JOSÉ CUSTÓDIO DA SILVA

SEGURANÇA ALIMENTAR: AVALIAÇÃO DO CONTEÚDO DE METAIS PESADOS PRESENTES NOS PRINCIPAIS PRODUTOS AQUÍCOLAS PRODUZIDOS NO RIO GRANDE DO NORTE

Artigo apresentado ao Programa de Pós Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito à defesa de artigo, na linha de Saneamento Ambiental, para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Jean Leite Tavares
Co-orientador: Prof. Dr. Julio Alejandro Navoni

NATAL
2021

JOSÉ CUSTÓDIO DA SILVA

SEGURANÇA ALIMENTAR: AVALIAÇÃO DO CONTEÚDO DE METAIS PESADOS PRESENTES NOS PRINCIPAIS PRODUTOS AQUÍCOLAS PRODUZIDOS NO RIO GRANDE DO NORTE

Artigo apresentado ao Programa de Pós Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito à defesa de artigo, na linha de Saneamento Ambiental, para obtenção do título de mestre.
Orientador: Prof. Dr. Jean Leite Tavares
Co-orientador: Prof. Dr. Julio Alejandro Navoni

Artigo apresentado e aprovado em 18/08/2021, pela seguinte Banca Examinadora:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr Jean Leite Tavares (Presidente da Banca)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)

Prof. Dr. Julio Alejandro Navoni (Avaliador interno)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)

Prof. Drª Karina Ribeiro (Avaliador externo)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

NATAL

2021

SEGURANÇA ALIMENTAR: AVALIAÇÃO DO CONTEÚDO DE METAIS PESADOS PRESENTES NOS PRINCIPAIS PRODUTOS AQUÍCOLAS PRODUZIDOS NO RIO GRANDE DO NORTE

FOOD SAFETY: ASSESSMENT OF THE CONTENT OF HEAVY METALS PRESENT IN THE MAIN AQUACULTURAL PRODUCTS PRODUCED IN RIO GRANDE DO NORTE

José Custódio da Silva[1*]
Jean Leite Tavares[2**]
Julio Alejandro Navoni[3***]

RESUMO: Os metais pesados são uma temática atual, pois a depender de suas concentrações esses elementos podem apresentar propriedades tóxicas, quando em contato com os organismos aquícolas incorporam por bioconcentração ou biomagnificação estes elementos podendo afetar diretamente o ser humano. Este trabalho avaliou as concentrações dos metais pesados Fe, Cd, Cu, Pb, Cr, Co, Ni, Ag, Mn e Zn, a luz das normas vigentes, os principais produtos aquícolas produzidos no estado do Rio Grande do Norte, TILÁPIA-DO-NILO (*Oreochromis niloticus),* OSTRA (*Crassostrea gazar),* CAMARÃO (*Litopenaeus vannamei),* foram avaliadas 61 amostras, de 7 métodos de produção, ao todo 1530 leituras pelo método de absorção atômica. Para as análises de cobalto, cobre, chumbo, ferro, manganês, níquel e prata, os resultados de todos os organismos ficaram abaixo do determinado pelas legislações. Em relação ao cadmio, cromo e zinco alguns resultados estão em desacordo com as normatizações. Para os resultados de cadmio apenas a ostra viveiro e a ostra ambiente natural, expôs valores acima do permitido pela Resolução de Diretoria Colegiada - RDC Nº 42 e pela norma internacional Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Health Organization (FAO/WHO) e Comunidade Europeia (CE), 2005. Para o cromo as amostras de tilápia Estação de Tratamento de Efluente - ETE, ostra viveiro, ostra sistema convencional, ostra ambiente natural e camarão sem ração os resultados estão em discrepância dos limites máximos estabelecidos pela Portaria n° 685, FAO/WHO. O zinco para ostra sistema convencional e ostra ambiente natural exibiu resultados acima do permitido pela Portaria n° 685. Concluiu-se que variações no ambiente, alimentação e tratamento fornecidos para os espécimes aquícolas analisados, incluindo diferenças entre espécies, condições ambientais, afetam o acúmulo de metais.
Palavras-chave: Metais Pesados. Aquicultura. Bioacumulação. Segurança Alimentar.

ABSTRACT: Heavy metals are a current theme, because depending on their concentrations, these elements can present toxic properties, when in contact with aquaculture organisms they incorporate by bioconcentration or biomagnification these elements can directly affect the human being. This work evaluated the concentrations of heavy metals Fe, Cd, Cu, Pb, Cr, Co, Ni, Ag, Mn and Zn, in light of current standards, the main aquaculture products produced in the state of Rio Grande do Norte, TILAPIA-DO -NILO (Oreochromis niloticus), OYSTER (Crassostrea gazar), SHRIMP (Litopenaeus vannamei), 61 samples from 7 production methods were evaluated, totaling 1530 readings by the atomic absorption method. For the analysis of cobalt, copper, lead, iron, manganese, nickel and silver, the results of all organisms were below

[1*] Discente do curso de Mestrado em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituição Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
[2**] Professor Doutor, em Engenharia de Recursos Hídricos do Instituição Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.
[3***] Professor Doutor, em Farmácia e Bioquímica do Instituição Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

the one determined by the legislation. In relation to cadmium, chromium and zinc, some results are in disagreement with the norms. For the results of cadmium, only oyster farms and oysters in the natural environment showed values above those allowed by the Collegiate Board Resolution - RDC No. 42 and by the international standard Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Health Organization (FAO/WHO) and European Community (CE), 2005. For chromium samples of tilapia Effluent Treatment Station - ETE, oyster nursery, oyster conventional system, oyster natural environment and shrimp without feed, the results are in discrepancy with the maximum limits established by Ordinance no. No. 685, FAO/WHO. Zinc for oyster conventional system and oyster natural environment showed results above those allowed by Ordinance No. 685. It was concluded that variations in the environment, food and treatment provided for the aquaculture specimens analyzed, including differences between species, environmental conditions, affect accumulation of metals.
Keywords: Heavy metals. Aquaculture. Bioaccumulation. Food Safety.

1 INTRODUÇÃO

Nesta introdução será apresentado uma revisão histórica do tema abordado, culminado na apresentação da problemática que norteia a pesquisa desenvolvida neste artigo.

1.1 RESENHA DOS METAIS COMO PROBLEMÁTICA SANITÁRIA

Os metais estão presentes no ambiente, seja na água, no solo ou nos seres vivos, sendo introduzidos por processos naturais como os ciclos biogeoquímicos ou por processos antrópicos (ALMEIDA, 2010; DHANAKUMAR; SOLARAJ; MOHANRAJ, 2015). Os metais essenciais, como o cálcio (Ca), o cobalto (Co), zinco (Zn), ferro (Fe) e cobre (Cu) os quais participa do funcionamento da maquinaria biológica, que dependendo das concentrações são considerados indispensáveis, auxiliando nos processos metabólicos, regulando a energia (HUANG et al., 2017; FAKHRI *et al*., 2018).

Na natureza encontram-se também os metais não essenciais para o funcionamento normal dos organismos, como o mercúrio (Hg), níquel (Ni), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr) que disponibilizam-se no ambiente principalmente como consequência de subprodutos ou rejeitos de inúmeros processos industriais. Muitos metais não essenciais encontram-se disponíveis através da água, decorrentes de processos de lixiviação e solubilização de minerais, tais como o vanádio (V), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e arsénio (As) (LACERDA *et al.*, 2006; LIU; WANG, 2016), servindo como exemplo podemos citar a contaminação dos aquíferos de algumas regiões da Argentina, áreas com histórico de vulcanismo, onde se encontra altas concentrações de arsênico, (NAVONI *et al.*, 2014).

Qualquer elemento metálico dependendo de sua concentração pode apresentar propriedades toxicas sobre os seres vivos. Umas das caraterísticas dos metais no ambiente e sua persistência no ambiente sendo difíceis de eliminar de áreas contaminadas (MIRANDA FILHO *et al*., 2011). Consequentemente os organismos expostos incorporam estes compostos por processos de bioconcentração e biomagnificação, tendendo estes metais a prejudicar os seres superiores, da cadeia trófica, incluindo o ser humano (VIEIRA *et al.*, 2020).

Podemos citar como exemplos representativos das consequências que os metais podem provocar a saúde humana, os casos de doenças cardiovasculares (DCV), estudos recentes de revisão já se relaciona os DCV com as exposições a metais pesados em países subdesenvolvidos (YANG *et al.*, 2020; DUAN *et al.*, 2020), em outros estudos realizados nos EUA, foi observada uma relação positiva entre os metais pesados na urina de diabéticos (MENKE *et al.*, 2016), esta relação foi feita também com doenças neurodegenerativas (KARRI; SCHUHMACHER; KUMAR, 2020), sendo possível encontrar exemplos mais graves como o decorrido no desastre

de Minamata no Japão, causando o envenenamento milhares de pessoas por mercúrio, ocorrência tão grave que deu origem a A Convenção de Minamata sobre Mercúrio, outubro de 2013 (YOU, 2015).

Os alimentos contaminados são a principal fonte de exposição a inúmeras substâncias tóxicas (FAO, 2014; FAO, 2016). Como consequência, uma má qualidade alimentar pode afetar o normal funcionamento do organismo, levando a provocar alterações no sistema nervoso, musculo esquelético e imunológico e afetar a funcionalidade de distintos órgãos como o fígado o rim e o coração entre outros (TABREZ; ZUGHAIBI; JAVED, 2021). Desta forma a exposição a metais pode tornar os alimentos um vetor de disseminação de substâncias tóxicas segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS).

1.2 A PRODUÇÃO AQUÍCOLA COMO FONTE DE EXPOSIÇÃO A AGENTES TÓXICOS

Uma das fontes mais importantes e promissórias de proteínas são os produtos aquícolas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA, 2019) projeções da organização mundial mostra um possível crescimento, no consumo de produtos aquícolas (FAO, 2016). Isso se deve a equivalência do metro quadrado de uma determinada área, para produção aquícola em comparação com a produção de suínos e bovinos, o número de toneladas por metro quadrado de produtos aquícolas é superior (FAO, 2014; FAO, 2016). No entanto, e imprescindível a valoração da qualidade destes produtos em termos de segurança alimentar devido as propriedades de bioacumulaçao e biomagnificaçao que são superiores a produção de outros tipos de proteína (SARKAR *et. al.,* 2016; FAKHRI *et al.,* 2018).

Considerando os produtos aquícolas como vetores de exposição a substâncias, os produtos aquícolas especialmente os produzidos em cativeiro, podem acrescentar o conteúdo de metais nas partes consumíveis (TAWEEL, SHUHAIMI-OTHMAN E AHMAD, 2013).

Disponíveis na água e nos alimentos que estes animais consomem/são criados, a incidência de metais na biota aquática e nos produtos aquícolas, causa preocupação no que diz respeito a contaminação e intoxicação, peixes, camarões e ostras são consumidos diariamente por grande parte da população mundial (LIMA *et al.,* 2015; SARKAR *et al.,* 2016; GRANEK *et al.,* 2016; NASCIMENTO *et al.,* 2017; GADELHA *et al.,* 2019), quando contaminados são potencialmente perigoso para o meio ambiente (FERNANDES *et al.,* 2003; ELTHOLTH *et al*., 2018).

A principal via de intoxicação de seres humanos por poluentes orgânicos e inorgânicos, associados a sistemas aquáticos, é o consumo de pescados contaminados (VIEIRA *et al.,* 2020). De fato, os riscos à saúde associados a este consumo chegam a ser de 20 a 40 vezes mais elevados do que a ingestão de água contaminada (CARVALHO *et al.,* 2000). Isto se deve ao fato de os organismos aquáticos serem capazes de concentrar os elementos traço em até 10^5 vezes as concentrações observadas no meio ambiente (TABREZ; ZUGHAIBI; JAVED, 2021).

1.2.1 Tilápia-do-nilo

Estudos que avaliam a presença de contaminantes em organismos aquáticos vêm sendo realizados em distintas espécies. Estudos com Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus),* são realizados amplamente por ser uma das espécies mais produzida no mundo (JU *et al.,* 2017; NGUYEN *et al.,* 2019), devido a sua relevância desta espécie em suas propriedades adaptativas, sendo um dos peixes mais produzidos e comercializados a nível mundial (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA, 2019; 2020).

Além disso, está espécie tem sido utilizada como organismo teste em estudos toxicológicos já que uma vasta lista de alimentos naturais fazem parte da sua dieta, composta por invertebrados aquáticos, plâncton, organismos bentônicos, restos de outros peixes, folhas,

larvas e matéria orgânica em decomposição, os quais em sua maioria tem uma quantidade elevada de metais pesados e por tanto da perspectiva de consumo deste peixe pode ser uma fonte de exposição para os seres humanos (FERNANDES, 2016a, 2016b, 2017; TABREZ; ZUGHAIBI; JAVED, 2021).

1.2.2 Ostras e camarões

Os camarões e ostras são produtos aquícolas que tem muita importância econômica e são amplamente consumidos a nível mundial (FAO, 2014; FAO, 2016; ABS, 2021). Comparativamente as condições de criação podem afetar os níveis de metal encontrado no produto final. As ostras apresentam um potencial de bioacumulação de metais bem superior a outros organismos da aquicultura, devido as suas caraterísticas de remoção de uma grande parte do material dissolvido presente e sua capacidade de filtrar grandes quantidades de água diariamente (LU *et al.*, 2017), da perspectiva toxicológica tornam-se indicadores de qualidade ambiental (GÓNGORA-GÓMEZ *et al.*, 2017; VIEIRA *et al.*, 2020).

1.3 O NORDESTE BRASILEIRO COMO PRODUTOR AQUICOLA

O Brasil atualmente é um dos principais produtores aquícolas no mundo, dentre seus produtos mais comercializados estão a tilápia, o camarão e a ostra. O Brasil e o quarto produtor na escala mundial de tilápia, *Oreochromis niloticus*, com 486,155 toneladas, com crescimento de 12,5 % em 2020 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA, 2021) sendo a principal espécie de peixe, representando 60,6 % de toda produção do Brasil.

Já dentre os crustáceos, tem destaque o camarão Litopenaeus *vannamei*, espécie mais produzida no Brasil, produzidos em larga escala para o consumo humano, também tem uma grande capacidade de bioacumulação de compostos orgânicos persistentes e metais pesados (WU *et al.*, 2017), igualmente a ostra *Crassostrea gazar e C. gigas*, são constantemente utilizadas para monitoramento ambiental, de poluentes dissolvidos na água (LU *et al.*, 2017).

A preocupação com a forma de produção ou localização da coleta destes organismos é imprescindível, justificada pela presença de vários compostos tóxicos cancerígenos bioacumulativo e seus efeitos tóxicos nos seres vivos em geral (DHANAKUMAR; SOLARAJ; MOHANRAJ, 2015), sendo os estuários os locais mais explorados para a produção em larga escala de produtos aquícolas, devido à proximidade e abundancia de fontes de água distintas (LACERDA *et al.*, 2006), sendo relatado que a quantidade de metais nos tecidos dos organismos é proporcional a quantidade de metal disponível na água e substrato do sistema utilizado (JU *et al.*, 2017).

As regiões estuarinas são as mais afetadas pelas atividades antropogênicas e seus derivados tóxicos, áreas receptoras de lixiviados oriundos da aplicação de defensivos agrícolas, compostos orgânicos e inorgânicos escoados das cidades pelos sistemas de drenagem de chuvas, e das atividades de mineração a qual aporta ao ambiente um elevado nível de metais afetando a qualidade dos corpos aquáticos (LACERDA *et al.*, 2006; ALFONSO *et al.*, 2013; JONATHAN *et al.*, 2017).

Sabe-se que, nos dias atuais, um bilhão e duzentos milhões de pessoas, não têm acesso à água tratada e que, a agricultura irrigada consome cerca de 60% da água potável existente no Brasil. Desta forma, torna-se importante o uso racional da água, adotando-se assim, alternativas complementares, dentre as quais se podem citar o reuso de água (PEREIRA; LAPOLLI, 2009).

Além disso, áreas com déficit hídrico como as regiões áridas e semiáridas procuram a reutilização da água disponível em distintos processos. No Brasil a utilização de reuso da água proveniente do esgoto tratado tem cobrado relevância como alternativa hídrica, sendo que

muitos dos tratamentos não são adequados para remoção de metais (NAZARIPOUR *et al.*, 2021).

Esta prática tem sido implementada, no entanto ainda sem os controles adequados na transferência de substâncias tóxicas ao meio ambiente ou aos produtos gerados como no caso da atividade agrícola e aquícolas, mesmo sendo alternativas economicamente sustentáveis e ecologicamente positivas e importante salientar que estas alternativas hídricas podem influenciar na segurança alimentar destes produtos se não controlados apropriadamente (BARBOSA; NAVONI; TAVARES, 2019; FERREIRA *et al.*, 2019 a; NAZARIPOUR *et al.*, 2021).

1.4 LEGISLAÇÃO INEFICIENTE PARA MONITORAR A QUALIDADE DOS PRODUTOS

Cultivar produtos com água oriundas de reuso, efluentes das Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) como exemplo deste tipo de recurso, seriam uma forma de proporcionar redução do custo de produção, como relata Gadagbui *et al.*,1996 *apud* FIGUEIREDO-FERNANDES, 2007, p. 104, em um dos primeiros estudo sobre o assunto, Contudo, no Brasil essa atividades é realizada de forma clandestina, devido a inexistência de legislação oficiais, que regulamente a qualidade da água como também providencias sanitárias para consumo destes organismos (MACHADO, 2006).

A falta de informações sobre a qualidade dos frutos do mar ou organismos produzidos pela aquicultura, representa um risco incalculável para saúde da população, já que este tem um potencial acumulativo bem superior, em comparação com os demais animais produzidos para alimentação humana (CARVALHO *et al.*, 2000; WU *et al.*, 2017; LI *et al.*, 2019).

Neste sentido, a realização de uma avaliação de riscos e de qualidade sanitária, que busque as possíveis fontes de exposição da população a estes contaminantes tóxicos é de suma importância (NASCIMENTO *et al.*, 2017).

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

O referencial teórico apresenta o embasamento conceitual de toda a temática que envolve este artigo. Abordando temas como: aquicultura, metais pesados, camarão, ostra, tilápia do Nilo, condições de cultura e legislação vigente.

2.1 AQUICULTURA

A aquicultura é uma atividade técnica, produtiva e tradicional espalhada por todo o mundo. Visa a produção econômica de organismos aquáticos, moluscos, crustáceos e peixes criando assim diversas áreas de atuação, focando no aperfeiçoamento das técnicas de manejo empregadas para o aumento da produção (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA, 2014, 2016).

Aquicultura, é bastante representativa no setor da produção alimentícia mundial, e vem apresentando crescimento constante (IBGE, 2011; 2013; MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA, 2013). A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) tem estimado que em 2030 a aquicultura será responsável por mais de 60% da produção mundial de pescado para o consumo humano (FAO, 2016). O consumo brasileiro de pescado vem aumentando, conquistando 9,5 Kg/habitante/ano (LOPES; OLIVEIRA; RAMOS, 2016), apesar que ainda tem valor inferior ao consumo mínimo recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) de 12 Kg/habitante/ano e inferior à média de consumo mundial de 18,8 Kg/habitante/ano (MAPA, 2016).

Em 2013 o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) foi levado a introduzir estudos mais elaborados devido aos inúmeros trabalhos e atividades desenvolvidas neste ramo no Brasil, e o impacto socioeconômico, incluindo assim a aquicultura em seu censo agropecuário (IBGE 2013). Outro fator importante é a preocupante escassez de recursos de pesca a partir do extrativismo, prevenindo e minimizando a exploração dos estoques naturais de acordo com a associação Brasileira de Piscicultura (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA, 2021).

2.2 METAIS PESADOS EM PESCADO

Em geral, concentrações de metais pesados acima dos limites recomendados pelas agências reguladoras são um risco à saúde humana e, desta forma, pesquisas visando à determinação dos níveis desses elementos em peixes podem auxiliar na decisão de melhores práticas de cultivo, bem como gerar dados indicando a qualidade do produto consumido (FERREIRA *et al.*, 2019b).

O consumo de produtos aquícolas com altos teores de metais tem potencial contaminador muitas vezes maior que o consumo de água contaminada (MIRANDA FILHO *et al.*, 2011), isso acontece porque estes produtos estão em sua maioria no topo da cadeia alimentar aquática, com isso, a capacidade de bioacumulação é superior, já que seus alimentos podem estar contaminados (EL-RASHIDY *et al.*, 2015).

A distribuição dos metais no organismo é determinada pelo tempo de exposição e principalmente pela taxa metabólica de cada órgão do animal. Dentre os diversos metais, o zinco (Zn), cobre (Cu), chumbo (Pb), cromo (Cr), mercúrio (Hg) e cádmio (Cd) tem uma maior capacidade de acumulação (LIU *et al.*, 2019b). Estudos recentes têm descrito como órgãos alvo principais o intestino, estômago e fígado além do tecido muscular da tilápia (FERREIRA *et al.*, 2019b).

As crescentes preocupações com o consumo de metais pesados estão relacionadas pelo surgimento de doenças hoje já identificadas e associados aos metais pesados (USEPA, 2000). Como exemplo podemos citar o chumbo, com potencial de causar insuficiência renal, dano hepático, coma, retardo mental, já o cadmio gera insuficiência renal, infertilidade, hipertensão, tumores e disfunção hepática, o cromo pode danificar estruturas celulares e suas funções por consequência (SARKAR *et al.*, 2016).

2.3 TILÁPIA-DO-NILO (*Oreochromis niloticus)*

A tilápia-do-nilo pertencente à família *Cichlidae*, foi introduzida no Brasil em meados de 1950 e atualmente representa um insumo expressivo na cadeia produtiva alimentar. Seu desenvolvimento é cada vez mais expressivo devido as condições favoráveis de recursos hídrico e ambientais que o país oferece (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA, 2019; 2020), com cerca de 219,33 mil toneladas despescadas em 2015, representando 45,4% do total da despesca nacional, com um incremento de 9,7% em relação a 2014 (IBGE, 2015).

A tilápia é típica de ambiente tropical, adaptando-se em clima onde a temperatura tenha variação entre 18 ºC e 28 ºC., pouco exigente em relação ao oxigênio dissolvido e suportando ampla faixa de pH e salinidade. Quanto ao hábito alimentar, é onívora, dando preferência ao fitoplâncton (LEUNG *et al.*, 2014).

Esse ciclídeo possui diversas características favoráveis ao cultivo, como a rusticidade, rápido crescimento, fácil adaptação aos diferentes sistemas de cultivo e alimentos, como também carne branca, poucos espinhos e aproveitamento de carcaça bem superior a outras espécies (ANUÁRIO, 2019).

Em 2015 a tilápia foi o segundo maior grupo de peixes cultivados no mundo, com números próximos de 5,6 milhões de toneladas, além da qualidade, é crescente a demanda por atributos como segurança alimentar, respeito ao meio ambiente e produção com responsabilidade social (NGUYEN *et al.*, 2019).

A água em que os peixes são produzidos expõe um ponto crítico de controle, uma vez que interfere diretamente na qualidade e inocuidade do produto. Em contrapartida, o cultivo deve ser realizado de maneira ambientalmente sustentável (GALVÃO; OETTERER; MATTHIENSEN, 2014).

2.4 OSTRA (*Crassostrea gazar)*

No contexto mundial as ostras são alimentos consolidados na culinária, como também na produção comercial. Considerada como alimento com grande teor nutricional, devido ser uma boa fonte de proteína, ácidos graxos, Omega-3, fonte de ferro, zinco, cobre, vitamina B12, e ter baixo teor de gordura, está classificada como um dos frutos do mar mais saudáveis, sendo a ostra da espécie *Crassostrea gigas* a mais produzida comercialmente no mundo (GADELHA *et al.*, 2019).

No Brasil a produção da *Crassostrea gigas*, ocorre principalmente na região sul do país, o aperfeiçoamento de metodologias de cultivo é impulsionado por estudos realizados pelo Laboratório de Cultivo de Moluscos Marinhos da UFSC. Sendo que, na região Nordeste do Brasil a espécie mais comercializada é a nativa Crassostrea *gazar*. Essa ostra, em sua maioria, vem do extrativismo, já que tem grande potencial de crescimento em regiões estuarina, que são ricas em nutrientes com altas taxas de produtividade biológicas, reflexo da proximidade de regiões povoadas, que apresentam poluentes e nutrientes carreados pelos rios até os estuários (RAMÍREZ-ROCHÍN *et al.*, 2019).

No campo da pesquisa cientifica a ostra se destaca também como organismo de grande importância na área de toxicologia, devido sua capacidade de filtração de grandes volumes de água, sendo um ótimo exemplar na identificação de compostos tóxicos bioacumulativos (LUO *et al.*, 2014; JONATHAN *et al.*, 2017).

Pesquisa com ostra em estuários podem revelar o grau de contaminação por poluentes tóxicos, riscos para produção e por consequência para a saúde dos consumidores (GADELHA *et al.*, 2019, GRANEK *et al.*, 2016).

2.5 CAMARÃO (*Litopenaeus vannamei)*

No contexto mundial atual, o consumo de camarões oriundos da aquicultura é crescente, a produção em espaço inferior a outras fontes de proteínas como bovinos e suas propriedades nutricionais, são aspectos positivos a seu favor. Em 2016, a produção de camarão chegou a 127.814 toneladas representou aproximadamente 577,3 milhões de dólares, dentre as espécies cultivadas o camarão branco do pacífico de nome científico *Litopenaeus vannamei* é a espécie de camarão mais produzida em todo o mundo, segundo a ABCC (Associação Brasileira de Criadores de Camarão)

Este sucesso se dá em virtude do *L. vannamei* ter uma capacidade de adaptação a diferentes salinidades, o que o torna apto a vários tipos de água e oceanos. Naturalmente tem distribuição do norte do Golfo da Califórnia, México até a América Central e do Sul até o Peru (RAMÍREZ-ROCHÍN *et al.*, 2019).

No Brasil, o *L. vannamei* é a espécie dominante na carcinicultura, teve destaque a partir dos anos 90, com ênfase nos estados do Nordeste, sendo hoje esta região responsável por 96% da produção (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÃO, 2012).

2.6 CONDIÇÕES DE CULTURA COMO FONTE DE CONTAMINAÇÃO DE PRODUTOS AQUÍCOLAS

A qualidade e a origem da água pode ser um grande problema quando se fala em reuso (BARBOSA; NAVONI; TAVARES, 2019) sendo utilizada direta ou indiretamente em processos industriais, muitas das vezes de forma inadequada ou empírica, não sendo avaliado os aspectos sanitários, físicos e químicos de qualidade da água para os devidos fins, como exemplo a aquicultura ou agricultura (ABDEL-TAWWAB *et al.*, 2017; FERREIRA *et al.*, 2019a).

Ausência de tratamento e destinação final inadequada, coloca em risco a flora e a fauna, inviabilizando recursos que são substrato para sobrevivência de comunidades locais, que se utiliza destes ambientes para produzir organismos aquáticos ou sua coleta como forma de subsistência (YOUNIS *et al.*, 2015).

Um dos principais motivos para pesquisadores e órgãos de fiscalização se preocuparem com a qualidade da água utilizado na produção dos organismos aquáticos é sua capacidade de toxidade, causada por diferentes fontes de processos industriais ou doméstico, muitos destes efluentes tem em sua composição pesticidas, organismos patogênicos e metais pesados, que devido a sua destinação final são liberados no ambiente natural, como rios e lagos que contamina estes recursos(LACERDA 2006), facilitando a absorção de compostos tóxicos pelos organismos aquáticos cultivados com a água destes locais (ANDRADE, 2008; LI; YOU; WANG, 2018).

Estudos de avalição ambiental, em sua maioria, buscam avaliar apenas a qualidade da água ou efluente, porém a contaminação animal pode ser responsável por altos níveis de toxidade e agressividade aos ecossistemas, evidenciando a importância de avaliações regulares dos organismos aquáticos, de maneira a avaliar, como um todo, os reais impactos ambientais nos corpos aquáticos (GYIMAH *et al.*, 2018; PEREIRA, LAPOLLI, 2009; BARBOSA; NAVONI; TAVARES, 2019).

2.6.1 Legislação

Para avaliar os níveis de metais presentes nos alimentos no Brasil são aplicados apenas três normativas, onde estas determinam as concentrações máximas aceitáveis, a primeira é estabelecida pelo Ministério da Saúde através da Portaria n° 685/1998 da ANVISA, do Decreto n° 55871/65 é a Resolução-RDC Nº 42, de 29 de agosto de 2013 que regula os níveis de contaminantes inorgânicos nos alimentos, ela faz a recomendação que estes deverão ser os menores possíveis e que se faz necessário a prevenção da contaminação do alimento na fonte produtora, sempre aplicando a tecnologia mais apropriada na produção, manipulação, armazenamento, processamento e envase, de forma a evitar que o produto se contamine. Porém inúmeros outros compostos orgânicos persistente, já se encontram presentes na água ou alimentos e estes ainda não têm normativas que trate de seus limites ou exija avaliações nos produtos naturais ou processados, como ainda não é avaliado todos os metais causadores de problemáticas ambientais (LOPES, 2012).

Vale ressaltar que outras normas devem ser consultadas, sendo base para estudos de viabilidade hídrica para aquicultura, como exemplo a Resolução 274 de 29 de novembro de 2000 que estabelece condições de balneabilidade das águas brasileiras do Conselho nacional de meio ambiente.

Algumas das normatizações que são base para o desenvolvimento deste projeto de pesquisa podem ser visualizadas no Quadro1:

Quadro 1 — Normas e diretrizes aplicadas no Brasil

NORMATIZAÇÃO	DESCRIÇÃO
BRASIL. Decreto Nº 55.871 /1965	Modifica o Decreto nº 50.040, de 24 de janeiro de 1961, referente a normas reguladoras do emprego de aditivos para alimentos.
BRASIL. Portaria Nº 685, de 27 / 1998.	Aprova o Regulamento Técnico: "Princípios Gerais para o Estabelecimento de Níveis Máximos de Contaminantes Químicos em Alimentos" e seu Anexo: "Limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos.
Resolução-RDC Nº 12/ 2001	Determina as ações de controle sanitário na área de alimentos, visando a proteção à saúde da população e a regulamentação dos padrões microbiológicos para alimentos.
Resolução CONAMA 357/2005	Classifica os corpos de água e estabelece as devidas condições de lançamento de efluentes.
Resolução CONAMA 430/2011	Padronizacao da qualidade do lançamento de efluentes em corpos de água receptores.
Resolução-RDC Nº 42, de 29 de Agosto de 2013.	Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos, revogam-se os limites máximos de arsênio, cádmio, chumbo estanho e mercúrio que constam no Anexo da Portaria SVS nº 685, de 27 de agosto de 1998.

Fonte: Elaboração própria em 2021.

3 OBJETIVOS

Neste tópico são apresentados todos os objetivos pré-definidos durante o desenvolvimento da pesquisa, e que serviram de embasamento para se atingir as metas estabelecidas.

3.1 OBJETIVO GERAL

Baseado no exposto, este artigo tem por objetivo geral determinar os níveis de metais encontrados em três tipos de organismos e em distintas condições de cultura representativos da produção aquícola regional no estado do Rio Grande do Norte, *Oreochromis niloticus* (tilápia-do-nilo), *Crassostrea gazar* (ostra) e *Litopenaeus vannamei* (camarão).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os níveis de metais pesados Ferro (mg/L), Cádmio (mg/L), Cobre (mg/L), Chumbo (mg/L), Cromo (mg/L), Cobalto (mg/L), Níquel (mg/L), Prata (mg/L), Manganês (mg/L) e Zinco (mg/L) em espécies cultivadas no estado do Rio Grande do Norte, cultivados em distintas condições de produção;
- Comparar os valores obtidos e sua relação com os distintos tipos de manejo realizados na região;
- Comparar os valores com as normativas aplicadas ao Brasil;
- Analisar os manuais disponíveis para o manejo das distintas produções desenvolvidas na região;
- Analisar os riscos atrelados ao consumo destes produtos para a saúde humana;

- Confeccionar uma cartilha para a conscientização de monitoramento da qualidade dos ambientes produtivos.

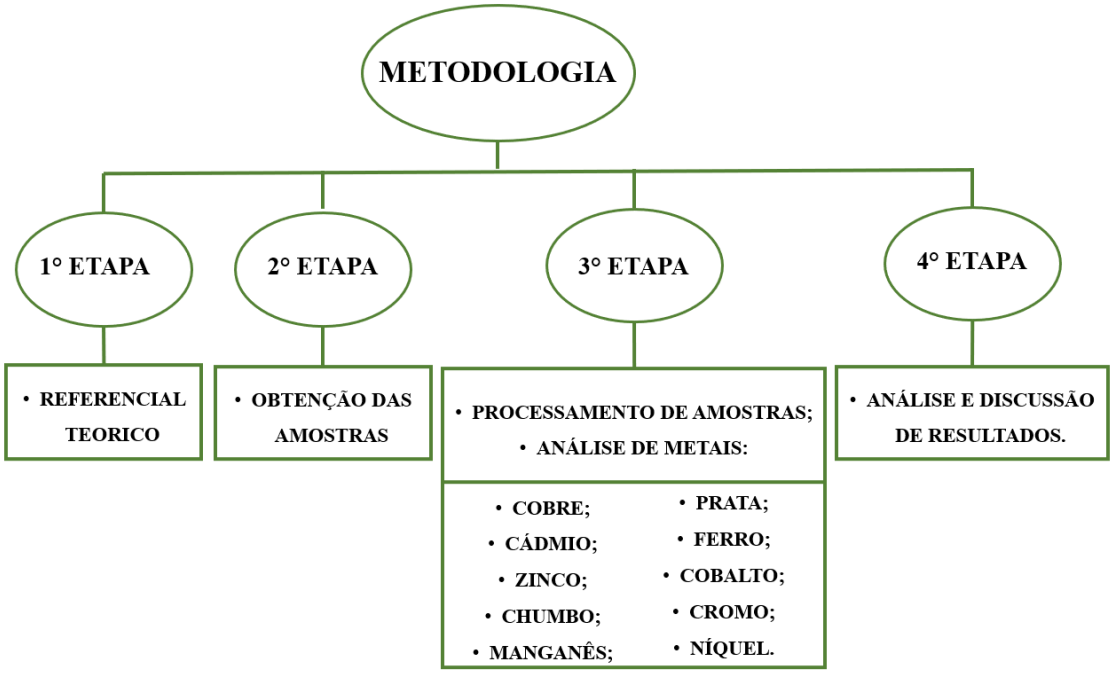
4 METODOLOGIA

De acordo com os objetivos definidos previamente neste artigo, desenvolveu-se a metodologia aplicada, seguindo as seguintes etapas:

a) a primeira etapa consistiu na elaboração do referencial teórico, que constou na conformação do arcabouço teórico em relação a temática. Com tal fim foram procurados periódicos nacionais e internacionais referentes que vinculem: segurança alimentar, metais em produtos aquícolas, técnicas de manejo para a produção das espécies consideradas neste estudo.
b) a segunda etapa consistiu na obtenção de amostras das distintas espécies. Assim foram contatados fornecedores/produtores dos produtos aquícolas considerados neste estudo. O número de espécimes e réplicas realizadas foi calculado considerando normativas internacionais
c) a terceira etapa consistiu no processamento das amostras, e a análises de metais em tecido muscular das destintas espécies
d) a quarta etapa consistiu na análise descritiva dos resultados e a discussão dos mesmos.

Todo o processo da pesquisa desenvolvida na atividade de mestrado encontra-se resumido na Fluxograma 1:

Fluxograma 1 — Descrição das etapas metodológicas.



Fonte: Elaboração própria em 2021.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA

A seguir são apresentadas todas as informações a respeito dos pontos onde foram realizadas as coletas dos três organismos aquícolas estudados nesta pesquisa.

4.1.1 Coleta: Tilápia-do-nilo (*Oreochromis Niloticus*)

A coleta das amostras foi realizada em dois ambientes distintos. Para nível de comparação, a primeira coleta ocorreu na lagoa de maturação, do sistema de tratamento por lagoas de Regomoleiro-I pertencente ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Gonçalo do Amarante– SAAE/SG, situada no município de São Gonçalo do Amarante, Rio Grande do Norte, com espaço territorial de 249,800 km² e população estimada de 101.102 pessoas (IBGE).

Os espécimenes foram obtidos diretamente de pescadores. Esta estação tem por finalidade receber apenas esgotos de origem doméstico, entretanto esta região tem inúmeras industrias têxtil, tendo em seus efluentes compostos diversos como os metais pesados (MALLAKPOUR; RADFAR; HUSSAIN, 2021).

A segunda coleta, foi realizada em sistema controlado, estação experimental de produção de peixes da Escola Agrícola de Jundiaí/EAJ - Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias, integrada à estrutura acadêmica e administrativa da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, localizada na antiga Fazenda Jundiaí, distante 3 Km da sede do município de Macaíba, e a 25 Km de Natal, capital do Rio Grande do Norte. Conta com uma estrutura de laboratórios de diversas áreas de produção intensiva e laboratórios dedicados a produção de peixes e camarões.

4.1.2 coleta: Ostra (*Crassostrea Gazar)* e Camarão (*Litopenaeus Vannamei)*

O Rio Grande do Norte, historicamente é conhecido pela produção de frutas irrigadas, tendo atualmente grande visibilidade em decorrência da produção de camarão marinho, sendo responsável pela geração de empregos diretos e indiretos. Os principais municípios produtores de camarão e ostra são Canguaretama, Pendências e Porto do Mangue (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÃO, 2012).

Entre os locais de produção, um que se destaca tanto na produção de camarão como de ostra no RN, é a região ao entorno da lagoa Guaraíras, devido as características únicas, com sua água salobra e rica em nutrientes, localiza-se no município de Tibau do Sul, porém tem outros municípios ao longo de seu território, Goianinha, Arez, Nísia Floresta e Senador Georgino Avelino (LACERDA *et al.*, 2006).

Esse corpo aquático é de suma importância para esta região, vários viveiros se fazem presentes por toda região ao entorno da lagoa, seus manguezais são fonte abundante de biodiversidade (LACERDA *et al.*, 2006; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÃO, 2012).

As amostras de ostras utilizadas neste estudo foram adquiridas em 3 tipos de tratamento, a primeira forma é de fazenda com produção em viveiro em consorcio com camarão, o segundo grupo foi obtido do ambiente natural, e o terceira foi de produtores de ostra, produção de forma convencional, dentro da lagoa em estruturas denominadas de almofada, todas cultivas ou coletadas em áreas com influência ou abastecidas pela Lagoa Guaraíras.

Os exemplares de camarão coletados para esta pesquisa foram adquiridos em 2 tipos de ambientes, o primeiro grupo são organismos produzidos pelo método convencional, sendo alimentado com ração diariamente. O segundo grupo são espécimes criados em viveiro sem alimentação com ração em consorcio com almofadas de ostra, sendo a densidade populacional menor por viveiro e estes têm sua alimentação limitada aos nutrientes e organismo presentes no viveiro, sendo os dois grupos coletados no município de Tibau do Sul, com água oriunda da Lagoa de Guarairas.

4.3 AMOSTRAGEM

A amostragem foi realizada contemplando o número mínimo considerando as diretrizes da RDC N° 12 de 2011. Foram obtidas 16 amostras de tilápia criadas em uma das lagoas de maturação para tratamento de esgoto e 10 amostras utilizadas como controle, obtidas do sistema controlado de produção da EAJ. Além disso, foram analisadas 15 amostras de ostra, sendo 5 provenientes de cada ambiente, produção em sistema convencional, organismos selvagens e cridas em viveiro similar aos de camarões. 20 amostras de camarão, 10 criados com o fornecimento de ração, forma tradicional e 10 criados apenas com alimentação proveniente do próprio viveiro, a amostragem dos espécimes pode ser visualizada no Quadro 2:

Quadro 2 — Amostragem dos espécimes

ORIGEM DAS AMOSTRAS	QUANTIDADE	VARIÁVEIS ANALISADAS
Sistema convencional com ração	10 espécimes	Ferro (mg/L) Cádmio (mg/L) Cobre(mg/L) Chumbo(mg/L) Cromo(mg/L) Cobalto (mg/L) Níquel (mg/L) Prata (mg/L) Manganês (mg/L) Zinco(mg/L)
Sistema sem ração	10 espécimes	
Sistema de tratamento de esgoto (ETE)	16 espécimes	
Sistema controlado (EAJ)	10 espécimes	
Sistema convencional	05 espécimes	
Ambiente natural	05 espécimes	
Viveiro	05 espécimes	

Fonte: Elaboração própria em 2021.

4.3.1 Preparo de amostras

Todas as amostras foram lavadas com água ultrapura, e mantidas a -18 °C até o processamento. Os processados de cada um dos espécimes são descritos a seguir. Brevemente, 20g de tecido muscular foi retirado utilizando lâminas de bisturi esterilizadas, todo o material foi usado individualmente no intuito de evitar contaminação cruzada, as alíquotas foram colocadas em recipientes cerâmicos e depositadas em estufa a 80 ºC durante 48h, no intuito de atingir o peso seco constante, e assim definir o nível de umidade. Após este procedimento as amostras foram colocadas em materiais de porcelana e calcinadas em forno mufla a 450 ºC por 24h, com posterior esfriamento no dissecador. As cinzas obtidas foram pesadas e por fim processadas pelo método de ataque ácido, adaptado de Lopes (2012) e Mesquita (2014).

A metodologia utilizada constituiu-se na abertura das amostras com água régia que é composta de uma mistura de ácido nítrico (HNO_3) e ácido clorídrico (HCl) ambos em peso absoluto (P.A) respeitando a regra de 2:1, seguindo recomendações da Associação Americana de Saúde Pública (APHA, 2012). Brevemente, foi adicionado o material resultante do processo de calcinação em capsulas de porcelana individualmente e posteriormente adicionada 25mL de água régia, em seguida esta mistura ficou na chapa aquecedora por 1 hora a 150°C. Após a digestão as amostras foram transferidas para balões volumétricos de 50 mL calibrados, sendo adicionada água ultrapura até o volume de 50mL, até o processo de leitura dos metais, seguindo

metodologia descrita por Rice et al. (2012), como também orientações da Associação Brasileira de Normas Técnica (ABNT, 2011).

4.2.2 Quantificação de metais

Considerando sua relevância toxicológica 10 elementos metálicos foram considerados: Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Fe, Ag, Co, Mn e Zn. A quantificação foi realizada pela técnica de Espectrofotômetria de Absorção Atômica com Atomização por Chama. A análise foi realizada por curva de calibração externa elaborada em concentrações de 0,0; 0,1; 0,5; 1,0; 5,0; 10,0 e 20,0 mg. L^{-1} utilizando de água MILLI-Q a partir do padrão multielementar rastreável da SpecSol 1000 mg. L^{-1}. O equipamento utilizado para as leituras é fabricado pela AGILENT Technologies, modelo 240FS AA. O controle de qualidade das aferições foi realizado utilizando amostras com valores conhecidos, obtidas através de padrão multielementar rastreável e todas as amostras foram analisadas por triplicado, seguindo recomendações descritas em APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Ed. 2012.

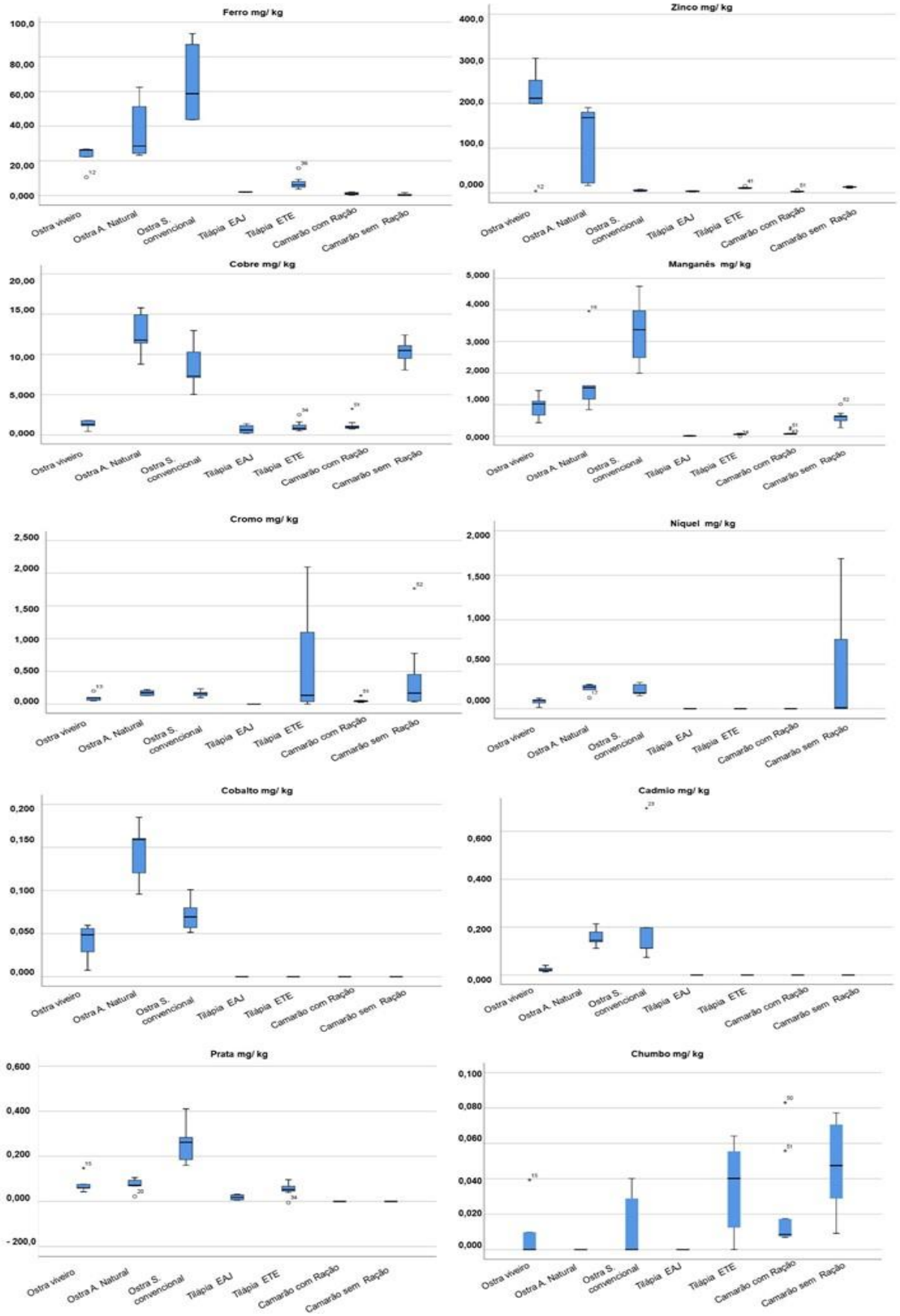
4.2.3 Processamento de dados

Análise descritiva e inferencial foi realizada sobre os dados coletados. Os resultados obtidos foram comparados com as normas brasileiras Portaria n° 685/1998 da ANVISA, do Decreto n° 55871/65 e a Resolução RDC Nº 42, de 29 de agosto de 2013 que descreve valores limiares em produtos pesqueiros para os metais Ferro (mg/L), Cádmio (mg/L), Cobre(mg/L), Chumbo(mg/L), Cromo(mg/L), Cobalto (mg/L), Níquel (mg/L), Prata (mg/L), Manganês (mg/L) e Zinco(mg/L). Comparação entre dois grupos foi realizado utilizando o teste de Mann Withney. A comparação entre mais de dois grupos foi realizada pelo teste de Kruskal Wallys e comparação de a pares foi realizado utilizando o teste CDSF. A nível relacional, uma análise de correlação entre elementos foi realizada utilizando o teste de Spearman. O software utilizado foi o IBM-SPSS versão 26. Diferenças estatisticamente significativas foram consideradas com $p \leq 0,05$.

5 RESULTADOS

Os resultados encontrados relatam um mapeamento dos metais pesados nos principais produtos aquícolas produzidos no Estado do Rio Grande do Norte, demostrando o nível de bioacumulados dependendo do organismos e tratamento, concentração de metais na água sedimento que dependendo do sistema de produção pode interferir deforma significativa nas taxas de absorção de cada organismos, na figura 2 pode-se perceber a diferença entre os principais processos de produção, como também as diferenças entre os níveis de metais em relação ao tipo de organismos.

Gráfico 1 - Concentrações de metais (mg/kg p.h.) discriminados por organismo metal analisado e tipo de condição de criação.



Fonte: Elaboração própria em 2021.

5.1 TILÁPIA-DO-NILO (*Oreochromis niloticus)*

Neste estudo foram analisados dois grupos de tilápia-do-nilo -*oreochromis niloticus*, sendo um grupo obtido de em água de reuso proveniente de esgoto tratado em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e outro grupo cultivado sobre condições controladas de produção na Escola Agrícola de Jundiai (EAJ).

Diferenças estatisticamente significativas nos níveis de metal Cu, Cr, Fe e Zn foram encontradas sendo em todos os casos concentrações maiores em tecido de tilápia capturada em água de reuso de esgoto tratado comparado com os níveis atingidos em condições de produção padrão.

Apenas o metal cromo ultrapassou os valores considerados de referência, nas tilápias coletadas em estaco de tratamento de esgoto, entretanto valores como ferro que são bem elevados nos organismos não tem normativa reguladora.

5.2 OSTRA (*Crassostrea gazar)*

Nesta pesquisa foram avaliados três grupos de c*rassostrea gigas* sob diferentes condições de produção. O primeiro grupo é o de ostras cultivados em viveiro, o segundo em ambiente natural e o terceiro em sistema convencional.

Os elementos encontrados em maior quantidade nestas amostras foram o Zn o Fe e o Cu elementos, comumente encontrados nestas culturas, seguido pelo Mn, estando o resto dos elementos presentes em concentrações menores de um decimo deste último.

Ostras produzidas em sistema convencional apresentaram os menores níveis para à maioria dos metais Cd, Co, Pb, Cr, Mn, Ni, Ag, Fe e Cu.

Contrariamente os níveis de Zn foram os mais elevados em ostras cultivadas com este tratamento, quando comparados os tipos de manejo.

Níveis de Mn, Ag, Cd e Fe apresentaram uma proporcionalidade com os menores valores em amostras provenientes de cultura convencional, seguida pela capturadas em ambientes naturais e sendo as obtidas de viveiro as que apresentaram as concentrações mais elevadas. O Zn apresentou um padrão inversamente proporcional.

5.3 CAMARÃO (*Litopenaeus vannamei)*

Amostras de camarão *Litopenaeus vannamei,* cultivados nas duas condições com ração e o outro sem ração em condições naturais, utilizando como alimentação apenas a própria micro vida da lagoa. Os metais cadmio, cobalto chumbo, cromo, manganês, níquel e prata foram os que metais com os menores valores. Sendo os metais essenciais os com concentração maiores cobre, ferro e zinco.

5.4 COMPARAÇÃO RESULTADOS COM LEGISLAÇÃO VIGENTE

Tabela 1 — Resultados (média ±DP) das análises de metais pesados em mg/kg peso úmido comparativo com as legislações vigentes**.**

	Cadmio	**Cobalto**	**Cobre**	**Chumbo**	**Cromo**	**Ferro**	**Manganês**	**Níquel**	**Zinco**	**Prata**
Tilápia ETE	0,0 ±0,0	0,0 ±0,0	1,061 ± 0,679	0,027 ± 0,0430	**0,580** ± 0,898	7,149 ± 3,899	0,061 ± 0,028	0,00 ±0,0	11,090 ± 1,974	0,0 ±0,0
Tilápia EAJ	0,0 ±0,0	0,0 ±0,0	0,705 ± 0,499	0,0 ± 0,019	0,0 ±0,01	1,981 ± 0,255	0,014 ± 0,013	0,0 ±0,0	3,665 ± 1,101	0,0 ±0,0
Ostra viveiro	**0,238** ± 0,260	0,072 ± 0,0197	8,550 ± 3,099	0,000 ± 0,036	**0,160** ± 0,051	65,298 ± 23,690	3,317 ± 1,1060	0,213 ± 0,066	5,182 ± 1,869	**0,238** ± 0,260
Ostra sistema convencional	0,024 ± 0,010	0,040 ± 0,021	1,302 ± 0,558	0,001 ± 0,025	**0,103** ± 0,059	22,466 ± 6,931	0,939 ± 0,396	0,079 ± 0,041	**193,714** ± 113,322	0,024 ± 0,010
Ostra ambiente natural	**0,150** ± 0,039	0,129 ± 0,035	11,670 ± 2,831	0,000 ± 0,042	**0,170** ± 0,042	41,402 ± 17,787	2,311± 1,231	0,215 ± 0,060	**115,586** ± 88,411	**0,150** ± 0,039
Camarão com ração	0,0 ± 0,0	0,0 ±0,0	1,227 ± 0,723	0,022 ± 0,040	0,053 ± 0,640	1,123 ± 0,123	0,113 ± 1,120	0,0 ±0,0	3,153 ± 1,202	0,0 ±0,0
Camarão sem ração	0,0 ±0,0	0,000 ± **0,00**	10,402± 1,441	0,048 ± 0,026	**0,390** ± 0,518	17,483 ± 18,167	0,607 ± 0,198	0,327 ± 0,659	12,960 ± 1,534	0,0 ±0,0
Portaria n° 685	1,000	-	30,000	2,000	0,100	-	-	5,000	50,000	-
Decreto n° 55.871	1,000	-	-	2,000	-	-	-	-	-	-
RDC Nº 42	0,050	-	-	0,300	-	-	-	-	-	-
FAO/WHO	0,050	-	-	0,500	0,200	-	-	-	-	-
CE	0,050	-	-	0,200	-	-	-	-	-	-

-Portaria n° 685 – 27 de agosto de 1998.
-Decreto n° 55.871 - 1965de 26 de março de 1965.
-Resolução RDC Nº 42 - 29 de agosto de 2013.
- FAO/WHO – Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Health Organization.
- Comunidade Europeia (2005) - Regulamento (CE) Nº 78/2005 da Comissão de 19 de Janeiro de 2005.
- As análises representadas nesta tabela foram realizadas seguindo a metodologia APHA et al. (2012). Metais através de espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica por chamas.
-Resultados em negrito indicam valores fora dos padrões considerados para comparação.

-Todos os valores de referência se apresentam em mg/kg.

Fonte: Elaboração própria em 2021.

De acordo com os resultados apresentados anteriormente na tabela 1, para as análises de cobalto, cobre, chumbo, ferro, manganês, níquel e prata, todos os resultados ficaram abaixo do determinado pelas legislações usadas como referência.

Em relação ao cadmio, cromo e zinco alguns resultados estão em desacordo com as normatizações. Para os resultados de cadmio apenas a ostra viveiro e a ostra ambiente natural, expôs valores acima do permitido pela RDC Nº 42 e pela norma internacional FAO/WHO e CE,2005.

Para o cromo as amostras de tilápia ETE, ostra viveiro, ostra sistema convencional, ostra ambiente natural e camarão sem ração os resultados estão em discrepância dos limites máximos estabelecidos pela Portaria n° 685, FAO/WHO.

O zinco para ostra sistema convencional e ostra ambiente natural exibiu resultados acima do permitido pela Portaria n° 685.

6 DISCUSSÃO

A ingestão de alimentos contaminados é potencial gerador de várias doenças (KARRI; SCHUHMACHER; KUMAR, 2020). E por isso que estudos de segurança alimentar tem cobrado tanto interesse (LING *et al.*, 2009; LING *et al.*, 2013) casos de alimentos contaminados têm sido amplamente documentados junto com as consequências sanitárias atreladas (JONATHAN *et al.*, 2017; MEDEIROS *et al.*, 2019; GADELHA *et al.*, 2019).

Alimentos contaminados por chumbo, por exemplo podem causar insuficiência renal e danos no fígado, com a exposição prolongada pode causar coma, retardo mental e até morte. O cádmio fere os rins e causa sintomas de toxicidade crônica, incluindo comprometimento da função renal, infertilidade, hipertensão, tumores e disfunção hepática. Podendo ainda, atacar proteínas e lipídios da membrana, prejudicando a integridade e as funções celulares (SARKAR *et al.*, 2016).

Neste aspecto é sabido que, qualquer tipo de metal pesado quando consumido em quantidades acima do permitido pelos órgãos regulamentadores, tem a capacidade de gerar risco a saúde dos seus consumidores.

Os metais por sua estabilidade, persistência e toxicidade nos ambientes, estes jogam um papel fundamental como potenciais causadores de doenças incluso a baixas concentrações. A bibliografia cientifica descrever inúmeras doenças causadas por exposição a metais incluindo doenças degenerativas até o desenvolvimento de distintos tipos de câncer (YOU, 2015; MENKE *et al.*, 2016; YANG *et al.*, DUAN *et al.;* KARRI; SCHUHMACHER; KUMAR, 2020).

Os produtos aquícolas não escapam a esta realidade. A produção destes alimentos tem um crescimento exponencial sendo considerada a fonte proteica mais barata para resolver a falta proteica a nível mundial (FAO 2016; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA, 2019). No entanto, a falta de controle pode levar a provocar efeitos sanitários pela disseminação de substancias prejudiciais para a saúde como e o elevado nível de metais consequência de uma condição de criação não controlada segundo a OMS.

Por esse motivo se faz importante a avaliação conteúda de metais pesados presentes em produtos aquícolas e sua relação com os protocolos de manejo e produção (BAKI *et al.*, 2018).

Cobalto, Ferro, Manganês, Prata

Alguns parâmetros selecionados neste trabalho não são contemplados nas legislações descritas no presente estudo, com isso não é possível definir se estes estão fora dos limites aceitos para produtos aquícolas, sendo que parâmetros como prata e cobalto são pouco avaliados em estudos sobre produtos aquícolas.

Determinados trabalhos como Baudrimont *et al.*, 2016; Suami *et al.*, 2019; Low *et.al.*, 2015; Ling *et. al.*, 2013, apresentarão resultados muito próximos para o metal cobalto com o

presente estudo, sendo resultados abaixo de 0,4 mg /kg em todas as espécies estudadas, apenas em Magalie baudrimont *et al.*, 2016, foi obtido um resultados acima deste valor, 1,59 mg/kg em *Crossostrea gigas,* o cobalto e absorvido em geral pela exposição direta e ingestão de alimentos, sendo que em concentrações elevados responsável por danos no sistema respiratório como diminuição da função ventilatória, edemas pulmonares, gastrintestinais como também problemas alérgicos e no fígado, sendo o valor 25 mg/kg no solo em peso seco como sendo o valor de prevenção e desejado para prevenir danos aos organismos exposto.

6.1 TILÁPIA-DO-NILO (*Oreochromis niloticus)*

O peixe é um alimento nutritivo e comumente presente nos hábitos alimentares dos seres vivos, devido ao seu alto teor de proteínas, presença de ácidos graxos ômega-3, gorduras, aminoácidos e vitaminas. Entretanto ele também contém alguns metais em sua composição, o que, dependendo da quantidade, pode aumentar ou neutralizar os benefícios positivos do ômega-3 e da proteína no peixe (TAWEEL; SHUHAIMI-OTHMAN; AHMAD, 2013).

Para este estudo foi encontrada as seguintes proporções, tilápia criadas em ETE Zn > Fe > Cu > Mn > Cr > Pb, peixes criados em sistema controlado Zn > Fe > Cu > Mn.

A Tilápia-do-nilo ou *Oreochromis niloticus*, avaliada neste artigo apresentou maiores resultados para Zinco, Ferro e Cobre, tanto para a cultivada na Estação de Tratamento de Esgoto, quanto na Escola Agrícola de Jundiai. Entretanto, dentre os dez metais analisados, e comparados com as legislações, apenas o Cr da tilápia cultivada na ETE, apresentou resultado maior do que o permitido.

A contaminação dos ecossistemas aquáticos por metais pesados, está associado ao rápido crescimento populacional, ampliação de atividades agrícolas, aquícolas e exploração de recursos naturais, ameaçando a biota destes ecossistemas (SILVA *et al.,* 2016a).

A absorção de metais nos peixes pode ocorrer de diferentes formas, dentre elas pode-se citar a absorção de água e/ou via transferência trófica, isto é, consumo de alimento contaminado. Além disso, em práticas aquícolas, o Cu e Zn por exemplo, são adicionados intencionalmente na alimentação como elementos nutricionais, o que contribui para bioacumulação dos metais nos peixes (WANG *et. al.,* 2020).

Buscando a validação dos resultados obtidos neste trabalho, a tabela 2 apresenta um comparativo dos percentuais de Cr, Cu e Zn da *Oreochromis niloticus* deste artigo com outros trabalhos. De maneira que é possível avaliar que os resultados estão dentro bem próximos do intervalo de máximo e mínimo exposto na Tabela 2:

Tabela 2 — Comparação da concentração média de metal (mg/kg em peso úmido) no músculo de *Oreochromis niloticus* no presente estudo com outros estudos.

Autor	Ano	Organismo: Peixe	N° espécimes	Cd	Co	Cu	Pb	Cr	Fe	Mn	Ní	Zn
Presente estudo	2021	**Tilápia ETE**	16	0,0 – 0,0	0,0 – 0,0	1,061 - 0,679	0,027 - 0,0430	**0,580 -** 0,898	7,149 - 3,899	0,061 - 0,028	0,00 – 0,0	11,090 - 1,974
Presente estudo	2021	**Tilápia EAJ**	10	0,0 – 0,0	0,0 - 0,0	0,705 - 0,499	0,0 – 0,019	0,0 – 0,01	1,981 - 0,255	0,014 - 0,013	0,0 – 0,0	3,665 - 1,101
Mahmoud Eltholth	2018	Oreochromis Niloticus	300	0,112 - 2,32	-	-	4,87 - 0,002	-	-	-	-	-
Ju et.al.	2017	Oreochromis Niloticus	26	0,0001 - 0,02	-	0,0358 - 1,17	0,0036 - DP	0,0087 - DP	-	-	0,0224 - 1,03	0,477 - 10,2
Ju et. al.,	2017	Oreochromis spp	-	0,01 - DP	-	0,4 - DP	0,16 - DP	0,39 - DP	-	-	0,25 - DP	5,38 - DP
Abdel-Khalek et al.	2016	*Oreochromis niloticus*	-	0,055 - DP	-	1,185- DP	0,1925 - DP	-	-	-	-	5,7575
Low et.al.	2015	Oreochromis Niloticus	20	0,05 - 0,02	0,014 - 0,003	0,27 - 0,03	0,011 - 0,002	-	1 - DP	0,26 - 0,03	-	4 - 0,2
Low et al.	2015	*Oreochromis* spp.	-	0,02966 - DP	-	0,2133 - DP	0,0136 - DP	-	-	-	-	3,7666
Dhanakumar	2015	*Oreochromis mossambicus*	-	-	-	0,01 - DP	0,097 - DP	0,28 - DP	-	-	0,06	2,88
Leung et.al.	2014	Oreochromis Niloticus	65	0,03 - 0,01	-	1,38 - 0,31	8,62 - 2,14	0,51 - 0,06	-	6,91 - 1,72	3,5 - 0,75	29,5 - 1,69
Ling et.al	2013	Oreochromis Niloticus	9	0,0017 - DP	0,1597 - 0,65	0,3177 - 1,95	0,0147 - 0,09	0,2467 - 3,43	-	1,337 - 24,0	0,2277 - 2,20	6,147 - 2.4
Abdulali Taweel	2013	Oreochromis Niloticus	24	0,0008 - 0,01	-	0,0274 - 0,165	0,0088 - 0,08	-	-	-	0,0828 - 0,36	0,291 - 4,65

Elnabris et al	2013	Oreochromis Niloticus	-	-	-	0,0142 - 0,084	0,0026 - 0,07	-	-	0,0086 - 0,031	0,0198 - 0,148	0,0026 - 0,07
Authman	2012	Oreochromis Niloticus	25	2,41 - 2,304	-	-	2,2682 - 2,008	-	-	-	1,3881 - 1,15	-
Taweel et al.	2013	*Oreochromis niloticus*	-	0,00925 - DP	-	0,305 - DP	0,124 - DP	-	-	-	0,8325	5,42

* A tabela apresenta respetivamente a média e desvio padrão para cada metal analisado.
* ND – não detectável

Fonte: Elaboração própria em 2021.

O valor elevado de cromo na tilápia cultivada na ETE pode ter diferentes fontes de origem, dentre elas a própria água a qual esse peixe é cultivado, uma vez que, se trata de esgoto e que tem em sua composição diferentes poluentes, dentre eles os metais (FERREIRA *et al.,* 2019a; BARBOSA; NAVONI; TAVARES, 2019).

6.2 OSTRA (*Crassostrea gazar)*

A ostra é um animal de alimentação filtrante, o que gera por decorrência maiores percentuais de contaminantes em sua musculatura. Devido a essas características, esse produto aquícola necessita de ainda mais controle em relação a composição de sua alimentação, da qualidade da água, da forma de manejo e cultivo, visando a melhor qualidade do produto e menores taxas de bioacumulação e por consequência contaminação do alimento comercializado.

Neste trabalho foi encontrada as seguintes relações nos níveis de metais, ostra criadas em viveiro Fe > Cu > Zn > Mn > Cd > Ag > Ni > Cr > Co, ostras criadas em sistema convencional Zn > Fe> Cu > Mn > Cr > Ni > Co > Cd > Ag > Pb, ostra ambiente natural Zn > Fe> Cu > Mn > Ni > Cr > Cd > Ag > Co.

Em relação a ostra *crassostrea gazar* analisada neste artigo, os resultados de Cd, Cr e Zn mostraram resultados não conformes com as legislações, sendo a ostra viveiro desconforme para o cadmio e cromo, a ostra sistema convencional, cromo e zinco e a ostra ambiente natural cadmio, cromo e zinco. O Cd ocupa o sétimo lugar na lista prioritária das 20 principais substâncias perigosas da Agência de Registro de Doenças e Substâncias Tóxicas (ATSDR) dos EUA.

Jonathan *et. al.,* (2017), aponto em seu artigo valores variando entre máximos e mínimos de Cd 4,07 mg/Kg a 21,33 mg/Kg, Cr de 0,33 mg/Kg a 104,0 mg/Kg e Zn de 95,10 mg/Kg a 416,67 mg/Kg, valores que estão em conformidade com os resultados apresentados nas análises de ostra realizadas neste artigo.

O trabalho realizado por Liu *et al.,* 2019a utilizou organismos coletados na Baía de Laizhou na China, e mostrou uma correlação entre as concentrações dos metais, de forma que os percentuais de metais presentes em ostra são maiores que outros organismo do mesmo local, devido suas características alimentares e de posição na cadeia alimentar, espécies sésseis, filtradoras com capacidade de bioacumular contaminantes orgânicos em quantidades bem maiores.

Outros fatores relatados neste trabalho, ajuda na compreensão dos níveis de contaminação, os metais Fe, Zn, Cu e Mn, classificados como essenciais, são bioacumulados mais facilmente pelos organismos (LI *et al.,* 2019), estando presentes em altos níveis nos sedimentos marinhos sendo responsável pela contaminação mais expressiva em organismos que vive em contato direto com o substrato, constataram que mais de 90% do conteúdo de metais pesados estava relacionado às partículas e sedimentos em suspensão e a distribuição de metais pesados nos sedimentos pode fornecer evidências de influências antropogênicas nos sistemas aquáticos.

Tabela 3 — Comparação da concentração média de metal (mg/kg em peso úmido) no músculo de *Crossostrea gasar* no presente estudo com outros estudos.

Autor	Ano	Organismo: Ostra	N° espécimes	Cd	Co	Cu	Pb	Cr	Fe	Mn	Ní	Zn
Presente estudo	2021	Viveiro	5	**0,238** - 0,260	0,072 - 0,0197	8,550 - 3,099	0,000 - 0,036	**0,160** - 0,051	65,298 - 23,690	3,317 - 1,1060	0,213 - 0,066	5,182 - 1,869
Presente estudo	2021	Sistema Convencional	5	0,024 - 0,010	0,040 - 0,021	1,302 - 0,558	0,001 - 0,025	**0,103** - 0,059	22,466 - 6,931	0,939 - 0,396	0,079 - 0,041	**193,714** - 113,322
Presente estudo	2021	Ambiente Natural	5	**0,150** - 0,039	0,129 - 0,035	11,670 - 2,831	0,000 - 0,042	**0,170** - 0,042	41,402 - 17,787	2,311- 1,231	0,215 - 0,060	**115,586** - 88,411
T. M. Senez-Mello et al.	2020	C. rhizophorae	60	0,0059 - 0,09	-	1,1168 - 20,185	0,0041 - 0,06	0,0081 - 0,23	-	-	0,0197 - 0,35	21,8852 - 300,9
Clarissa P. Ferreira et al.	2019	Crossostrea gigas	90	0,1805 - 4,79	ND	0,2832 - 9,48	0,0056 - 0,14	ND	0,84 - 13,85	ND	0,0326 - 0,7	5,3067 - 149,13
Sivakumar Rajeshkumar et al.	2018	Crossostrea gigas	4	0,032 - 0,15	-	0,274 - 0,18	0,303 - 0,25	0,123 - 0,07	-	-	-	-
M.P. Jonathan, et al.	2017	Crossostrea gigas	57	1,338 - 4,28	-	0,8396 - 31, 72	0,0295 - 1,33	0,2965 - 30,27	-	-	0,1252 - 11,33	3,7095 - 93,03
Góngora-Gómez A. M. et al.	2017	Crossostrea gigas	300	0,1841- 4,22	-	0,6839 - 25,92	0,029 - 1,28	0,3321 - 32,38	-	-	0,1365 - 12,18	3,5567 - 92,29
S. Squadrone et al.	2016	Crossostrea gigas	25	0,12 - 0,01	ND	85,343 - 24,22	0,131 - 0,04	0,18 - 0,07	30,41 - 14,288	4,44 - 0,76	0,19 - 0,05	382,93 - 97,29
Magalie Baudrimont et al.	2016	Crossostrea gigas	92	0,3458 - 0,21	1,59 - 0,04	1,1368 - 11,3	0,0093 - 0,08	0,0102 - 0,05	-	5,596 - 1,32	0,0678 - 0,04	48,5400 - 33,67
A. Séguin et al.	2016	Crassostrea gigas - local	60	0,05785- DP	ND	0,8113 - DP	0,0998- DP	ND	ND	ND	0,3232 - DP	7,1155 - DP

Xuan Liu, et al.	2016	Crassostrea hongkongensis	10	0,0313 - 0,23	ND	3,059 - 33	ND	0,0144 - 1,92	ND	ND	0,0706 - 1,66	24,9375 - 245,00
D. J. Bray	2015	Crossostrea gigas	263	0,0291 - 0,73	-	5,2051 - 14323	0,0152 - 0,44	-	-	-	-	26,2299 - 617,04
Lianzhong Luo et al.	2014	Crassostrea hongkongensis	60	0,1361 - 2,92	0,0074 - 0,28 066	34,8839 - 927,33	0,0058 - 0,12	0,05636 - 1,43	0,5485 - 2,74	0,133 - 3,673	0,05823 - 1,1066	133,212 - 2823
Michelle Giltrap et al.	2013	Crassostrea gigas - local	200	0,1719 - DP	0,49666 - DP	13,8187 - DP	0,1696 - 0,05	0,1520 - DP	26,865 - DP	4,2959 - DP	0,15393 - DP	123,557
Victoria Ochoa et al.	2012	Crossostrea gigas	80	0,0067 - 1,32	-	0,5164 - 98,73	0,0035 - 0,78	-	-	-	-	7,4714 - 1126,84

* A tabela apresenta respetivamente a média e desvio padrão para cada metal analisado.
* ND – não detectável

Fonte: Elaboração própria em 2021.

6.3 CAMARÃO (*Litopenaeus vannamei)*

De acordo com as análises de metais pesados realizadas, tanto para o camarão cultivado com ração, quanto o camarão sem ração os maiores percentuais de metais foram cobre, ferro e zinco. Entretanto em relação ao comparativo com as legislações todos os resultados de metais estiveram dentro do limiar permitido, exceto pelo valor de cromo obtido no resultado do camarão sem ração, um estudo feito com camarão branco Litopenaeus schmitti, que também é bastante comercializado no Brasil obteve os mesmos resultados, podendo se justificar pelo tipo de alimentação natural e pelos níveis de Cr no substrato (NASCIMENTO *et al.*, 2017).
Para os camarões se obteve essas seguintes relações, camarão criados com ração Zn > Cu > Fe > Mn > Cr > Pb, camarão criados com ração Zn > Fe > Cu > Mn > Cr > Pb > Ni.

Pérez-ramírez *et al.*, 2019 fez um apanhado de diferentes trabalhos, onde avalia a concentração de Cu no musculo do *L. vannamei*, os percentuais apresentados por ele variaram de acordo com a gramatura da amostra utilizado e também de acordo com o local (SILVA *et al.*, 2016b), sendo avaliados resultados da China, Índia, México, EUA e Brasil, oscilaram entre o mínimo 11,3 até o máximo de 53,3 µg/g, se assemelham com o presente, uma vez que se aproximam do intervalo de máximo e mínimo indicado por ele.

Em relação aos resultados de Fe, Zn e Cr, Li *et al.*, (2019) apontou em seu artigo, que para os camarões cultivados com água do mar o percentual de Fe é de 44,53 µg/g com desvio padrão de mais ou menos 40,29 µg/g, os resultados de Zn foi de 42,31 µg/g com desvio padrão de mais ou menos 3,65 µg/g e por fim o resultado de Cr foi de 0,75 µg/g com desvio padrão de mais ou menos 0,41 µg/g. Estes percentuais expostos por Li *et al.*, (2019), se assemelham com os obtidos nas análises de metais feitas neste artigo, revalidando assim os resultados obtidos.

Para determinar a origem das concentrações de metais no camarão, se faz necessário a realização de rastreabilidade dos compostos presentes na alimentação, da qualidade da água, da forma de manejo e cultivo, de maneira que seja possível identificar qual a variável que está gerando estes percentuais de metais, e que consiga corrigir o problema da melhor forma possível.

Reduzindo assim, não apenas o percentual de Cromo, que está em desacordo com a normatização, como também, reduzir a presença dos outros metais analisados no camarão *L. vannamei* comercializado no Brasil e no mundo.

Tabela 4 — Comparação da concentração média de metal (mg/kg em peso úmido) no músculo de *Litopenaeus vannamei* no presente estudo com outros estudos

Autor	Ano	Organismo: Camarão	N° espécimes	Cd	Co	Cu	Pb	Cr	Fe	Mn	Ní	Zn
presente estudo	2021	**Com Ração**	10	0,0 – 0,0	0,0 – 0,0	1,227 - 0,723	0,022 - 0,040	0,053 - 0,640	1,123 - 0,123	0,113 - 1,120	0,0 – 0,0	3,153 – 1,202
presente estudo	2021	**Sem Ração**	10	0,0 - 0,0	0,000	10,402- 1,441	0,048 - 0,026	**0,390** - 0,518	17,483 - 18,167	0,607 - 0,198	0,327 - 0,659	12,960 - 1,534
Xiao-Yi Wu	2011	Litopenaeus vannamei	80	ND	-	3,6296 - 8,36	-	4,95835 - 5,27	26,547 - 30,76	0,603 - 2,5	-	34,1058 - 118, 174
Qiang Liua	2019	Litopenaeus vannamei	15	0 - 0,32	-	0,2224 - 28,13	ND - 0,02	0,018 - 2,14	-	-	0,0001 - 0,25	0,958 - 19,16
Mohammad	2016	Litopenaeus vannamei	18	0,02 - 0,12	-	13 - 63	0,1 - 0,38	0,32 - 1,1	-	-	0,28 - 1,4	53 - 131
E. Silva	2016	Litopenaeus vannamei	120	-	-	0,7008 - 0,3166	-	-	0,1246 - 0,44	0,035458 - 0,058	ND	1,0524 - 0,833
Robert B. Suami	2019	Macrobrachium spp.	36	0,21 - 0,07	0,05 - 0,02	41,84 - 13, 66	0,16 - 0,02	0,04 - 0,02	14,26 - 4	4,24 - 0,85	0,06 - 0,12	59,41 - 6,1
Robert B. Suami	2019	Parapenaeus spp.	36	0,24 - 0,016	0,06 - 0,03	20,41 - 5,3	0,19 - 0,09	0,19 - 0,21	94,9 - 37,87	3,34 - 2,07	0,06 - 0,08	65,95 - 26,71
Robert B. Suami	2019	Penaeus spp.	36	0,06 - 0,01	0,05 - 0,01	17,68 - 1,45	0,21 - 0,03	0,09 - 0,01	78,87 - 40, 73	1,6 - 0,42	N.D	69,28 - 14,96
Bojun Yu	2020	Litopenaeus vannamei	513	0.067 - DP	ND	5,666 - 0,098	0,034 - DP	0,078 - DP	-	-	-	-
Lulu Zhang	2020	Penaeus japonicus	13	-	-	0,92325 - 8, 61	ND	0,02025 - 0,06	-	-	0,0085- 0,03	1,5005 - 15, 97
Lulu Zhang	2020	Parapenaeopsis hardwickii	11	-	-	0,26325 3,45	0,002 - 0,01	0,02025 - 0,04	-	-	0,01525 - 0,04	1,5846 - 12, 88

* A tabela apresenta respetivamente a média e desvio padrão para cada metal analisado.
* ND – não detectável

Fonte: Elaboração própria em 2021.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o exposto ao longo deste artigo é plausível concluir que variações do tipo de ambiente, alimentação e tratamento fornecidos para os espécimes aquícolas analisados, incluindo diferenças entre espécies, condições ambientais, afetam o acúmulo de metais nos músculos dos organismos aquícolas, sendo os metais essenciais os mais presentes nos organismos, e o cromo e cadmio como o metal não essencial, mais preocupante devido as suas propriedades e seus níveis fora das normas.

Ressaltamos que mais estudos e normas devem ser aprimorados ou criados para garantir que outros meias como ferro, prata tenha limites definidos, como também novos compostos tóxicos como os poluentes emergentes.

Entretanto, pesquisas futuras que analisem a qualidade da água e do tratamento/manejo aplicado a estes espécimes, são necessárias para ponderar a origem da contaminação por metais em desacordo com as normas, assim como, avaliações periódicas da qualidade são fundamentais para complementar e aprimorar o entendimento desta problemática.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMALIZAÇÃO TÉCNICA. **ABNT. NBR 15308**: Ecotoxicologia Aquática: Toxicidade Aguda - Método de Teste com Mlids (Crustáceos). Rio de Janeiro: ABNT, [2011].

Agência US EPA, **Orientação Suplementar da USEP para a Condução de Avaliação de Riscos à Saúde de Misturas Químicas**. [*S. l.*: *s. n.*, 2000].

ALFONSO, Juan A.; HANDT, Helga; MORA, Abrahan; VÁSQUEZ, Yaneth; AZOCAR, José; MARCANO, Eunice. Temporal distribution of heavy metal concentrations in oysters Crassostrea rhizophorae from the central Venezuelan coast. **Marine Pollution Bulletin**, [*S. l.*], v. 73, n. 1, p. 394-398, ago. 2013.

ALMEIDA, Otávio Álvares de. Qualidade da água de irrigação. Cruz das almas: Saulus Santos da Silva, 2010. v. 1. Disponível em:https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/875385/1/livroqualidadeagua.pdf. Acesso em: 25 mar. 2018.

a**em efluente do sistema de lagoas de estabilização da estação de tratamento de esgotos de Samambaia-DF**. 2008. 205 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2008.

ANUÁRIO DOS PROGRAMAS DE CONTROLE DE ALIMENTOS DE ORIGEM ANIMAL DO DIPOA. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, v. 5, ano 5, 2019.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods: for the examination of water and wastewater**. (7522a nded.) Washington: American Public Health Association, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. **Anuário 2019 da Piscicultura Nacional**. 4. ed. Pinheiros, São Paulo: Peixe BR, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA**. Anuário 2020 da Piscicultura Nacional**. 5. ed. Pinheiros, São Paulo: Peixe BR, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÃO (Brasil). **BOAS PRÁTICAS DE MANEJO E BIOSSEGURANÇA PARA A CARCINICULTURA MARINHA NACIONAL**. Natal, 2012. 49 p. Disponível em: https://abccam.com.br/. Acesso em: 10 jan. 2020.

AUTHMAN, Mohammad M. N.; ABBAS, Hossam H.; ABBAS, Wafaa T.. Assessment of metal status in drainage canal water and their bioaccumulation in Oreochromis niloticus fish in relation to human health. **Environmental Monitoring And Assessment**, [*S. l.*], v. 185, n. 1, p. 891-907, 27 mar. 2012. Springer Science and Business Media LLC.

BAKI, Mohammad Abdul; HOSSAIN, Md. Muzammel; AKTER, Jhuma; QURAISHI, Shamshad B.; SHOJIB, Md. fajlul Haque; ULLAH, A.k.m. Atique; KHAN, Md Firoz. Concentration of heavy metals in seafood (fishes, shrimp, lobster and crabs) and human health assessment in Saint Martin Island, Bangladesh. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [S. l.], v. 159, p. 153-163, set. 2018.

BARBOSA, Andreza Miranda de Andrade; NAVONI, Julio Alejandro; TAVARES, Jean Leite. Caracterização e Análise do Potencial da Água Produzida como Alternativa para Reúso. **Holos**, [*S. l.*], v. 8, p. 1-15, 24 dez. 2019.

BAUDRIMONT, Magalie; CHELINI, Audrey; GOURVES, Pierre-Yves; MAURY-BRACHET, Régine; LEGEAY, Alexia. On the possibility to produce again oysters Crassostrea gigas in the North Médoc salt marshes (Gironde estuary, Southwestern France): a comparison study of metals bioaccumulation in spats 13 years after. **Marine Pollution Bulletin**, [*S. l.*], v. 111, n. 1-2, p. 184-193, out. 2016.

BRASIL. Decreto n. 655.871 de 26 de março de 1965. Modifica o Decreto nº 50.040, de 24 de janeiro de 1961, referente a normas reguladoras do emprego de aditivos para alimentos, alterado pelo Decreto n. 691, de 13 de março de 1962. **Diário [da] República do Brasi**l, Presidência da República: Brasília, DF, 9 abr. 1965.

BRASIL. Portaria n. 685, de 27 de agosto de 1998. Aprova o Regulamento Técnico: "Princípios Gerais para o Estabelecimento de Níveis Máximos de Contaminantes Químicos em Alimentos" e seu Anexo: "Limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos". **Diário [da] República do Brasil**, Presidência da República: Brasília, DF, 28 ago. 1998.

BRASIL. **Resolução Conama nº 430/2011**. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 13 maio 2011. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646. Acesso em: 3 abr. 2019.

BRASIL. **Resolução nº 357, de 2008. Resolução Conama nº 357/2005**. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 17 mar. 2005. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459. Acesso em: 20 jan. 2019.

BRASIL. **Resolução nº RDC Nº 42, de 29 de agosto de 2013**. Brasília, RN: Conselho Nacional do Meio Ambiente, p. 1-17. 2013. Disponível em: http: //bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/rdc0042_29_08_2013.html. Acesso em: 20 abr. 2019.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 274, de 29 de 2000. **Resolução CONAMA nº 274/2000** Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646. Acesso em: 03 abr. 2019.

BRAY, D. J.; GREEN, I.; GOLICHER, D.; HERBERT, R. J. H. Spatial variation of trace metals within intertidal beds of native mussels (Mytilus edulis) and non-native Pacific oysters (Crassostrea gigas): implications for the food web?. **Hydrobiologia**, [*S. .l.*], v. 757, n. 1, p. 235-249, 26 mar. 2015.

CARVALHO, Carlos Eduardo Veiga et al. Distribuição de metais pesados em peixes costeiros bentônicos da região de Macaé, R. J., Brasil. **Ecotoxicology and Environmental Restoration**, v. 3, n. 2, p. 64-68, Campos dos Goytacazes:[s. n.], 2000.

CUNNINGHAM, Patricia A.; SULLIVAN, Elizabeth E.; EVERETT, Kibri H.; KOVACH, Samuel S.; RAJAN, Anbiah; BARBER, Mary C. Assessment of metal contamination in Arabian/Persian Gulf fish: a review.: **A review.** Marine Pollution Bulletin, [S. l.], v. 143, p. 264-283, jun. 2019.

DHANAKUMAR, S.; SOLARAJ, G.; MOHANRAJ, R. Heavy metal partitioning in sediments and bioaccumulation in commercial fish species of three major reservoirs of river Cauvery delta region, India. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [S.L.], v. 113, p. 145-151, mar. 2015.

DUAN, Weiwei; XU, Cheng; LIU, Qian; XU, Jin; WENG, Zhenkun; ZHANG, Xin; BASNET, Til Bahadur; DAHAL, Maginsh; GU, Aihua. Levels of a mixture of heavy metals in blood and urine and all-cause, cardiovascular disease and cancer mortality: a population-based cohort study. **Environmental Pollution**, [*S. l.*], v. 263, p. 114630, ago. 2020.

ELNABRIS, Kamal J.; MUZYED, Shareef K.; EL-ASHGAR, Nizam M.. Heavy metal concentrations in some commercially important fishes and their contribution to heavy metals exposure in Palestinian people of Gaza Strip (Palestine). **Journal Of The Association Of Arab Universities For Basic And Applied Sciences**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 44-51, abr. 2013.

EL-RASHIDY, Aiah A. et al. Chemical and biological evaluation of Egyptian Nile Tilapia (Oreochromis niloticas) fish scale collagen. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [*S. l.*], v. 79, p.618-626, ago. 2015.

ELTHOLTH, Mahmoud; FORNACE, Kimberly; GRACE, Delia; RUSHTON, Jonathan; HÄSLER, Barbara. Assessing the chemical and microbiological quality of farmed tilapia in Egyptian fresh fish markets. **Global Food Security**, [*S. l.*], v. 17, p. 14-20, jun. 2018.

FAKHRI, Yadolah; MOHSENI-BANDPEI, Anoushiravan; CONTI, Gea Oliveri; FERRANTE, Margherita; CRISTALDI, Antonio; JEIHOONI, Ali Khani; DEHKORDI, Maryam Karimi; ALINEJAD, Abdolazim; RASOULZADEH, Hassan; MOHSENI, Seyed Mohsen. Systematic review and health risk assessment of arsenic and lead in the fished shrimps from the Persian gulf. **Food And Chemical Toxicology**, [*S.l.*], v. 113, p. 278-286, mar. 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Lista dos níveis máximos recomendados para os contaminantes pela comissão alimentar conjunta FAO / WHO**. Segunda série CAC / FAL Roma 3: p. 1–8, 1976.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Contribuir para a segurança alimentar e nutricional para todos, o Estado da Pesca e Aquicultura Mundiais 2016 (2016) Roma**. 200 p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS**. O Estado das Pescas e Aquacultura Mundiais - Oportunidades e Desafios, Roma,** p. 1 – 243.. 2014.
.

FERNANDES, António Figueiredo et al. Effect of paraquat on oxidative stress enzymes in tilapia Oreochromis niloticus at two levels of temperature. **Pesticid Biochemic Physiological**, v. 85, p. 97-103, 2006b.

FERNANDES, António Figueiredo et al. Effetcs of the fungicide manzozeb in the quantification of induced cytological changes using qualitative histopathology and the stereological point-sampled method. Bull **Environment Contamination Toxilogical**, v. 76, n. 2, p. 249-255, 2006a.

FERNANDES, António Figueiredo et al. Histopathological changes in liver and gill epithelium of Nile tilapia, Oreochromis niloticus, exposed to waterborne copper**. Pesquisa Veterinária Brasileira,** Portugal, v. 27, n. 3, p. 103-109, mar. 2007.

FERNANDES, Rodrigo; GOMES, Luiz Carlos; AGOSTINHO, Angelo Antonio. Pesque-pague: negócio ou fonte de dispersão de espécies exóticas? **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 25, n. 1, p. 115-120, 2003.

FERREIRA, Clarissa P.; LIMA, Daína; PAIVA, Raphaella; VILKE, Juliano M.; MATTOS, Jacó J.; ALMEIDA, Eduardo A.; GROTT, Suelen C.; ALVES, Thiago C.; CORRêA, Jacyara N.; JORGE, Marianna B. Metal bioaccumulation, oxidative stress and antioxidant responses in oysters Crassostrea gasar transplanted to an estuary in southern Brazil. **Science Of The Total Environment**, [*S. l.*], v. 685, p. 332-344, out. 2019c.

FERREIRA, Douglisnilson de Morais; NAVONI, Julio Alejandro; ARAðJO, André Luis Calado; TINOCO, Juliana Delgado; AMARAL, Viviane Souza do. WASTEWATER USE IN AGRICULTURE: analytical limits of sewage for impact control in brazil. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 32, n. 4, p. 1048-1059, dez. 2019a.

FERREIRA, Nathalia S.; OLIVEIRA, Luciano H.B.; AGRELLI, Vitor; OLIVEIRA, Aline F. de; NOGUEIRA, Ana R.A.; OLIVEIRA, Andrea; GONZALEZ, Mario H. Bioaccumulation and acute toxicity of As (III) and As(V) in Nile tilapia (Oreochromis niloticus). **Chemosphere**, [S.L.], v. 217, p. 349-354, fev. 2019b.

GADELHA, Juliana R. et al. Persistent and emerging pollutants assessment on aquaculture oysters (Crassostrea gigas) from NW Portuguese coast (Ria De Aveiro). **Science of the Total Environment**, [*S. l.*], v. 666, p.731-742, maio 2019.

GALVÃO, J. A.; OETTERER, M.; MATTHIENSEN, A. Sustentabilidade na produção do pescado: qualidade da água. In: OETTERER, M.; GALVÃO, J. A. **Qualidade e processamento de pescado**. Rio de Janeiro, 2014. p. 1-30.

GILTRAP, Michelle; MACKEN, Ailbhe; DAVOREN, Maria; MCGOVERN, Evin; FOLEY, Barry; LARSEN, Martin; WHITE, Jonathan; MCHUGH, Brendan. Utilising caging techniques to investigate metal assimilation in Nucella lapillus, Mytilus edulis and Crassostrea gigas at three Irish coastal locations. **Estuarine, Coastal And Shelf Science**, [*S. l.*], v. 132, p. 77-86, nov. 2013.

GÓNGORA-GÓMEZ, Andrés Martín et al. Heavy-metal contents in oysters (Crassostrea gigas) cultivated on the southeastern coast of the Gulf of California, Mexico. **Hidrobiológica**, Mexico, v. 27, n. 2, p. 219-227, 27 abr. 2017.

GRANEK, Elise F., Kathleen E. Conn , Elena B. Nilsen , Lori Pillsbury , Angela L. Strecker , Steve S. Rumrill , William FishVariabilidade espacial e temporal de contaminantes dentro de sedimentos estuarinos e ostras de Olympia nativa: um contraste entre um desenvolvido e um estuário subdesenvolvido. **Ciência do Ambiente** p. 869 – 879. 2016

HUANG, Fei *et al.*, Replacement of fishmeal with soybean meal and mineral supplements in diets of Litopenaeus vannamei reared in low-salinity water. **Aquaculture**, [s.l.], v. 473, p.172-180, abr. 2017.

IBGE. **Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas do Brasil**. Rio de Janeiro - Brasil, p. 177. 2011.

JONATHAN, M.p.; MUÑOZ-SEVILLA, N.p.; GÓNGORA-GÓMEZ, Andrés Martin; VARELA, Raquel Gabriela Luna; SUJITHA, S.b.; ESCOBEDO-URÍAS, D.c.; RODRÍGUEZ-ESPINOSA, P.f.; VILLEGAS, Lorena Elizabeth Campos. Bioaccumulation of trace metals in farmed pacific oysters Crassostrea gigas from SW Gulf of California coast, Mexico. **Chemosphere**, [s.l.], v. 187, p. 311-319, nov. 2017.

JU, Yun-ru; CHEN, Chiu-wen; CHEN, Chih-feng; CHUANG, Xiang-ying; DONG, Cheng-di. Assessment of heavy metals in aquaculture fishes collected from southwest coast of Taiwan and human consumption risk. **International Biodeterioration & Biodegradation**, [s.l.], v. 124, p. 314-325, out. 2017.

KARRI, Venkatanaidu; SCHUHMACHER, Marta; KUMAR, Vikas. A systems toxicology approach to compare the heavy metal mixtures (Pb, As, MeHg) impact in neurodegenerative diseases. **Food and Chemical Toxicology**, [S.L.], v. 139, p. 111257, maio 2020.

LACERDA, Luiz Drude de; VAISMAN, Ariel Gustavo; MAIA, Luís Parente; SILVA, Carlos Augusto Ramos e; CUNHA, Eugênio Marcos Soares. Relative importance of nitrogen and phosphorus emissions from shrimp farming and other anthropogenic sources for six estuaries along the NE Brazilian coast. **Aquaculture**, [S.L.], v. 253, n. 1-4, p. 433-446, mar. 2006.

LEUNG, H.m. et al. Assessment of heavy metals/metalloid (As, Pb, Cd, Ni, Zn, Cr, Cu, Mn) concentrations in edible fish species tissue in the Pearl River Delta (PRD), China. **Marine Pollution Bulletin**, [s.l.], v. 78, n. 1-2, p.235-245, jan. 2014.

LI, Huizhen; YOU, Jing; WANG, Wen-xiong. Multi-compartmental toxicokinetic modeling of fipronil in tilapia: Accumulation, biotransformation and elimination. **Journal Of Hazardous Materials**, [s.l.], v. 360, p.420-427, out. 2018.

LI, Li; HAN, Cui; DONG, Shuanglin; BOYD, Claude E. Use of elemental profiling and isotopic signatures to differentiate Pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei) from freshwater and seawater culture areas. **Food Control**, [s.l.], v. 95, p. 249-256, jan. 2019. Elsevier BV.

LIMA, Daniel Pandilha et al. Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 45, n. 4, p. 405-414, Macapá, 2015.

LING, Min-Pei; WU, Chin-Ching; YANG, Ke-Ruo; HSU, Hui-Tsung. Differential accumulation of trace elements in ventral and dorsal muscle tissues in tilapia and milkfish with different feeding habits from the same cultured fishery pond. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [S.L.], v. 89, p. 222-230, mar. 2013.

LIU, Houqi; LIU, Guijian; YUAN, Zijiao; GE, Meng; WANG, Shanshan; LIU, Yuan; DA, Chunnian. Occurrence, potential health risk of heavy metals in aquatic organisms from Laizhou Bay, China. **Marine Pollution Bulletin**, [s.l.], v. 140, p. 388-394, mar. 2019a. Elsevier BV.

LIU, Qiang; XU, Xiaoqun; ZENG, Jiangning; SHI, Xiaolai; LIAO, Yibo; DU, Ping; TANG, Yanbin; HUANG, Wei; CHEN, Quanzhen; SHOU, Lu. Heavy metal concentrations in commercial marine organisms from Xiangshan Bay, China, and the potential health risks. **Marine Pollution Bulletin**, [S.L.], v. 141, p. 215-226, abr. 2019b.

LIU, Xuan; WANG, Wen-Xiong. Time changes in biomarker responses in two species of oyster transplanted into a metal contaminated estuary. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 544, p. 281-290, fev. 2016.

LOPES, I.g.; OLIVEIRA, R.g.; RAMOS, F.m.. Perfil do Consumo de Peixes pela População Brasileira. **Biota Amazônia**, [s.l.], v. 6, n. 2, p.62-65, 30 jun. 2016. Revista Biota Amazonia.

LOPES, Rejane Batista. Metais pesados no caranguejo Ucides Cordatus (Linnaeus, 1763) e ecotoxicilogia de sedimentos de estuario dos rios Jundiaí e Potengi - RN. 2012. 88 f. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente/prodema**, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

LOW, Kah Hin; ZAIN, Sharifuddin Md.; ABAS, Mhd. Radzi; SALLEH, Kaharudin Md.; TEO, Yin Yin. Distribution and health risk assessment of trace metals in freshwater tilapia from three different aquaculture sites in Jelebu Region (Malaysia). **Food Chemistry**, [S.L.], v. 177, p. 390-396, jun. 2015.

LOW, Kah Hin; ZAIN, Sharifuddin Md.; ABAS, Mhd. Radzi; SALLEH, Kaharudin Md.; TEO, Yin Yin. Distribution and health risk assessment of trace metals in freshwater tilapia from three different aquaculture sites in Jelebu Region (Malaysia). **Food Chemistry**, [S.L.], v. 177, p. 390-396, jun. 2015. Elsevier BV.

LU, Guang-yuan et al. Oyster-based national mapping of trace metals pollution in the Chinese coastal waters. **Environmental Pollution**, [s.l.], v. 224, p.658-669, maio 2017.

LUO, Lianzhong; KE, Caihuan; GUO, Xiaoyu; SHI, Bo; HUANG, Miaoqin. Metal accumulation and differentially expressed proteins in gill of oyster (Crassostrea hongkongensis) exposed to long-term heavy metal-contaminated estuary. **Fish & Shellfish Immunology**, [s.l.], v. 38, n. 2, p. 318-329, jun. 2014.

MACHADO, Bianca Coelho. **Avaliação da qualidade dos efluentes das lagoas de estabilização em série da estação de tratamento de esgoto de Samambaia- DF para o cultivo de tilápia (Oreochromis niloticus**). 2006. 126 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

MALLAKPOUR, Shadpour; RADFAR, Zeinab; HUSSAIN, Chaudhery Mustansar. Current advances on polymer-layered double hydroxides/metal oxides nanocomposites and bionanocomposites: fabrications and applications in the textile industry and nanofibers. **Applied Clay Science**, [*S. l.*], v. 206, p. 106054, jun. 2021.

MEDEIROS, Luciana de Castro; ALENCAR, Feliphe Lacerda Souza de; NAVONI, Julio Alejandro; ARAUJO, André Luis Calado de; AMARAL, Viviane Souza do. Toxicological aspects of trihalomethanes: a systematic review. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 26, n. 6, p. 5316-5332, 3 jan. 2019. Springer Science and Business Media LLC.

MENKE, Andy; GUALLAR, Eliseo; COWIE, Catherine C. Metals in Urine and Diabetes in United States Adults. **Diabetes**, [S.L.], p. 150316, 5 nov. 2015. American Diabetes Association.

MESQUITA, Genda Maris. Metodologias de preparo de amostras e quantificação de metais pesados em sedimentos do Ribeirão Samambaia, Catalão-GO, empregando Espectrometria de Absorção Atômica. 2014. 120f. **Dissertação (Mestrado em Química)** - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

MIRANDA FILHO, Adalberto Luiz; MOTA, Anne Karin Madureira; CRUZ, Carla da Costa; MATIAS, Claudio Milton Montenegro; FERREIRA, Aldo Pacheco. Hexavalent

chromium in fish from the Sepetiba Bay in Rio de Janeiro, Brazil: a risk assessment to human health (portuguese). Ambiente e Água - **An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 200-209, 31 dez. 2011. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi).

MP Ling., HT Hsu, RH Shie, CC Wu, YS Hong. Risco à saúde de consumir metais pesados em tilápias cultivadas no centro de Taiwan Touro. **Environ. Contam. Toxicol**., 83 (2009), p. 558 – 564.

MPA - Ministério da Pesca e Aquicultura, 2013. **Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura 2001**. Brasília, 60 p. Disponível em:http://www.mpa.gov.br/images/Docs/Informacoes_e_Estatisticas/Boletim %20MPA%202011FINAL4.doc. Acesso em: 03 abr. 2021.

NASCIMENTO, Juliana Ribeiro; SABADINI-SANTOS, Elisamara; CARVALHO, Cassia; KEUNECKE, Karina Annes; CÉSAR, Ricardo; BIDONE, Edison D. Bioaccumulation of heavy metals by shrimp (Litopenaeus schmitti): a dose⁝response approach for coastal resources management.: A dose–response approach for coastal resources management. **Marine Pollution Bulletin**, [s.l.], v. 114, n. 2, p. 1007-1013, jan. 2017.

NAVONI, J.a. et al. Human health risk assessment with spatial analysis: Study of a population chronically exposed to arsenic through drinking water from Argentina. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 499, p.166-174, nov. 2014.

NAZARIPOUR, Morteza; RESHADI, Mir Amir Mohammad; MIRBAGHERI, Seyed Ahmad; NAZARIPOUR, Mehdi; BAZARGAN, Alireza. Research trends of heavy metal removal from aqueous environments. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 287, p. 112322, jun. 2021.

NGUYEN, Lay et al. Comparison of organic and inorganic microminerals in all plant diets for Nile tilapia Oreochromis niloticus. **Aquaculture**, [s.l.], v. 498, p.297-304, jan. 2019.

OCHOA, Victoria; BARATA, Carlos; RIVA, M. Carmen. Heavy metal content in oysters (Crassostrea gigas) cultured in the Ebro Delta in Catalonia, Spain. **Environmental Monitoring And Assessment**, [S.L.], v. 185, n. 8, p. 6783-6792, 17 jan. 2013. Springer Science and Business Media LLC.

PEREIRA, Clovis Matheus; LAPOLLI, Flavio Rubens. Criação de tilápias no efluente doméstico tratado em lagoas de estabilização. **Biotemas**, v. 22, n. 1, p. 93-102, mar. 2009.

PÉREZ-RAMÍREZ, Jesús A.; FRÍAS-ESPERICUETA, Martín G.; VALENCIA-CASTAÑEDA, Gladys; PÁEZ-OSUNA, Federico. Copper in Cultured Shrimp Litopenaeus vannamei and Its Reduction in Hepatopancreas After Exposure to Sublethal Nitrite Levels. **Bulletin Of Environmental Contamination And Toxicology**, [s.l.], v. 104, n. 1, p. 78-83, 3 dez. 2019. Springer Science and Business Media LLC.

RAJESHKUMAR, Sivakumar; LIU, Yang; ZHANG, Xiangyang; RAVIKUMAR, Boopalan; BAI, Ge; LI, Xiaoyu. Studies on seasonal pollution of heavy metals in water, sediment, fish and oyster from the Meiliang Bay of Taihu Lake in China. **Chemosphere**, [S.L.], v. 191, p. 626-638, jan. 2018.

RAMÍREZ-ROCHÍN, Javier; CAMPA-CÓRDOVA, Ángel I.; FRÍAS-ESPERICUETA, Martín G.; FREGOSO-LÓPEZ, Marcela G.; BOJÓRQUEZ-LEYVA, Humberto; PÁEZ-OSUNA, Federico. Effect of low salinity on acute arsenic toxicity and bioconcentration in shrimp Litopenaeus vannamei juveniles. Comparative Biochemistry And Physiology Part C: **Toxicology & Pharmacology**, [s.l.], v. 218, p. 1-7, abr. 2019.

Regulamento (CE) de 78/2005 da Comissão da Comunidade Europeia, de 19 de janeiro de 2005, que altera o Regulamento (CE) no 466/2001 no que diz respeito aos metais pesados L16 / 43 – L16 / 45, Fora. J. Eur. União (2005), (20.1.2005).

RICE, Eugene W. et al. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 22 ed. Washington: AWWA, 2012. **American Water Works Association. Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington: American Water Works Association, 2012.

SARKAR, T.; ALAM, M. Masihul; PARVIN, N.; FARDOUS, Z.; CHOWDHURY, Alamgir Z.; HOSSAIN, S.; HAQUE, M.e.; BISWAS, N. Assessment of heavy metals contamination and human health risk in shrimp collected from different farms and rivers at Khulna-Satkhira region, Bangladesh. **Toxicology Reports**, [s.l.], v. 3, p. 346-350, 2016.

SÉGUIN, A.; CAPLAT, C.; SERPENTINI, A.; LEBEL, J.M.; MENET-NEDELEC, F.; COSTIL, K. 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**, [S.L.], v. 106, n. 1-2, p. 202-214, maio 2016.

SENEZ-MELLO, T. M.; CRAPEZ, M. A. C.; SILVA, C. A. Ramos e; SILVA, E. T.; FONSECA, E. M. Heavy metals bioconcentration in Crassostrea rhizophorae: a site-to-site transplant experiment at the potengi estuary, rio grande do norte, brazil. **Scientific Reports**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 1-13, 14 jan. 2020. Springer Science and Business Media LLC.

SILVA, E.; VIANA, Z. C. V.; ONOFRE, C. R. E.; KORN, M. G. A.; SANTOS, V. L. C. S. Distribution of trace elements in tissues of shrimp species Litopenaeus vannamei (Boone, 1931) from Bahia, Brazil. **Brazilian Journal Of Biology**, [S.L.], v. 76, n. 1, p. 194-204, 22 jan. 2016a. FapUNIFESP.

SILVA, Maria A.; MOTTA, Tatiana C. S.; TINTOR, Diogo B.; DOURADO, Thiago A.; ALCÂNTARA, Amanda L.; MENEGÁRIO, Amauri A.; FERREIRA, José R.. Tilapia (Oreochromis niloticus) as a Biondicator of Copper and Cadmium Toxicity. A Bioavailability Approach. **Journal Of The Brazilian Chemical Society**, [s.l.], p. 143-151, 2016b. Sociedade Brasileira de Quimica (SBQ).

SQUADRONE, S.; BRIZIO, P.; STELLA, C.; PREARO, M.; PASTORINO, P.; SERRACCA, L.; ERCOLINI, C.; ABETE, M.C. Presence of trace metals in

aquaculture marine ecosystems of the northwestern Mediterranean Sea (Italy). **Environmental Pollution**, [S.L.], v. 215, p. 77-83, ago. 2016.

SUAMI, Robert B.; SALAH, Dhafer Mohammed M. Al; KABALA, César D.; OTAMONGA, J.-P.; MULAJI, Crispin K.; MPIANA, Pius T.; POTÉ, John W.. Assessment of metal concentrations in oysters and shrimp from Atlantic Coast of the Democratic Republic of the Congo. **Heliyon**, [S.L.], v. 5, n. 12, p. 03049, dez. 2019.

TABREZ, Shams; ZUGHAIBI, Torki A.; JAVED, Mehjbeen. Bioaccumulation of heavy metals and their toxicity assessment in Mystus species. Saudi **Journal Of Biological Sciences**, [S.L.], v. 28, n. 2, p. 1459-1464, fev. 2021.

TAWEEL, Abdulali; SHUHAIMI-OTHMAN, M.; AHMAD, A.k.. Assessment of heavy metals in tilapia fish (Oreochromis niloticus) from the Langat River and Engineering Lake in Bangi, Malaysia, and evaluation of the health risk from tilapia consumption. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [s.l.], v. 93, p. 45-51, jul. 2013.

USEPA, Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (terceira ed.), Guidance for Assessment Chemical Contaminant, Dados para uso em Fish Advisories, vol. 2, Avaliação de risco e limites de consumo de peixe, Washington, DC, [2000].

VIEIRA, Thatianne C.; RODRIGUES, Ana Paula de C.; AMARAL, Petrus M.G.; OLIVEIRA, Douglas F.C. de; GONÇALVES, Rodrigo A.; SILVA, Camila Rodrigues e; VASQUES, Ricardo O.; MALM, Olaf; SILVA-FILHO, Emmanoel V.; GODOY, José M. de O. Evaluation of the bioaccumulation kinetics of toxic metals in fish (A. brasiliensis) and its application on monitoring of coastal ecosystems. **Marine Pollution Bulletin**, [S.L.], v. 151, p. 110830, fev. 2020.

WANG, Jingjie; XIAO, Jun; ZHANG, Jingyi; CHEN, Hongxing; LI, Dan; LI, Liuqing; CAO, Jinling; XIE, Lingtian; LUO, Yongju. Effects of dietary Cu and Zn on the accumulation, oxidative stress and the expressions of immune-related genes in the livers of Nile tilapia (Oreochromis niloticus). **Fish & Shellfish Immunology**, [s.l.], v. 100, p. 198-207, maio 2020.

WU, Xiao-Yi; YANG, Yu-Feng. Heavy metal (Pb, Co, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn and Zn) concentrations in harvest-size white shrimp Litopenaeus vannamei tissues from aquaculture and wild source. **Journal Of Food Composition And Analysis**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 62-65, fev. 2011.

WU, Yu-sheng; HUANG, Shih-ling; CHUNG, Hsin-chieh; NAN, Fan-hua. Bioaccumulation of lead and non-specific immune responses in white shrimp (Litopenaeus vannamei) to Pb exposure. **Fish & Shellfish Immunology**, [s.l.], v. 62, p. 116-123, mar. 2017.

YANG, Ai-Min; LO, Kenneth; ZHENG, Tong-Zhang; YANG, Jing-Li; BAI, Ya-Na; FENG, Ying-Qing; CHENG, Ning; LIU, Si-Min. Environmental heavy metals and cardiovascular diseases: status and future direction. **Chronic Diseases And Translational Medicine**, [S.L.], v. 6, n. 4, p. 251-259, dez. 2020.

YOU, Mingqing. Interpretation of the source-specific substantive control measures of the Minamata Convention on Mercury. **Environment International**, [S.L.], v. 75, p. 1-10, fev. 2015.

YOUNIS, Elsayed M. et al. Seasonal variations in the body composition and bioaccumulation of heavy metals in Nile tilapia collected from drainage canals in Al-Ahsa, Saudi Arabia. **Saudi Journal Of Biological Sciences**, [s.l.], v. 22, n. 4, p.443-447, jul. 2015.

YU, Bojun; WANG, Xueli; DONG, Kylie Fei; XIAO, Gexin; MA, Dong. Heavy metal concentrations in aquatic organisms (fishes, shrimp and crabs) and health risk assessment in China. **Marine Pollution Bulletin**, [S.L.], v. 159, p. 111505, out. 2020.

ZHANG, Lulu; YAN, Wen; XIE, Zhiyong; CAI, Guanqiang; MI, Wenying; XU, Weihai. Bioaccumulation and changes of trace metals over the last two decades in marine organisms from Guangdong coastal regions, South China. **Journal Of Environmental Sciences**, [S.L.], v. 98, p. 103-108, dez. 2020.