

Cada ostra foi aberta e examinada quanto à evidência de sinais macroscópicos de parasitos e/ou de enfermidades (e.g., alterações de cor, textura,

etc.). Depois, foram acondicionadas em cassetes histológicas (K7) e então fixadas em solução de Davidson (Formaldeído a 37%, Etanol absoluto, Água do mar, Glicerina e Ácido Acético Glacial) (SHAW; BATTLE, 1957), na qual foram mantidas por um período de 24 horas, após o que as amostras foram lavadas com água de torneira e depois transferidas para etanol a 70% (conservante). Com o auxílio de um bisturi, de cada indivíduo foi retirado um segmento de cerca de 5 mm de espessura, através de corte transversal, de modo a incluir os principais órgãos de ocorrência de parasitos do animal, como manto, brânquias, palpos labiais, músculo adutor, gônadas e glândula digestiva (BOEHS et al., 2019b).

Os tecidos da ostra foram desidratados em série alcoólica - 80%, 90%, 95% e 100% - e depois diafanizados (clareados) em xileno (dois banhos, 1 hora cada) e por fim imersos em dois banhos de 1 hora cada de parafina, para impregnação, após o que as peças foram incluídas em parafina. Os cortes histológicos, de aproximadamente 6 micrômetros de espessura, foram feitos em micrótomo manual (marca Leica) e estes, após colocados em banho-maria, foram dispostos sobre lâmina histológica, em triplicata. Os tecidos foram hidratados para o procedimento da coloração, passando primeiramente, por séries de xileno (dois banhos), mistura (etanol absoluto e xilol, nas proporções 1:1) e etanol: 100% (dois banhos), 95%, 90%, 80% e 70%, sendo 5 min para cada reagente, após o que os tecidos foram lavados em água corrente, tomando-se o cuidado para não haver o “descolamento” dos tecidos da lâmina.

Os tecidos foram corados com Hematoxilina de Harris e Eosina (H&E) (HOWARD et al., 2004), sendo que primeiramente com a hematoxilina e depois com a eosina, intercalado por uma lavagem rápida em água destilada, sendo por 15 segundos cada, acrescido de uma lavagem com água destilada ao final. Finalmente, realizou-se o procedimento final de desidratação dos tecidos em série alcoólica decrescente (70% e 80% - 2' cada; 90% e 95%, 3' cada; 100%, dois banhos de 5' cada), mistura álcool e xilol (5') e xilol (dois banhos de 5' cada) e a montagem das lâminas entre lâmina e lamínula, com uso de Entellan.

Os cortes histológicos foram avaliados em microscopia de luz (Olympus CX31), em aumentos de 10, 40 e 100 x quanto à presença de parasitos intra e extracelulares, assim como de sinais de alterações nos tecidos. As referências para a identificação foram baseadas em estudos anteriores realizados na costa brasileira, especialmente a revisão realizada por [Boehs et al. \(2019b\)](#). Mediante a análise histológica das secções gonadais, foi também feita a sexagem dos exemplares, tomando-se como referência a presença de células da linhagem germinativa masculina, feminina ou de ambas nos folículos gonádicos.

Tratamento dos dados

Para o cálculo do percentual de carne em relação ao peso total do exemplar, foi utilizada a fórmula: $\text{Rendimento (R)} = \text{peso úmido da carne} / \text{peso úmido total} \times 100$; para o cálculo do Índice de Condição (IC), também denominado de Índice da Concha (*IC Shell*), foi usada a fórmula: $\text{IC} = \text{peso úmido da carne} / \text{peso úmido da concha} \times 100$. Ambos os índices foram expressos em porcentagem e baseados em [Rainer e Mann \(1992\)](#).

A proporção sexual foi calculada como o número de machos divididos pelo número de fêmeas, sendo que os resultados foram também expressos em porcentagem, de acordo com a frequência relativa de machos, fêmeas e hermafroditas contidos nas amostras de cada local. A prevalência parasitária (PP) foi calculada como: $\text{P\%} = (n / t) \times 100$, onde n = número de espécimens infectados por “espécie x” e t = número total de espécimens de ostras analisados x 100 ([BUSH et al., 1997](#)). A quantificação dos parasitos (intensidade de infecção ou carga parasitária = CP) foi feita por contagem simples dos campos e o número de espécies (riqueza parasitária = RP) por contagem simples do número de espécies identificadas.

Na comparação dos parâmetros de biometria (altura e peso) e índices de condição (Índice de Condição e Rendimento) na ostra entre os locais, foi utilizada Análise de Variância Unifatorial, com nível de significância de $\alpha=0,05$, usando o programa BioEstat 5.3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros abióticos

A temperatura da água na St1 foi de 22°C, valor próximo à média anual observada por Boehs e Freitas (2021) (23°C) para o ano de 2018 e na St2 a temperatura foi de 23°C. A salinidade na St1 foi zero, sendo que nesse local, os autores mencionados verificaram variação entre zero e 15 ao longo do ano de 2018. Na St2, a salinidade observada foi de 32.

Parâmetros da biometria e índices de condição

Os resultados da biometria das ostras e do cálculo dos índices (Índice de Condição e Rendimento) estão expressos na **tabela 1**. Como pôde ser observado pelos resultados da ANOVA, apesar de o lote de ostras da St2 ter apresentado, em média, tamanho maior em relação às ostras da St1, estas eram mais leves em termos de peso da carne e peso da concha, assim como apresentaram índices mais baixos em relação à St1.

Tabela 1. Médias e desvio padrão da altura (cm), peso (g) e dos índices (IC = Índice de condição e R = Rendimento) de *Crassostrea gasar* coletada em dois estuários do sul da Bahia (Brasil) e valores de F e p da ANOVA.

Estação amostral	Altura (cm)	Peso Total (g)	Peso Concha (g)	Peso Carne (g)	IC (%)	R (%)
St1	4,79 ± 0,62 [3,26 - 6,16]	16,28 ± 6,24 [5,90 - 31,06]	14,25 ± 5,60 [5,08 - 27,47]	2,03 ± 0,75 [0,53 - 3,92]	14,82 ± 3,48 [4,70 - 22,66]	12,82 ± 2,65 [4,49 - 18,47]
St2	5,10 ± 0,93 [3,25 - 6,92]	13,81 ± 6,32 [2,87 - 31,92]	12,47 ± 5,85 [2,53 - 28,72]	1,34 ± 0,56 [0,34 - 3,53]	11,53 ± 3,11 [5,50 - 20,00]	10,27 ± 2,49 [5,21 - 16,66]
Comparações entre estações	F= 6,0270 p= 0,0145	F=6,1821 p=0,0133	F=3,8358 p=0,0494	F=43,5295 p=0,0001	F=39,922 p=0,0000	F=39,4394 p=0,0000

St1-Ilhéus; St2-Santa Cruz Cabralia; n/local = 80; entre colchetes valores mínimos e máximos.

Parasitos

(a) Observações macroscópicas

Não foram observados sinais macroscópicos de enfermidades, como, por exemplo, alteração na textura ou coloração da carne ou ainda a presença de macroparasitos. Na St2 foi encontrada uma planária (Platyhelminthes: Turbellaria) (dimensão: 25,71 mm de comprimento) em uma concha vazia de uma ostra com 5 cm de altura (**Figura 3**). As planárias são reconhecidas predadoras de ostras e causam muitos prejuízos no cultivo desses moluscos ([PONTINHA, 2009](#)).

Na St2 foi também observado um decápode correspondente a *Zaops ostreum* (Say, 1817) (Crustacea: Brachyura: Pinnotheridae) (*oyster pea crab*) no interior de uma ostra com 6,09 cm de altura, que estava viva (**Figura 4**). O exemplar de crustáceo apresentou as seguintes dimensões: largura da carapaça = 8,2 mm, comprimento da carapaça = 6,33 mm e envergadura (carapaça + apêndices) = 11,19 mm. Este estava alojado na cavidade do manto (entre o manto e a concha), tendo agregado uma bolsa de lodo no local, indicada na **Figura 3**. O hospedeiro (ostra) tinha peso total de 20,73 g e peso da carne de 2,09 g.



Figura 3. Organismos macroscopicamente associados com *Crassostrea gasar* em Santa Cruz Cabrália (Bahia), em coleta realizada em 27/06/2021. Seta superior indica planária encontrada entre as valvas de uma ostra morta e seta inferior a localização do pinoterídeo *Zaops ostreum* em outra ostra, viva.



Figura 4. Vista dorsal macroscópica de pinoterídeo (*Zaops ostreum*) associado à ostra *Crassostrea gasar* na St2 (Santa Cruz Cabralia, Bahia).

Os pinoterídeos são crustáceos que se associam a outros organismos, como moluscos, cujos hospedeiros são utilizados como abrigo (inquilinismo) e alimentação (comensalismo) (BOEHS et al., 2019b). Entretanto, por vezes, podem causar danos ou afetar a sua condição fisiológica, causando diminuição de peso, caracterizando parasitismo (BOEHS; MAGALHÃES, 2004). *Zaops ostreum* foi encontrada anteriormente em ostras do litoral do estado da Bahia (ANDRADE, 2017).

(b) Observações microscópicas

Proporção sexual

Na St1, foram observados 29 machos (**Figura 5A**) e 50 fêmeas (**Figura 5B**), o que equivale a uma proporção sexual macho: fêmea (M: F) de 0,58: 1, correspondente a 36,70% de machos e 63,30% de fêmeas. Em um indivíduo desse local, não foi possível fazer a determinação sexual, em função de castração

parasitária. Na St2, foram observados 30 machos e 49 fêmeas, além de um hermafrodita (**Figura 5C**), o que representou uma proporção sexual M: F de 0,61: 1, o que equivaleu a 37,97% de machos e de 62,03% de fêmeas. Observa-se, além do predomínio das fêmeas em ambos os locais, que os resultados foram similares.

Ostras do gênero *Crassostrea* são hermafroditas sequenciais, com tendência a protandria ([GALTSOFF, 1964](#)), o que explica o maior número de fêmeas em ambos os locais, uma vez que as amostras foram compostas por ostras já relativamente grandes (em torno de 5 cm de altura). O maior número de fêmeas em relação a machos em ostras desse gênero foi registrado também em estudos anteriores feitos na costa brasileira ([CHRISTO, 2006](#); [LENZ; BOEHS, 2011](#)).

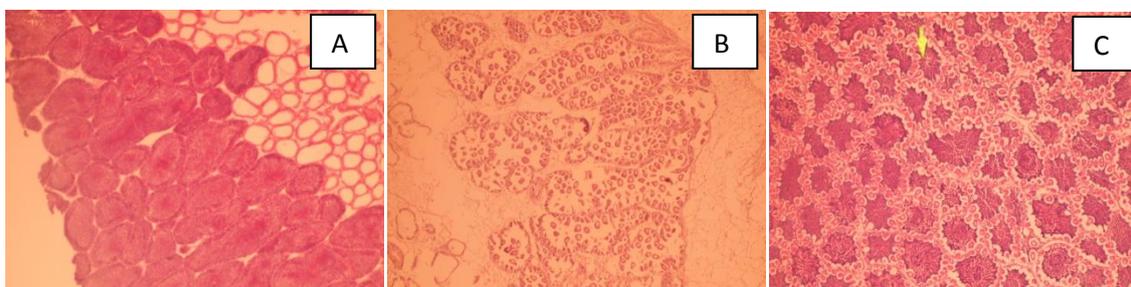


Figura 5. Cortes histológicos de macho (A), fêmea (B) e hermafrodita (C) de *Crassostrea gasar*. Coloração: H&E. Aumentos de 40x.

Parasitos

Além de alguns metazoários não identificados, foram observados os seguintes organismos associados a *C. gasar* (**Figura 6**):

- *Ancistrocoma* Chatton e Lwoff, 1926 (Ciliophora: Ancistrocomidae)
- *Sphenophrya* Chatton e Lwoff, 1921 (Ciliophora: Sphenophryidae)
- *Trichodina* Ehrenberg, 1830 (Ciliophora: Trichodinidae)
- *Nematopsis* Schneider, 1892 (Apicomplexa: Eugregarinida: Porosporidae)
- *Urastoma cyprinae* (Graff, 1882) (Platyhelminthes: Urastomidae)
- Digenea não identificado (Platyhelminthes)
- *Tylocephalum* Linton, 1890 (Platyhelminthes: Tetragonocephalidae)

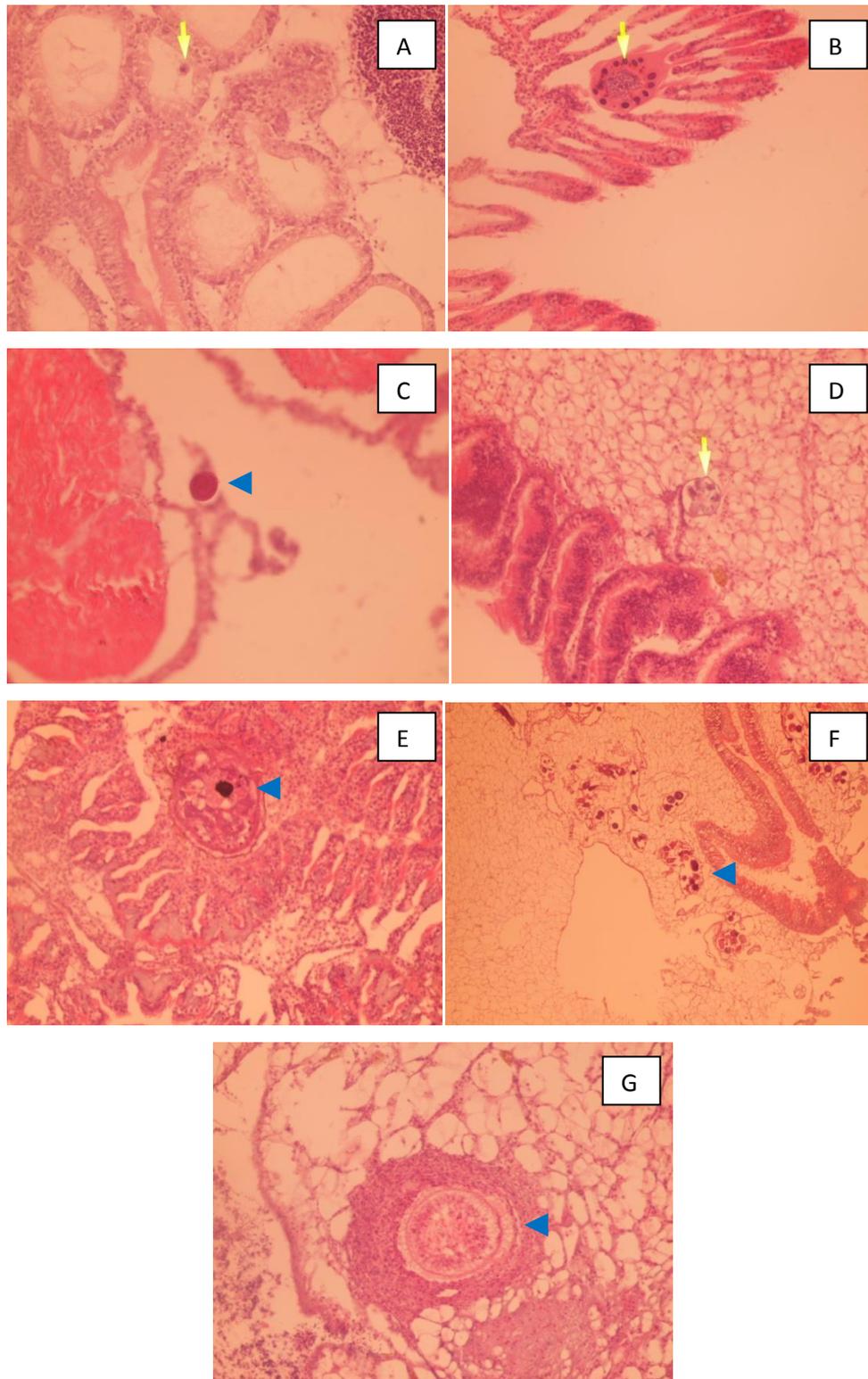


Figura 6. Parasitos observados nos tecidos da ostra *Crassostrea gasar* no sul da Bahia (Brasil), sendo: **A:** *Ancistrocoma* sp. no interior de ácino da glândula digestiva, **B:** *Sphenoprhrya* sp., com formação de xenoma, no epitélio branquial; **C:** *Trichodina* sp. na cavidade do manto; **D:** Oocistos de *Nematopsis* sp. no manto, nas proximidades das bordas do manto; **E:** *Urastoma cyprinae* nas brânquias (mostrando detalhe de ocelo); **F:** Esporocistos e cercárias de um Digenea não identificado na região do manto; **G:** metacestóide de *Tylocephalum* sp. em processo de reabsorção no manto, próximo à glândula digestiva. Aumentos de 40 x. Coloração: H&E.

A riqueza parasitária foi de 04 (quatro) espécies na St1 e de 06 (seis) na St2, sendo que nesse cálculo não foram contabilizados dois metazoários não identificados. O parasito mais frequente foi o apicomplexo *Nematopsis* sp., que apresentou prevalência de 56,25% na St1 e de 66,25% na St2. Os demais parasitos foram pouco frequentes (PP<7%) em ambas as estações de coleta (**Tabela 2**).

Tabela 2. Prevalências de parasitos microscopicamente associados à ostra *Crassostrea gasar* em dois estuários do litoral sul do estado da Bahia (Brasil).

Parasitos	St1	St2
<i>Ancistrocoma</i> sp.	6,25%	2,5%
<i>Sphenophrya</i> sp.	-	5%
<i>Trichodina</i> sp.	-	3,75%
<i>Nematopsis</i> sp.	56,25%	66,25%
<i>Urastoma cyprinae</i>	3,75%	3,75%
Digenea NI*	1,25%	-
<i>Tylocephalum</i> sp.	-	1,25%
Metazoários NI*	2,5%	2,5%

* NI = Não identificados; n/estação amostral = 80.

No caso de *Sphenophrya* sp., observada na St2 (**Tabela 2**), houve formação de um tumor conhecido como xenoma (**Figura 6B**) e em um indivíduo da St1 foram observados corpos eosinofílicos inespecíficos no interior dos ácinos digestivos. Também foi registrada a presença de células marrons (*brown cells*) (**Figura 7**), em **27,5%** das ostras da St1 e em **57,5%** das ostras da St2, sendo que os órgãos mais prevalentes quanto à ocorrência dessas células foram o manto e a glândula digestiva (**Tabela 3**). Essas células têm funções diversas, incluindo excreção e detoxificação ([RIBEIRO, 2014](#)), além de remover resíduos e outros produtos associados a condições de parasitismo ([CHENG; BURTON, 1966](#)).

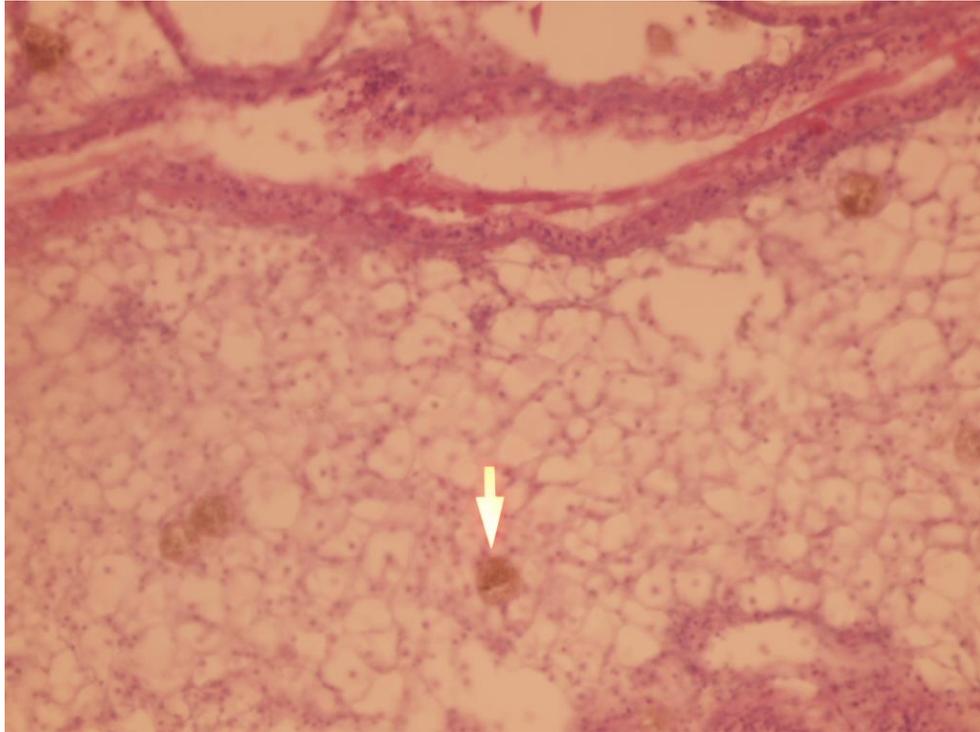


Figura 7. Células marrons no manto de *Crassostrea gasar*. Aumento de 40x. Coloração: H&E.

Ancistrocoma sp. foi vista apenas no interior dos ácinos da glândula digestiva (**Figura 6A**), *Sphenophrya* sp. e *Urastoma cyprinae* nas brânquias (**6B e 6E**, respectivamente), *Trichodina* sp. na cavidade palial (**Figura 6C**) e *Tylocephalum* sp. no manto, nas proximidades da glândula digestiva (**Figura 6G**). O trematódeo digenético esteve localizado no manto (**Figura 6F**), brânquias, glândula digestiva e gônadas. *Nematopsis* sp. foi registrada no manto (**Figura 6D**), brânquias, palpos labiais, músculo adutor, glândula digestiva e gônadas (**Tabela 4**). Esses resultados corroboram com observações anteriores feitas na costa brasileira compiladas em [Boehs et al. \(2019b\)](#).

A carga parasitária média (intensidade da infecção) variou de 1 a 4 parasitos/indivíduo (**Tabela 5**). No caso do trematódeo digenético, não foi possível realizar a contagem, em função do alto número de parasitos.

Tabela 3. Frequência relativa (%) de células marrons nos órgãos de *Crassostrea gasar*, num total de 22/80 exemplares na St1 e de 46/80 exemplares na St2.

Estações amostrais	St1	St2
Manto	63,63	63,04
Brânquias	4,54	6,52
Palpos Labiais	9,09	21,73
Glândula Digestiva	50	60,86
Gônadas	9,9	6,52

Tabela 4. Distribuição percentual (%) de *Nematopsis* sp. nos órgãos de *Crassostrea gasar* nas duas estações de coleta.

Estações amostrais	St1	St2
Manto	51,11	54,71
Brânquias	24,44	45,28
Palpos Labiais	31,11	30,18
Glândula Digestiva	24,44	41,50
Gônadas	-	1,88
Músculo adutor	28,57	44,44

Tabela 5. Carga parasitária*/total de infectados em diferentes órgãos de *Crassostrea gasar* nas duas estações de coleta e médias por hospedeiro.

Locais/espécies	<i>Ancistrocoma</i> sp.		<i>Sphenophrya</i> sp.		<i>Trichodina</i> sp.		<i>Nematopsis</i> sp.		<i>Urastoma cyprinae</i>		Digenea NI		<i>Tylocephalum</i> sp.	
Estações amostrais	St1	St2	St1	St2	St1	St2	St1	St2	St1	St2	St1	St2	St1	St2
Manto	-	-	-	-	-	-	32/45	65/53	-	-	**	-	-	1/1
Brânquias	-	-	-	16/4	-	-	12/45	45/53	4/4	2/2	**	-	-	-
Palpos Labiais	-	-	-	-	-	-	26/45	43/53	-	-	-	-	-	-
Glândula Digestiva	5/5	2/2	-	-	-	-	15/45	52/53	-	-	**	-	-	-
Gônadas	-	-	-	-	-	-	-	1/53	-	-	**	-	-	-
Outros	-	-	-	-	-	2/2 ^a	5/45 ^b	10/53 ^b	-	-	-	-	-	-
Total de parasitos	5	2	-	16	-	-	90	216	4	2	**	-	-	1
Média/hospedeiro	1	1	-	4	-	1	2	4,07	1	1	**	-	-	1

* Contagem de parasitos por campo analisado; ** Valores não contabilizados em razão de alta infecção; NI = Não identificado; ^a = cavidade do manto; ^b = músculo adutor.

O trematódeo digenético, na forma de massas germinativas e cercáreas, contidas no interior de esporocistos (**Figura 6F**), causou afecção e destruição de tecidos, o que ficou especialmente evidenciado na gônada, em que não somente estavam ausentes as células da linhagem germinativa, como também houve evidência de ausência de folículos gonádicos, demonstrando castração parasitária, um processo irreversível (BOEHS et al., 2019b). Estudos anteriores realizados em diversos bivalves na costa brasileira (BOEHS; MAGALHÃES, 2004; ZEIDAN et al., 2012; FARIAS et al., 2017; RIBEIRO et al., 2018) confirmam a castração.

Apesar desse efeito negativo sobre a reprodução, em geral, a prevalência desse patógeno é baixa (2-3%) nas populações naturais (BOEHS et al., 2019b), o que minimiza o efeito do mesmo sobre os estoques naturais e cultivos. Uma exceção foi registrada em *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791) na Ilha de Santa Catarina por Farias et al. (2017), que apresentou prevalência média desse parasito de 80% e alta mortalidade do hospedeiro em questão.

No caso de *Nematopsis* sp. (**Figura 6D**), embora este seja o parasito mais frequente em moluscos bivalves da costa brasileira (BOEHS et al., 2019b), a sua patogenicidade é geralmente baixa. Este é um parasito intracelular, que infecta hemócitos (fagócitos) do molusco e sua forma infectante é um oocisto, contendo em seu interior um único esporozoíto, uma característica das gregarinas (LAUCKNER, 1983). Em ostras do gênero *Crassostrea* da costa brasileira, é frequente cada fagócito apresentar 2-3 oocistos (SABRY et al., 2007), o que foi confirmado no presente estudo. Embora este apresente ocorrência sistêmica no organismo do bivalve, observa-se que há uma preferência do parasito por determinados órgãos, como manto, brânquias e glândula digestiva (**Tabela 4**), o que foi observado também em estudos anteriores (CEUTA; BOEHS, 2012; COVA et al., 2015; SÜHNEL et al., 2016; CARNEIRO-SCHAEFER et al., 2017).

Na comparação com outras espécies de bivalves, a ocorrência do ciliado *Sphenophraya* sp. (**Figura 6B**) é mais comum em ostras (BOEHS et al., 2012). Como visto no presente estudo e também em trabalhos anteriores (BOEHS et al., 2009; ZEIDAN et al., 2012; BRANDÃO et al., 2013; LUZ; BOEHS, 2015), apesar

de sua baixa prevalência, esse ciliado pode causar xenoma, um tumor das células epiteliais branquiais.

Assim como observado no presente estudo, *Ancistrocoma* (**Figura 6A**) é um ciliado encontrado no interior dos ácinos da glândula digestiva (ZEIDAN et al., 2012), não tendo-se verificado neste, assim como em estudos anteriores (BOEHS et al., 2019b), potencial de afecção severa desse protozoário.

Já *Trichodina* sp. (**Figura 6C**) é mais frequentemente observada na cavidade palial dos moluscos bivalves (SABRY et al., 2011; BRANDÃO et al., 2013), o que foi confirmado no presente estudo. A patogenicidade desse ciliado é baixa para o molusco (BOEHS et al., 2019b), ao contrário do que ocorre com outros hospedeiros, como peixes.

O turbelário *Urastoma cyprinae* (**Figura 6E**) ocorre frequentemente entre os filamentos branquiais de ostras (SABRY et al., 2011; ZEIDAN et al., 2012; BRANDÃO et al., 2013; COVA et al., 2015), o que foi confirmado por este estudo. Segundo avaliação de Boehs et al. (2019b), este não causa danos severos ao hospedeiro, salvo se estiver presente em grande número, podendo, neste caso, afetar as funções de respiração e alimentação do bivalve.

Tylocephalum sp., na sua forma de metacestóide (**Figura 6G**), é encontrado em baixa prevalência em moluscos, geralmente próximo à glândula digestiva, sendo, via de regra, encapsulado e destruído pelo hospedeiro (BOEHS et al., 2010), o que foi confirmado neste estudo, isto é, havia evidência de encapsulamento e destruição do parasito. Elasmobrânquios são os hospedeiros definitivos desse cestóide (BOEHS et al., 2019b).

Possíveis correlações de impactos metálicos com as parasitoses observadas

Os estudos de [Silva \(2019\)](#) e de [Santos e Boehs \(2021\)](#) (Capítulo 1 – presente Tese) indicam ausência dos elementos arsênio, cádmio e chumbo nos tecidos de bivalves em Ilhéus. Entretanto, o segundo estudo indicou a presença do arsênio e de altos níveis de chumbo em Santa Cruz Cabralia (St2). Esse fato pressupõe uma possível influência desses poluentes na carga parasitária de *Nematopsis* sp. (que esteve em dobro em relação à St1) (**Tabelas 4 e 5**), na formação de xenomas e também de presença mais conspícua de células marrons nesse local (**Tabela 3**), esta uma possível estratégia de detoxificação das ostras desse local. A lembrar, também, que as ostras da St2, apesar de maiores, tinham peso corporal mais baixo em relação às ostras da St1, o que é mais uma indicação de que poluentes podem afetar a condição fisiológica dos bivalves.

Embora ainda não esteja totalmente definido se há uma correlação positiva entre poluentes metálicos e parasitos em termos de prevalência e intensidade de infecção (já que, em hipótese, parasitos também podem ser negativamente afetados por poluentes), alguns estudos indicam correlação positiva entre poluição e parasitismo. Este é o caso dos resultados obtidos por [Montenegro et al. \(2019\)](#), que verificaram maior prevalência e carga parasitária em *Protothaca thaca* (Molina, 1792) em locais impactados por metais em relação a áreas não poluídas. Também [Minguez et al. \(2012\)](#) observaram, através de estudo experimental, que a carga dos microparasitos *Ophryoglena* spp. e Rickettsiales em *Dreissena polymorpha* (Pallas, 171) era aumentada quando esta era exposta ao níquel. [Kim et al. \(2008\)](#) observaram correlação positiva entre metais e número de esporocistos/metacercárias (trematódeos digenéticos), assim como de cestóides e de gregarinas em mitilídeos. Poluentes provavelmente comprometem o sistema imune dos bivalves, causando uma maximização do efeito dos patógenos. Isso foi verificado por [Papo et al. \(2014\)](#) em *Venerupis philippinarum* (Adams & Reeve, 1850) infectada com *Perkinsus* sp.. [Morley \(2010\)](#) verificou correlação entre vírus, tumores e estressores metálicos em moluscos bivalves.

CONCLUSÃO

Os resultados apontam para uma possível correlação entre poluentes (As e Pb) com: células marrons, xenomas, expressão de *Nematopsis* sp. e condição de peso das ostras.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, V. R. D. **Bucefalose e outras parasitoses associadas a bivalves de interesse econômico do Litoral e Baixo Sul da Bahia**. 2017. p. 46. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2017.

BOEHS, G.; FREITAS, L. A. Population attributes of *Littoraria angulifera* (Gastropoda: Littorinidae) in mangrove in Bahia State, northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, p. 1-10, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.243114>.

BOEHS, G.; LENZ, T. M.; VILLALBA, A. Xenomas in *Crassostrea rhizophorae* (Ostreidae) from Camamu Bay, Bahia, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, p. 457-458, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842009000200032>.

BOEHS, G.; LUZ, M. S. A.; ANDRADE, V. R. D. Molecular identification of cryptic species of oysters (Genus *Crassostrea* Sacco, 1897) in the Northeast Atlantic coast of Brazil. **Boletim do Instituto de Pesca**, vol. 45, p. 1-6, 2019a. Doi: <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2019.45.2.446>.

BOEHS, G.; MAGALHÃES, A. R. M. Simbiontes associados com *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin) (Mollusca, Bivalvia, Veneridae) na Ilha de Santa Catarina e região continental adjacente, Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v.21, p. 865-869, 2004. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0101-81752004000400021>.

BOEHS, G.; MAGALHÃES, A.R.M.; SABRY, R.C.; CEUTA, L.O. **Parasitos e patologias de bivalves marinhos de importância econômica da costa brasileira**. In: SILVA-SOUZA, A.T.; LIZAMA, M.A.P.; TAKEMOTO, R.M. (eds.). Patologia e Sanidade de Organismos Aquáticos. Massoni: Maringá, p. 165-194, 2012.

BOEHS, G.; SABRY, R.C.; LUZ, M.S.A.; MAGALHÃES, A.R.M. **Patologia de moluscos bivalves e impactos na maricultura brasileira**. In: Biotecnologia e sanidade de organismos aquáticos (Editores: RANZANI-PAIVA, M.J.T.;

TAKEMOTO, R.M.; LIZAMA, M.A.P.; PERAZZOLO, L.M.; ROSA, R.D.), São Paulo, ABRAPOA, v.512, p. 473-503, 2019b.

BOEHS, G.; VILLALBA, A.; CEUTA, L.O.; LUZ, J.R. Parasites of three commercially exploited bivalve mollusc species of the estuarine region of the Cachoeira River (Ilhéus, Bahia, Brazil). **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 103, p. 43-47, 2010. Doi: 10.1016 / j.jip.2009.10.008.

BRANDÃO, R.P.; BOEHS, G.; DA SILVA, P.M.S. Health assessment of the oyster *Crassostrea rhizophorae* on the southern coast of Bahia State, northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 22, p. 84-91, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1984-29612013005000007>

BUSH, A.O., LAFFERTY, K.D., LOTZ, J.M.; SHOSTAK, A.W. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al. revisited. **The Journal of Parasitology**, v. 83, p. 575-583, 1997. PMID:9267395. Doi: <http://dx.doi.org/10.2307/3284227>.

CARNEIRO-SCHAEFER, A.L.; SÜHNEL, S.; MELO, C.M.R.; MAGALHÃES, A.R.M. Estudo Patológico em mexilhões cultivados em Santa Catarina, Brasil. **Boletim do Instituto da Pesca**, v. 43, p. 124-134, 2017.

CEUTA, L. O.; BOEHS, G. Parasites of the mangrove mussel *Mytella guyanensis* (Bivalvia: Mytilidae) in Camamu Bay, Bahia, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, p. 421-427, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000300002>.

CHENG, T.C.; BURTON, R.W. Relationships between *Bucephalus* sp. and *Crassostrea virginica*: a histochemical study of some carbohydrates and carbohydrate complexes occurring in the host and parasite. **Parasitology**, vol. 56, pp. 111-122, 1966. PMID:4161765. <http://dx.doi.org/10.1017/S0031182000071134>.

CHRISTO, S.W. 2006. **Biologia reprodutiva e ecologia de ostras do gênero *Crassostrea* Sacco, 1897 na Baía de Guaratuba (Paraná-Brasil): um subsídio ao cultivo**. Tese (Zoologia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

COVA, A.W.; SERAFIM JR., M.; BOEHS, G.; DE SOUZA, J.M. Parasites in the mangrove oyster *Crassostrea rhizophorae* cultivated in the estuary of the Graciosa River in Taperoá, Bahia. **Brazilian Journal of Veterinary Parasitology**, v. 24, p. 21-27, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1984-29612015012>.

FARIAS, P. F.; FORTUNATO, M. V.; MACEDO, A. R. G.; LEHNER, R.; SCHAEFER, A. L. C.; SÜHNEL, S.; CASTRO, M. A. M.; MAGALHÃES, A. R. M.. In: SEMANA DA AQUICULTURA, 15, 2017, Florianópolis. Ocorrência de

Trematoda Bucephalidae em berbigões do litoral catarinense. (**Anais**). Departamento de Aquicultura/Centro de Ciências Agrárias/Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

GALTSOFF, P. S. The American oyster, *Crassostrea virginica* (Gmelin). Washington, D.C. **Fishery Bulletin of the Fish and Wildlife Service**, p. 480, 1964.

HOWARD, D.W., LEWIS, E.J., KELLER, B.J.; SMITH, C.S. **Histological techniques for marine bivalve mollusks and crustaceans**. 2nd ed. Oxford: NOAA/National Centers for Coastal Ocean Science. 218 p. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS, n. 5, 2004.

KIM, Y.; POWELL, E. N.; WADE, T. L.; PRESLEY, B. J. Relationship of parasites and pathologies to contaminant body burden in sentinel bivalves: NOAA status and trends ‘Mussel Watch’ program. **Marine Environmental Research**, v. 65, p. 101-127, 2008. Doi: 10.1016 / j.marenvres.2007.09.003.

LEGAT, J.F.A.; PUCHNICK-LEGAT, A.; FOGAÇA, F.H.S.; TURECK, C.R.; SUHNEL, S.; MELO, C.M.R. Growth and survival of bottom oyster *Crassostrea gasar* cultured in the northeast and south of Brazil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.43, p. 172-184, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n2p172>.

LAUCKNER, G. Diseases of Mollusca: Bivalvia. In: KINNE, O. (ed.). **Diseases of Marine Animals, Bivalvia to Scaphopoda**. Biologische Anstalt Helgoland: Hamburg, v. 2, p. 477-961, 1983.

LENZ, T. M.; BOEHS, G. Ciclo reproductivo del ostión de manglar *Crassostrea rhizophorae* (Bivalvia: Ostreidae) en la Bahía de Camamu, Bahia, Brasil. **Revista de Biología Tropical**, v. 59, p. 137-149, 2011.

LUZ, M.S.A.; BOEHS, G. Parasites in the oyster *Crassostrea rhizophorae* from farmed and natural stocks in the Bay of Camamu, Bahia, northeastern Brazil. **Journal of Parasitology and Vector Biology**, v. 7, p.120-128, 2015. Doi: 10.5897/JPVB2015.0198.

MARCOVECCHIO, J. E.; FREIJE, R. H. **Processos Químicos em Estuários**. Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional, 2013.

MELWANI, A. R.; GREGORIO, D.; JIN, Y.; STEPHENSON, M.; ICHIKAWA, G.; SIEGEL, E.; CRANE, D.; LAUENSTEIN, G.; DAVIS, J. A. Mussel watch update: Long-term trends in selected contaminants from coastal California, 1977 – 2010. **Marine Pollution Bulletin**, v. 81, p. 291-302, 2014.

MINGUEZ, L.; BOICHÉ, A.; SRODA, S.; MASTITSKY, S.; BRULÉ, N.; BOUQUEREL, J.; GIAMBÉRINI, L. Cross-effects of nickel contamination and

parasitism on zebra mussel physiology. **Ecotoxicology**, v. 21, p. 538-547, 2012. Doi: 10.1007 / s10646-011-0814-y.

MONTENEGRO, D.; VALDÉS, J.; GONZÁLEZ, M. T. Histopathological lesions, pathogens and parasites as health indicators of an edible clam (*Protothaca thaca*) inhabiting a bay exposed to anthropogenic activities in Northern Chile. **1**, v. 191, p. 1-14, 2019. Doi: 10.1007 / s10661-019-7678-7.

MORLEY, N.J. Interactive effects of infectious diseases and pollution in aquatic molluscs. **Aquatic Toxicology**, v. 96, p. 27-36, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2009.09.017>.

PAPO, M. B.; BERTOTTO, D.; QUAGLIO, F.; VASCELLARI, M.; PASCOLI, F.; NEGRATO, E.; BINATO, G.; RADAELLI, G. Histopathology and stress biomarkers in the clam *Venerupis philippinarum* from the Venice Lagoon (Italy). **Fish & Shellfish Immunology**, v. 39, p. 42-50, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2014.04.016>.

PONTINHA, V. A. **Diagnóstico da saúde da ostra *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) cultivada em Florianópolis/ SC**. 2009. p. 53. Dissertação (Pós Graduação em Aquicultura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

RAINER, J. S.; MANN, R. A comparison of methods for calculating condition index in eastern oysters, *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1971). **Journal of Shellfish Research**, v.11, n. 01, p. 55-58, 1992.

RIBEIRO, M. M. **Expressão de células marrons no bivalve marinho *Lucina pectinata* (Mollusca) de estoque natural e sob estresse férrico induzido**. 2014. Dissertação (Mestrado em Sistemas Aquáticos Tropicais) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2014.

RIBEIRO, M.M.; OLIVEIRA, J. B.;BOEHS, G. Parasitism by a Digenea in *Lucina pectinata* (Mollusca: Lucinidae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, p. 94-97, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.07116>.

SABRY, R. C.; GESTEIRA, T. C. V.; BOEHS, G. First record of parasitism in the mangrove oyster *Crassostrea rhizophorae* (Bivalvia: Ostreidae) at Jaguaribe River estuary – Ceará. **Brazilian Journal of Biology**, v. 67, p. 755-758, 2007.

SANTOS, G. B. M.; BOEHS, G. Chemical elements in sediments and in bivalve mollusks from estuarine regions in the south of Bahia State, northeast Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. 1-10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.249641>.

SHAW, B. L.; BATTLE, H. I. The gross and microscopic anatomy of the digestive tract of the oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin). **Canadian Journal of Zoology**, v. 35, p. 325-347, 1957. Doi: 10.1139/z57-026.

SILVA, V. M. **Elementos Químicos em ostra e sedimento em estuários de Ilhéus, Bahia: Uma abordagem ambiental e nutricional**. 2019. 62 p. Dissertação (Pós Graduação em Ciência Animal). Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2019.

SÜHNEL, S.; JOHNSON, S. C.; GURNEY-SMITH, H. J.; IVACHUK, C. S.; SCHAEFER, A. L. C.; THOMSON, C. A.; MACIEL, M. L. T.; MARTINS, M. L.; ARANGUREN, R.; FIGUERAS, A.; MAGALHÃES, A. R. M. A status assessment of Perkinsiosis, Bonamiosis and Marteiliosis in commercial marine bivalves from Southern Brazil. **Journal of Shellfish Research**, v. 35, p. 143-156, 2016.

ZEIDAN, G.C.; LUZ, M.S.; BOEHS, G. Parasites of economically important bivalves from the southern coast of Bahia State, Brazil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 21, p. 391-398, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1984-29612012000400009>.

APÊNDICE - Referências dos descritores taxonômicos

(WoRMS – World Register of Marine Species - <http://www.marinespecies.org/aphia.php>)

Crassostrea gasar (Deshayes, 1830)

MolluscaBase eds. (2021). MolluscaBase. *Crassostrea gasar* (Deshayes, 1830). Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=532678> on 2021-10-26
basis of record Huber, M. (2010). Compendium of bivalves. A full-color guide to 3,300 of the world's marine bivalves. A status on Bivalvia after 250 years of research. Hackenheim: ConchBooks. 901 pp., 1 CD-ROM. (look up in [IMIS](#)) [\[details\]](#)

Zaops ostreum (Say, 1817 [in Say, 1817-1818])

(of *Pinnotheres Ostreum* Say, 1817 [in Say, 1817-1818]) Say, T. (1817-1818). An account of the Crustacea of the United States. *Journal of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. 1(1):57-63, 65-80 (pl.), 97-101, 155-169 (1817); 1(2): 235-253, 313-319, 374-401, 423-441 (1818)., available online at <https://www.biodiversitylibrary.org/part/244401#/summary> [\[details\]](#) 

Ancistrocoma Chatton & Lwoff, 1926

Xu, K.; Agatha, S. & Dolan, J. (2021). World Ciliophora Database. *Ancistrocoma* Chatton & Lwoff, 1926. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=134814> on 2021-10-26

Sphenophrya Chatton & Lwoff, 1921

Xu, K.; Agatha, S. & Dolan, J. (2021). World Ciliophora Database. *Sphenophrya* Chatton & Lwoff, 1921. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=134846> on 2021-10-26

Trichodina Ehrenberg, 1830

Xu, K.; Agatha, S. & Dolan, J. (2021). World Ciliophora Database. *Trichodina* Ehrenberg, 1830. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=164129> on 2021-10-26

Nematopsis Schneider, 1892

WoRMS (2021). *Nematopsis* Schneider, 1892. Accessed at: <https://marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=390581> on 2021-10-26

***Urastoma cyprinae* (Graff, 1882)**

Graff, L., von. (1882). Monographie der Turbellarien 1. Rhabdocoelida. [Book]. 1-442, Verlag Wilhelm Engelmann, Leipzig., *available online* at https://books.google.com/books/about/Monographie_der_Turbellarien.html?id=LT0hAQAAMAAJ
page(s): 384 [details] 

***Tylocephalum* Linton, 1890**

WoRMS (2021). *Tylocephalum* Linton, 1890. Accessed at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=105006> on 2021-10-26

***Anomalocardia brasiliana* (Gmelin, 1791)**

(of *Venus brasiliana* Gmelin, 1791) Gmelin J.F. (1791). Vermes. In: Gmelin J.F. (Ed.) Caroli a Linnaei Systema Naturae per Regna Tria Naturae, Ed. 13. Tome 1(6). G.E. Beer, Lipsiae [Leipzig]. pp. 3021-3910. , *available online* at <http://www.biodiversitylibrary.org/item/83098#5> [details]

***Protothaca thaca* (Molina, 1782)**

MolluscaBase eds. (2021). MolluscaBase. *Protothaca thaca* (Molina, 1782). Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=367815> on 2021-10-26

***Dreissena (Dreissena) polymorpha* (Pallas, 1771)**

(of *Mytilus polymorphus* Pallas, 1771) Pallas, P.S. (1771). Reise durch verschiedene Provinzen des Russischen Reichs. Theil 1. Physicalische Reise durch verschiedene Provinzen des Russischen Reichs im 1768- und 1769 sten Jahren. *St. Petersburg: Kayserliche Akademie der Wissenschaften*. 12 + 504 +6 p., 26 figs, maps., *available online* at <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN329913735>

***Venerupis (Ruditapes) philippinarum* (Adams & Reeve, 1850)**

Adams, A. & Reeve, L. A. (1848-1850). *Mollusca*. In A. Adams (ed.), *The zoology of the voyage of H.M.S. Samarang, under the command of Captain Sir Edward Belcher, C.B., F.R.A.S., F.G.S., during the years 1843-1846*. Reeve & Benham, London, x + 87 pp., 24 pls. [Pt. I. Preface to Mollusca (iii-x, by Adams only), 1-24, pls. 1-9, 1 November 1848; Pt. II, 25-44, pls. 10-17, 1 May 1850; Pt. III, Preface and plate explanations (i-xv), 45-87, pls. 18-24, 1 September 1850.]. *available online* at <http://www.biodiversitylibrary.org/page/39770936>

CONCLUSÕES GERAIS

A presente tese permitiu chegar às seguintes conclusões:

CAPÍTULO 1. Quatro dos cinco estuários investigados em termos de presença e teores de elementos metálicos no sedimento e em moluscos bivalves (Valença, Taperoá, Ilhéus e Belmonte) mostraram baixo impacto químico, indicando bom estado de conservação. Por sua vez, em Santa Cruz Cabrália constatou-se impacto por cobre, chumbo e arsênio nos tecidos da ostra *Crassostrea gasar*, a matriz investigada nesse local. Concluiu-se que o impacto por esses elementos químicos nesse local é o resultado das atividades náuticas praticadas na localidade, incluindo a pintura e manutenção dos barcos (fontes do cobre e arsênio) e combustíveis utilizados nas embarcações (fontes do chumbo).

CAPÍTULO 2. *Mytella guyanensis* (sururu) e *C. rhizophorae* (ostra-do-mangue) são ricas fontes de microelementos metálicos, sendo que a primeira teve destaque quanto à concentração de ferro e manganês, a ostra apresentou altos teores de zinco e ambos os bivalves tiveram concentração similar de cobre. Esses resultados reforçam a importância do uso desses recursos na alimentação humana em termos de obtenção de micronutrientes, desde que estes sejam extraídos de locais com baixo impacto químico de elementos prejudiciais à saúde humana, como, por exemplo, o arsênio, o cádmio e o chumbo.

CAPÍTULO 3. Ostras *C. gasar* coletadas em local com presença de arsênio e alto nível de chumbo apresentaram parâmetros distintos de animais em região com ausência desses elementos, em termos de peso e índices de condição (mais baixos), assim como quanto ao número de células marrons (excretoras e detoxificantes) (em número mais alto no estuário impactado), carga parasitária da gregarina *Nematopsis* sp. (em dobro com relação ao local não impactado) e ainda a presença de um tumor conhecido como xenoma nesse local. Esses resultados indicam um possível impacto dos poluentes mencionados sobre a saúde da ostra.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste trabalho permitiu a elaboração das seguintes sugestões, em termos de políticas públicas e preservação ambiental:

- Formulação de parâmetros na legislação para padronizar limites máximos permitidos de elementos metálicos na biota, como meio de monitoramento ambiental;
- Criação de programas de monitoramento para avaliar a qualidade do ambiente marinho baiano, em especial em localidades com fluxo intenso de veículos náuticos;
- Formulação de parâmetros de teores mínimos e máximos (ex: ferro, manganês) em alimentos, além dos valores recomendados para ingestão diária de elementos metálicos para a dieta humana;
- Políticas públicas para a introdução de moluscos bivalves na alimentação como fonte de elementos essenciais.