

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

MATEUS ANTONIO BESEN

AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO MEXILHÃO-DOURADO INCRUSTADO
EM DIFERENTES TELAS DE TANQUES-REDE

Marechal Cândido Rondon

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

MATEUS ANTONIO BESEN

AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO MEXILHÃO-DOURADO INCRUSTADO
EM DIFERENTES TELAS DE TANQUES-REDE

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição Animal, para a obtenção do título de “Mestre em Zootecnia”.

Orientador: Prof. PhD. Nilton Garcia Marengoni
Coorientador: Prof. Dr. Robie Allan Bombardelli

Marechal Cândido Rondon

2019

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Besen, Mateus Antonio
AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO MEXILHÃO-DOURADO
INCRUSTADO EM DIFERENTES TELAS DE TANQUES-REDE / Mateus
Antonio Besen; orientador(a), Nilton Garcia Marengoni;
coorientador(a), Robie Allan Bombardelli, 2019.
53 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste
do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, Centro de
Ciências Agrárias, Graduação em ZootecniaPrograma de Pós-
Graduação em Zootecnia, 2019.

1. Limnoperna fortunei. 2. telas anti-incrustantes. 3.
área aquícola. I. Marengoni, Nilton Garcia. II.
Bombardelli, Robie Allan . III. Título.

MATEUS ANTONIO BESEN

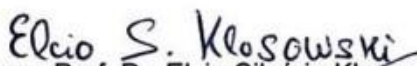
Avaliação e caracterização do mexilhão-dourado incrustado em diferentes telas de tanques-rede

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de "Mestre em Zootecnia", Área de Concentração "Produção e Nutrição Animal", Linha de Pesquisa "Aquicultura", APROVADA pela seguinte Banca Examinadora:



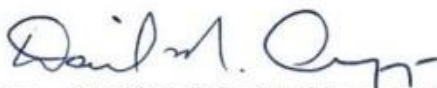
Orientador – Prof. Ph.D. Nilton Garcia Marengoni

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) – *Campus* de Mal. Cândido Rondon



Membro – Prof. Dr. Elcio Silvério Klosowski

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) – *Campus* de Mal. Cândido Rondon



Membro – Prof.^a Dr.^a Daniele Menezes Albuquerque

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)

Marechal Cândido Rondon, 22 de fevereiro de 2019.

Dedico este trabalho ao meu irmão, André Roberto Besen (In Memoriam), e a todas as pessoas que apoiaram e contribuíram para a sua realização.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná, por fornecer ensino superior de qualidade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná,
pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da
bolsa de estudos.

Ao senhor Walter Kist, pela estrutura disponibilizada para a elaboração dos experimentos.

Ao meu orientador, Prof. PhD Nilton Garcia Marengoni, pela oportunidade e por contribuir
com o meu crescimento pessoal e profissional.

Ao professor Cláudio Yuji Tsutsumi, pelo auxílio nas análises estatísticas.

Aos professores e colaboradores dos laboratórios de Estudos da Dinâmica Ambiental,
Nutrição Animal, Fertilidade do Solo e Química Ambiental e Instrumental da Unioeste, pelo
auxílio e disponibilidade de materiais na elaboração dos experimentos.

Aos integrantes do Grupo de Estudos em Tilapicultura (GET), pelos auxílios na elaboração
deste trabalho.

Aos meus amigos, Alan Dresch e Eloisa Mattei, que me apoiaram e auxiliaram sempre que
precisei auxílio.

Ao assistente do Programa de Pós-Graduação, Paulo Henrique Morsch, pelo auxílio e suporte.

Ao Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar), por fornecer os dados meteorológicos.

À minha família, pelo apoio e incentivo.

AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO MEXILHÃO-DOURADO INCRUSTADO EM DIFERENTES TELAS DE TANQUES-REDE

Resumo: Foram realizados dois ensaios para avaliar e caracterizar o mexilhão-dourado incrustado em dois tipos de telas (PVC e Bezinal) para tanques-rede, em área aquícola de tilapicultura no reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu Binacional. No primeiro ensaio, realizou-se a caracterização e a bioacumulação de metais do mexilhão-dourado incrustado em dois tipos de telas de tanque-rede. As telas foram retiradas e realizou-se a avaliação da massa média, total e dimensões (comprimento, altura e largura) dos moluscos incrustados. Posteriormente, foi realizada a ordenação dos comprimentos médios e avaliou-se a quantificação de cádmio, chumbo, alumínio, zinco e cromo dos mexilhões. Os mexilhões aderidos na tela Bezinal apresentaram maior massa média, comprimento, altura e largura. No entanto, a tela PVC proporcionou uma maior massa total de mexilhões. Os indivíduos com comprimentos entre 10 a 20 mm tiveram uma maior incidência na tela PVC e nos comprimentos entre 22 a 26 mm ocorreu uma maior frequência de mexilhões na tela Bezinal. Os mexilhões incrustados à tela Bezinal bioacumulam maior teor de Al, Zn e Cr, quando comparados aos aderidos na tela PVC. No segundo experimento, foram avaliadas as incrustações de mexilhão-dourado em telas PVC e Bezinal para tanques-rede de primeiro e segundo uso e quanto à utilização de recobrimento com óleo de tilápia-do-Nilo. As telas foram extraídas para estimativa e avaliação da massa total de substratos, massa média, total e dimensões dos moluscos. Quanto ao tempo de uso, a tela PVC apresentou os maiores valores de massa total de substratos, massas e dimensões dos moluscos. As telas de segundo uso resultaram nos maiores valores de dimensões e massa média de mexilhões, sendo observada a maior massa total de moluscos apenas na tela PVC e menor massa de substratos na tela Bezinal. Em relação ao uso de óleo de tilápia-do-Nilo, foi verificada a maior massa total de mexilhões e substratos aderidos na tela PVC. As telas banhadas em óleo apresentaram menores médias nas dimensões dos mexilhões, porém, não foram observadas diferenças significativas para as massas dos moluscos. O uso do arame revestido em Bezinal é mais eficiente em relação ao PVC como material anti-incrustante. As telas de segundo uso apresentam tendência de aumentar a massa de bioincrustantes. O uso do óleo de tilápia nas malhas de tanque-rede não é eficiente como alternativa de controle do mexilhão-dourado.

Palavras-chave: *Limnoperna fortunei*, incrustação biológica, óleo de peixe, metais pesados

EVALUATION AND CHARACTERIZATION OF GOLDEN MUSSEL FOULING IN DIFFERENT NET CAGES

Abstract: Two essays were performed in order to evaluate and characterize the golden mussel incrustated in two types of nets cages (PVC and Bezinal) in an area of tilapia aquaculture in the reservoir of the Itaipu Binacional hydroelectric power plant. In the first essay the characterization and bioaccumulation of gold-mussel metals fouling in two types of net cage was performed. The nets were removed and the evaluation of the average mass, total and dimensions (length, height and width) of the fouling molluscs was evaluated. Later, the ordering of the average lengths was executed, and the quantification of cadmium, lead, aluminum, zinc and chromium of mussels evaluated. The mussels that adhered to the Bezinal net had higher average mass, length, height and width. However, the PVC net provided a greater total mass of mussels encrusted. Subjects with a length between 10 and 20 mm had a higher incidence in the PVC net, and in lengths between 22 and 26mm had a greater frequency of mussels in the Bezinal screen net. The mussels fouling adhered to the Bezinal net had a higher bioaccumulation of Al, Zn and Cr contents when compared to those adhered to the PVC net. In the second experiment, goldfish molluscs in PVC and Bezinal nets were evaluated for first and second use of net-tanks and for the use of oil coating of Nile tilapia. The nets were extracted for the estimation and evaluation of the total mass of substrates, individual average mass, total amount and dimensions of the molluscs. Regarding usage time, PVC nets had the highest values of total mass of substrates, masses and sizes of molluscs. The nets on second use resulted in the highest values of size dimension and average mass of mussels, the largest total mass of molluscs being observed only in the PVC net, and the lowest mass of substrates in the Bezinal net. Regarding the use of oil of Nile tilapia, the largest total mass of mussels and substrates adhered to the PVC net. The oil-bathed nets had lower mean values in the size of the mussels, however, no significant differences were observed for the masses of the molluscs. The use of Bezinal coated wire is more efficient than PVC as an anti-fouling material. The second-use nets tend to increase the bio-fouling mass. The use of tilapia oil in net tank cages meshes is not efficient as an alternative control for the golden mussel.

Key Words: *Limnoperna fortunei*, biofouling, fish oil, heavy metals

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Locais com registro de <i>Limnoperna fortunei</i> no Brasil.	17
Figura 2. Rio São Francisco Verdadeiro, pertencente à Bacia do Rio Paraná III.....	27
Figura 3. Ilustração simulando os lados do tanque-rede instalado em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional, em Entre Rios do Oeste	29
Figura 4. Ordenação de comprimentos médios de mexilhão-dourado incrustados em telas Bezinal e PVC de tanque-rede instalado em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional, em Entre Rios do Oeste	31
Figura 5. Ilustração simulando a distribuição dos coletores de diferentes telas de tanque-rede, instalado em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional, em Entre Rios do Oeste.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados meteorológicos de setembro de 2017 a junho de 2018, observados na estação meteorológica de Entre Rios do Oeste, Paraná.....	28
Tabela 2. Massa média individual (MMI) e massa total (MTM), comprimento (CP), altura (AT) e largura (LG) de mexilhão-dourado incrustados em dois tipos de telas e lados de tanque-rede instalado em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional, em Entre Rios do Oeste.....	30
Tabela 3. Concentrações (mg kg^{-1}) de metais tóxicos do mexilhão-dourado coletado em telas de Bezinal e PVC de tanque-rede instalado em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional, em Entre Rios do Oeste.	32
Tabela 4. Dados meteorológicos de setembro a dezembro de 2018, observados na estação meteorológica de Entre Rios do Oeste, Paraná.....	42
Tabela 5. Qualidade de água em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional, em Entre Rios do Oeste	43
Tabela 6. Largura, altura, comprimento e massa média individual (MMI) de mexilhão-dourado incrustado, em dois tipos de tela de tanque-rede (Bezinal e PVC) e duas idades (primeiro e segundo uso), em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional em Entre Rios do Oeste.....	45
Tabela 7. Massa total de substratos (MTS) e massa total de mexilhão (MTM) incrustado nos coletores em dois tipos de tela de tanque-rede (Bezinal e PVC) e duas idades (primeiro e segundo uso), em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional em Entre Rios do Oeste.....	46
Tabela 8. Largura, altura, comprimento, massa total (MTM) e massa média individual (MMI) de mexilhão-dourado incrustado, em dois tipos de tela de tanque-rede (Bezinal e PVC), banhadas em óleo de tilápia-do-Nilo ou isentas do produto, em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional em Entre Rios do Oeste.....	46
Tabela 9. Massa total de substrato incrustado nos coletores em dois tipos de tela de tanque-rede (Bezinal e PVC), banhadas em óleo de tilápia-do-Nilo ou isentas do produto, em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional em Entre Rios do Oeste	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	Cultivo de peixes em tanque-rede	13
2.2	Mexilhão-dourado	14
2.3	Mexilhão-dourado como bioindicador	16
2.4	Anti-incrustantes para o mexilhão-dourado	18
2.5	Referências	19
3	CARACTERIZAÇÃO E BIOACUMULAÇÃO DE METAIS NO MEXILHÃO- DOURADO INCRUSTADO EM DIFERENTES TELAS DE TANQUES-REDE	24
3.1	Introdução.....	26
3.2	Material e Métodos.....	27
3.3	Resultados	30
3.4	Discussão.....	32
3.5	Conclusões	35
3.6	Referências	36
4	UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES TELAS DE TANQUES-REDE COMO ALTERNATIVA ANTI-INCRUSTANTE PARA O CONTROLE DE MEXILHÃO- DOURADO	39
4.1	Introdução.....	41
4.2	Material e métodos	42
4.3	Resultados	45
4.4	Discussão.....	47
4.5	Conclusões	49
4.6	Referências	50
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53

1 INTRODUÇÃO

A produção aquícola no Brasil deve registrar, em 2025, um crescimento de 104%. O Paraná é líder na produção de peixes cultivados e é responsável pelo rendimento de 129,9 mil toneladas em 2018, quase 18% da produção nacional, graças à abundância de bacias hídricas e ao clima favorável ao cultivo (FAO, 2016; PEIXE BR, 2019). Neste sentido, os reservatórios artificiais têm sido utilizados para múltiplas finalidades, entre elas, a produção de alimento por meio da piscicultura em tanques-rede (FEIDEN et al., 2015).

A piscicultura em tanques-rede é um sistema de cultivo intensivo, com renovação de água contínua, que proporciona fácil manejo e rápido retorno do investimento, sendo uma excelente alternativa para a produção de peixes em corpos de água, onde a prática da piscicultura convencional não é viável, possibilitando aproveitamento de ambientes aquáticos já existentes (SPERANDIO, 2018).

O cultivo de peixes em tanque-rede apresenta alta densidade de estocagem, que necessita uma boa qualidade de água para alcançar bons índices zootécnicos de produção. A incrustação biológica, também denominada *biofouling*, pode ser apontada como a principal responsável pela redução da qualidade de água do sistema de cultivo em tanques-rede. A incrustação obstrui a abertura da malha, promovendo a redução do oxigênio e impedindo a dispersão de detritos, resultando em estresses aos peixes cultivados, aumentando o risco de desenvolvimento de doenças e resultados zootécnicos negativos e, consequentemente, comprometendo as questões socioeconômicas da produção (COSTA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2014).

Os organismos promotores de incrustações geralmente apresentam algumas características, dentre elas, ressaltam-se a elevada resistência às alterações ambientais e alta fecundidade. Neste quesito, destaca-se o mexilhão-dourado, capaz de colonizar uma grande diversidade de habitats (COSTA et al., 2012), formando colônias que atingem densidades em torno de 150.000 indivíduos por metro quadrado (BELZ, 2006).

A piscicultura em tanques-rede é o sistema que conta com poucas formas de controle do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*), visto que o uso de recobrimentos e tintas anti-incrustantes nas telas dos tanques é bastante restrito e em caráter experimental, devido à possíveis contaminações que podem ocasionar aos peixes cultivados e ao ecossistema aquático (SIMEÃO, 2011; OLIVEIRA, 2013).

No presente trabalho, foram realizados dois ensaios para avaliar a incrustação de mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) em dois tipos de telas (PVC e Bezinal) para

tanques-rede, em área aquícola de tilapicultura no reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu Binacional, no município de Entre Rios do Oeste.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultivo de peixes em tanque-rede

A produção de organismos aquáticos em cativeiros é uma atividade agropecuária que objetiva aumentar a produção e melhorar a qualidade do pescado, a partir de técnicas adequadas (SIDONIO et al., 2012). A piscicultura em tanques-redes é uma prática considerada de baixo custo em relação à criação de peixes em viveiros, tornando possível a utilização de uma vasta variedade de ambientes aquáticos (LOPES; HENRY-SILVA, 2014).

Os tanques-rede são unidades de confinamento de peixes, formadas geralmente por uma estrutura metálica, madeira ou plásticas, onde são fixadas as redes ou telas, para a contenção dos peixes, os quais podem ser de diversas formas (cilíndrica, paralelepípedo ou cúbica), serem flutuantes (mais comuns) ou presas ao fundo do corpo d'água (KUBTIZA; ONO, 2004). Dentre as espécies utilizadas na piscicultura em tanques-rede, a tilápia (*Oreochromis spp.*) vem ganhando destaque, por apresentar precocidade e possuir um bom desempenho nesse sistema intensivo de produção (FURLANETO et al., 2006).

Algumas vantagens desse sistema produtivo são citadas por Furlaneto et al. (2006), destacando-se a redução da variação dos parâmetros físico-químicos da água durante a criação; a maior facilidade na retirada dos peixes na despesca; o menor investimento inicial (cerca de 60 a 70% menor que viveiros); a facilidade de movimentação e a observação dos peixes; a produção intensiva; a redução dos custos com tratamentos de doenças; entre outras.

Entre as desvantagens, pode-se citar a necessidade de fluxo constante de água, a dependência total do sistema de arraçoamento, o risco de incrustação e o rompimento da tela, a introdução de doenças e/ou peixes no ambiente, o acúmulo de fezes e metabólitos sob os tanques-rede, promovendo impacto ambiental (CYRINO; CONTE, 2006).

De acordo com Hodson et al. (1997), as telas que são utilizadas nos tanques formam substratos que favorecem o desenvolvimento de incrustantes biológicos, como o mexilhão-dourado, por apresentarem diversas aberturas das malhas, existindo uma grande extensão de superfície de fixação. Após incrustados, as suas colônias causam a colmatação das malhas, reduzindo a oxigenação e a eliminação/dispersão de resíduos, portanto, reduzindo a qualidade da água e a capacidade de suporte das estruturas de cultivo (COSTA et al., 2018).

A presença dos mexilhões determina mudanças na taxa de ciclagem de nutrientes, aumentando os níveis de amônia, nitrato e fosfato, devido ao consumo, à digestão e à

oxidação biológica de material orgânico nos corpos de água (PENAFORTE, 2014). Além disso, os elevados níveis de colmatção de mexilhões diminuem a vida útil dos tanques, pois provocam aumento do peso das telas, resultando em danos às estruturas de flutuação, podendo determinar o rompimento das malhas (COSTA et al., 2012).

A limpeza das telas com jatos de água sob pressão é o método mais comum, eficiente e menos impactante ao ambiente aquático na remoção dos incrustantes biológicos (BEVERIDGE, 1996). No entanto, a limpeza frequente dos tanques-rede promove impactos econômicos negativos (VIANNA, 2015; COSTA et al., 2018).

2.2 Mexilhão-dourado

O *Limnoperna fortunei* (mexilhão-dourado) foi classificado por Newell (1969) como molusco bivalve, do filo *Mollusca*, família *Mytilidae*, ordem *Mytiloida*, subclasse *Pteriomorpha* e gênero *Limnoperna*. É pertencente à mesma família dos mexilhões marinhos, no entanto, a espécie é encontrada em água doce e água salobra (DARRIGRAN; MANSUR, 2006).

Esses organismos geralmente são encontrados em grandes aglomerados, fixos em superfícies duras de substratos naturais ou artificiais, como rochas, troncos de madeira, concreto e entulhos. A fixação é realizada através do bisso, que é composto por fibras de base protéica (RUPERT; BARNES 2005). Conforme Matsui et al. (2001), o mexilhão-dourado apresenta diferentes forças de fixação em relação aos substratos e há uma correlação entre a força necessária para o desprendimento das fibras e a quantidade de fibras do bisso.

No Brasil, em ambientes de água doce, esses moluscos são considerados invasores (SANTOS et al., 2012). No entanto, em estudo recente, Godoy et al. (2018) verificaram que algumas espécies, como o jundiá e o pacu, apresentam a capacidade de ingeri-lo e controlá-lo, quando incrustado nas malhas das telas de tanques-rede. Por outro lado, Costa et al. (2012), avaliando a incrustação e os parâmetros corporais do *Limnoperna fortunei* em tanques-redes vazios e povoados com jundiá, observaram uma maior quantidade e tamanho médio de mexilhões em tanques-rede que continham peixes.

Algumas características tornam-se relevantes para que essa espécie seja considerada uma invasora eficiente, dentre elas, destacam-se a reprodução praticamente contínua durante um ciclo anual (DARRIGRAN et al., 2002), a tolerância a uma ampla faixa de pH

(PEREIRA, 2014) e a sobrevivência à passagem pelo trato digestivo de algumas espécies de peixes (GARCÍA; PROTOGINO, 2005).

Essa proliferação extensa do *L. fortunei* pode promover vários impactos ao homem e ao meio ambiente. Dentre eles, a redução da passagem de água em canais, tubulações, sistemas coletores de água, bombas, filtros e sistemas de refrigeração, em certos casos, levando à obstrução completa (MANSUR et al., 2003). Problemas associados a saúde também estão descritos na literatura, como a contaminação e/ou poluição de água, devido à decomposição dele quando morto (MANSUR et al., 2003) e pelo consumo de peixes que predam tal espécie invasora (SANTOS et al., 2012).

Sobre os problemas ocasionados à biota, eles podem promover deformidades na região anal dos peixes que o consomem, tornando-os mais suscetíveis a patógenos e infecções (LOPES, 2010), formação de macroaglomerados nas vegetações marginais, promovendo alterações, podendo ocasionar a morte precoce de invertebrados nativos (MANSUR et al., 2003).

O *Limnoperna fortunei* é uma espécie dióica, em que os gametas masculinos e femininos são liberados no ambiente para que ocorra a fecundação externa. A espécie geralmente é considerada adulta, apta a reprodução, assim que atinge os 5 mm de comprimento máximo. As desovas podem ocorrer diversas vezes ao longo do ano, quando a temperatura da água supera os 16°C, sendo estimuladas principalmente com as temperaturas mais elevadas (DARRIGRAN; DAMBORENEA, 2009).

A espécie desse molusco é nativa do sudeste asiático (Camboja, China, Coreia, Indonésia, Laos, Tailândia e Vietnã) e, nas últimas três décadas, vem se expandindo de forma vertiginosa por todo o mundo. Por volta de 1965, invadiu as águas de Hong Kong (MORTON, 1977) e, alguns anos depois, foi verificada no Japão e em Taiwan (KIMURA, 1994; RICCIARDI, 1998; BORGES, 2014).

Acredita-se que a chegada do mexilhão-dourado no continente sul americano ocorreu através do transporte de moluscos adultos aderidos ao casco ou na água de lastro de navios asiáticos, em 1991, no rio da Prata, Argentina, e, posteriormente, disseminou-se entre as bacias hidrográficas do Paraguai, Uruguai, Bolívia e Brasil. Foi constatada a chegada ao rio Paraguai nos anos de 1997/98 e, mais tarde, nas regiões de Corumbá e Itaipu (DARRIGRAN; MANSUR, 2006; COSTA et al., 2012).

De acordo com Oliveira et al. (2004) e Resende et al. (2007), o primeiro registro do molusco no Brasil foi no rio Paraguai, em Corumbá, no Pantanal Mato-grossense no ano de 1998. Porém, outros autores relatam que o primeiro registro ocorreu, em 1998, no Delta do rio

Jacuí, no Rio Grande do Sul. Na sequência, foi observada, em 1999, a presença do mexilhão no lago Guaíba, em que deságua o rio Jacuí (DARRIGRAN et al., 2003; MANSUR et al., 2003; GIORDANI et al., 2005).

O primeiro aparecimento confirmado do *Limnoperna fortunei* no reservatório de Itaipu Binacional aconteceu em abril de 2001. No interior da usina hidrelétrica de Itaipu, foram encontrados de dois a três indivíduos por m⁻², com tamanho variando de 0,6 a 3,5 cm. Devido às dimensões dos exemplares, acredita-se que a espécie estava no ambiente a mais de um ano. Após um curto período, aconteceu o aumento populacional desses organismos, sendo que, em setembro de 2001, constatou-se o pico de 80.000 mexilhões m⁻² no interior da usina (CANZI et al., 2014).

O mexilhão-dourado vem se expandindo de forma muito acelerada no Brasil, sendo atualmente encontrado nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo, Santa Catarina, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais e, mais recentemente, na Bahia (LIMA, 2018). Conforme a Figura 1, elaborada pela Base Colaborativa de Dados Sobre Invasões Biológicas, é possível visualizar os estados com registros do *Limnoperna fortunei* no Brasil.

2.3 Mexilhão-dourado como bioindicador

A diversidade biológica, o hábito sedentário, o ciclo de vida considerado relativamente curto, os importantes componentes do meio aquático e a alimentação baseada em sedimentos (GOULART; CALLISTO, 2003) são algumas características que permitem que os mexilhões sejam organismos largamente utilizados em avaliações dos efeitos antrópicos sobre os ecossistemas aquáticos.

O mexilhão-dourado é considerado um organismo de grande potencial de filtração, cerca de 100 a 150 mL de água é filtrado por hora. Nesse processo, são filtrados principalmente plâncton e matéria orgânica, que são substâncias com elevado potencial tóxico. Consequentemente, esse molusco atua como bioacumulador de diversas substâncias tóxicas, como metais pesados, que são bioacumulados em seus tecidos e conchas. Esse molusco é apreciado por diversas espécies de peixes, podendo resultar, consequentemente, na bioacumulação de metais nos seres humanos, que utilizam peixes na sua dieta (MANSUR et al., 2012).

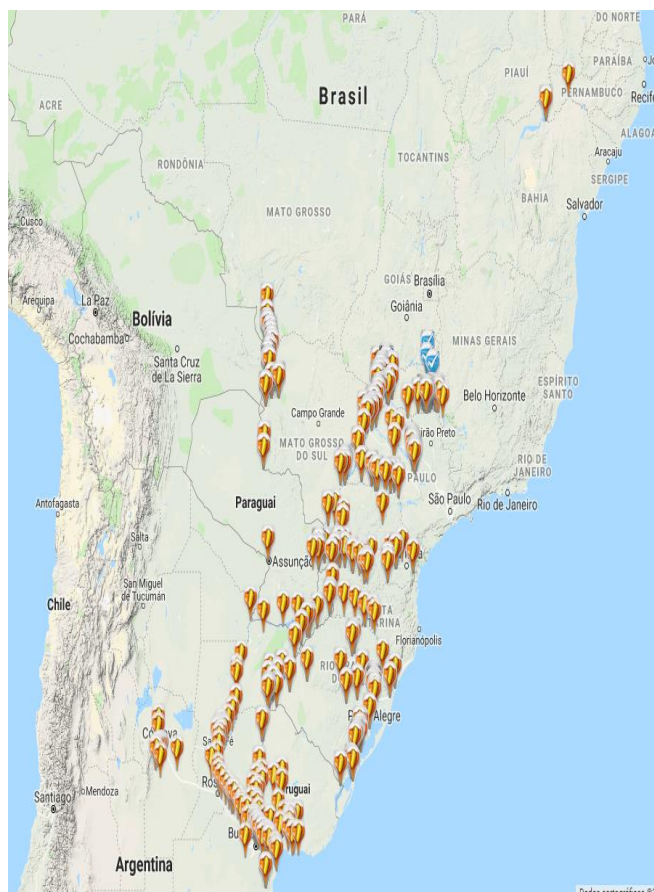


Figura 1. Locais com registro de *Limnoperna fortunei* no Brasil.
 Fonte: <http://base.cbeih.org/index.php>

No metabolismo dos organismos vivos, os metais essenciais (Cr, Ni, Se, Fe, Zn, Cu, Mn, Co e Mo), fundamentais para o organismo, e os não essenciais (As, Sb, Hg, Pb, Cd, Tl, Ag e Sn) podem ser tóxicos quando presentes em altas concentrações. A ingestão de metais não essenciais, como o cádmio, podem ocasionar uma série de consequências ao ser humano, como as doenças e o acúmulo deles nos rins e no fígado (FERNANDES; MAINIER, 2014).

A tendência de os moluscos bivalves acumularem quantidades elevadas de substâncias tóxicas, acima das encontradas no meio contaminado, sem apresentar efeitos tóxicos, leva esses organismos a serem bons bioindicadores de poluição aquática, como de metais (CUNNINGHAM, 1979). No entanto, de acordo com Zuykov et al. (2013), a determinação dos teores de metais no corpo inteiro ou em tecidos dos bivalves não representa com precisão os teores reais da contaminação do ambiente, dessa forma, não constituem fontes confiáveis e exatas para a avaliação do histórico de poluição.

2.4 Anti-incrustantes para o mexilhão-dourado

As principais formas de controle do mexilhão-dourado que as indústrias têm utilizado são filtros de autolimpeza, gás ozônio, campo magnético, tintas anti-incrustantes e produtos químicos como dicloro, dichoroisocyanurate, hidróxido de sódio e MSD-100. No entanto, nenhuma das estratégias de controle é totalmente satisfatória e existem poucas informações sobre os efeitos residuais do uso dos produtos químicos no meio aquático. A piscicultura em tanques-rede apresenta poucas metodologias de controle desses moluscos, visto que, nas malhas dos tanques, a utilização de revestimentos anti-incrustantes é restrita, devido a possíveis contaminações da fauna e da flora nos parques aquícolas.

O uso de recobrimentos de telas de tanque-rede, com tintas anti-incrustantes, não é recomendado, pois geralmente são utilizados compostos metálicos, especialmente o TBT, que se dissolve rapidamente na água, além disso, a sua composição tóxica influencia na biologia de organismos aquáticos, inibindo os processos de respiração e fotossíntese (CALLOW, 2002). O uso de tintas à base de cobre também é empregado como alternativa de controle da bioincrustação, entretanto, elas também são tóxicas e podem causar a contaminação do ambiente aquático e dos peixes cultivados (SANCHES et al., 2007).

Vianna (2015) avaliou a incrustação causada pelo mexilhão-dourado em telas de tanque-rede confeccionadas em arame galvanizado revestido em PVC, arame galvanizado revestido em PVC com pintura anti-incrustante, arame Bezinal (liga de zinco e alumínio), arame de inox fino e arame de inox grosso. O estudo revelou que os materiais de arame galvanizado plastificado e arames de inox apresentaram os maiores níveis de incrustação e aderência de mexilhões, com resultados estatisticamente semelhantes. No entanto, destaca o menor custo/ano das telas PVC e a eficiente durabilidade proporcionada pelas telas em inox fino. Os arames Bezinal e galvanizado plastificado pintado com tinta anti-incrustante exibiram os mesmos níveis de incrustação e aderência de mexilhão-dourado, sendo os materiais mais indicados para locais com elevadas incidências dos moluscos.

Avaliando materiais e revestimentos com propriedades anti-incrustantes, Pereira et al. (2010) verificaram que o substrato cerâmico revestido de tinta com óxido de zinco apresentou as menores incrustações de *L. fortunei* em relação às tintas com a presença de Cu e outras com propriedades anti-incrustantes. De acordo com Faria et al. (2006), materiais que formam óxidos como o Cu e o Zn são biocidas para o mexilhão-dourado e inibem a fixação em superfícies.

Faria et al. (2006), avaliando materiais anti-incrustantes para mexilhões, verificaram em estudo laboratorial que o PVC apresentou elevada força média de desligamento, porém os materiais que formam óxidos como o Cu e Zn não apresentaram qualquer aderência de mexilhões. Os autores relataram que polímeros podem ter uma maior incrustação em relação aos materiais metálicos, devido à formação de um biofilme, que pode auxiliar os organismos a aderirem com maior facilidade.

2.5 Referências

- AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. Maringá: Eduem, 2007. 501 p.
- BORGES, P. D. ***Limnoperna fortunei* (Bivalvia: Mytilidae) e o setor elétrico brasileiro: distribuição, impactos, estudo de caso da dispersão no Rio Iguaçu e teste de protocolo de uso de larvas na caracterização do perfil genético de populações**. 2014. 63f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BELZ, C. E. **Análise de risco de bioinvasão por *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857): um modelo para a bacia do rio Iguaçu, Paraná**. 2006. 102f. Tese (Doutorado em Zoologia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BEVERIDGE, M. C. M. **Cage culture fishing news book**. Oxford: Blackwell Science Publication, 1996. 351 p.
- CANZI, C.; FIALHO, N. S.; BUENO, G. W. Monitoramento e ocorrência do mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*) na hidrelétrica da Itaipu binacional, Paraná (BR). **Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais**, v. 5, n. 2, p. 117-122, 2014.
- CALLOW, M. E.; CALLOW, J. A. Marine biofouling: a sticky problem. **Biologist**, v. 49, n. 1, p. 1-5, 2002.
- COSTA, J. M.; MANSKE, C.; SIGNOR, A. A.; LUCHESI, J. D.; FEIDEN, A.; BOSCOLO, W. R. Incrustação de mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* em tanques-rede. **Cultivando o Saber**, v. 5, n. 2, p. 37-46, 2012.
- COSTA, J. I.; MARTINS, M. I. E.; AYROZA, D. M. M. R. Impact of control of the golden mussel on the production costs of tilapia bred in net cages. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 44, n. 1, p. 110-115, 2018.
- CUNNINGHAM, P. A. The use of bivalve mollusks in heavy metal pollution research. **Marine pollution: functional responses**, p.183-221, 1979.
- CYRINO, J. E.; CONTE, L. Tilapicultura em gaiolas: produção e economia. In: CYRINO, E.P. e URBINATI, E.C. (Eds.). **AquaCiência 2004: Tópicos Especiais em Biologia**

- Aquática e Aquicultura.** Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, p. 151-171, 2006.
- DARRIGRAN, G. Potential impact of filter-feeding invaders on temperate inland freshwater environments. **Biological Invasion**, v. 4, n. 1, p. 145-156, 2002.
- DARRIGRAN, G. A.; DAMBORENEA, M. C.; PENCHASZADEH, P. E. Reproductive stabilization of *Limnoperna fortunei* (bivalvia mytilidae) after ten years of invasion in the Americas. **Journal of Shellfish Research**, v. 22, n. 1, p. 141-146, 2003.
- DARRIGRAN, G. A.; MANSUR, M. C. D. Distribuição, abundância e dispersão, In: DARRIGRAN, G. DAMBORENEA, C. (Eds.) 1. Ed., **Bio-invasión del mejilón dorado em el Continente Americano**, Universidade Nacional de La Plata, 2006.
- DARRIGRAN, G.; DAMBORENEA, C. **Introdução a biologia das invasões.** O mexilhão dourado na América do Sul: biologia, dispersão, impacto, prevenção e controle. São Carlos: Cubo Editora, p. 1-245, 2009.
- FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of world fisheries and aquaculture**, 2016.
- FEIDEN, I. F.; OLIVEIRA, J. D. S.; DIEMER, O.; FEIDEN, A. Qualidade da água, capacidade de suporte e melhor período para criação de peixes em tanques-rede no reservatório de Salto Caxias. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 589-594, 2015.
- FERNANDES, L. H.; MAINIER, F. B. Os riscos da exposição ocupacional ao cádmio. **Sistemas & Gestão**, v. 9, n. 2, p. 194-199, 2014.
- FURNALETO, F. P. B.; AYROZA, D. M. M. R.; AYROZA, L. M. S. Custo e rentabilidade da produção de tilápia (*Oreochromis spp.*) em tanque-rede no médio Paranapanema, estado de São Paulo, safra 2004/05. **Informações Econômicas**, v. 36, n. 3, p. 63-69, 2006.
- GARCÍA, M. L.; PROTOGINO, L. C. Invasive freshwater molluscs are consumed by native fishes in South America. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 21, n. 5, p. 34-38, 2005.
- GIORDANI, S.; NEVES, P. S.; ANDREOLI, C. V.; *Limnoperna fortunei* ou mexilhão dourado: impactos causados, métodos de controle possíveis de serem utilizados e a importância do controle de sua disseminação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23º, 2005. **Anais...** Campo Grande/MS, 2005. p.17.
- GODOY, A. C.; CORRÊIA, A. F.; RODRIGUES, R. B.; BOSCOLO, W. R.; BITTENCOURT, F.; NERVIS, J. A. L.; FEIDEN, A. Three native species as possible control for *Limnoperna fortunei* in net cage farming in the Itaipu reservoir. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 229, n. 8, p. 241, 2018.

- GOULART, M. D. C.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista da Fapam**, v. 2, n. 1, p. 156-164, 2003.
- HODSON, S. L.; LEWIS, T. E.; BURKE, C. M. Biofouling of fish-cage netting: efficacy and problems of in situ cleaning. **Aquaculture**, v. 152, n. 1, p.77-90, 1997.
- KIMURA, T. The earliest record of *Limnoperna fortunei* (Dunker) from Japan. **Chiribotan**, v. 25, n. 1, p. 34-35, 1994.
- KUBITZA, F.; ONO, E. A. Projetos aquícolas: planejamento e avaliação econômica. **Coleção piscicultura avançada. Jundiaí, SP–Brasil**, p. 80, 2004.
- LIMA, J. P. **Influência da velocidade da corrente e de variáveis limnológicas no desenvolvimento do *Limnoperna fortunei***. 2018, 44f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- LOPES, M. N. **Abundância de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) em zonas profundas do canal São Gonçalo, Lagoa Mirim/RS-Brasil, com ênfase na sua importância na dieta da ictiofauna**. 2010. 63f. Dissertação (Mestrado em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.
- LOPES, Y. V. A.; HENRY-SILVA, G. G. Efeito da criação de tilápia-do-Nilo sobre variáveis limnológicas de um reservatório do semiárido do Rio Grande do Norte em um período de 24 horas. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 40, n. 3, p. 299-313, 2014.
- MANSUR, M. C. D.; SANTOS, C. P.; DARRIGAN, G.; HEYDRICH, I.; CALLIL, C. T.; CARDOSO, F. R. Primeiros dados quali-quantitativos do mexilhão-dourado *Limnoperna fortunei* (Dunker), no Delta do Jacuí, no Lago Guaíba e na Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil e alguns aspectos de sua invasão no novo ambiente. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 20, n. 1, p. 75-84, 2003.
- MANSUR, M. C. D.; SANTOS, C. P.; PEREIRA, D.; PAZ, I. C. P.; ZURITA, M L. L.; RODRIGUEZ, M. T. R.; NEHRKE, M. V.; BERGONCI, P. E. A. **Moluscos límnicos invasores no Brasil: biologia, prevenção e controle**. Porto Alegre: Redes Editora, p. 19-30, 2012.
- MARENGONI, N. G.; KLOSOWSKI, E. S.; OLIVEIRA, K. P.; CHAMBO, A. P. S.; GONÇALVES, A. C. Bioaccumulation of heavy metals and nutrients in the golden mussel of the reservoir of the Itaipu Binational Hydroelectric power plant. **Química Nova**, v. 36, n. 3, p. 359-363, 2013.
- MATSUI, Y.; NAGAYA, K.; YUASA, A.; NARUTO, H.; YAMAMOTO, H.; OHKAWA, K.; MAGARA, Y. Attachment strength of *Limnoperna fortunei* on substrates, and their surface properties. **Biofouling**, v. 17, n. 1, p. 29-39, 2001.
- MORTON, B. Biology and functional-morphology of modiolus-metcalfi (*bivalvia-mytilacea*) from singapore mangrove. **Malacologia**, v. 16, n. 2, p. 501-517, 1977.

- NEWELL, N. D. Classification of Bivalvia, In: R. MOORE. (Ed.). **Treatise on Invertebrate Paleontology**. Lawrence, University of Kansas, v. 1, n. 6, p. 205-223, 1969.
- OLIVEIRA, M. D.; PELLEGRIN, L. A.; BARRETO, R. R.; dos SANTOS, C. L.; XAVIER, I. G. **Área de ocorrência do mexilhão-dourado na Bacia do Alto Paraguai entre os anos de 1998 e 2004**. Embrapa Pantanal, p. 1-19, 2004.
- OLIVEIRA, M. D.; CLAUDI, R.; PRESCOT, T.; BARBOSA, D. S.; CAMPOS, M. Estado de controle do mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*) no Brasil: opções para controle e lacunas de conhecimento. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SOCIOECONÔMICOS DO PANTANAL, 6., 2013, Corumbá. **Anais...** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2013.
- OLIVEIRA, M. D.; AYROZA, D. M. R.; CASTELLANI, D.; CAMPOS, M. C. S.; MANSUR, M. C. D. O mexilhão dourado nos tanques-rede das pisciculturas das Regiões Sudeste e Centro-Oeste. **Panorama da Aquicultura**, v. 24, n. 145, p. 22-29, 2014.
- PEIXE BR - Associação Brasileira da Piscicultura - **Anuário PeixeBR da Piscicultura**. 2019. Disponível em: <<https://www.peixebr.com.br/anuario2019/>> Acesso em: 06 de março de 2019.
- PENAFORTE, L. R. **Invasão do mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857)**. 2014. 65f. Monografia (Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- PEREIRA, D.; BERGMANN, C. P.; MANSUR, M. C. D.; BERGONEI, P. E. A.; SANTOS, C. P.; BASEGIO, T.; VICENZI, J.; SANTOS, S. C. A. Avaliação de materiais e revestimentos para o controle de incrustações do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857). **Biotemas**, v. 23, n. 2, p. 87-100, 2010.
- PEREIRA, D. **Bivalves límnicos em regiões hidrográficas e ecorregiões na América do Sul e subsídios para o controle do bivalve invasor *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857)**. Tese (Doutorado em Ecologia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.
- RESENDE, M. F.; QUEIROZ, C. M.; MARTINEZ, C. B. Análise do fator de atrito e aumento da perda de carga em condutos forçados, operando sob condições de infestação pelo *Limnoperna fortunei*. Belo Horizonte, 2007. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. **Anais...** São Paulo, 2007.
- RICCIARDI, A. Global range expansion of the Asian mussel *Limnoperna fortunei* (Mytilidae): another fouling threat to freshwater systems. **Biofouling**, v. 13, n. 2, p. 97-106, 1998.
- RUPPERT, E. E.; FOX, R. S.; BARNES, R. D. **Zoologia dos invertebrados: uma abordagem funcional-evolutiva**. In: Zoologia dos invertebrados: uma abordagem funcional-evolutiva. 2005.

- SANCHES, E. G.; SANTOS NETO, J.; LIBERATI, L.; COSTA, M. R. Eficiência da escovação no controle de incrustações biológicas em tanques-rede. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 40, n. 2, p. 37-41, 2007.
- SANTOS, S. B.; THIENGO, S. C; FERNANDEZ, M. A.; MIYAHIRA, I. C.; GONÇALVES, I. C. B.; XIMENES, R. F.; MANSUR, M. C. D.; PEREIRA, D. **Espécies de moluscos límnicos invasores no Brasil**. In: MANSUR, M. D. C.; SANTOS, C. P.; PEREIRA, D.; PAZ, I. C. P.; ZURITA, M. L. L.; RODRIGUEZ, M. T. R.; NEHRKE, M. V.; BERGONCI, P. E. A. Moluscos límnicos invasores no Brasil: biologia, prevenção e controle. Porto Alegre: Redes Editora, p. 25-49, 2012.
- SANTOS, M. O.; BARRETO, I. D. C.; SILVA, I. M. L.; STOSIC, T. Avaliação das alterações hidrológicas da bacia do rio São Francisco causadas pela construção da usina hidrelétrica de Sobradinho. **Scientia Plena**, v. 13, n. 11, 2017.
- SIDONIO, L.; CAVALCANTI, I.; CAPANEMA, L.; MORCH, R.; MAGALHÃES, G.; LIMA, J.; BURNS V.; JÚNIOR, A. J. A.; MUNGIOLI, R. **Panorama da aquicultura no Brasil: desafios e oportunidades**. Agroindústria, BNDES Setorial 35, p. 421-463, 2012.
- SIMEÃO, C. M. G. **Influência da variação de velocidade e pressão sobre *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (*Bivalvia*, *Mytilidae*) e verificação dos efeitos da toxicidade do látex de *Euphorbia splendens* var. *Hislopiae* n. *EB* (*Euphorbiaceae*) para esta espécie**. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.
- SPERANDIO, L. M. **Criação de tilápias em tanque-rede**, 2018. Disponível em: ><http://www.gestaonocampo.com.br/biblioteca/criacao-de-tilapias-em-tanque-rede/>< Acesso em: 08 de fevereiro de 2019.
- VIANNA, G. R. **Biosseguridade para sistemas de produção de peixes em tanque-rede em função da colmatação agravada por *Limnoperna fortunei***. 2015. 70f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- ZUYKOV, M.; PELLETIER, E.; HARPER, D. A. Bivalve mollusks in metal pollution studies: from bioaccumulation to biomonitoring. **Chemosphere**, v. 93, n. 2, p. 201-208, 2013.

3 CARACTERIZAÇÃO E BIOACUMULAÇÃO DE METAIS NO MEXILHÃO-DOURADO INCRUSTADO EM DIFERENTES TELAS DE TANQUES-REDE

Resumo: Um dos problemas encontrados na piscicultura em tanques-rede nos reservatórios artificiais é a incrustação de mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) nas telas dos tanques-rede. Objetivou-se avaliar a caracterização e a bioacumulação de metais do mexilhão-dourado incrustado nas telas de tanques-rede instalados no reservatório da Itaipu Binacional. As unidades experimentais avaliadas foram constituídas por coletores de 20 x 20 cm, representando as diferentes telas de tanques-rede. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado composto por dois tipos de telas distribuídas em quatro lados (Lados I, II, III e IV) do tanque-rede. Após nove meses, foram avaliadas a massa total, a massa média e as dimensões (largura, altura e comprimento) dos moluscos. Foi realizada a ordenação em 10 classes com intervalos de 2 mm dos comprimentos médios de mexilhões. Avaliou-se a quantificação de cádmio (Cd), chumbo (Pb), alumínio (Al), zinco (Zn) e cromo (Cr) nos mexilhões do tanque-rede. Os mexilhões aderidos na tela Bezinal apresentaram maior massa média, comprimento, altura e largura, quando comparados à tela revestida em PVC ($P < 0,01$). No entanto, a tela PVC proporcionou uma maior ($P < 0,01$) massa total de mexilhões incrustados. Independente da tela utilizada, a massa média e o comprimento de mexilhões apresentaram maiores valores no Lado I ($P < 0,01$) em relação aos Lados II e IV, mas não diferindo do Lado III. Não ocorreu efeito do lado em relação à massa total, altura e largura de mexilhões incrustados no tanque-rede. Os indivíduos com comprimento entre 10 a 20 mm tiveram uma maior ocorrência na tela PVC, porém, nos comprimentos de 20 a 22 mm, não apresentaram diferenças de incidências nos dois tipos de telas. Nos comprimentos entre 22 a 26 mm, ocorreu uma maior frequência de mexilhões na tela Bezinal. Os mexilhões avaliados apresentaram níveis elevados de metais, sendo que os incrustados à tela Bezinal obtiveram níveis maiores de Al ($P < 0,02$), Zn ($P < 0,01$) e Cr ($P < 0,01$). O uso da tela Bezinal é mais eficiente em relação à tela PVC, como material anti-incrustante, por favorecer uma menor massa de mexilhão-dourado incrustada. Os mexilhões com menores comprimentos tiveram uma maior incidência na tela PVC. Os mexilhões incrustados à tela Bezinal bioacumulam maior teor de Al, Zn e Cr, quando comparados aos aderidos na tela PVC.

Palavras-chave: área aquícola, *Limnoperna fortunei*, metal pesado, telas anti-incrustantes

CHARACTERIZATION AND BIOACCUMULATION OF METALS IN GOLDEN MUSSEL FOULING IN DIFFERENT NET CAGES

Abstract: One of the problems encountered in the fish farming in net cages in artificial reservoirs is the fouling of golden mussel (*Limnoperna fortunei*) on the cage nets. The objective of this study is to evaluate the characterization and bioaccumulation of metals of the golden mussel fouling in two types of nets for cages installed in the Itaipu Binacional reservoir. The experimental units were constituted of 20 x 20 cm collectors, representing the different mesh of net cages. The experimental design was completely randomized, consisting of two types of nets (PVC and Bezinal) distributed on four sides (Sides I, II, III and IV) of the cages. At the end of nine months, the mean mass, total mass and dimensions (length, height and width) of the molluscs were evaluated. The ordering was carried out in 10 classes with intervals of 2 mm of the average length of mussels. The quantification of cadmium (Cd), lead (Pb), aluminum (Al), zinc (Zn) and chromium (Cr) in mussels of the net cages was evaluated. The mussels fouling to Bezinal nets had the highest mean mass, length, height and width when compared to PVC coated nets ($P < 0.01$). However, the PVC net provided a greater ($P < 0.01$) total mass of mussel encrusted. Regardless of the net used, the mean mass and length of mussels had higher mean values on Side I ($P < 0.01$) regarding Sides II and IV, but not differing from Side III. There was no effect of the side regarding the total mass, height and width of the mussels fouling in the net cages. Subjects with a length between 10 and 20 mm had a greater incidence in the PVC net, but in the lengths of 20 to 22 mm did not have differences between the nets. In lengths between 22 and 26 mm a greater frequency of mussels occurred in the Bezinal net. The mussels evaluated had high levels of metals, and the ones encrusted to the Bezinal net had higher levels of Al ($P < 0.02$), Zn ($P < 0.01$) and Cr ($P < 0.01$). The use of the Bezinal net is more efficient regarding the PVC net as an anti-fouling material because it favors a smaller mass of encrusted golden mussel. The mussels with smaller lengths had a greater incidence in the PVC net. The mussels fouling the Bezinal net bio-accumulated higher contents of Al, Zn and Cr when compared to those adhered to the PVC net.

Key Words: aquaculture area, *Limnoperna fortunei*, heavy metal, anti-fouling fabrics

3.1 Introdução

O cultivo de peixes em tanques-rede nos reservatórios de usinas hidrelétricas é um sistema intensivo que tem contribuído para aumentar a produção aquícola nacional. Porém, um dos problemas encontrados nesse sistema de produção de peixes em reservatórios artificiais é a incrustação de mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) nas telas dos tanques-rede. Geralmente são utilizados materiais como arame, arame galvanizado revestido com PVC e aço, na confecção dessas telas (GODOY et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2014).

O *Limnoperna fortunei* é um bivalve de morfologia externa heteromiária, apresenta finas fibras (bisso), que aderem às diversas estruturas sólidas, onde desenvolvem aglomerados, podendo atingir aproximadamente 4 cm de comprimento (CANZI et al., 2014; PESTANA et al., 2010). A espécie tem um alto grau de dominância por conta de seu potencial invasivo, em função de suas características de elevada prolificidade, fácil dispersão, colonização e de estabilização em diferentes ambientes, ocasionando prejuízos ambientais e econômicos. (COSTA et al., 2018; FREIRE; MARAFON, 2018).

O primeiro aparecimento do mexilhão-dourado no reservatório de Itaipu foi constatado no interior da usina hidrelétrica de Itaipu Binacional, em abril de 2001. Foram visualizados de dois a três indivíduos por m⁻², com comprimento variando de 0,6 a 3,5 cm, evidenciando que o molusco já estava no ambiente a mais de um ano (CANZI et al., 2014).

A entrada de espécies exóticas em ecossistemas, principalmente os aquáticos, pode levar a perdas de biodiversidade, principalmente em função de prejuízos às espécies nativas e desequilíbrios no ecossistema natural. Devido aos problemas que os moluscos invasores causam nos ecossistemas aquáticos, atividades industriais e produtivas, tem se intensificado o número de pesquisas abrangendo a caracterização e o levantamento dessas espécies invasoras (GEREMIA FREIRE; TOZZO MARAFON, 2018).

O crescimento populacional mundial tem proporcionado o aumento da poluição dos recursos hídricos, sendo cada vez mais frequentes os casos de contaminações químicas. Os moluscos bivalves são abundantes em ambientes aquáticos, apresentam elevada tolerância aos poluentes, podendo remover substâncias como metais pesados, agrotóxicos e toxinas presentes na água. No entanto, os mexilhões bioacumulam essas substâncias em seus tecidos e de outros organismos aquáticos através da cadeia trófica. Atualmente, os moluscos vêm sendo utilizados em pesquisas por serem um bioindicador ambiental, pois podem refletir os níveis de contaminantes (MARENGONI et al., 2013).

O estudo objetivou avaliar a caracterização e a bioacumulação de metais do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) incrustado em dois tipos de telas para tanques-rede instalados em área aquícola destinada à produção de tilápia, no reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu Binacional, no município de Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil.

3.2 Material e Métodos

O estudo foi realizado no reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu Binacional, em uma área do Parque Aquícola São Francisco Verdadeiro, no município de Entre Rios do Oeste, pertencente à bacia do Rio Paraná III, na região Oeste do Paraná, no período de setembro de 2017 a junho de 2018 (Figura 2). De acordo com dados do Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar), os meses apresentaram temperatura média de 22,4 °C e precipitação acumulada de 2168,2 mm (Tabela 1).

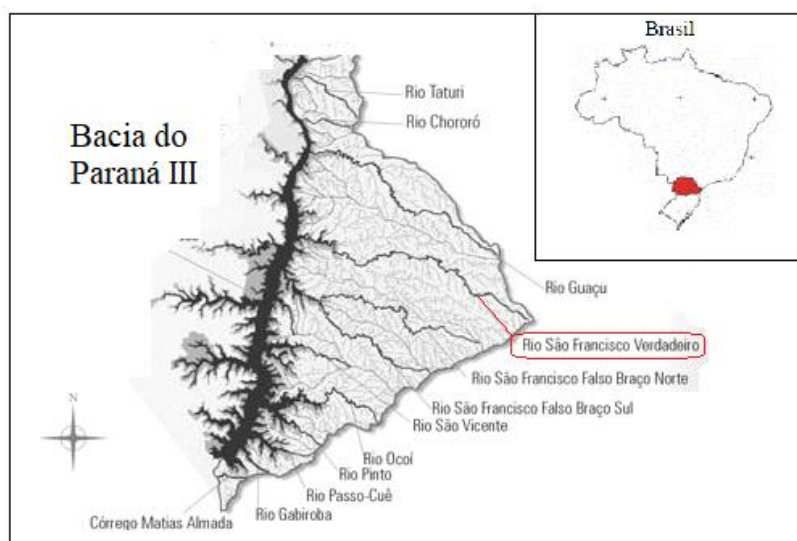


Figura 2. Rio São Francisco Verdadeiro, pertencente a Bacia do Rio Paraná III, adaptado de Damovich et al. (2007) e Ostrovski (2014).

A qualidade de água do reservatório foi monitorada em três locais no eixo longitudinal da tilapicultura, sendo na porção a montante (24°41'200" S, 54°14'200" W), no ponto de referência (24°41'183" S, 54°14'479" W) e a jusante (24°41'000" S, 54°14'546" W) dos tanques-rede. As variáveis físicas e químicas (temperatura, oxigênio dissolvido, pH, condutividade, sólidos totais e turbidez) foram avaliadas utilizando uma sonda multiparamétrica portátil, marca Horiba, modelo U-54G e a transparência da água foi mensurada pelo disco de Secchi.

Tabela 1. Dados meteorológicos de setembro de 2017 a junho de 2018, observados na estação meteorológica de Entre Rios do Oeste, Paraná

	PP		PA		RS		TM		UR		VV	
Set	62,4	±5,85	981,6	±2,7	395,2	±123,2	24,3	±3,1	56,5	±15,7	2,9	±0,7
Out	640,8	±37,1	978,3	±3,4	357,4	±167,7	21,8	±3,4	72,2	±12,9	2,9	±0,7
Nov	285,6	±16,4	977,1	±1,8	473,5	±158,6	22,3	±1,8	71,8	±10,5	2,4	±0,5
Dez	239,8	±46,2	976,3	±1,9	430,6	±163,3	24,7	±1,6	76,8	±9,6	2,0	±0,4
Jan	132,6	±8,0	977,5	±2,7	399,1	±140,2	24,1	±1,4	81,0	±5,3	2,0	±0,3
Fev	253,6	±18,7	978,1	±2,8	442,7	±140,3	24,4	±1,6	70,4	±10,5	2,3	±0,5
Mar	330,6	±26,1	977,9	±2,1	389,1	±123,6	24,2	±2,5	78,7	±6,6	1,8	±0,5
Abr	48,6	±8,5	982,2	±2,9	439,2	±48,2	22,9	±1,2	73,6	±4,4	1,9	±0,3
Mai	88,6	±8,5	983,4	±2,5	334	±81,5	19,5	±3,7	72,9	±6,8	2,2	±0,5
Jun	85,6	±6,87	984,9	±4,7	221,2	±118,6	15,8	±4,5	79,5	±8,0	2,3	±0,7
Med	216,82	±19,1	979,7	±4,0	390,7	±142,3	22,4	±3,8	73,4	±11,6	2,3	±0,7

PP: precipitação pluvial (mm); PA: pressão atmosférica (hPa); RS: radiação solar (w/m²); TM: temperatura média (°C); UR: umidade relativa (%); VV: velocidade do vento (m/s). Fonte: Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR, 2017).

Os valores médios de temperatura (24,54 a 28,9°C), transparência (0,95 a 1,5 m), oxigênio dissolvido (6,05 a 8,8 mg L⁻¹), pH (7,01 a 8,88), condutividade (51 a 66 µS cm⁻¹), sólidos totais (0,03 a 0,04 g L⁻¹) e turbidez (11,8 a 27,54 NTU) da água não apresentaram diferenças entre a porção montante, jusante e ponto de referência. Os valores médios das variáveis da qualidade de água permaneceram dentro dos padrões recomendados para corpos de água doce classe II da resolução nº 357/2005 do Conama (BRASIL, 2005) e mantiveram-se nas condições normais preconizadas para a criação da tilápia-do-Nilo (MALLASEN et al., 2012).

A avaliação dos mexilhões incrustados foi realizada em uma estrutura de tanque-rede experimental adaptado, utilizada de suporte das telas. Foram empregados dois tipos de telas com malha de 19 mm (NBR 10.118), sendo em arame galvanizado revestido com PVC (Belgo Plastic®) e arame revestido de uma liga de Zn-Al (95% zinco e 5% alumínio), denominado Bezinal (Belgo Bezinal®). As unidades experimentais foram constituídas por coletores de 20 x 20 cm, representando as diferentes telas de tanques-rede. Utilizaram-se 48 coletores, distribuídos aleatoriamente nas quatro laterais do tanque-rede (Figura 3) e, após nove meses de submersão, procedeu-se à raspagem e retirada dos mexilhões incrustados. Na sequência, os

organismos foram acondicionados em embalagens previamente identificadas e foram conservados em álcool 70% e transportados aos laboratórios.

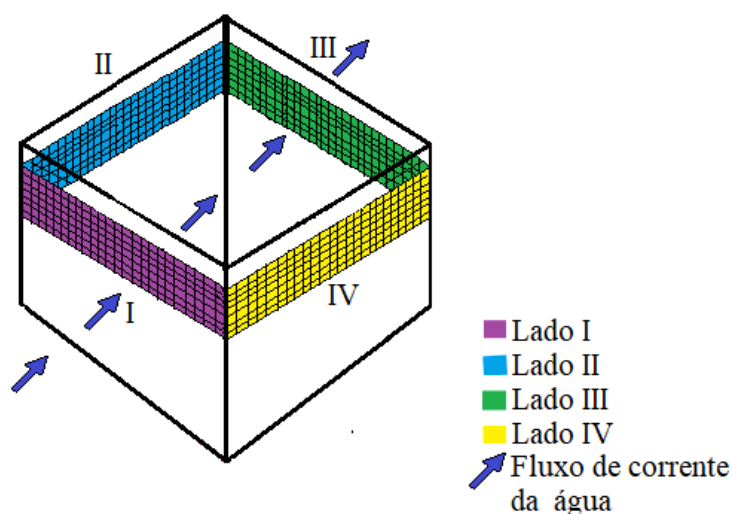


Figura 3. Ilustração simulando os lados do tanque-rede instalado em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional, em Entre Rios do Oeste

As medidas de massa e dimensões dos mexilhões incrustados nas telas foram verificadas em 24 unidades experimentais das quatro laterais (Lados I, II, III e IV) do tanque-rede. Os Lados I e III representam a parte frontal e posterior e os Lados II e IV representam a lateral esquerda e direita em relação ao fluxo da água. Os indivíduos foram contados e, com o auxílio de uma balança digital de precisão (Bel Engineering UMark 250A), foi mensurada a biomassa, para a determinação da massa média individual (MMI) e a massa total de mexilhões (MTM) por unidade de área ($0,04 \text{ m}^2$). Para avaliar as dimensões, foi verificada a altura, a largura e o comprimento máximo, utilizando um paquímetro digital de precisão de $0,01 \text{ mm}$ (Digmess). O comprimento foi considerado como a distância da extremidade anterior, localizada logo abaixo e à frente dos umbros, até a extremidade posterior da concha. Foi realizada a ordenação em 10 classes com intervalos de 2 mm (>10 , $10-12$, $12-14$, ... $26-28$) dos comprimentos médios de mexilhão-dourado incrustados para verificar a incidência de distribuição do número de indivíduos nas diferentes classes de comprimento, em relação aos dois tipos de tela de tanque-rede utilizadas.

A determinação da bioacumulação de cádmio (Cd), chumbo (Pb), alumínio (Al), zinco (Zn) e cromo (Cr) nos mexilhões foi realizada com a extração de 24 coletores das quatro laterais do tanque-rede e armazenaram-se os organismos em freezer (-20°C). As amostras foram encaminhadas para os laboratórios da Unioeste, em Marechal Cândido, Rondon onde foi realizada a secagem em estufa de ventilação forçada de ar, a $55 \pm 5^\circ\text{C}$,

durante 72 horas e moídas, para posterior digestão nitroperclórica do material. No Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da Unioeste, foi realizada a determinação dos metais por espectrometria de absorção atômica, modalidade chama, com o equipamento analítico da marca GBC, modelo 932 AA (WELZ; SPERLING, 1999; AOAC, 2005).

As análises estatísticas foram realizadas por meio do programa SAS (SAS Institute Inc, 2014). Os valores obtidos das variáveis de massa média, massa total, comprimento, altura e largura dos mexilhões foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, em caso de diferença significativa, foi aplicado o teste de Tukey. Na avaliação de classes de comprimento, foi realizado o teste de Qui-quadrado. As concentrações médias de metais nos mexilhões foram submetidas à análise de variância e aplicado o teste t de Student.

3.3 Resultados

Os mexilhões aderidos na tela Bezinal apresentaram maior massa média, comprimento, altura e largura, quando comparados aos incrustados na tela revestida em PVC ($P<0,01$). Contudo, a tela PVC proporcionou uma maior ($P<0,01$) massa total de mexilhões (MTM) incrustados em relação a tela Bezinal (Tabela 2).

Tabela 2. Massa média individual (MMI) e massa total (MTM), comprimento (CP), altura (AT) e largura (LG) de mexilhão-dourado incrustados em dois tipos de telas e lados de tanque-rede instalado em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional, em Entre Rios do Oeste

Tela	MMI ----- g -----	MTM	CP ----- mm -----	AT	LG
Bezinal	0,46a	195,91b	18,20a	8,39a	7,09a
PVC	0,33b	731,64a	16,62b	7,57b	6,26b
DMS	0,0455	96,478	0,5562	0,2811	0,5619
Lado					
I	0,46a	468,36a	18,09a	8,17a	6,64a
II	0,35b	447,77a	16,86b	7,78a	6,68a
III	0,41ab	548,71a	17,75ab	8,16a	6,76a
IV	0,37b	390,26a	16,96b	7,80a	6,60a
DMS	0,0868	184,1500	1,0616	0,5365	1,0726
Probabilidade					
Tela	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,0061
Lado	0,0111	0,1438	0,0103	0,0784	0,9788
Tela x Lado	0,6962	0,1778	0,1733	0,2251	0,4464
CV (%)	13,23	24,03	3,69	4,07	9,73

Letras distintas na mesma coluna diferem entre si ($P<0,05$) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Independente da tela utilizada, a massa média individual (MMI) e o comprimento dos mexilhões (CP) apresentaram maiores valores no Lado I ($P < 0,01$) em relação aos Lados II e IV, mas não diferindo do Lado III. Não ocorreu efeito do lado em relação à massa total (MTM), à altura (AT) e à largura (LG) de mexilhões incrustados no tanque-rede (Tabela 2).

Os moluscos apresentaram comprimento mínimo de 3,4 e máximo de 29 mm. Foi verificada uma baixa incidência de indivíduos com comprimento de até 10 mm e entre 26 e 28 mm, não sendo observadas diferenças estatísticas pelo teste de Qui-quadrado nessas ordenações de comprimento (Figura 4).

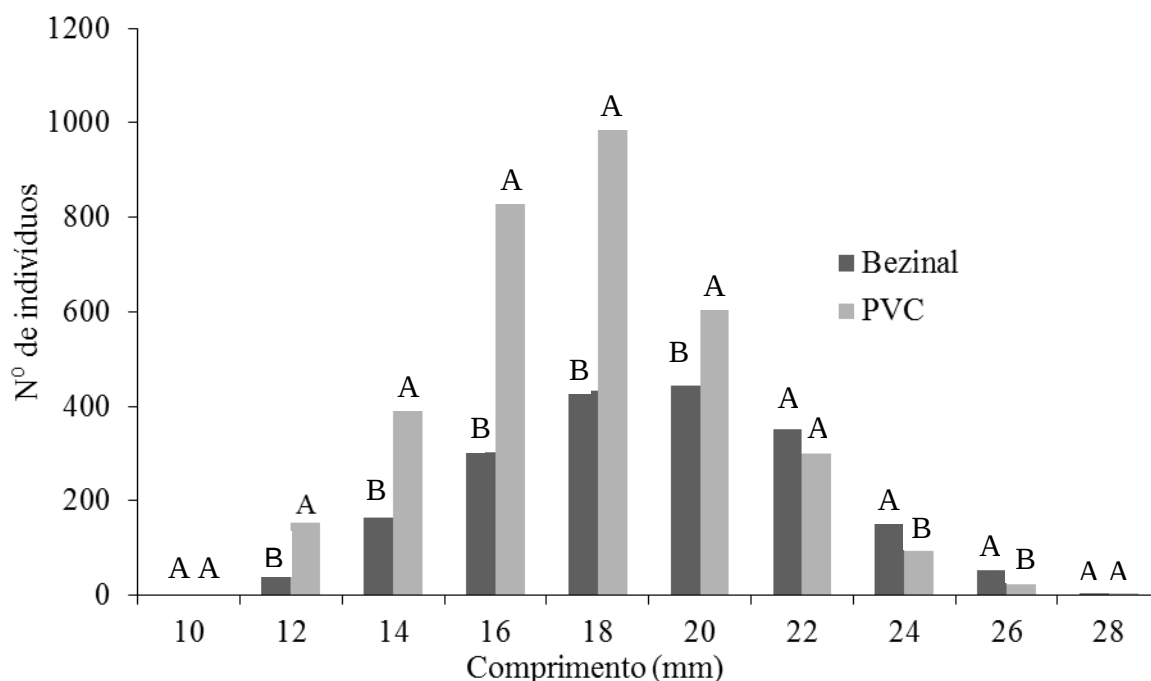


Figura 4. Ordenação de comprimentos médios de mexilhão-dourado incrustados em telas Bezinal e PVC de tanque-rede instalado em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional, em Entre Rios do Oeste
Letras distintas na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Qui-quadrado ($P < 0,05$)

Os indivíduos com comprimento entre 10 a 20 mm tiveram uma maior incidência na tela PVC, porém a ordenação de tamanho do mexilhão-dourado nos comprimentos de 20 a 22 mm não apresentou diferença significativa, enquanto nos comprimentos entre 22 a 26 mm ocorreu uma maior frequência de mexilhões na tela Bezinal pelo teste de Qui-quadrado (Figura 4).

Quanto à determinação de metais-traços, observaram-se as concentrações médias de 5,15; 161,33; 1318,48; 80,62 e 5,48 nos mexilhões incrustados na tela Bezinal e 4,82; 155,47;

1141,74; 31,92 e 2,60 mg kg⁻¹ na tela PVC para Cd, Pb, Al, Zn e Cr, respectivamente. Os mexilhões presentes na tela Bezinal apresentaram teores maiores de Al (P<0,02), Zn (P<0,01) e Cr (P<0,01) (Tabela 3).

Tabela 3. Concentrações (mg kg⁻¹) de metais tóxicos do mexilhão-dourado coletado em telas de Bezinal e PVC de tanque-rede instalado em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional, em Entre Rios do Oeste.

Tela	Cd	Pb	Al	Zn	Cr
Bezinal	5,15±0,69	161,33±9,63	1318,48±191,71	80,62±30,58	5,48±1,85
PVC	4,82±0,57	155,47±11,13	1141,74±154,61	31,92±7,84	2,60±1,26
Probabilidade	0,2179	0,1937	0,0235	<0,001	<0,003
CV (%)	12,78	6,59	14,13	4,07	39,75

3.4 Discussão

A composição dos revestimentos das telas possivelmente foi responsável pelas diferenças nas massas (MTM e MTI) e dimensões (CP, AT e LG). A maior incrustação das telas PVC pode ter proporcionado a menor massa média e dimensões dos indivíduos, em função de ocorrer uma maior demanda por espaço e alimento.

A maior massa média e o comprimento dos mexilhões no Lado I (P<0,01) em relação aos Lados II e IV e a ausência de diferença em relação ao Lado III podem ser justificadas pelo fluxo da água. Os Lados I e III representam a parte frontal e posterior dos tanques-rede em relação ao fluxo de corrente da água. A maior circulação de água pode ter favorecido a dispersão de pós-larvas e elevado a disponibilidade de alimentos para os mexilhões contribuindo favoravelmente para o crescimento desses invasores.

Costa et al. (2012), avaliando a incrustação e os parâmetros corporais do *Limnoperna fortunei* em tanques-rede vazios e povoados com jundiá, observaram uma maior quantidade e tamanho médio de mexilhões nos tanques-rede que continham peixes. Os autores acreditam que o acontecimento está ligado ao maior aporte de nutrientes disponível, havendo uma possível relação do desenvolvimento dos moluscos nos meses de temperaturas elevadas com o aumento da alimentação dos peixes estocados.

O cultivo de peixes em tanque-rede é um sistema de alta densidade de estocagem, que necessita de grande renovação de água, sendo dependente de telas eficientes. As telas com alto grau de colmatação, devido à aderência de *L. fortunei*, obstruem a abertura da malha, impedindo que o processo de renovação de água seja realizado de forma eficiente, promovendo a redução de oxigênio e impedindo a dispersão de detritos (COSTA et al., 2012;

OLIVEIRA et al., 2014). Além disso, podem acarretar estresse aos peixes cultivados, aumentando o risco de desenvolvimento de doenças e resultados zootécnicos negativos e, consequentemente, comprometendo as questões socioeconômicas da produção. A necessidade de limpeza frequente das telas incrustadas eleva os custos operacionais, além de reduzir a vida útil do material. Dessa forma, a bioinvasão de mexilhões impacta negativamente nos custos de produção da tilápia em tanques-rede, principalmente em pisciculturas de pequeno porte (COSTA et al., 2018), a exemplo da área aquícola avaliada em Entre Rios do Oeste.

A presença do zinco na composição da tela (95%) Bezinal pode ter contribuído para as diferenças nas massas e dimensões dos mexilhões aderidos. Conforme Pereira et al. (2010), os materiais metálicos apresentam superfície lisa, baixa porosidade e são facilmente oxidados, liberando compostos que são tóxicos para o mexilhão.

Faria et al. (2006), avaliando materiais anti-incrustantes para mexilhões, verificaram, em estudo laboratorial, que o PVC apresentou elevada força média de desligamento, porém os materiais que passam por oxidação como o zinco não apresentaram qualquer aderência de mexilhões. Os autores também observaram uma elevada porcentagem de organismos mortos aderidos à superfície de zinco em relação ao PVC. No mesmo estudo, na avaliação a campo, verificaram que o substrato contendo zinco obteve menores incrustações de mexilhão que o PVC. Os autores explicam que polímeros, como o PVC, podem ter uma maior incrustação em relação aos materiais metálicos, devido à formação de um biofilme que pode auxiliar os organismos a aderirem com maior facilidade. Também justificam que o óxido de zinco, resultante da oxidação do zinco, é um biocida para o mexilhão-dourado e pode ter elevado a mortalidade dos indivíduos aderidos.

Pereira et al. (2010) selecionaram e testaram materiais e revestimentos com propriedades anti-incrustantes para o controle do *Limnoperna fortunei*. O material cerâmico revestido de tinta base com óxido de zinco comercial apresentou as menores incrustações em relação às tintas com a presença de cobre e outras com propriedades anti-incrustantes, comprovando a boa eficiência do zinco no controle da incrustação do mexilhão-dourado.

Vianna et al. (2019), avaliando a colmatação por mexilhão-dourado em diferentes materiais para confecção de telas de tanque-rede, verificaram os menores níveis de colmatação nas telas Bezinal em relação às telas revestidas em PVC. No entanto, os autores destacam o menor custo/ano da tela PVC em comparação à Bezinal. As elevadas incrustações de mexilhões em tanques-rede aumentam os custos de produção, pois diminuem a durabilidade das estruturas e demandam limpeza frequente das malhas (COSTA et al., 2018).

Nas telas avaliadas, foram encontradas frequências baixas de mexilhões com comprimento inferior a 10 mm e superior a 26 mm (Figura 4), sendo constatado o comprimento máximo de 29 mm. Já Santos et al. (2008), avaliando o crescimento individual do *Limnoperna fortunei* ao longo de um ano, verificaram a predominância de mexilhões com comprimento entre 5 a 7 mm e observaram a presença de indivíduos com comprimento de até 39 mm.

O mexilhão-dourado é considerado adulto, apto à reprodução, com 5 mm de comprimento, podendo medir 20 mm no primeiro ano de vida, 30 mm no segundo e 35 mm no terceiro (BOLTOVSKOY; CATALDO, 1999; SANTOS et al., 2008). Nesse contexto, a presença de mexilhões com comprimentos elevados no presente trabalho pode ter sido favorecida pelo elevado aporte de nutrientes presentes na água, em função do cultivo intensivo de peixes da área aquícola, e pelo período do experimento, que foi predominantemente nos meses de primavera, verão e outono. Boltovskoy e Cataldo (1999) verificaram que os mexilhões apresentam crescimento acelerado durante o verão e reduzido no inverno, enquanto Santos et al. (2008) observaram um maior crescimento do mexilhão-dourado durante a primavera e o verão.

A predominância de moluscos nos comprimentos de 12 a 20 mm foi verificada na tela PVC. A partir do comprimento de 24 mm, os indivíduos aparecem com maior frequência na tela Bezinal. O fato do Zn ser tóxico para os moluscos pode ter contribuído para uma maior mortalidade dos indivíduos mais jovens e com menor comprimento na tela Bezinal.

Os mexilhões presentes na tela Bezinal apresentaram níveis maiores de Zn ($P < 0,01$) e Cr ($P < 0,03$), possivelmente em função da oxidação da tela e absorção dos metais pelos mexilhões (Tabela 3). Esse fato reforça a hipótese de que o Zn presente na tela pode estar sendo bioacumulado, causando toxidez aos mexilhões.

A concentração de Al nos moluscos avaliados encontra-se acima da preconizada pela legislação internacional de alimentos que é de $0,51 \text{ mg kg}^{-1}$ (ATSDR, 2008). O teor de Zn determinado nos mexilhões encontra-se em uma faixa próxima ao valor máximo estimado pela ANVISA (BRASIL, 1998) em alimentos provenientes da pesca, que é de 50 mg kg^{-1} , e dentro da faixa estipulada pela FAO (30 a 100 mg kg^{-1}). As concentrações de Cd, Pb, e Cr encontradas apresentam valores muito acima ao estipulado pela ANVISA (BRASIL, 1998) para moluscos bivalves, que é de 2,0 e 1,5, respectivamente para Cd e Pb, e em alimentos oriundos da pesca que têm, como limite, $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ para Cr. Os teores elevados desses metais podem levar à intoxicação de diversas espécies presentes nesse habitat. Algumas espécies de peixes como o jundiá e o pacu têm capacidade de ingerir o mexilhão-dourado

(GODOY et al., 2018), podendo atingir de forma indireta o ser humano, por meio da translocação de metais através da cadeia alimentar (MARENGONI et al., 2013).

No metabolismo dos organismos vivos, os metais essenciais (Cr e Zn), fundamentais para o organismo, e os não essenciais (Pb, Cd e Al) podem ser tóxicos quando presentes em altas concentrações. A ingestão de metais não essenciais, como o cádmio, podem ocasionar uma série de consequências ao ser humano, como as doenças e o acúmulo deles nos rins e no fígado (FERNANDES; MAINIER, 2014).

Marengoni et al. (2013), em estudo avaliando a bioacumulação de metais pesados e nutrientes no mexilhão-dourado, em outra área aquícola do reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu Binacional, observaram concentrações de 3,33; 35,25; 22,91 e 4,08 mg kg⁻¹ para Cd, Pb, Zn e Cr, nos mexilhões. Os valores das concentrações dos metais encontrados pelos autores foram menores em relação ao presente trabalho, com exceção da concentração de Cr (2,60 mg kg⁻¹) observada na tela PVC (Tabela 3).

Avaliando as concentrações de metais pesados em mexilhões *Perna perna*, na Ilha de Santana (SE), Carvalho et al. (2001) verificaram as concentrações de 0,11; 0,54; 395; 24,8 e 0,38 mg kg⁻¹, respectivamente, para Cd, Pb, Al, Zn e Cr, sendo constatado que os valores foram muito menores em relação às concentrações observadas em ambiente continental, na área aquícola de tilapicultura do reservatório de Itaipu Binacional (Tabela 3).

A degradação dos recursos hídricos pode levar a uma série de consequências negativas, como a redução da produtividade aquícola e comprometer a segurança alimentar dos organismos cultivados na aquicultura. A poluição pode ser originária de esgotos domésticos, lixo, resíduos agrícolas e pecuários, podendo ocasionar alterações na qualidade de água, eutrofização e bioacumulação de metais pesados, entre outros. O mexilhão-dourado pode ser um bioindicador que permite avaliar poluições no meio aquático e a influência do sistema intensivo de peixes em tanques-rede no meio ambiente, visto que esse sistema de cultivo gera um aporte de nutrientes e minerais que pode ter efeitos negativos sobre a fauna existente (MARENGONI et al., 2013).

3.5 Conclusões

O uso da tela Bezinal, independente dos lados do tanque-rede avaliado, é mais eficiente em relação à tela PVC como material anti-incrustante por favorecer uma menor massa total de mexilhão-dourado incrustada. Porém, o arame revestido da liga de Zn-Al

(Bezinal) não impede totalmente a colmatação da tela causada pelos moluscos nas condições avaliadas

Os mexilhões com menores comprimentos apresentam uma tendência de maior incidência na tela PVC.

Os moluscos incrustados à tela Bezinal bioacumulam maior teor de Al, Zn e Cr, quando comparados aos aderidos na tela PVC.

Teores elevados de Cd, Pb, Al, Zn e Cr foram determinados nos mexilhões incrustados independentemente do tipo de tela avaliada.

3.6 Referências

ATSDR. **Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for aluminium.** Atlanta: ATSDR, 2008. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp22.pdf>>. Acesso em: 06 de novembro 2018.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists.** 18.ed. Gaithersburg, Maryland, 2005.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Portaria nº 685**, de 27 de agosto de 1998. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1998. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/685_98.htm>. Acesso em: 06 de novembro 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n. 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf>. Acesso em: 06 de novembro 2018.

BRASIL, Leis, Decretos, etc; **Decreto nº 55871**, de 26/3/1965. Modifica o decreto nº 50040, de 24/1/1961 referente a normas regulamentadoras do emprego de aditivos para alimentos, alterado pelo Decreto nº 691, de 13/3/1962, Diário Oficial, Brasília, DF, 1965, seq. 1, pt. 1, p. 3611.

BOLTOVSKOY, D.; CATALDO D. H. Population dynamics of *Limnoperna fortunei*, an invasive fouling mollusc, in the Lower Paraná river. **Biofouling**, v. 14, n. 3, p. 255-263, 1999.

CANZI, C.; FIALHO, N. S.; BUENO, G. W. Monitoramento e ocorrência do mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*) na hidrelétrica da Itaipu binacional, Paraná (BR). **Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais**, v. 5, n. 2, p. 117-122, 2014.

- CARVALHO, C. E. V.; CAVALCANTE, M. P. O.; GOMES, M. P.; FARIA, V. V.; REZENDE, C. E. Distribuição de metais pesados em mexilhões (*Perna perna* L.) da Ilha de Santana, Macaé, SE, Brasil. **Ecotoxicology and Environmental Restoration**, v. 4, n. 1, p. 1-5, 2001.
- COSTA, J. M.; MANSKE, C.; SIGNOR, A. A.; LUCHESI, J. D.; FEIDEN, A.; BOSCOLO, W. R. Incrustação de mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* em tanques-rede. **Cultivando o Saber**, v. 5, n. 2, p. 37-46, 2012.
- COSTA, J. I.; MARTINS, M. I. E.; AYROZA, D. M. M. R. Impact of control of the golden mussel on the production costs of tilapia bred in net cages. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 44, n. 1, p. 110-115, 2018.
- DAMOVICH, J.; MOREJON, C.; ROCHA JR, W.; HONÓRIO, T. Diagnóstico ambiental em torno da suinocultura na bacia do rio Toledo e identificação do potencial econômico dos dejetos. In: V ENCONTRO DE ECONOMIA PARANAENSE, Curitiba, 2007. **Anais...** Curitiba: Encontro de Economia Paranaense, 2007.
- FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Report and Regional Study and Workshop on the Environmental Assessment and Management of Aquaculture Development**, 1992. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/field/003/ac279e/ac279e00.htm>>. Acesso em: 06 de novembro 2018.
- FARIA, E. A.; BRANCO, J. R. T.; CAMPOS, M. C. S.; OLIVEIRA, M. D.; ROLLA, M. E. Estudo das características anti-incrustantes de materiais. **Revista da Escola de Minas**, v. 59, n. 2, p. 233-238, 2006.
- FERNANDES, L. H.; MAINIER, F. B. Os riscos da exposição ocupacional ao cádmio. **Sistemas & Gestão**, v. 9, n. 2, p. 194-199, 2014.
- FREIRE, C. G.; MARAFON, A. T. Espécies de moluscos invasores nos ecossistemas aquáticos brasileiros e seu impacto no meio ambiente. **InterfaceHS**, v. 13, n. 1, p. 2-16, 2018.
- GODOY, A. C.; CORRÊIA, A. F.; RODRIGUES, R. B.; BOSCOLO, W. R.; BITTENCOURT, F.; NERVIS, J. A. L.; FEIDEN, A. Three native species as possible control for *Limnoperna fortunei* in net cage farming in the Itaipu reservoir. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 229, n. 8, p. 241, 2018.
- MALLASEN, M.; CARMO, C. F.; TUCCI, A.; BARROS, H. P.; ROJAS, N. E. T.; FONSECA, F. S.; YAMASHITA, E. Y. Qualidade da água em sistema de piscicultura em tanques-rede no reservatório de Ilha Solteira, SP. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 38, n. 1, p. 15-30, 2012.
- MARENGONI, N. G.; KLOSOWSKI, E. S.; OLIVEIRA, K. P.; CHAMBO, A. P. S.; GONÇALVES, A. C. Bioaccumulation of heavy metals and nutrients in the golden mussel of the reservoir of the Itaipu Binational Hydroelectric power plant. **Química Nova**, v. 36, n. 3, p. 359-363, 2013.

- OLIVEIRA, M. D.; AYROZA, D. M. R.; CASTELLANI, D.; CAMPOS, M. C. S.; MANSUR, M. C. D. O mexilhão dourado nos tanques-rede das pisciculturas das Regiões Sudeste e Centro-Oeste. **Panorama da Aquicultura**, v. 24, n. 145, p. 22-29, 2014.
- OSTROVSKI, D. Itaipu Binacional: implantação, reflexos socioambientais e territoriais. **Revista Percorso**, v. 6, n. 2, p. 3-26, 2014.
- PEREIRA, D.; BERGMANN, C. P.; MANSUR, M. C. D.; BERGONEI, P. E. A.; SANTOS, C. P.; BASEGIO, T.; VICENZI, J.; SANTOS, S. C. A. Avaliação de materiais e revestimentos para o controle de incrustações do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857). **Biotemas**, v. 23, n. 2, p. 87-100, 2010.
- PESTANA, D.; OSTRENSKY, A.; TSCHÁ, M. L.; BOEGER, W. A. Prospecção do molusco invasor *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) nos principais corpos hídricos do estado do Paraná, Brasil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 50, n. 34, p. 553-559, 2010.
- SANTOS, C. P.; MANSUR, M. C. D.; WURDING, N. L. Variações no comprimento dos indivíduos de uma população do mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei* (Mollusca: Bivalvia: Mytilidae), ao longo do ano, na praia do Veludo, Lago Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 25, n. 3, p. 389-396, 2008.
- VIANNA, G. R. OLIVEIRA, T. M.; TEIXEIRA, E. A.; NICOLINO, R. R.; BOSCOLO, W. R.; SILVA, M. X.; HADDAD, J. P. A. Biosecurity for fishfarming cage systems due to the highly clogged screen aggravated by *Limnoperna fortunei*. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, n. 1, p. 314-322, 2019.
- WELZ, B.; SPERLING, M. **Atomic Absorption Spectrometry**. Weinheim: Wiley-VCH, 1999. 941p.

4 UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES TELAS DE TANQUES-REDE COMO ALTERNATIVA ANTI-INCRUSTANTE PARA O CONTROLE DE MEXILHÃO-DOURADO

Resumo: O mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) é um bioinvasor que promove a incrustação em telas de tanque-rede, gerando prejuízos econômicos para aquicultura. Objetivou-se avaliar a incrustação de mexilhão-dourado em dois tipos de telas para tanques-rede de primeiro e segundo uso e quanto à aplicação de óleo de tilápia-do-Nilo na superfície das telas. O ensaio experimental foi realizado no reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu Binacional. Após três meses, os coletores foram extraídos para estimativa e avaliação da massa total de substratos, massa total e média individual do mexilhão e dimensões (largura, altura e comprimento) dos moluscos. Os maiores valores médios ($P < 0,05$) de dimensões e massa média individual dos mexilhões incrustados foram obtidas quando se utilizou tela PVC, bem como a idade de segundo uso ($P < 0,05$). A menor massa total de mexilhões e a massa total de substratos aderidos na tela Bezinal foi verificada, tanto na avaliação de telas de primeiro uso, quanto de segundo uso. Os materiais de primeiro uso favoreceram a menor massa total de mexilhões nas telas PVC e menor massa total de substratos na tela Bezinal. O material das telas de segundo uso não influenciou ($P > 0,05$) na largura, altura, comprimento e massa média individual de mexilhão-dourado, porém foi observada maior massa total de mexilhões incrustados nos coletores das telas PVC ($P < 0,05$). Os coletores submetidos à aplicação do óleo apresentaram menores médias para largura, altura e comprimento de mexilhão ($P < 0,05$). Porém, não foram verificadas diferenças ($P > 0,05$) para a massa total e a massa média individual de mexilhões incrustados nas telas com aplicação de óleo. A massa dos substratos incrustada nos coletores da tela Bezinal não foi influenciada pela aplicação do óleo, enquanto os coletores das telas PVC apresentaram maior massa dos substratos quando não foram banhadas em óleo ($P < 0,05$). O uso do arame revestido da liga de Zn-Al é mais eficiente em relação ao revestido em PVC como material anti-incrustante. As telas de segundo uso aumentam as dimensões de mexilhão-dourado incrustado e apresentam tendência de aumentar a massa de bioincrustantes. A aplicação do óleo de tilápia na superfície das telas de segundo uso não é eficiente como alternativa anti-incrustante de controle do mexilhão-dourado, mas pode ser uma boa opção de controle dos substratos nas telas PVC.

Palavras-chave: *Limnoperna fortunei*, incrustação biológica, óleo de peixe, tilápia

USE OF DIFFERENT NETS OF NET CAGES AS AN ANTIFOULING ALTERNATIVE FOR THE CONTROL OF GOLDEN MUSSEL

Abstract: The golden mussel (*Limnoperna fortunei*) is a bio-invasive that promotes fouling in nets of cages, generating economic losses for aquaculture. The objective of this study was to evaluate fouling of golden mussel in two types of nets for first and second use cages and for the application of oil of Nile tilapia on the surface of the nets. The experimental trial was carried out in the reservoir of the Itaipu Binacional hydroelectric power plant. After three months, the collectors were extracted for estimation and evaluation of the total mass of substrates, total and average mass of the mussel, and dimensions (width, height and length) of the molluscs. The greatest mean values ($P < 0.05$) of individual size and average mass of the encrusted mussels were obtained when the PVC net was used, as well as the age of second use ($P < 0.05$). The smaller total mass of mussels and total mass of substrates adhered to the Bezinal net was verified both in the evaluation of both first and second uses. The materials of first use favored the smaller total mass of mussels in the PVC nets and lower total mass of substrates in the Bezinal net. The material of the second-use nets did not influence the width, height, length and average mass of the golden mussel ($P > 0.05$), but a larger total mass of mussels fouling in the PVC nets was observed ($P < 0.05$). The collectors submitted to the oil application had lower mean values for width, height and mussel length, in relation to the oil-free nets ($P < 0.05$). However, no differences ($P > 0.05$) were observed for the total mass and individual mean mass of mussels adhered in the nets with oil application. The mass of the substrates fouling in the Bezinal fabric collectors was not influenced by the application of oil, while the PVC nets had higher mass of the substrates when they were not bathed in oil ($P < 0.05$). The use of Zn-Al alloy coated wire is more efficient than PVC coated as an antifouling material. Second-use nets increase the dimensions of inlaid golden mussel and have a tendency to increase the mass of bio-fouling. The application of tilapia oil to the surface of second-use nets is not efficient as an antifouling alternative for golden mussel control, but it can be a good option for substrates control in PVC nets.

Key Words: *Limnoperna fortunei*, biofouling, fish oil, tilapia

4.1 Introdução

A incrustação biológica é um dos principais fatores que levam à redução da qualidade de água do sistema de cultivo em tanques-rede. A incrustação dificulta o fluxo de água, levando à redução do oxigênio disponível, impedindo a dispersão de detritos, resultando em estresses e mortalidade dos peixes cultivados (COSTA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2014). A incrustação também diminui a vida útil dos tanques-rede, pois provoca aumento da massa das telas, ocasionando danos às estruturas de flutuação, podendo resultar no rompimento das malhas (COSTA et al., 2012).

O mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) está entre os principais organismos promotores de incrustações, por possuir características que o tornam uma espécie invasora de grande sucesso, com resistência a condições ambientais adversas e alta fecundidade, capaz de colonizar uma ampla variedade de habitats (COSTA et al., 2012; FREIRE; MARAFON, 2018). Atualmente, o *Limnoperna fortunei* pode ser considerado o molusco de água doce que ocasiona os maiores prejuízos econômicos e ambientais no continente Sul-Americano (DE ÁVILA-SIMAS et al., 2019).

Essa espécie apresenta a capacidade de fixar-se a qualquer tipo de substrato rígido como metal, plástico, cimento, madeira, entre outros, e cresce em camadas de forma descontrolada (DARRIGRAN; DAMBORENEA, 2009). As bioincrustações por mexilhão-dourado, além de serem um sério problema para o homem, podem causar desequilíbrios no meio aquático (TOKUMON et al., 2018), como mudanças nos teores de nutrientes dos corpos de água (PENAFORTE, 2014) e danos aos peixes predadores do molusco (LOPES, 2010; SANTOS et al., 2012).

A limpeza das telas dos tanques-rede com água sob pressão é a forma mais comum, eficiente e menos impactante ao ambiente aquático na remoção dos incrustantes biológicos (BEVERIDGE, 1996). No entanto, no cultivo de peixes em tanques-rede, existem poucas alternativas de controle do mexilhão-dourado, visto que o uso de tintas e recobrimentos anti-incrustantes nas malhas dos tanques é limitado devido a possível contaminação que pode causar aos peixes e ao ecossistema aquático (SIMEÃO, 2011, OLIVEIRA et al., 2013).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a incrustação de mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) em dois tipos de telas para tanques-rede de primeiro e segundo uso e quanto à aplicação de óleo de tilápia-do-Nilo na superfície das telas,

em área aquícola de tilapicultura no reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu Binacional, no município de Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil.

4.2 Material e Métodos

O estudo foi realizado no reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu Binacional, no município de Entre Rios do Oeste, em uma área de tilapicultura em tanques-rede do Parque Aquícola São Francisco Verdadeiro, pertencente à bacia do Rio Paraná III, na região Oeste do Paraná, durante 90 dias, no período de setembro a dezembro de 2018. Conforme dados do Simepar, o período apresentou temperatura média de 22,75 °C e precipitação acumulada de 582,2 mm (Tabela 4).

Tabela 4. Dados meteorológicos de setembro a dezembro de 2018, observados na estação meteorológica de Entre Rios do Oeste, Paraná

	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média
PP	209,6 ±15,50	222,2 ±16,62	90,0 ±10,74	60,4 ±7,91	145,55 ±14,02
PA	979,93 ±2,66	978,5 ±1,74	977,8 ±2,24	978,3 ±2,55	978,65 ±2,42
RS	346,40 ±167,92	285,24 ±168,75	445,66 ±137,88	489,4 ±113,23	392,41 ±167,59
TM	20,19 ±3,70	21,67 ±1,50	23,97 ±1,76	25,06 ±2,47	22,75 ±3,11
UR	71,60 ±12,42	78,18 ±9,85	71,25 ±7,84	69,35 ±9,4	72,59 ±11,96
VV	2,55 ±0,59	2,40 ±0,61	2,42 ±0,51	2,36 ±0,66	2,43 ±0,59

PP: precipitação pluvial (mm); PA: pressão atmosférica (hPa); RS: radiação solar (w/m²); TM: temperatura média (°C); UR: umidade relativa (%); VV: velocidade do vento (m/s). Fonte: Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR, 2017).

A qualidade de água do reservatório foi monitorada mensalmente em três locais da tilapicultura, sendo na porção a montante (24°41'200" S, 54°14'200" W), no ponto de referência (24°41'183" S, 54°14'479" W) e a jusante (24°41'000" S, 54°14'546" W) dos tanques-rede. A temperatura da água foi monitorada utilizando um termômetro de mercúrio e a transparência mensurada com disco de Secchi. Foram coletadas quatro amostras de água de cada local, acondicionadas em caixa térmica contendo gelo e encaminhadas imediatamente ao laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, para determinação das variáveis de pH e condutividade elétrica.

Os valores médios das variáveis da qualidade de água não apresentaram diferenças entre a porção montante, jusante e ponto de referência (Tabela 5). Os valores das variáveis dos parâmetros químicos e físicos permaneceram nas condições normais preconizadas para criação da tilápia-do-Nilo (KUBITZA, 2011) e mantiveram-se dentro dos padrões recomendados para corpos de água doce classe II da resolução nº 357/2005 do Conama (BRASIL, 2005).

Tabela 5. Qualidade de água em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional, em Entre Rios do Oeste

	Montante	Referência	Jusante
Temperatura (°C)	23,17 ± 2,14	23,49 ± 2,58	23,34 ± 2,65
Transparência (m)	1,42 ± 0,59	1,57 ± 0,66	1,46 ± 0,53
pH	7,89 ± 0,66	7,69 ± 0,61	7,75 ± 0,56
Condutividade (µS cm ⁻¹)	69,12 ± 7,33	68,22 ± 6,99	67,00 ± 6,12

O ensaio foi desenvolvido em uma estrutura de tanque-rede experimental, utilizada para suporte dos coletores de 0,04 m² de área útil, confeccionados com as telas avaliadas. As unidades experimentais foram constituídas de 72 coletores de 20 x 20 cm, simulando os diferentes tratamentos (Figura 3). Foram utilizados dois tipos de telas com malha de 19 mm (NBR 10.118), sendo em arame galvanizado revestido com PVC (Belgo Plastic[®]) e arame revestido de uma liga de Zn-Al (95% zinco e 5% alumínio), denominado Bezinal (Belgo Bezinal[®]).

Os lados da estrutura experimental do tanque-rede foram utilizados para avaliar as telas PVC e Bezinal de primeiro e segundo uso. Os coletores representando as telas de segundo uso foram empregados anteriormente em experimento similar, que apresentou um período de submersão na água de nove meses e limpeza da superfície com jato de água de alta pressão, simulando o manejo de limpeza usual praticado para tanques-rede.

A avaliação foi realizada com 48 coletores, distribuídos linearmente nas quatro laterais do tanque-rede, resultando em quatro tratamentos e doze réplicas. Em cada lateral da estrutura experimental, foram distribuídos dois agrupamentos de tratamentos distintos, com seis coletores cada (Figura 5).

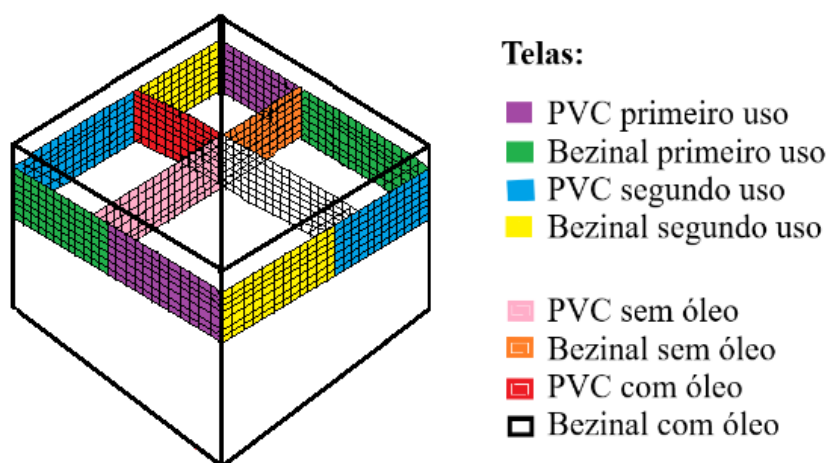


Figura 5. Ilustração simulando a distribuição dos coletores de diferentes telas de tanque-rede, instalado em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional, em Entre Rios do Oeste.

A parte central e mais profunda da estrutura do tanque-rede foi empregada na avaliação das telas de segundo uso (nove meses de idade) banhadas em óleo de tilápia-do-Nilo e isentas do produto. Foram utilizados 24 coletores das telas PVC e Bezinal com e sem uso do óleo, resultando em quatro tratamentos e seis réplicas. Os coletores foram dispostos em duas linhas, com agrupamentos de seis unidades experimentais de cada tratamento (Figura 5).

Mensalmente, foi realizado um giro de 180° na estrutura experimental, com a finalidade de inibir o efeito do fluxo da água nos tratamentos. Após três meses submersos na água, os coletores foram extraídos e estimados quanto à biomassa com o auxílio de uma balança de bancada. Em seguida, foi realizada a raspagem e feitas as retiradas de substratos e mexilhões incrustados nos coletores. Na sequência, foi mensurada a massa dos coletores limpos para a estimativa da massa total de substratos (MTS), resultante do total do material aderido em cada coletor, exceto a massa dos mexilhões. Posteriormente, os moluscos foram separados e armazenados em embalagens previamente identificadas e conservados em álcool 70% e formol tamponado 5%.

Os moluscos incrustados nos coletores foram avaliados quanto à biomassa, para a determinação da massa média individual (MMI) e da massa total de mexilhões (MTM), com o uso de uma balança digital de precisão (Bel Engineering UMark 250A). Os moluscos foram mensurados quanto à altura, à largura e ao comprimento máximo, com o auxílio um paquímetro digital de precisão de 0,01 mm (Digmess).

As análises estatísticas foram realizadas por meio do programa SAS (SAS Institute Inc, 2014). Os valores obtidos das variáveis de massa total de substratos, massa média

individual, massa total por unidade de área, comprimento, altura e largura dos mexilhões foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, em caso de diferença significativa, foi aplicado o teste F ou teste de Tukey.

4.3 Resultados

O material e a idade das telas influenciaram de forma significativa ($P < 0,05$) nas dimensões (largura, altura, comprimento) e na massa média individual de mexilhão-dourado incrustado nos coletores. Os maiores valores médios ($P < 0,05$) de dimensões e massa dos mexilhões incrustados foram obtidos quando se utilizou tela PVC, bem como a idade de segundo uso, para todas as variáveis avaliadas (Tabela 4).

Tabela 6. Largura, altura, comprimento e massa média individual (MMI) de mexilhão-dourado incrustado, em dois tipos de tela de tanque-rede (Bezinal e PVC) e duas idades (primeiro e segundo uso), em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional em Entre Rios do Oeste

	Largura	Altura	Comprimento	MMI
	----- mm -----			----- g -----
Material da tela				
Bezinal	$1,40 \pm 1,22$ b	$1,92 \pm 0,48$ b	$3,73 \pm 2,98$ b	$0,0144 \pm 0,023$ b
PVC	$2,51 \pm 0,82$ a	$3,25 \pm 0,79$ a	$6,46 \pm 1,69$ a	$0,0444 \pm 0,028$ a
Idade				
Primeiro uso	$1,48 \pm 1,23$ b	$2,01 \pm 1,48$ b	$3,90 \pm 2,99$ b	$0,0220 \pm 0,031$ b
Segundo uso	$2,43 \pm 0,89$ a	$3,16 \pm 0,92$ a	$6,29 \pm 1,93$ a	$0,0367 \pm 0,027$ a
CV (%)	13,51	16,71	20,62	1,21

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste F a 5% de probabilidade.

A interação entre os fatores idade (primeiro e segundo uso) e material da tela (Bezinal e PVC) apresentou efeito significativo ($P < 0,05$) para a massa total de substratos (MTS) e a massa total de mexilhões (MTM) incrustados nos coletores. Verificou-se que houve maiores valores para a massa total de substratos e a massa total de mexilhões nos coletores das telas de PVC, independentemente da idade (Tabela 7).

Quanto à idade, não houve influência significativa ($P > 0,05$) entre o primeiro e o segundo uso para a massa total de substratos incrustados nos coletores da tela PVC. Por outro lado, quando o material da tela foi o Bezinal, a massa total de substrato aderido foi maior ($P < 0,05$) no segundo uso em relação ao primeiro (Tabela 7).

A maior ($P < 0,05$) massa total de mexilhão-dourado incrustada foi observada em coletores da tela PVC de segundo uso. Entretanto, não foram verificadas diferenças significativas na massa total de mexilhão aderida nos coletores da tela Bezinal (Tabela 7).

Tabela 7. Massa total de substratos (MTS) e massa total de mexilhão (MTM) incrustado nos coletores em dois tipos de tela de tanque-rede (Bezinal e PVC) e duas idades (primeiro e segundo uso), em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional em Entre Rios do Oeste

Idade	MTS (g)		MTM (g)	
	Bezinal	PVC	Bezinal	PVC
Primeiro uso	$11,82 \pm 1,73$ bB	$37,22 \pm 4,25$ aA	$0,0099 \pm 0,024$ aB	$0,2162 \pm 0,2243$ bA
Segundo uso	$19,89 \pm 4,14$ aB	$34,33 \pm 3,16$ aA	$0,0531 \pm 0,076$ aB	$0,6697 \pm 0,2565$ aA
CV (%)	7,49		6,48	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados referentes à utilização de telas de tanques-rede com diferentes materiais (PVC ou Bezinal), banhados ou não em óleo de tilápia-do-Nilo, estão expressos nas Tabelas 8 e 9. O material das telas utilizadas não influenciou de forma significativa ($P > 0,05$) na largura, na altura, no comprimento e na massa média individual de mexilhão-dourado, porém foi observada maior massa total de mexilhões incrustados nos coletores da tela PVC ($P < 0,05$).

Tabela 8. Largura, altura, comprimento, massa total (MTM) e massa média individual (MMI) de mexilhão-dourado incrustado, em dois tipos de tela de tanque-rede (Bezinal e PVC), banhadas em óleo de tilápia-do-Nilo ou isentas do produto, em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional em Entre Rios do Oeste

Material	Largura	Altura	Comprimento	MTM	MMI
	mm			g	
Bezinal	$1,92 \pm 0,62$ a	$2,58 \pm 0,55$ a	$5,04 \pm 1,27$ a	$0,104 \pm 0,082$ b	$0,02077 \pm 0,024$ a
PVC	$2,05 \pm 0,68$ a	$2,70 \pm 0,66$ a	$5,38 \pm 1,42$ a	$1,115 \pm 0,47$ a	$0,02945 \pm 0,027$ a
Óleo					
Com óleo	$1,49 \pm 0,17$ b	$2,15 \pm 0,18$ b	$4,15 \pm 0,31$ b	$0,512 \pm 0,55$ a	$0,00717 \pm 0,0024$ a
Sem óleo	$2,47 \pm 0,54$ a	$3,13 \pm 0,45$ a	$6,27 \pm 1,08$ a	$0,707 \pm 0,68$ a	$0,04305 \pm 0,0252$ a
CV (%)	20,20	12,77	14,89	8,83	0,85

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

Os mexilhões incrustados nos coletores submetidos à aplicação do óleo de tilápia-do-Nilo apresentaram menores médias para largura, altura e comprimento, em relação aos aderidos nos coletores isentos de aplicação de óleo, independentemente do material da tela ($P < 0,05$). Porém, não foram verificadas diferenças significativas ($P > 0,05$) para a massa total e

a massa média de mexilhões incrustados nas telas com aplicação de óleo ou isentas (Tabela 8).

Os materiais das telas e o uso do óleo de tilápia-do-Nilo influenciaram de forma significativa ($P < 0,05$) na massa total do substrato incrustado nos coletores. De forma geral, independente do tratamento recebido pelas telas (com óleo ou sem), a maior ($P < 0,05$) massa do substrato foi obtida nos coletores com tela PVC em relação ao Bezinal (Tabela 9).

Tabela 9. Massa total de substrato incrustado nos coletores em dois tipos de tela de tanque-rede (Bezinal e PVC), banhadas em óleo de tilápia-do-Nilo ou isentas do produto, em área aquícola de tilapicultura no reservatório de Itaipu Binacional em Entre Rios do Oeste

Óleo	Massa total de substrato (g)	
	Bezinal	PVC
Com óleo	11,68 ± 1,07 aB	22,80 ± 4,85 bA
Sem óleo	9,35 ± 1,80 aB	32,26 ± 2,05 aA
CV (%)	14,89	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A massa total do substrato incrustado nos coletores da tela Bezinal não foi influenciada pela aplicação do óleo de tilápia. Por outro lado, os coletores da tela PVC apresentaram maior ($P < 0,05$) massa total do substrato, quando não foram banhados em óleo (Tabela 9).

4.4 Discussão

A utilização de coletores das telas Bezinal proporcionou as menores dimensões (comprimento, altura e largura) e massa média individual de mexilhões em relação aos coletores de telas em PVC, independentemente do período de uso (idade). Nesse contexto, as menores dimensões e a massa média individual de mexilhões incrustados nas telas de primeiro uso em relação às telas de segundo uso podem estar relacionadas à dificuldade de fixação dos mexilhões à superfície dessas estruturas. De acordo com Castro (2013), o aumento do comprimento e o tamanho do mexilhão resultam em maiores chances dos indivíduos desprenderem-se do substrato. Esse fato pode estar diretamente relacionado com a força de arrasto gerada pela água na superfície do molusco. Por outro lado, a força do fluxo de água favorece a fixação e a sobrevivências das larvas de mexilhões, pois contribui com a oxigenação e o alimento (ALFARO, 2005).

A composição da tela Bezinal, que apresenta aproximadamente 95% de zinco na sua estrutura, pode ter favorecido os menores valores de altura, largura, comprimento e massa média individual dos mexilhões incrustados nos coletores. Nesse contexto, Pereira et al. (2010) justificam que substratos de origem metálica oferecem uma superfície lisa, com baixa porosidade e passam pelo processo de oxidação, liberando compostos tóxicos para o mexilhão. Essa hipótese pode ter contribuído para as diferenças nos valores das variáveis analisadas para os dois tipos de telas.

A menor massa total de mexilhões e de substratos aderidos na tela Bezinal em relação ao material em PVC foi verificada tanto na avaliação de telas de primeiro uso, quanto de segundo uso. Porém, analisando o efeito da idade das telas, observou-se que os materiais novos, ou de primeiro uso, favoreceram a menor massa total de mexilhões da tela PVC e menor massa total de substratos na tela Bezinal. Possivelmente as telas de primeiro uso apresentam propriedades que dificultam a aderência de agentes incrustantes na sua estrutura, como, por exemplo, uma superfície mais lisa e menos abrasiva.

Vianna (2015), avaliando a incrustação causada pelo mexilhão-dourado em diferentes telas de tanque-rede, também verificaram os menores níveis de colmatação na tela Bezinal, em relação à tela revestida em PVC. O autor relatou que a tela Bezinal pode ser recomendada para locais com elevada incidência de mexilhão-dourado, como nas águas dos reservatórios de usinas hidrelétricas dos estados de São Paulo, Paraná e Minas Gerais. No entanto, ele destaca o custo benefício da tela PVC, que apresenta um menor valor de investimento inicial e anual com a manutenção das telas nos tanques-rede.

A bioincrustação causada pelos mexilhões resulta em um incremento nos custos de produção. De acordo com Costa et al. (2018), o dano físico que os mexilhões proporcionam ao tanque-rede resulta na diminuição da vida útil da estrutura, além de aumentar os custos em função da manutenção e da limpeza dos tanques. Os autores destacam que a utilização de malhas de tanque-rede produzidas ou revestidas de materiais que dificultem a fixação dos moluscos resulta em menores custos operacionais para a remoção dos organismos.

Faria et al. (2006), em avaliação a campo de materiais anti-incrustantes para mexilhão-dourado, observaram que o substrato de zinco obteve menores incrustações de mexilhão em relação ao PVC. Quando avaliado em laboratório, o material de PVC apresentou elevada força média de desligamento, contudo, o substrato de zinco não proporcionou qualquer adesão de mexilhões à superfície do material. Os autores sugerem que materiais em PVC podem ter uma maior incrustação em relação aos metálicos devido à formação de um biofilme que pode contribuir para a fixação dos mexilhões. Além disso, foi constatada

também uma grande porcentagem de organismos mortos aderidos ao substrato de zinco em relação ao PVC. Nesse contexto, pode-se inferir que uma possível ação biocida do óxido de zinco, resultante da oxidação do zinco, pode ter contribuído para a diminuição da biomassa de mexilhão-dourado na tela Bezinal. Porém, nos ensaios na área aquícola do reservatório de Itaipu Binacional, não foram detectados sinais aparentes de oxidação e mortalidade de mexilhões incrustados nas telas avaliadas.

Trovati (2011), avaliando diferentes materiais anti-incrustantes, verificou uma maior quantidade de mexilhões aderidos aos coletores de PVC em relação a materiais metálicos (aço e alumínio) e resina de poliuretano. Analogamente aos estudos de Trovati (2011), no presente trabalho, o coletor de PVC não comprovou ser um bom material anti-incrustante para o mexilhão-dourado na área aquícola avaliada.

Os coletores das telas banhadas em óleo, independentemente do material da tela, contribuíram para as menores dimensões dos moluscos aderidos, no entanto, não foram eficientes na redução da massa média individual e da massa total de mexilhões incrustados. A utilização do óleo colaborou para a menor massa total de substratos aderidos na tela PVC. Tais ocorrências podem ter sido favorecidas pela superfície mais lisa da tela, dificultando a fixação dos organismos incrustantes que consequentemente levaria à formação de um biofilme propício aos mexilhões (FARIA et al., 2006).

Estudo realizado por Hodson et al. (2000), avaliando malhas de tanque-rede para salmão com propriedades anti-incrustantes, verificou que os materiais revestidos em silicone promoveram menores massas de organismos incrustados. De acordo com os autores, a superfície lisa dificulta a bioincrustação corroborando os resultados encontrados neste trabalho com os coletores de tela PVC.

Possivelmente, o maior tempo de uso das telas PVC e Bezinal utilizadas nos tanques-rede resultarão em desgastes nas suas superfícies, favorecendo a colmatação devido às massas de substratos e incrustantes biológicos. No entanto, a utilização do óleo de tilápia-do-Nilo na superfície da tela PVC pode ser uma boa alternativa para redução da massa total de substratos.

4.5 Conclusões

A utilização de arame revestido da liga de Zn-Al (Bezinal), independentemente do primeiro ou segundo uso, é mais eficiente em relação ao revestido em PVC como material anti-incrustante por favorecer menores dimensões e massas (média individual, total de

mexilhão-dourado e total dos substratos) incrustadas. No entanto, a tela Bezinal não impede totalmente as incrustações biológicas nas condições avaliadas na área aquícola.

As telas de segundo uso apresentam condições favoráveis para a incrustação e o desenvolvimento do mexilhão-dourado. Consequentemente, há tendências de aumentar a massa total de substratos incrustados na tela Bezinal e incrementar a massa total de mexilhões nas telas PVC. Dessa forma, com o passar do tempo, ambas as telas mostram tendência de apresentar maiores quantidades de agentes bioincrustantes na superfície.

A aplicação do óleo de tilápia na superfície das telas PVC e Bezinal em segundo uso não é eficiente como alternativa anti-incrustante de controle do mexilhão-dourado, contudo contribui para a redução das dimensões (largura, altura e comprimento) do molusco. A utilização do óleo pode ser uma boa opção de controle da massa de substratos nas telas PVC.

4.6 Referências

- ALFARO, A. C. Effect of water flow and oxygen concentration on early settlement of the New Zealand green-lipped mussel, *Perna canaliculus*. **Aquaculture**, v. 246, n. 1-4, p. 285-294, 2005.
- BEVERIDGE, M. C. M. **Cage culture**. Oxford: Fishing News Books. Blackwell Science Publication, 1996. 351 p.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357/2005**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Oficial da União, 18 de março de 2005, p. 58-63.
- CASTRO, A. L. P. **Estudo de velocidades e do número de Reynolds para o descolamento dos mexilhões dourados (*Limnoperna fortunei*)**. 2013. 108f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- COSTA, J. M.; MANSKE, C.; SIGNOR, A. A.; LUCHESI, J. D.; FEIDEN, A.; BOSCOLO, W. R. Incrustação de mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* em tanques-rede. **Cultivando o Saber**, v. 5, n. 2, p. 37-46, 2012.
- COSTA, J. I.; MARTINS, M. I. E.; DE REZENDE AYROZA, D. M. M. Impacto do controle do mexilhão-dourado no custo de produção de tilápia em tanques-rede. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 44, n. 1, p. 110-115, 2018.
- DARRIGRAN, G.; DAMBORENEA, C. **Introdução a biologia das invasões**. O Mexilhão dourado na América do Sul: biologia, dispersão, impacto, prevenção e controle. São Carlos: Cubo Editora, p. 1-245, 2009.

- DE ÁVILA-SIMAS, S.; REYNALTE-TATAJE, D. A.; ZANIBONI-FILHO, E. Fish predators of the golden mussel *Limnoperna fortunei* in different environments in a south american subtropical river. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 45, n. 2, 2019.
- FARIA, E. A.; BRANCO, J. R. T.; CAMPOS, M. C. S.; OLIVEIRA, M. D.; ROLLA, M. E. Estudo das características anti-incrustantes de materiais. **Revista da Escola de Minas**, v. 59, n. 2, p. 233-238, 2006.
- FREIRE, C. G.; MARAFON, A. T. Espécies de moluscos invasores nos ecossistemas aquáticos brasileiros e seu impacto no meio ambiente. **InterfaceHS**, v. 13, n. 1, p. 2-16, 2018.
- HODSON, S. L.; LEWIS, T. E.; BURKE, C. M. Biofouling of fish-cage netting: efficacy and problems of in situ cleaning. **Aquaculture**, v. 152, n. 1, p.77-90, 1997.
- HODSON, S. L.; BURKE, C. M.; BISSETT, A. P. Biofouling of fish-cage netting: the efficacy of a silicone coating and the effect of netting colour. **Aquaculture**, v. 184, n. 3-4, p. 277-290, 2000.
- KUBITZA, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. 2 ed. Jundiaí: F. Kubitza, 2011. 316p.
- LOPES, M. N. **Abundância de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) em Zonas profundas do canal São Gonçalo, Lagoa Mirim/RS-Brasil, com ênfase na sua 26 importância na dieta da ictiofauna**. 2010. 63f. Dissertação (Mestrado em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.
- MANSUR, M. C. D.; PEREIRA, D.; DOS SANTOS, C. P.; BERGONCI, P. E. A.; THORMANN, B. M.; TAKEDA, A. M. Colonização de substrato artificial pelo mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (*Bivalvia*, *Mytiloidea*, *Mytilidae*), no Delta do Rio Jacuí (RS, Brasil). **Biotemas**, v. 22, n. 1, p. 75-80, 2009.
- OLIVEIRA, M. D.; AYROZA, D. M. R.; CASTELLANI, D.; CAMPOS, M. C. S.; MANSUR, M. C. D. O mexilhão dourado nos tanques-rede das pisciculturas das Regiões Sudeste e Centro-Oeste. **Panorama da Aquicultura**, v. 24, n. 145, p. 22-29, 2014.
- OLIVEIRA, M. D.; CLAUDI, R.; PRESCOT, T.; BARBOSA, D. S.; CAMPOS, M. Estado de controle do mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*) no Brasil: opções para controle e lacunas de conhecimento. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SOCIOECONÔMICOS DO PANTANAL, 6., 2013, Corumbá. **Anais...** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2013.
- PENAFORTE, L.R. **Invasão do mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857)**. 2014. 65f. Monografia (Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- PEREIRA, D.; BERGMANN, C. P.; MANSUR, M. C. D.; BERGONEI, P. E. A.; SANTOS, C. P.; BASEGIO, T.; VICENZI, J.; SANTOS, S. C. A. Avaliação de materiais e

revestimentos para o controle de incrustações do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857). **Biotemas**, v. 23, n. 2, p. 87-100, 2010.

SAS INSTITUTE INC. **SAS University Edition**: installation guide for Windows Cary: SAS 363 Institute. Version 9.4. Cary, 2014.

SIMEÃO, C. M. G. **Influência da variação de velocidade e pressão sobre *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytilidae) e verificação dos efeitos da toxicidade do látex de *Euphorbia splendens* var. *Hislopii* n. EB (Euphorbiaceae) para esta espécie**. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

SANTOS, M. O.; BARRETO, I. D. C.; SILVA, I. M. L.; STOSIC, T. Avaliação das alterações hidrológicas da bacia do rio São Francisco causadas pela construção da usina hidrelétrica de Sobradinho. **Scientia Plena**, v. 13, n. 11, 2017.

TOKUMON, R.; BOLTOVSKOY, D.; CATALDO, D. Effects of the invasive freshwater mussel *Limnoperna fortunei* on sediment properties and accumulation rates. **Journal of Geophysical: Biogeosciences**, v. 123, n. 6, p. 2002-2017, 2018.

TROVATI, G. **Revestimento de poliuretano como anti-incrustante para o controle do mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*)**. 2011. 131f. Tese (Doutorado em Química Analítica) - Universidade de São Paulo, São Carlos.

VIANNA, G. R. **Biosseguridade para sistemas de produção de peixes em tanque-rede em função da colmatação agravada por *Limnoperna fortunei***. 2015. 70f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os impactos ambientais e grandes prejuízos econômicos que o mexilhão-dourado ocasiona no sistema de cultivo de peixes em tanque-rede justificam a importância de novos estudos que objetivam técnicas eficientes e inovadoras para o controle ou erradicação desse invasor.

As elevadas concentrações de metais nos mexilhões indicam uma possível contaminação na área aquícola do reservatório da usina hidrelétrica da Itaipu Binacional. Mas vale ressaltar que os mexilhões bioacumulam grandes quantidades de metais, acima das encontradas no ambiente contaminado, no entanto, esses organismos podem não ser fontes confiáveis e exatas para avaliação de históricos de poluição. Portanto, para obtenção de uma avaliação precisa de contaminação ambiental, são necessários estudos mais aprofundados.

Em ambos os estudos avaliados, verificou-se que as telas de tanque-rede revestidas em Bezinal apresentam uma menor biomassa total de mexilhões incrustados em relação às telas revestidas em PVC. Dessa forma, as telas revestidas em Bezinal são mais eficientes em relação às revestidas em PVC como material anti-incrustante.

As telas de segundo uso apresentaram tendência de aumentar a biomassa de organismos incrustantes. Possivelmente com o maior tempo de uso das telas, os desgastes na superfície são intensificados, favorecendo as bioincrustações. Desse modo, é importante que se busquem alternativas que inibam a bioincrustação de mexilhão-dourado nas telas de tanque-rede com superfícies degradadas.

A utilização do recobrimento das telas de tanque-rede com óleo de tilápia-do-Nilo não foi eficaz para a redução da biomassa de mexilhões incrustados. É fundamental que sejam realizados novos estudos, objetivando avaliar o uso de recobrimentos anti-incrustantes para o mexilhão-dourado em telas de tanque-rede, buscando produtos que sejam eficazes e preferencialmente com baixo impacto ambiental.