

Article

Bioconcentração de Metais (Cu, Fe, Zn, Mn e Pb) em *Crassostrea brasiliiana* (Lamarck, 1819) Nativa do Manguezal do Rio Vaza-Barris, Sergipe, Brasil

Josevânia de Oliveira ¹ * , Rosemeri Melo e Souza ² , Edilma de Jesus Andrade ³ , Diógenes Félix da Silva Costa ⁴ 

¹ Doutora (Universidade Federal de Sergipe, Núcleo na Secretaria Municipal de Educação de Itabaiana/SE), ORCID: 0000-0002-3953-4304, e-mail: josioliveira@hotmail.com

² Doutora (Universidade Federal de Sergipe), ORCID: 0000-0002-5916-3598, e-mail: rome@academico.ufs.br

³ Doutora (Universidade Federal de Sergipe), ORCID: 0000-0002-4108-1797, e-mail: edilmaa@gmail.com

⁴ Doutor (Universidade Federal do Rio Grande do Norte), ORCID: 0000-0002-4210-7805, e-mail: diogenesgeo@gmail.com

*Correspondência: josioliveira@hotmail.com

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho consiste em avaliar as concentrações de metais cobre, ferro, zinco, manganês e chumbo nos tecidos de *Crassostrea brasiliiana* no manguezal do rio Vaza-Barris, Sergipe, Brasil. Foram realizadas duas coletas (período de estiagem e chuvoso) em cinco pontos. A análise dos metais nas ostras foi realizada no Instituto Tecnológico e de Pesquisa do Estado de Sergipe. As seguintes concentrações foram obtidas para o período de estiagem: Zn (19,90mg/kg), Fe (7,05mg/kg), Cu (1,46mg/kg), Mn (0,62mg/kg) e o Pb (0,00mg/kg); e para o período chuvoso: Zn (24,20mg/kg), Fe (9,77mg/kg), Pb (1,03mg/kg), Cu (1,0mg/kg) e Mn (0,91mg/kg). O cobre apresentou teores mais elevados na estação de estiagem e foi o único metal que se encontrou dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira. Os demais elementos revelaram teores maiores no período chuvoso, o que pode representar risco ao ambiente e ao consumo humano. Os resultados sugerem que é necessário o estabelecimento de medidas para o acompanhamento de parâmetros físico-químicos e microbiológicos do manguezal, bem como a criação de legislação específica sobre as concentrações desses metais.

Palavras-chave: bioacumulação; elementos traços; estuário, ostra.

ABSTRACT

We evaluate the concentrations of copper, iron, zinc, manganese and lead in the tissues of *Crassostrea brasiliiana*, from the Vaza-Barris river, Sergipe, Brazil. Two samples, one in the dry season and the other in rainy season, were obtained at five different locations. The analysis of metals was carried out at the Technological and Research Institute of the State of Sergipe. The following concentrations were obtained for the dry season: Zn (19,90mg/kg), Fe (7,05mg/kg), Cu (1,46mg/kg), Mn (0,62mg/kg) and Pb (0,00mg/kg), while for the



Submissão: 12/01/2022



Aceite: 31/05/2022



Publicação: 02/08/2022



rainy season: Zn (24,20mg/kg), Fe (9,77mg/kg), Pb (1,03mg/kg), Cu (1,0mg/kg) e Mn (0,91mg/kg). Copper exhibited higher levels in the dry season, and it was the only metal found within the limits established by Brazilian legislation. The other elements exhibited higher levels in the rainy season, which may represent a risk to the environment and to the human being. The results suggest that it is necessary to establish procedures for the physical, chemical and microbiological monitoring of the oysters' environment, as well as the creation of a specific legislation on the concentration of these metals.

Keywords: bioaccumulation; trace elements; estuary; oyster.

1. Introdução

Nos últimos anos, o aumento da industrialização, urbanização e densidade demográfica das regiões costeiras brasileiras têm contribuído potencialmente no incremento da contaminação dos ecossistemas aquáticos por elementos traço (Castello 2010). Em razão da crescente demanda por recursos costeiros, as áreas estuarinas vêm sendo expostas a uma ampla variedade de contaminantes antropogênicos, incluindo misturas complexas de metais pesados, resíduos industriais, agrícolas e domésticos, que chegam via rios ou por deposição atmosférica (Ahmad et al. 2015).

Muitos metais são importantes tanto para os animais quanto para os seres humanos, a exemplo o zinco (Zn) e o cobre (Cu), que são considerados micronutrientes essenciais para o crescimento dos organismos aquáticos, bem como o Mn e Fe, que atuam em processos como a catálise enzimática de hidrólise e reações de oxidação e/ou redução, sendo também importantes no transporte e armazenamento de moléculas menores (Oliveira et al. 2008). Contudo, é importante lembrar que, em geral, todos os metais exercem efeitos tóxicos em uma determinada concentração. Através do monitoramento, é possível obter as concentrações desses metais no ambiente aquático, utilizando bioindicadores, os quais têm sido objeto de considerável interesse nas últimas décadas, devido à preocupação em relação aos níveis elevados dos metais que podem ter efeitos prejudiciais sobre os organismos e os seres humanos (Repula et al. 2012).

Os moluscos bivalves têm sido bastante utilizados como organismos indicadores de variações no ambiente aquático, já que apresentam hábito filtrador, são sedentários e capazes de acumular grandes concentrações de metais em seus tecidos, entre outras substâncias (Bendati 1997). O gênero *Crassostrea* reúne espécies de ostras de maior interesse econômico e ecológico. *Crassostrea brasiliana* (Lamarck, 1819) é conhecida como ostra do mangue, e teve seu primeiro registro para o Brasil em 1975 (Akaboshi & Pereira 1981). Essa espécie de ostra é considerada uma importante bioindicadora na avaliação da suscetibilidade ambiental por apresentar mecanismos de bioacumulação e biomagnificação.

As concentrações e acúmulos de metais pesados nas ostras são influenciadas por inúmeros fatores, incluindo biodisponibilidade de metais, estação de amostragem, hidrodinâmica do ambiente, tamanho, sexo, ciclo reprodutivo, salinidade, entre outros (Oliveira, 2019). Além disso, as ostras apresentam natureza sensível e resposta rápida a poluentes, por isso são utilizadas como biomonitor em testes ecológicos marinhos para avaliar a qualidade da água (Yesudhasan et al. 2013). Por essa razão, a realização de programas de monitoramento e avaliação rotineiras são de suma relevância em ambientes costeiros, com a finalidade de realizar planejamentos e implantações de medidas mitigadoras para controlar a poluição por metais residuais (Krishnakumar et al. 2018).

No Brasil, existem estudos que tratam do uso de *Crassostrea* na avaliação das condições ambientais: Cavalcanti (2003); Ramos (2011); Silva et al. (2001); Silva et al. (2003); Leal (2008); Barros & Barbieri (2012); Zanetti (2010); Castello (2010); Rojas et al. (2007); Mamede (2008); Santos (2014); Tureck et al. (2006); Souza et al. (2016); e para Sergipe, os trabalhos de Diniz (2001) e de Siqueira (2008) que fazem referência ao processo de cultivo de ostras do gênero *Crassostrea*. Outros trabalhos com moluscos bioindicadores foram realizados na Índia (Suryawanshi et al. 2011 e Shenai-Tirodkar et al. 2016) e na China (Weng & Wang, 2014, Ji et al., 2016, Chan & Wang 2019, Weng & Wang 2019). Na América: México (García-Rico et al. 2010; Aguilar et al. 2012, e Jonathan et al. 2017); Colômbia (Aguirre-Rubí et al. 2018); Venezuela (Alfonso et al. 2013). Na Europa: França (Solaun et al. 2013 e Séguin et al. 2016); Espanha (Ochoa et al. 2013, Kanhai et al. 2014 e Rementeria et al. 2016); Itália (Burioli et al. 2017) e Austrália (Jahan & Strezov 2019).

O conhecimento do comportamento dos metais e de suas características é essencial para avaliar a matéria viva, permitindo compreender a relação das variáveis biológicas (idade e sexo) no processo de bioacumulação dos contaminantes pelos bivalves e suas implicações nos ecossistemas. Zanette et al. (2006) enfatizaram a importância da realização de estudos referente à qualidade da água e



das ostras nativas. Siqueira (2008) reforçou a relevância e a necessidade de desenvolvimento de programa de monitoramento para que possa ser verificada a provável bioacumulação de zinco, entre outros metais, nas ostras do gênero *Crassostrea* presentes no Vaza-Barris, Sergipe.

O objetivo deste trabalho consiste em avaliar os dados biométricos e as concentrações dos elementos Cu, Fe, Zn, Mn e Pb nos tecidos de *Crassostrea brasiliana*, em cinco pontos no manguezal do rio Vaza-Barris em Sergipe, nos períodos chuvoso e de estiagem.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende o manguezal do rio Vaza-Barris, localizado no estado de Sergipe (Figura 1 e Tabela 1). Esse rio nasce no município de Uauá, no estado da Bahia, e deságua no Oceano Atlântico no estado de Sergipe, com uma área total correspondendo a 115km².

O estuário, com cerca de 25km, localiza-se entre os municípios de Itaporanga D'Ajuda, ao longo de sua margem direita, e os municípios de São Cristóvão e Aracaju, em sua margem esquerda (Carvalho 2010; Vasco et al. 2010). O clima de região é tropical chuvoso com verão seco, geralmente as chuvas ocorrem entre os meses de abril e agosto. A temperatura média na região é de 25,5°C, a umidade relativa do ar média é de 75% e a precipitação média anual é de 1.200mm (Melo et al. 2006).

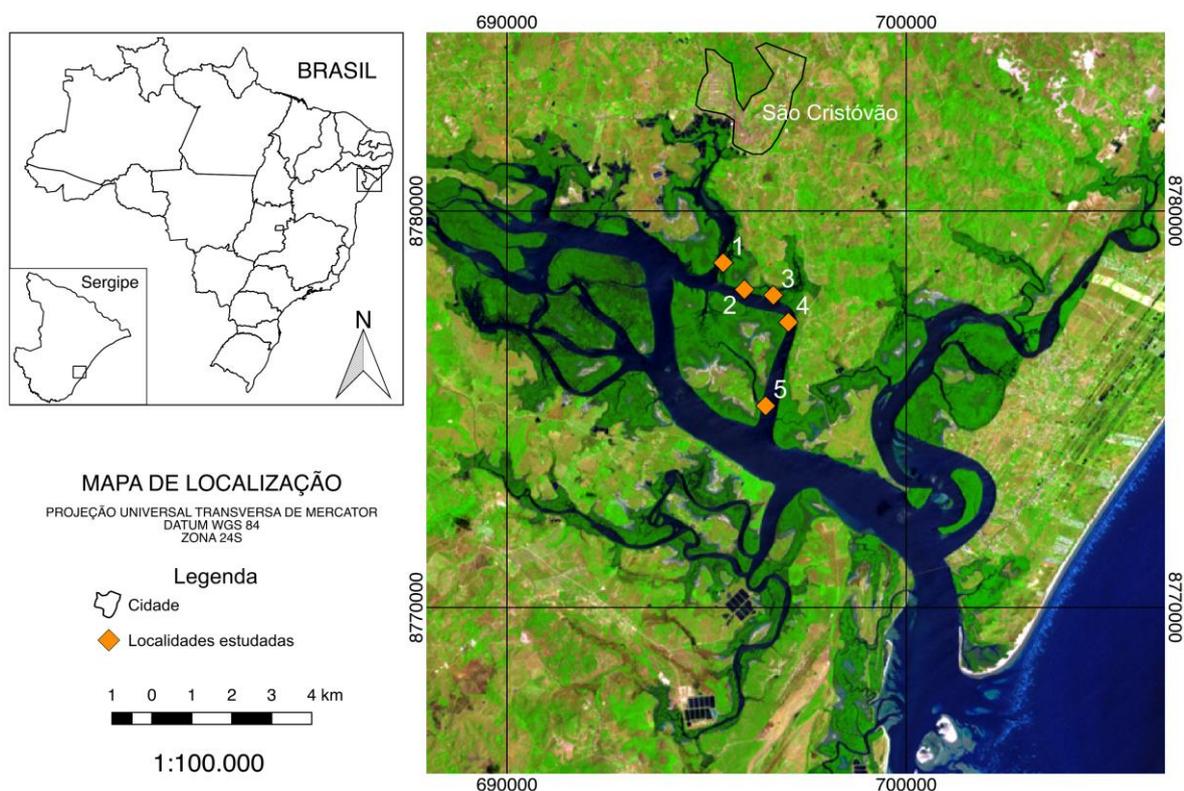


Figura 1. Localização da área estuarina do rio Vaza-Barris, com os pontos de coleta. Fonte: CPRM, EarthExplorer (2019).

São Cristóvão pertence à região de planejamento denominada de Grande Aracaju. Devido à proximidade com a capital sergipana, vem ampliando a densidade demográfica e o grau de urbanização. Apresenta uma população de 78.864 habitantes, com elevada taxa de urbanização, visto que 84,5% dos habitantes residiam na zona urbana (IBGE 2010).

O município de São Cristóvão e o povoado Mosqueiro são os polos urbanos mais influentes nessa área. São Cristóvão possui clima tropical úmido, com chuvas mais frequentes no período de março a agosto, abrandando durante os meses de setembro e fevereiro, com



temperatura média anual em torno de 25,5 °C. Nesse município, a vegetação predominante é litorânea, com mata de restinga e formações florestais secundárias, bem como áreas de manguezais (Vasco et al. 2010).

Tabela 1. Localização dos pontos de coletas em relação ao estuário do rio Vaza-Barris, São Cristóvão, Sergipe.

PONTOS	LOCALIDADES	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
		1ª Coleta	2ª Coleta
1	Riacho dos Porcos	11°02'33,8"S 37°12'40,6"W	11°02'34,3"S 37°12'40,4"W
2	Povoado Tinhare	11°02'56,0"S 37°12'24,3"W	11°02'56,3"S 37°12'22,8"W
3	Riacho da Chica	11°03'00,8"S 37°12'00,5"W	11°03'00,7"S 37°11'58,8"W
4	Pedreiras	11°03'24,3"S 37°11'46,3"W	11°03'22,8"S 37°11'46,3"W
5	Ilha Grande	11°04'39,5"S 37°12'09,7"W	11°04'31,5"S 37°12'04,7"W

Fonte: Os Autores.

Dentre os indicadores analisados por Carvalho (2015), o que tem causado maior pressão em municípios vizinhos, como São Cristóvão, está relacionado às áreas destinadas para fins agrícolas e o índice de esgotos sem tratamento. Além disso, o autor destacou que grande parte das matas foram removidas para exploração agropecuária, bem como os manguezais e as restingas, que atualmente foram substituídas por empreendimentos de aquicultura, inclusive de carcinicultura.

2.2 Amostragem

A primeira coleta aconteceu no mês de outubro de 2017, período de estiagem e a segunda em julho de 2018, período chuvoso. As duas coletas foram realizadas durante a baixa-mar (sizígia), onde as ostras encontravam-se expostas e fixadas nas raízes de *Rhizophora mangle* (mangue vermelho). Ainda no momento da coleta foi verificada a salinidade, utilizando o Refratômetro de Salinidade Portátil (Vodex), pH e temperatura usando Phmetro de Bolso (AK90). As amostras de água foram coletadas com auxílio de garrafa pet, devidamente higienizada e mergulhada a uma profundidade de aproximadamente 0,50 cm.

As coletas foram realizadas em cinco pontos (Tabela 1) localizados ao longo do estuário do Vaza-Barris, São Cristóvão, Sergipe. Em cada coleta foram obtidos dois exemplares de *Crassostrea brasiliana* por ponto de forma aleatória, sendo 10 exemplares por coleta. No total foram coletados 20 exemplares de ostras, sendo 10 por período de coleta, todo o material foi preparado, medido e pesado no laboratório, e em seguida encaminhado ao Instituto Tecnológico e de Pesquisa do Estado de Sergipe (ITPS).

2.3. Dados biométricos

Após as coletas, os exemplares de *C. brasiliana* (n=20) foram levados até o laboratório para serem medidos, com a finalidade de obter os dados biométricos referentes ao comprimento, largura e altura da concha (Figura 2). Em seguida, as conchas contendo os organismos foram pesadas (peso vivo) em balança analítica.

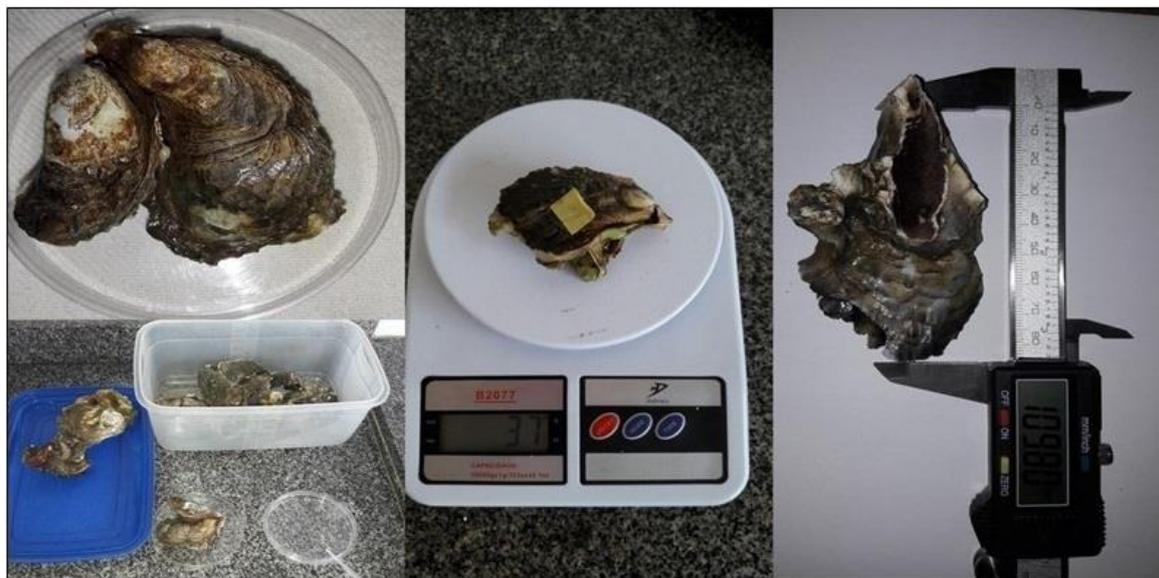


Figura 2. Procedimentos de preparação, pesagem e biometria dos exemplares de *Crassostrea brasiliana* provenientes do estuário do Vaza-Barris, Sergipe.

Fonte: Os Autores.

2.4. Método analítico

Para a obtenção das concentrações de metais nos tecidos de *C. brasiliana*, foram enviados ao Instituto Tecnológico e de Pesquisa do Estado de Sergipe (ITPS) dois exemplares de cada ponto de coleta, os quais foram abertos, triturados e homogeneizados. Em seguida foram realizadas análise através do Espectrômetro de Absorção Atômica e resíduo por incineração (cinzas).

Os dados obtidos na área estudada foram comparados entre si e discutidos com base em literatura sobre o assunto e a legislação vigente. Também foram utilizados Office Excel e ANOVA, a fim de correlacionar os dados biométricos das ostras com os dados físico-químicos da água, nos períodos de estiagem e de chuva.

3. Resultado e Discussões

3.1. Dados biométricos e físico-químicos

Os exemplares de *C. brasiliana* que apresentam altura da concha igual ou superior a 20mm encontram-se na fase adulta e em atividade sexual (Galvão et al. 2000; Castilho-Westphal 2012). Todos os exemplares coletados em out/17 (período de estiagem) apresentaram altura superior a 20mm, inclusive a menor altura foi registrada para o ponto 1, que correspondeu a 76,30mm e a maior no ponto 5, que foi igual a 127,70mm. Já na coleta de jul/18 (período chuvoso), todos os espécimes também apresentaram altura acima de 20mm, sendo que a maior e menor altura foram registradas respectivamente para os pontos 4 (67,20mm) e 5 (110,65mm).

Segundo Absher et al. (2000), a altura da concha corresponde ao principal eixo de crescimento nas espécies de ostras pertencentes ao gênero *Crassostrea*, e todas as outras medidas podem ser consideradas em função dessa. Desta forma, as ostras obtidas nos dois períodos estudados encontraram-se na fase adulta.

As diferenças nos dados biométricos dos exemplares podem estar relacionadas às condições abióticas, como temperatura, salinidade e pH (Galvão 2010). Além disso, as ostras fixadas em raízes do mangue ficam parte do dia expostas ao ar livre devido ao ciclo das marés, com isso fecham suas valvas e deixam de filtrar seu alimento, contribuindo para uma menor taxa de crescimento. Contudo, essas condições podem ser mais favoráveis em alguns pontos de coleta, como por exemplo, na localidade 5, corroborando para os diferentes estágios de desenvolvimento observados nos exemplares aqui estudados. Os dados biométricos das ostras são relevantes na identificação do seu estágio ontogenético, pois como esses animais são sedentários e filtradores, quanto mais evoluído o estágio, melhor revelará as alterações ambientais da área.



Os dados físico-químicos são fatores relevantes para o desenvolvimento das ostras *Crassostrea*, inclusive o pH abaixo de 6,75 reduz a taxa de filtração e conseqüentemente há diminuição da captação de alimento; a salinidade mais recomendável para o cultivo de *C. brasiliana* corresponde a valores de 15‰ a 25‰, porém como essa espécie é eurihalina, pode sobreviver em águas de salinidade entre 8‰ e 34‰, visto que salinidades mais baixas próximo aos níveis de tolerância fazem cessar a alimentação e também o crescimento (Pereira et al. 2001). A temperatura é um dos principais fatores limitantes das reações químicas e da distribuição das ostras no ambiente, sendo que *C. brasiliana* tem apresentado preferência por águas com temperatura entre 23 e 31°C (Montanhini Neto 2011). Além disso, esse fator desempenha relevante papel no crescimento, na taxa de alimentação, no metabolismo, na sobrevivência e na reprodução desses organismos.

Como pode ser observado na Tabela 2, nas coletas do período de estiagem (out/17), a salinidade mais baixa foi registrada no ponto 2 (10,11‰) e a mais alta no ponto 1 (10,15‰). Enquanto no período chuvoso (jul/18), a salinidade variou entre 10,16 ‰ (ponto 1) e 10,25‰ (ponto 4). O menor pH constatado para o período de estiagem foi igual para os quatro primeiros pontos que correspondeu 8,4, e o mais elevado foi 8,6 (ponto 5); para a estação chuvosa o menor foi 7,4 (pontos 1 e 4), e o maior foi 7,6 (ponto 3). Para período de estiagem a temperatura mínima obtida foi 27,2°C (ponto 1) e a máxima foi 29,3°C (ponto 5); e para o chuvoso a temperatura mais baixa correspondeu a 25,4°C (ponto 4) e a mais alta a 29,0°C (ponto 1). Todos os pontos, em ambas coletas, apresentaram valores de pH e temperatura dentro da faixa favorável para o desenvolvimento e crescimento de *C. brasiliana*.

Tabela 2 - Dados físico-químicos obtidos dos pontos situados no estuário do Vaza-Barris, São Cristóvão-SE.

Pontos	Coleta	Salinidade	Temperatura	pH	Horário
Riacho dos Porcos (1)	1 ^a	10,15‰	27,2°C	8,4	7:41
	2 ^a	10,16‰	29,0°C	7,4	11:32
Tinharé (2)	1 ^a	10,11‰	28,3°C	8,4	8:13
	2 ^a	10,21‰	26,7°C	7,5	10:54
Riacho da Chica (3)	1 ^a	10,12‰	27,7°C	8,4	8:50
	2 ^a	10,21‰	26,5°C	7,6	10:28
Pedreiras (4)	1 ^a	10,14‰	29,2°C	8,4	9:11
	2 ^a	10,25‰	25,4°C	7,4	9:04
Ilha Grande (5)	1 ^a	10,13‰	29,3°C	8,6	9:49
	2 ^a	10,22‰	26,8°C	7,5	9:34

Fonte: Josevânia de Oliveira (2017 e 2018). Fonte: Os Autores.

Em contrapartida, a salinidade encontrou-se dentro da faixa dos limites de tolerância para ambos os períodos (estiagem e chuvoso), sendo que no primeiro período esse parâmetro foi ainda mais baixo, podendo contribuir para uma redução na taxa de filtração e na obtenção de alimento, e conseqüentemente no processo de acumulação de contaminantes em seus tecidos.

O modelo ANOVA mostrou uma variação na altura da concha, que foi influenciada pela salinidade e pelo pH nos diferentes pontos, e períodos (anos) de coleta ($P < 0,05$). Já para o peso, largura e comprimento da concha o modelo ANOVA contém a altura como variável explicativa. Para o peso médio constatou-se que foram significantes o ano, o pH e a altura ($P < 0,05$), diferentemente da salinidade e do ponto de coleta que foram insignificantes. Referente à largura média notou-se que o ponto e o pH foram significantes ($P < 0,10$), assim como a salinidade e altura ($P < 0,05$), em contrapartida o ano não influenciou nessa variável. O comprimento médio da concha chamou atenção por ser influenciado apenas pela altura, visto que o ponto, período, pH e a salinidade não foram significantes para esse dado biométrico. Funo et al. (2015) constataram para o município de Curuçá (Pará), que a salinidade influenciou significativamente o ganho de peso vivo das ostras, visto que nas salinidades de 20 a 30 foram registrados os maiores valores, enquanto os menores valores foram observados na salinidade de 5. Ademais, a salinidade influenciou significativamente a altura, o comprimento e a largura da concha diferentemente do que foi constatado neste estudo, já que a salinidade influenciou apenas a altura média das conchas.



No trabalho realizado por Pieterse et al. (2012), em três ambientes distintos localizados no sul da África, observou-se que a taxa de crescimento está diretamente relacionada às temperaturas e à distribuição vertical das ostras no ambiente, já que durante os períodos de temperaturas elevadas as ostras apresentaram taxa de crescimento menor. Além disso, os indivíduos localizados em níveis inferiores mostraram crescimento mais significativo, se comparados àqueles presentes em níveis superiores. Esses autores concluíram que os fatores ambientais (temperatura e nível de distribuição) desempenham relevante influência no crescimento das ostras do gênero *Crassostrea*.

Na Figura 3 pode ser observada que a média da altura da concha foi maior para todos os pontos de coleta de out/17, exceto para o ponto 2, que registrou a maior média para jul/2018. No que se refere à largura da concha, notou-se que na primeira coleta todos os pontos apresentaram médias elevadas, com exceção do ponto 1, que exibiu maior média na segunda coleta.

Em relação ao comprimento, verificou-se que todos os espécimes obtidos no período de estiagem exibiram médias superiores se comparados com aqueles coletados em período chuvoso. Enquanto para o peso, em 2017, o ponto 4 revelou maior média, por outro lado em 2018, o ponto 2 apresentou o maior valor.

Comparando-se as médias das medidas, nota-se que a altura da concha demonstrou uma menor variação em relação à sazonalidade; a largura e o comprimento mostraram variações significantes e semelhantes no tocante aos períodos de estiagem e chuvoso; e o peso apresentou variação irregular entre os períodos, sendo que a maior média (86,05mm) foi registrada no período chuvoso.

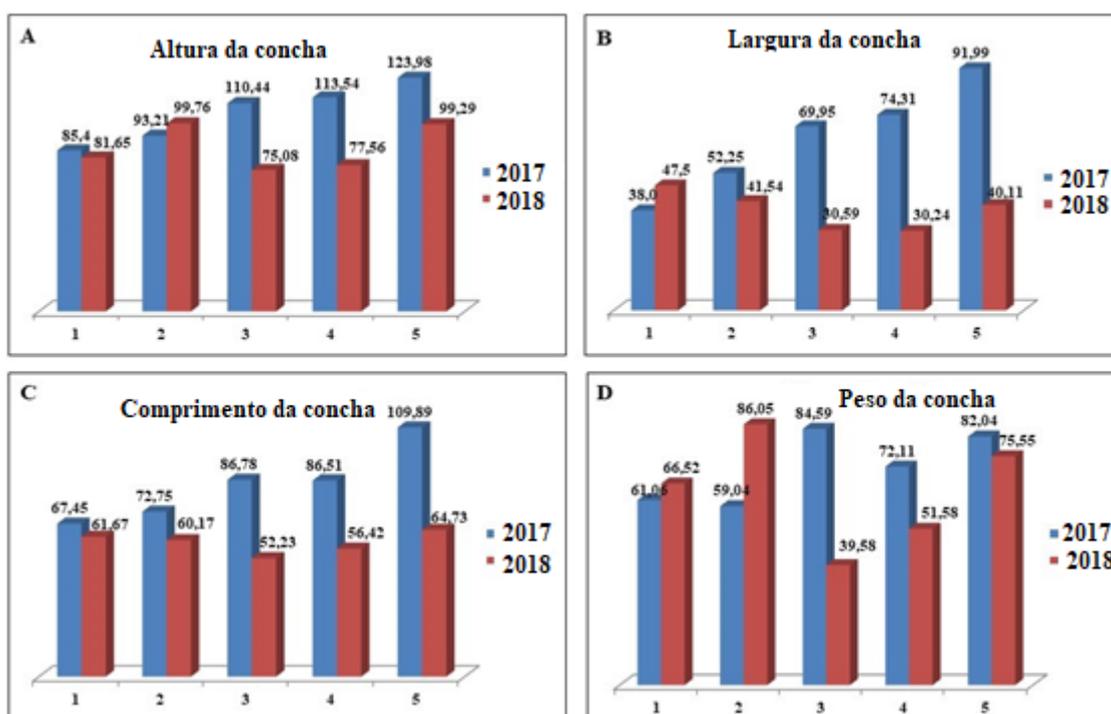


Figura 3. Dados biométricos (valores médios, em mm) dos exemplares de *C. brasiliana* provenientes de duas coletas em cinco pontos, localizados no manguezal do Vaza-Barris/SE. A. Comprimento da concha; B. Altura da concha; C. Largura da concha; D. Peso vivo da concha. Fonte: Os Autores.

No estudo realizado por Milazzo et al. (2018) com *Rhizophora mangle* (*C. rhizophorae*), no estuário do rio São Paulo, Bahia (Brasil), averiguaram poucas variações dos dados biométricos das ostras por sazonalidade. Contudo, os autores afirmaram que no período chuvoso observaram maiores médias de comprimento, largura e peso da concha. Os dados supracitados diferem dos obtidos para os exemplares aqui estudados, visto que as maiores médias relacionadas à altura, largura e ao comprimento das conchas foram registradas para o período de estiagem. A média do peso se comparada às demais medidas apresentou maior variação entre os pontos e as sazonalidades, mas o máximo de média do peso se revelou para a estação chuvosa.



3.2. Concentrações de metais e condições ambientais

A análise do cobre (Figura 4A), no período de estiagem, apresentou maior concentração no ponto 3 (1,46 mg) e os demais pontos exibiram concentrações semelhantes, com exceção do ponto 2 (0,41mg). Já no período chuvoso (Figura 4B), o ponto 1, seguido dos pontos 4 e 5, mostraram teores de Cu mais elevados. Os índices aqui estudados diferem daqueles obtidos por Siqueira (2008) para as ostras do Vaza-Barris (Sergipe), na análise de 2006 e 2007, já que a concentração de cobre foi de 4,27ppm no período chuvoso e de 10,94ppm no de estiagem. Porém, os teores desse elemento no presente estudo e no de Siqueira (2008) encontram-se abaixo do limite estabelecido pela legislação brasileira (Decreto 55.871/1965), que é correspondente a 30ppm, indicando que, para esse parâmetro, o consumo das ostras é permitido.

Em relação ao teor de ferro (Figura 4A), em outubro de 2017, o ponto 3 apresentou maior concentração (7,05 mg) e os demais pontos mostraram teores similares, variando entre 4,41 e 4,59mg. Na coleta de 2018 (Figura 4B), o Fe apareceu em maiores concentrações nos pontos 1 e 2, sendo que as menores foram registradas para os pontos 4 e 5, com 5,52 e 5,48mg, respectivamente. O maior índice desse elemento na estação de estiagem foi 7,05mg (70,5mg/kg) e na chuvosa 9,77mg (97,7mg/kg). Vasco et al. (2010) avaliaram a qualidade da água que entra no estuário do rio Vaza-Barris durante o período de estiagem em 2008, e detectaram teores de Fe acima do limite estabelecido pelo Ministério da Saúde. Nas ostras do estuário do rio Formoso (Pernambuco), estudadas por Ramos (2011), as concentrações de Fe para o período de estiagem foram de 43,33 mg/kg 225 e 131,1mg/kg para o chuvoso, sendo superior a aquelas registradas para o Vaza-Barris, em ambos períodos. Os índices de ferro obtidos aqui e registrados por Ramos foram superiores ao limite determinado pela World Health Organization (WHO), que adota um valor diário correspondente a 0,8mg/kg. Já Mamede (2008) obteve concentrações de Fe dentro do limite estabelecido pela legislação para as ostras do gênero *Crassostrea* transplantada na Baía de Todos os Santos (Bahia).

No período de estiagem, os teores de zinco (Figura 4A) foram encontrados em concentrações mais elevadas nos pontos 1 e 3. Os indivíduos dos demais pontos mostraram teores mais baixos, inclusive o ponto 5 apresentou 12,30mg. Para o período chuvoso (Figura 4B), os valores de Zn foram maiores para todas as localidades, com exceção do ponto 3, que demonstrou a menor concentração. No período de estiagem o índice máximo de zinco foi 19,90mg (199ppm), sendo menor se comparado ao período chuvoso foi 24,20mg (242ppm), diferentemente do que foi afirmado por Espíndola et al. (2000) que quanto maior a temperatura maior é absorção de zinco. Siqueira (2008) verificou nas ostras do Vaza-Barris (Sergipe) que o índice de Zn no período chuvoso foi de 276,92ppm e no de estiagem 49,03ppm. Os dados aqui apresentados para os dois períodos foram superiores ao limite estabelecido pela legislação brasileira (55.871/9965) que é 50ppm. O valor demonstrado por Siqueira (2008) na estação de estiagem foi inferior a 50ppm, ou seja, apropriado para o consumo, diferentemente daqueles obtidos nesse estudo. Ainda 238 confrontando os dados com aqueles obtidos por Carneiro et al. (2011), na Baía de Sepetiba (Rio de Janeiro) e por Machado et al. (2002) no estuário de Cananéia (São Paulo), constatou-se similaridade, pois o zinco em ambas as áreas, apareceu com altas concentrações em *C. brasiliana*. Inclusive em Cananéia, tanto a média quanto o valor mínimo encontraram-se acima do limite estabelecido pela legislação brasileira (Decreto 55871/65). Kanthai et al. (2014) observaram concentrações elevadas de Zn em ostra *Crassostrea* do manguezal de Caroni Swamp, Trinidad e Tobago (Espanha), indicando que o consumo dessas ostras contaminadas representa uma ameaça potencial à saúde humana.

Para as concentrações de manganês (Figura 4A) na coleta 2017, os pontos 2 e 4 destacaram-se por apresentarem teores mais elevados, já o ponto 3 exibiu a menor concentração (0,25mg/kg). Os teores de Mn, na coleta de 2018 (Figura 4B) foram mais elevados nos pontos 3 e 4, que correspondeu respectivamente a 0,76 e 0,91mg/kg. O valor máximo de Mn mostrado no período de estiagem foi 0,62 mg (6,2mg/kg) e no chuvoso 0,91(9,1mg/kg). As concentrações de manganês encontrados por Ramos (2011) para as ostras do estuário do rio Formoso (Pernambuco) no período de estiagem foi de 1,33 mg/kg e chuvoso 14,33mg/kg, sendo que esse último ultrapassa o limite de 3,3mg/kg, que é o valor estabelecido pela Environmental Protection Agency (EPA). Os índices desse elemento aqui registrados também foram superiores ao adotado pela 251 EPA.

Quanto à análise de chumbo (Figura 4A), realizada na Absorção Atômica por chama, o resultado foi abaixo da curva do aparelho que é 0,1, justificando assim a ausência de concentrações desse elemento nos exemplares de *C. brasiliana* no período de estiagem (Figura 4A). No período chuvoso, o Pb (Figura 4B), ocorreu nas amostras de quatro pontos, excetuando o ponto 1. Nesse período o maior valor de chumbo foi 1,03mg (10,3mg/kg ou 10,3ppm) registrado no ponto 5. Machado et al. (2002) estudaram a ocorrência de Pb em *C.*



brasiliana no estuário de Cananéia (São Paulo) e registraram o valor máximo de 0,17 mg/kg. Nunes (2016) avaliou a concentração de Pb em *Rhizophora mangle* (*Crassostrea rhizophorae*) cultivada na Baía do Iguapé (Bahia) e verificou-se a presença de chumbo em 6,67% das amostras de ostras, tornando-as impróprias para o consumo humano. Siqueira (2008) analisou as concentrações de Pb para o Vaza-Barris (Sergipe), porém não foi encontrado nenhum teor, coincidindo com as amostras de 2017. O índice de chumbo encontrado em 2018 foi acima do limite estabelecido pelo Decreto N° 55.871/1965 e Portaria N° 685/1998 que é de 2,00ppm, bem como pela Resolução N° 42/2013 do Ministério da Saúde, que adota 1,50mg/kg, sendo assim as ostras devem ser consideradas impróprias para o consumo.

Comparando-se as concentrações de cobre, ferro, zinco e manganês (Figura 4A) nos tecidos de *C. brasiliana* no período de estiagem (out/2017), percebeu-se que o zinco apareceu em maior concentração em todos os pontos, com destaque para os pontos 1 (19,3mg/kg) e 3 (19,9mg/kg). O ferro foi o segundo metal que apareceu com maior concentração, principalmente nas localidades 3 e 4. O cobre e o manganês foram os elementos com menores concentrações, inclusive o ponto 2 apresentou menor teor de cobre e o ponto 3 a menor concentração de manganês. Dentre os metais analisados para as amostras obtidas em 2017, o teor de manganês foi o mais baixo.

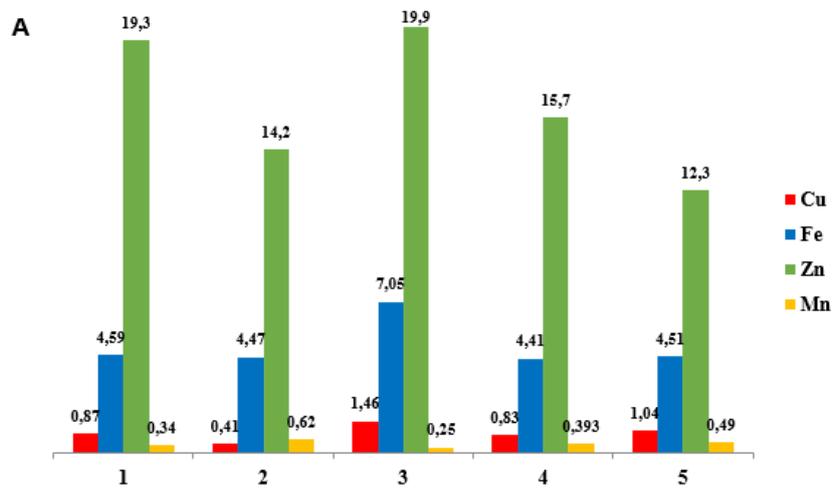


Figura 4A. Distribuição das concentrações de metais (em mg) nos tecidos de *C. brasiliana* do estuário do Vaza-Barris, São Cristóvão, Sergipe. A: período de estiagem (2017). Fonte: Os Autores.

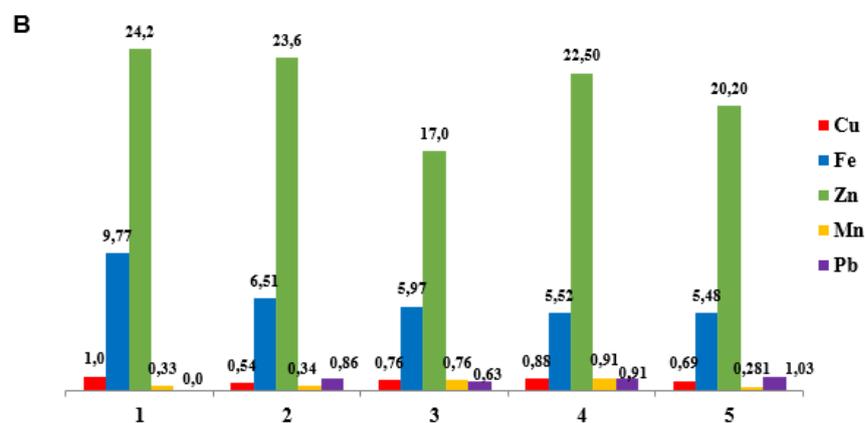


Figura 4B. Distribuição das concentrações de metais (em mg) nos tecidos de *C. brasiliana* do estuário do Vaza-Barris, São Cristóvão, Sergipe. B: período chuvoso (2018). Fonte: Os Autores.



Em relação às concentrações de cobre, ferro, zinco, manganês e chumbo no período chuvoso (Figura 4B) o zinco apresentou a maior concentração se comparada aos demais elementos, os pontos 1 (24,2mg/kg) e 2 (23,6mg/kg) destacaram-se com teores mais elevados. O ferro apareceu no ponto 1 em concentração mais elevada, e no ponto 4 mais baixa. O cobre foi mais expressivo no ponto 1 e menos no ponto 2. A maior concentração de manganês ocorreu no ponto 4 e a menor para o ponto 5. Já o chumbo, apareceu em todos os pontos, com exceção do ponto 1, contudo, o ponto 5 mostrou maior teor e o ponto 3 o menor.

Com base nos dados aqui obtidos referentes às concentrações dos metais nos tecidos de *C. brasiliana* do rio Vaza-Barris e a influência da sazonalidade, verificou-se que as concentrações de Fe, Zn, Mn e Pb foram mais elevadas no período chuvoso (Figura 4B), porém as de Cu foi maior durante o período de estiagem. Nota-se similaridade com os resultados apresentados por Milazzo et al. (2018) para as concentrações desses metais nos tecidos de ostras *Crassostrea*, do rio São Paulo (Bahia), visto que os valores de ferro, zinco e manganês foram maiores no período chuvoso e do cobre no período de estiagem.

Os dados aqui apresentados corroboram com os de Ramos (2011), para as ostras do estuário do rio Formoso (Pernambuco), já que os valores elevados de Zn, Cu, Pb, Fe e Mn foram registrados para o período chuvoso, fato esse que pode ser explicado pelo alto índice pluviométrico. As concentrações de metais traços como Cu, Fe, Zn, Mn e Pb em ostras *Crassostrea* também estão associadas à sazonalidade, aos tecidos gonadais e somáticos (Frías-Espéricueta et al. 1999).

As ostras *Crassostrea* necessitam de um aumento da temperatura para iniciar o processo reprodutivo, sendo nos meses mais quentes que ocorre a reprodução em massa (Gomes 2009; Castilho-Westphal 2012; Christo et al. 2015). As maiores concentrações de Cu, Pb e Zn em *Crassostrea* da Costa Pacífica do México ocorreram em novembro, quando a ostra estava em fase de repouso e o máximo de Mn em março, quando a população encontrava-se em atividade gametogênica; o valor mais elevado de Fe foi apresentado em setembro, durante a fase de pós-desova; apenas o Mn apresentou uma correlação positiva com a maturação do organismo, sugerindo que o mesmo pode desempenhar alguma função durante a maturação gonadal (Frías-Espéricueta et al. 1999).

Nas ostras do Vaza-Barris, as maiores concentrações de cobre foram registradas para o período de estiagem, sugerindo que este foi o único metal que apresentou uma correlação positiva com o processo de maturação desses indivíduos. Contudo, os teores de Fe, Zn, Mn e Pb foram mais elevados no período chuvoso, podendo estar relacionado ao estágio de repouso ou pós desova.

A diferença dos dados biométricos encontrados por Milazzo et al. (2018) nas ostras *Crassostrea* do rio São Paulo (Bahia), foi considerada significativa, uma vez que estes animais são organismos de pequeno porte. Além disso, os autores citam que as concentrações de Zn, Fe e Mn nos moluscos por eles estudados influenciam na diferença encontrada entre os dados biométricos e as estações seca e chuvosa. Comparando-se as médias dos dados biométricos das ostras do Vaza-Barris, entre os períodos chuvoso e de estiagem, com a bioconcentração e biodisponibilidade, nota-se que as ostras na estação de estiagem (out/17) apresentaram médias biométricas maiores e elevadas concentrações de cobre. Já, na estação chuvosa (jul/2018), observa-se que as médias biométricas foram inferiores, e os teores de ferro, zinco, manganês e chumbo foram mais elevados, não ocorrendo uma relação significativa. No tocante à sazonalidade e biodisponibilidade, verificou-se que o chumbo apareceu somente na estação chuvosa.

Confrontando os dados obtidos com aqueles registrados por Azlisham et al. (2009), para os tecidos de *Crassostrea* da Lagoa Setiu, Terengganu (Malásia), notou-se semelhança nos índices de zinco, pois foi o metal que apareceu em maior concentração. As ostras apresentam uma grande capacidade de acumular metais em seus tecidos, inclusive o zinco, já que este elemento desempenha função diretamente relacionada à reprodução, ao estágio de maturação gonadal dos organismos e à alimentação (MacCulloch 1989). Em contrapartida, os teores de cobre e manganês aqui obtidos diferem daqueles registrados para a Lagoa Setiu, visto que, nesta última as concentrações foram mais altas.

Dentre os metais analisados nos tecidos de *C. brasiliana* no presente artigo apenas o Cu encontrou-se dentro do limite estabelecido pela legislação brasileira. Já os índices de Fe, Zn, Mn e Pb mostraram-se preocupante, principalmente o teor de Pb registrado para o inverno, que foi bem além do estabelecido pela legislação brasileira, oferecendo por conseguinte risco ao consumo humano. Teor de Cu abaixo dos limites previstos pela legislação brasileira também foram obtidos para o estuário de Cananéia, São Paulo (Machado et al. 2002). As altas concentrações de cobre foram observadas em *C. madrasensis*, *C. gryphoides* e *Saccostrea cucullata* ao longo da costa centro-oeste da Índia, representando ameaça à saúde humana, sendo necessário a realização do monitoramento contínuo, a conscientização das pessoas e uma política governamental rigorosa para mitigar a poluição desse metal nos locais estudados (Shenai-Tirodkar et al. 2016).



Amaral et al. (2005) verificaram valores elevados de Zn e Pb nos tecidos de algumas ostras do rio Macau (Rio Grande do Norte) acima dos limites permitidos, não sendo assim recomendado para o consumo humano. Concentrações de cobre, chumbo e zinco foram avaliadas por Páez-Osuna e Osuna-Martínez (2015) nos tecidos de *C. corteziensis*, coletadas durante as estações chuvosa e seca em lagoas costeiras no Golfo da Califórnia. As concentrações de Cu, Pb e Zn foram maiores durante a estação seca, sendo superiores aos limites máximos admissíveis pela legislação.

A contaminação por cobre, chumbo e zinco em ostras *Saccostrea glomerata* foram verificadas por Le et al. (2015) ao longo da costa de Haiphong-Halong (Vietnã). Os resultados indicaram que as concentrações médias de Zn e Cu foram extremamente altas, seguidas por Pb. Esses autores atribuíram as maiores concentrações de metais pesados aos insumos antropogênicos e ao escoamento na estação chuvosa que influenciou relevantemente o acúmulo desses metais nas ostras.

Altas concentrações de metais tornam-se tóxicas e prejudiciais para os organismos aquáticos e para os seres humanos, pois interferem na ação enzimática (Barros & Barbieri 2012). Concentrações elevadas de Pb nos ecossistemas ocasionam risco à vida marinha. No manguezal, em especial, os efeitos podem provocar redução do crescimento e fecundidade, destruição celular, alteração no desenvolvimento sexual de jovens e inibição da respiração e da fotossíntese, causando consequentemente desequilíbrio no ecossistema (Pereira et al. 2001; Torres 2009; Soto-Jiménez et al. 2008).

O chumbo foi encontrado nas ostras do Vaza-Barris somente no período chuvoso. O chumbo é um elemento tóxico não essencial que se acumula no organismo humano provocando distúrbios gastrointestinais, neuromusculares e sobre o sistema nervoso central, além de causar alterações na pressão arterial e afetar negativamente o fígado, sistema renal, endócrino, reprodutivo e cardiovascular (Moreira & Moreira 2004; Schifer et al. 2005; Capitani 2009). A intoxicação por Pb tem potencial de provocar efeitos irreversíveis, inclusive nos sistemas, não ocorrendo níveis deste metal que parece ser necessário, benéfico ou seguro para o organismo (Rocha et al. 2017).

Hertika et al. (2019) analisaram os níveis de chumbo no corpo aquático, nas brânquias e no estômago de ostras *C. cucullata* e *C. glomerata* cultivadas na região costeira do sul de East Java, Indonésia. As concentrações de chumbo nas ostras ultrapassaram o limite seguro estabelecido pelo Ministério do Meio Ambiente. Além disso, os autores observaram que os níveis de chumbo nas brânquias e no estômago tem uma forte relação com os níveis de metalotioneína em ambas espécies de ostras. Alavian Petroody et al. (2017) verificaram que a acumulação de metais pesados nos tecidos de bivalves é afetada por fatores intrínsecos e extrínsecos, como condições fisiológicas, crescimento, mudanças sazonais, pH, salinidade, temperatura, gênero e idade. Os autores ainda constataram que o envelhecimento das ostras tem efeito negativo sobre a bioacumulação de chumbo em *Saccostrea cucullata* do Qeshm Island, Irã.

O ferro é um micronutriente indispensável para o bom funcionamento do metabolismo dos seres vivos e exerce grande influência na ciclagem de outros nutrientes (fosfato), porém pode se tornar tóxico quando em excesso (Lucas & Barrella 2015). O Fe que se acumula no sedimento estuarino é, geralmente, proveniente de esgotos domésticos, industriais e de área portuária. No ambiente aquático, os teores elevados desse metal afetam o crescimento do fitoplâncton, prejudicando as trocas gasosas na interface ar-oceano, além de influenciar os ciclos do carbono e do enxofre. A ingestão excessiva de ferro pode causar hemorragias, diarreias, hemocromatose e outras complicações hepáticas. A deficiência desse metal pode causar fadiga muscular, estomatite, disfagia e anemia. Esse elemento apresenta importância para o organismo vivo no transporte do oxigênio pela cadeia HEME, da hemoglobina, à formação de citocromos e de mioglobulina, ao funcionamento das catecolaminas e dos neutrófilos. O nível diário recomendado de ingestão de ferro é de 10mg para homens e 18mg para mulheres (Ramos 2011).

O zinco é um metal essencial para funções biológicas, entretanto, em concentrações elevadas podem ser prejudiciais para pessoas e animais, causando efeitos adversos à biota aquática (Chissini 2015). A principal emissão natural de zinco é por erosão, já em relação à origem antrópica faz parte a mineração, corrosão de estruturas galvanizadas, combustão de carvão, eliminação e incineração de resíduos e o uso de fertilizantes e agrotóxicos contendo zinco (Semedo 2014). Teores muito elevado de Zn interfere nas reações enzimáticas, nos diversos ciclos bioquímicos dos animais e das plantas, incluindo fotossíntese e formação de açúcar, síntese de proteínas, fertilidade, regulação do crescimento e defesa contra doenças. No ser humano a deficiência de Zn pode causar anorexia, cicatrização lenta, disfunções imunológicas e desordens de comportamento. As principais fontes alimentares desse elemento, encontram-se nas ostras, em frutos do mar, dentre outros (Caetano 2006).



O manganês é um dos metais mais abundantes na crosta terrestre, sendo um elemento essencial para a vida animal e vegetal, mas o consumo ou a exposição elevada pode causar toxicidade. Elevadas concentrações de manganês em *Crassostrea* podem prejudicar o sistema dopaminérgico, inibidor de cílios, bem como diminuir os níveis endógenos de dopamina nos gânglios cerebrais e viscerais, e nas brânquias (Martin et al. 2008). Em outros animais, o excesso de Mn provoca mudanças no cérebro podendo levar à impotência (danifica os testículos) e efeitos adversos no sistema nervoso, respiratório e reprodutivo. No homem, o metal é absorvido no intestino delgado, sendo que a maior parte se acumula no fígado, de onde é direcionado para os demais órgãos do corpo. A deficiência do Mn causa perda de peso, afeta a capacidade reprodutiva, a função pancreática e o metabolismo de carboidratos. O consumo ideal deve estar entre 1 a 5mg por dia, quantidade que se consegue através dos alimentos como grãos integrais, leguminosas, nozes e chás (Paganini et al. 2015).

A extração de ostras está entre as atividades de maior destaque em áreas estuarinas e de manguezais, inclusive na região Nordeste do Brasil, a extração desses mariscos representa importante papel social e econômico para grande parte da população ribeirinha (Santos et al. 2015). Diante disso, é de suma relevância a determinação da qualidade do ecossistema aquático e do seu grau de contaminação, como parâmetro pertinente para avaliar a sanidade desses organismos, os impactos negativos provocados pela contaminação por esgotos e na saúde da população estuarina (Freitas et al. 2017). Também é preciso a regulamentação de áreas costeiras destinadas ao extrativismo e cultivo de ostras baseando-se em programas de monitoramento microbiológico e físico-químico, principalmente para a bioconcentração e biodisponibilidade de metais pesados como é o caso do chumbo, objetivando garantir a qualidade das ostras comercializadas, assim como a segurança alimentar dos extratores e consumidores. Além disso, a necessidade de uma legislação específica referente aos teores de metais pesados para o consumo de alimentos marinhos, pois a atual inclui os organismos marinhos como “peixes e produtos da pesca” (Tureck et al. 2006).

4. Conclusão

A ostra *C. brasiliana* permitiu analisar e comparar as concentrações de cobre, ferro, zinco, manganês e chumbo em diferentes sazonalidades no manguezal do Vaza-Barris/SE. Os parâmetros pH e temperatura encontraram-se dentro da faixa favorável para o desenvolvimento e crescimento de *C. brasiliana*, enquanto a salinidade mostrou-se dentro dos limites de tolerância, o que pode interferir na alimentação e no crescimento das ostras, e conseqüentemente no acúmulo de metais em seu organismo.

Em relação às concentrações de metais nas ostras, o cobre foi o único elemento que demonstrou teores mais elevados na estação de estiagem. Enquanto os demais metais revelaram índices maiores no período chuvoso, sendo que o Pb apareceu apenas no último período.

O cobre foi o único que se encontrou dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira. Os índices de ferro, zinco e manganês apresentados para as duas estações foram superiores ao limite estabelecido pela legislação, assim como o índice de chumbo registrado na coleta de 2018. Os elementos ferro, zinco e manganês são micronutrientes essenciais, porém em elevadas concentrações tornam-se tóxicos e prejudiciais para os organismos aquáticos e para o homem. As elevadas concentrações de Pb nas ostras representa risco à vida marinha e aos humanos, provocando grande preocupação ecológica, ocasionada pela liberação desse metal nos inúmeros ambientes naturais, principalmente das áreas estuarinas em Sergipe.

Portanto, é necessário o desenvolvimento de futuras investigações e estudos adicionais, incluindo pesquisas com outras espécies de moluscos, sedimentos e água, nesta e em outras áreas próximas, com a finalidade de poder identificar as possíveis fontes geradoras desses metais e os fatores que estão contribuindo para a biodisponibilidade e bioconcentração no manguezal do Vaza-Barris. Também é imprescindível a criação de legislação específica que estabeleça os limites de concentrações de metais pesados para os diferentes tipos de pescados, bem como de ferro e manganês para que não seja necessário recorrer à legislação internacional.

Por fim, é preciso eficiência no estabelecimento de medidas higiênico-sanitárias para o acompanhamento físico, químico e microbiológico do ambiente de origem das ostras, visto que nas últimas décadas a extração, a comercialização e o consumo desses organismos têm aumentado consideravelmente, tornando-se uma fonte de renda relevante para a economia das comunidades pesqueiras não somente em Sergipe, mas também em muitos estados brasileiros. Ademais, o presente estudo pode servir como subsídio para o desenvolvimento de novas pesquisas e projetos relacionados à sanidade ambiental das áreas de manguezais e ostras nativas.



Agradecimentos

À Fundação de Apoio à Pesquisa e Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (FAPITEC/SE) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida à primeira autora; em especial ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA/UFS), pelo auxílio e apoio da pesquisa.

Referências

- Absher T M, Vergara E M, Christo S W 2000). Growth and allometry of the larval shell of the Brazilian oyster *Crassostrea brasiliana* (Lamarck, 1819) (Bivalvia: Ostreidae). *Ophelia* 53(2):05-112.
- Aguilar C A, Montalvo C, Rodríguez L, Cerón J G, Cerón R M 2012. American oyster (*Crassostrea virginica*) and sediments as a coastal zone pollution monitor by heavy metals. *International Journal Environmental Science and Technology* 9):579–586.
- Aguirre-Rubí J, Luna-Acosta A, Ortiz-Zarragoitia M B, Zaldibar B, Izagirre U M J, Ahrens M J, Villamil L, Marigómez I 2018. Assessment of ecosystem health disturbance in mangrove-lined Caribbean coastal systems using the oyster *Crassostrea rhizophorae* as sentinel species. *Science of the Total Environment* (618):718–735.
- Akaboshi S, Pereira O M 1981. Ostricultura na região lagunar-estuarina de Cananéia, São Paulo, Brasil. I. Captação de larvas de ostras, *Crassostrea brasiliana* (Lamarck, 1819), em ambiente natural. *Boletim do Instituto de Pesca* 8 (1):87-103.
- Alfonso J A, Handt H, Mora A, Vásquez Y, Azocar J, Marcano E 2013. Temporal distribution of heavy metal concentrations in oysters *Crassostrea rhizophorae* from the central Venezuelan coast. *Marine Pollution Bulletin* 73(1):394-398.
- Ahmad F, Azman S, Disse M I M, Baloo L 2015. Biomonitoring of metal contamination in estuarine ecosystem using seagrass. *Journal of Environmental Health Science and Engineering* (13):1-4.
- Amaral M C R, Rebelo M F, Torres J P M, Pfeiffer W C 2005. Bioaccumulation and depuration of Zn and Cd in mangrove oysters (*Crassostrea rhizophorae*, Guilding, 1828) transplanted to and from a contaminated tropical coastal lagoon. *Marine Environmental Research* (59):277-285.
- Azlisham M, Vedamanikam V J, Shazilli N A M 2009. Concentrations of cadmium, manganese, copper, zinc, and lead in the tissues of the oyster (*Crassostrea iredalei*) obtained from Setiu Lagoon, Terengganu, Malaysia. *Toxicological & Environmental Chemistry* 91(2):251-258.
- Barros D, Barbieri E 2012. Análise da ocorrência de metais: Ni, Zn, Cu, Pb e Cd em ostras (*Crassostrea brasiliana*) e sedimentos coletados no Estuário de Cananéia-SP (Brasil). *Revista Mundo da Saúde* 36(4):635-642.
- Bendati M M A 1997. *Avaliação das concentrações de Cd, Cr, Pb, Cu e Zn em amostras de água, sedimento e Neocorbicula limosa (Maton, 1811) (Mollusca: Bivalvia) no Guaíba, RS*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 120pp.
- Brasil. Decreto N° 55. 871, de 26 de março de 1965. Dispõem sobre normas regulamentadoras do emprego de aditivos para alimentos. *Diário Oficial da União*. Poder Executivo, Brasília, DF, 09 abr.1965, Seção 1. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1950-1969/d55871.htm.
- Brasil. Divisão Nacional de Vigilância Sanitária de Alimentos. Portaria N°.685, de 27 de agosto de 1998. Fixa limites máximo de tolerância de contaminantes químicos em alimentos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 24 de set. 1998. http://bvsm.sau.gov.br/bvs/sau delegis/anvisa/1998/prt0685_27_08_1998_rep.html.
- Burioli E A V, Squadrone S, Stella C, Fogliani C, Abete M C, Prearo M 2017. Trace element occurrence in the Pacific oyster *Crassostrea gigas* from coastal marine ecosystems in Italy. *Chemosphere* (187):248-260.
- Caetano R 2006. *Biodisponibilidade de zinco de ostras (Crassostrea gigas) cultivadas em Florianópolis/SP*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 190pp.
- Capitani E M 2009. Metabolismo e toxicidade do chumbo na criança e no adulto. *Medicina* (Ribeirão Preto) 42(3):278-86.
- Carneiro C S, Mársico E T, Jesus E F O, Ribeiro R O R, Barbosa R F 2011. Trace elements in fish and oysters from Sepetiba Bay (Rio de Janeiro- Brazil) determined by total reflection X-ray fluorescence using synchrotron radiation. *Chemistry and Ecology* 27(1):1-8.
- Castilho-Westphal G G 2012. *Ecologia da ostra do mangue Crassostrea brasiliana (Lamarck, 1819) em manguezais da baía de Guaratuba-PR*. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Brasil, 188pp.
- Chan CY, Wang W X 2019. Biomarker responses in oysters *Crassostrea hongkongensis* in relation to metal contamination patterns in the Pearl River Estuary, southern China. *Environmental Pollution* 251(8):1-39.



- Chissini C R C 2015. *Adequação de parâmetros físicos e químicos de efluente industrial e relação com a toxicidade*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul. Não Publicado, 97pp.
- Christo S W, Ivachuk C S, Veronese F C, Ferreira-Jr A L, Absher T M 2015. Descrição alimentar e estágio de maturação de *Crassostrea brasiliana* comercializadas no mercado municipal de Paranaguá, Paraná, Brasil. *Brazilian Journal of Aquatic Science. Technology* 19(2):1-9.
- CPRM. Estado de Sergipe. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Estado-de-Sergipe-395.html>>. Acesso em: 2 de abr. 2019.
- Carvalho M E S 2010. *A questão hídrica na bacia sergipana do rio Vaza-Barris*. 371 p. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil, 371pp.
- Carvalho M E S 2015. Riscos e vulnerabilidades socioambientais na bacia costeira do rio Vaza-Barris/Sergipe/Brasil: contribuições para o planejamento e gestão ambiental. In: VIII Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. Disponível on-line em http://www.aprh.pt/ZonasCosteiras2015/pdf/2B1_Artigo_056.pdf. Acessado em: 03 de abr. 2019.
- Castello B F L 2010. *Avaliação dos teores de As, Cu, Cd, Ni e Zn em ostras, Crassostrea rhizophorae (Guilding, 1828), nas baías de Paranaguá e Guaratuba, Paraná*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Paraná, Brasil, 67pp.
- Castro A V, Mendonça B B, Bloise W, Shuhama T, Brandão Neto J 1999. Effect of zinc administration on thyrotropin releasing hormone-stimulated prolactinemia in healthy men. *Biometals* 12(4):347-52.
- Diniz S S 2001. *Avaliação da taxa de Assentamento da "ostra nativa" Crassostrea rhizophorae (Guilding, 1828) em Ponta dos Mangues, Pacatuba-SE*. Dissertação de Mestrado, Universidade federal de Pernambuco, Pernambuco, Brasil, 69pp.
- Espíndola E L G, Botta-Paschoal C M R, Rocha O, Bohrer M B C, Oliveira-Neto A L 2000. *Ecotoxicologia: Perspectiva para o Século XXI*. São Carlos: Rima. Disponível on-line em <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&cid=792563&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22ESPINDOLA,%20E.L.G.%22&qFacets=autoria:%22ESPINDOLA,%20E.L.G.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>. Acessado em: 13 de jul. de 2020.
- Freitas F, Neiva G S, Cruz E S, Santana J M, Silva I M M, Mendonça F S 2017. Qualidade microbiológica e fatores ambientais de áreas estuarinas da Reserva Extrativista Marinha Baía do Iguape (Bahia) destinadas ao cultivo de ostras nativas. *Engenharia Sanitária Ambiental* 22 (4):723-729.
- Frías-Espéricueta M G J I, Osuna-López F, Páez-Osuna 1999. Gonadal maturation and trace metals in the mangrove oyster *Crassostrea corteziensis*: seasonal variation. *Science of The Total Environment* (231):115-123.
- Funio I C S A, Antonio I G, Marinho Y F, Gálvez A O 2015. Influência da salinidade sobre a sobrevivência e crescimento de *Crassostrea gasar*. *Boletim do Instituto de Pesca*, São Paulo, 41(4): 837-847.
- Galvão M S N, Pereira O M, Machado I C, Henrique M B 2000. Aspectos reprodutivos da ostra *Crassostrea brasiliana* de manguezais do estuário de Cananéia, SP (25°S; 48°W). *Boletim do Instituto de Pesca* (26):147-162.
- Galvão M S N 2010. *Identificação molecular e avaliação da diversidade genética populacional de ostras do gênero Crassostrea do complexo estuarino-lagunar de Cananéia, SP: contribuição ao manejo sustentável do recurso pesqueiro*. Dissertação de Doutorado, Universidade de Mogi das Cruzes, São Paulo, Brasil. Não Publicado, 198pp.
- García-Rico L, Tejeda-Valenzuela L, Burgos-Hernández A 2010. Seasonal Variations in the Concentrations of Metals in *Crassostrea corteziensis* from Sonora, México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 85(2):209-213.
- Gomes C H A M 2009. *Ciclo reprodutivo da ostra Crassostrea brasiliana (Lamarck, 1819) em cultivo e maturação em laboratório*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 57pp.
- Hertika A M S, Kusriani K, Indrayani E, Yona D, Putra S R B D 2019. Metallothionein expression on oysters (*Crassostrea cuculata* and *Crassostrea glomerata*) from the southern coastal region of East Java. *F1000 Research* (63)1-13.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2010) *Censo demográfico*. Disponível on-line em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/sao-cristovao/panorama>. Acessado em: 05 de ago. de 2021.
- Jahan S, Strezov V 2019. Assessment of trace elements pollution in the sea ports of New South Wales (NSW), Australia using oysters as bioindicators. *Scientific Reports* (9):1-10.
- Ji C, Wang Q, Wu H, Tan Q, Wang W-X 2016. A metabolomic study on the biological effects of metal pollutions in oysters *Crassostrea sikamea*. *Marine Pollution Bulletin* 102(1):216-222.



- Jonathan M P, Muñoz-Sevilla N P, Góngora-Gómez A M, Luna Varela R G, Sujitha S B, Escobedo-Urías D C, Rodríguez-Espinosa P F, Campos Villegas L E 2017. Bioaccumulation of trace metals in farmed pacific oysters *Crassostrea gigas* from SW Gulf of California coast, Mexico. *Chemosphere* (187):311-319.
- Kanthai L D, Gobin J F, Beckles D M, Lauckner B, Ohammed A 2014. Metals in sediments and mangrove oysters (*Crassostrea rhizophorae*) from the Caroni Swamp, Trinidad. *Environmental Monitoring and Assessment* (186):1961-1976.
- Krishnakumar P K, Qurban M A, Sasikumar G 2018. Biomonitoring of Trace Metals in the Coastal Waters Using Bivalve Molluscs. *Intechopen* (8):153-176.
- Le Q D, Bach L G, Arai T 2015. Monitoring heavy metal contamination using rocky oyster (*Saccostrea glomerata*) in Haiphong-Halong Coastal Area, North Vietnam. *International Journal of Environmental Research* (9):1373-1378. DOI:10.22059/ijer.2015.1031.
- Leal D A G 2008. *Avaliação da contaminação de ostras (Crassostrea rhizophorae) por espécies de Cryptosporidium e Giardia em um ambiente de estuário do litoral de São Paulo*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil, 201pp.
- Lucas A A C, Barrella W 2015. Ecologia de Ecossistemas Aquáticos e a Importância do Elemento Ferro (Fe)- Aspectos Teóricos e Roteiro de Atividade Prática de Laboratório (Medir a concentração de Ferro (Fe) em solução aquosa). *UNISANTA BioScience* 4(5):7- 17pp.
- Machado I C, Maio F D, Kira C S, Carvalho M F H 2002. Estudo da ocorrência dos metais pesados Pb, Cd, Hg, Cu e Zn na ostra de mangue *Crassostrea brasiliana* do estuário de Cananéia-SP, Brasil. *Revista do Instituto Adolfo Lutz* 61(1):13-18.
- Mamede T C A 2008. *Biomonitoramento por Crassostrea rhizophorae (Guilding, 1928) e percepção de risco socioambiental na Baía de Todos os Santos, Bahia*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Brasil. 120pp.
- Martin K, Huggins T, King C, Carroll M A, Catapane E J 2008. The Neurotoxic Effects of Manganese on the Dopaminergic Innervation of the Gill of the Bivalve Mollusc, *Crassostrea virginica*. *Comp Biochem Physiol Toxicol Pharmacol* 148(2):152-159.
- Melo A S, Netto A O A, Neto J D, Brito M E B, Viégas P R A, Magalhães L T S, Fernandes P D 2006. Desenvolvimento vegetativo, rendimento da fruta e otimização do abacaxizeiro cv. Pérola em diferentes níveis de irrigação. *Ciência Rural* 36(1):93-98.
- Milazzo A D D, Melo E G V, Lima E P, Cruz M J M 2018. Biometric Aspects and Seasonal Metal Concentration in *Crassostrea rhizophorae* in São Paulo River Estuary, Brazil. *International Journal of Research in Environmental Science* 4(2):22-24.
- Montanhini Neto R 2011. *Influência de variáveis ambientais sobre o desenvolvimento de ostras Crassostrea (SACCO, 1897) na Baía de Guaratuba, Brasil*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Brasil. 64pp
- Moreira F R, Moreira J C 2004. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. *Revista Panam Salud Publica* 15(2):119-29.
- Nunes F F V 2016. *Sanidade de ostras (Crassostrea rhizophorae) cultivada na reserva extrativista marinha Baía do Iguapé, Bahia*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil. 132pp.
- Ochoa V, Barata C E, Riva M C 2013. Heavy metal content in oysters (*Crassostrea gigas*) cultured in the Ebro Delta in Catalonia, Spain. *Environmental Monitoring and Assessment* 185(8):6783-6792.
- Oliveira A P F 2019. *Determinação de metais na água, sedimento e em moluscos bivalves do complexo estuarino de Paranaguá, Paraná, Brasil*. Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil. 93pp.
- Oliveira J S, Pereira S F P P, Silva J S, Oliveira G R F 2008. O uso do cabelo como bioindicador das condições nutricionais da população da cidade de altamira-PA. *48º Congresso Brasileiro de Química, Química na Proteção ao Meio Ambiente*, Rio de Janeiro. Disponível on-line em <http://www.abq.org.br/cbq/2008/trabalhos/5/5-540-4776.htm>. Acessado em: 19 de set. de 2020.
- Páez-Osuna F, Osuna-Martínez C C 2015. Bioavailability of cadmium, copper, mercury, lead, and zinc in subtropical coastal lagoons from the Southeast Gulf of California using mangrove oysters (*Crassostrea corteziensis* and *Crassostrea palmula*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* (68):305-316.
- Paganini E R, Manzini F F, Plicas L M A 2015. Comportamento da concentração do metal manganês no solo de acordo com a sazonalidade. *XI Fórum Ambiental da Alta Paulista* 11(8):42-56.
- Pereira O M, Machado I C, Henriques M B, Yamanaka N 2001. Crescimento da ostra *Crassostrea brasiliana* semeada sobre tabuleiro em diferentes densidades na região estuarino-lagunar de Cananéia-SP (25° S, 48° W). *Boletim do Instituto de Pesca*, 27(2):163 - 174.
- Pieterse A, Pitcher G, Naidoo P, Jackson S 2012. Growth and Condition of the Pacific Oyster *Crassostrea gigas* at Three Environmentally Distinct South African Oyster Farms. *Journal of Shellfish Research* 31(4):1061-1076.



- Ramos S V C 2011. *Avaliação a concentração de metais traço em ostra de mangue (Crassostrea rhizophorae guilding, 1828), sururu (Mytella charruana d'orbigny, 1846) e sedimentos superficiais no estuário do rio Formoso, Pernambuco*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. 184pp.
- Rementeria A, Mikolaczyk M, Lancelleur L, Blanc G, Soto M, Schafer J, Benat Zaldibar B 2016. Assessment of the effects of Cu and Ag in oysters *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) using a battery of cell and tissue level biomarkers. *Marine Environmental Research* (122):11-22.
- Repula C M M, Campos B K, Ganzarolli E M, Lopes M C, Quináia S P 2012. Biomonitoramento de Cr e Pb em peixes de água doce. *Química Nova* 35(5):905-909.
- Rocha R, Pezzini M F, Poeta J 2017. Fontes de contaminação pelo chumbo e seus efeitos tóxicos na saúde ocupacional. *Ciência em Movimento Biociências e Saúde* 19(9):23-32.
- Rojas M O A I, Cavalcante P R S, Souza R C, Dourado E C S 2007. Teores de zinco e cobre em ostra (*Crassostrea rhizophorae*) e sururu (*Mytella falcata*) do estuário do rio Bacanga em São Luís (MA). *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia* 20(1):1-9.
- Santana L M B M, Lotufo L C, Abessa D M S 2015. A contaminação antrópica e seus efeitos em três estuários do litoral do Ceará, Nordeste do Brasil- Revisão. *Arquivos de Ciências do Mar*, 48(2):93-115. Santos S A A 2014. *Pesquisa de protozoários Apicomplexa em ostras Crassostrea rhizophorae, Guilding, 1828 (Bivalvia: Ostreidae) da Baía de Todos os Santos- Bahia*. 2014. 67 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, Brasil. 67pp.
- Santos S S, Evangelista-Barreto N S, Barreto L M 2015. Cadeia produtiva de ostras no Baixo Sul da Bahia: um olhar socioeconômico, de saúde pública, ambiental e produtivo. *Acta of Fisheries and Aquatic Resources* 5(1):10-21.
- Schifer T S, Bogusz Junior S, Montano M A E 2005. Aspectos toxicológicos do chumbo. *Infarma* 17(5):67-72pp.
- Séguin A, Caplat C, Serpentine A, Lebel J M, Menet-Nedelec F, Costil K 2016. Metal bioaccumulation and physiological condition of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) reared in two shellfish basins and a marina in Normandy (northwest France). *Marine Pollution Bulletin* (106):202-214.
- Semedo M F F R 2014. *Importância médico-legal dos metais essenciais: cobre e zinco*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Brasil. 89pp.
- Shenai-Tirodkar P S, Gauns M U, Ansari Z A 2016. Concentrations of Heavy Metals in Commercially Important Oysters from Goa, Central-West Coast of India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 97(6):813-819.
- Silva A I M, Vieira R H S F, Menezes F G R, Fonteles-Filho A A, Torres R C O, Santanna E S 2003. Bacteria of fecal origin in mangrove oysters (*Crassostrea rhizophorae*) in the cocó river estuary, Ceará state, Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology* (34):126-130.
- Silva C A R, Rainbow P S, Smith B D, Santos Z L 2001. Biomonitoring of trace metal contamination in the potengi estuary, Natal (Brazil), using the oyster *Crassostrea rhizophorae*, a local food source. *Water Research* 35(17):4072-4078.
- Siqueira M M M 2008. Medidas do comportamento organizacional: ferramentas de diagnóstico e de gestão. *Gestão & Regionalidade* 27(80):114-115.
- Soto-Jiménez M F, Páez-Osuna F 2008. Diagenetic processes on metals in hypersaline mudflat sediments from a subtropical saltmarsh (SE Gulf of California): postdepositional mobility and geochemical fractions. *Appl Geochem* (23):1202-1217.
- Souza R V, Garbossa L H P, Campos C J A, Vianna L F N, Vanz A, Rupp G S 2016. Metals and pesticides in commercial bivalve mollusc production areas in the North and South Bays, Santa Catarina (Brazil). *Marine Pollution Bulletin* 105(1):377-384.
- Suryawanshi G D, Shaikh A M, Mane U H 2011. Heavy metals concentration in rock oyster *Crassostrea cattuckensis* from Ratnagiri coast. *Journal of Ecophysiology and Occupational Health* 11(3):175-180.
- Torres R F 2009. *Disponibilidade dos metais cobre e chumbo em um canal de maré receptor de efluentes de carcinicultura*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Brasil. 134pp.
- Tureck C R, Oliveira T M N, Cremer M J, Bassfeld J C 2006. Avaliação da concentração de metais pesados em tecidos de ostra *Crassostrea gigas* (Molusca, Bivalve) cultivadas na Baía de Babitonga, litoral norte de Santa Catarina., Pesticidas: *Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente Curitiba* (16):53-62.
- Vasco A N, Júnior A V M, Santos A C A S, Ribeiro D O, Tavares E D, Nogueira L C 2010. Qualidade da água que entra no estuário do rio Vaza-Barris pelo principal fluxo de contribuição de água doce. *Scientia Plena* 6(9):1-11.
- Weng N, Wang W -X 2014. Variations of trace metals in two estuarine environments with contrasting pollution histories. *Science of the Total Environment* 604-614.
- Weng N, Wang W.-X 2019. Seasonal fluctuations of metal bioaccumulation and reproductive health of local oyster populations in a large contaminated estuary, *Environmental Pollution* (250):175-185.
- Yesudhasan P, Al-Busaidi M, Al-Rahbi W A K, Al-Waili A S, Al-Nakhaili A, Nashwa K, Al-mazrooei A, Al-Habsi S 2013. Distribution patterns of toxic metals in the marine oyster *Saccostrea cucullata* from the Arabian Sea in Oman: spatial, temporal, and size variations. *Springer Plus* (2):1-11.



Zanette J, Monserrat J M, Bianchini A 2006. Biochemical biomarkers in gills of mangrove oyster *Crassostrea rhizophorae* from three Brazilian estuaries. *Comparative Biochemistry and Physiology* (143):187-195.

Zanetti D P 2010. *A Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) é uma boa espécie indicadora da qualidade ambiental? Estudo de caso da área de Proteção Ambiental do Rio Mamanguape-PB. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Brasil. 51pp.