

Limnoperna fortunei: impactos e medidas de controle no abastecimento de água no sertão alagoano

O mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*, Dunker, 1857) é uma espécie invasora originária da China que possui a impressionante habilidade de aderir aos mais diversos substratos artificiais construídos pelo homem formando macro aglomerados capazes de obstruir sistemas de passagem, resfriamento, filtragem e captação de água bruta. Por seu sucesso em colonizar estruturas artificiais vem desde a década de 90 causando impactos sem precedentes no Brasil em setores que desenvolvem atividades econômicas relacionadas ao uso da água. Nos sistemas de captação e adução de água bruta da Companhia de Saneamento de Alagoas - CASAL, no Sertão do Estado, vem causando obstruções e paradas desde sua chegada a região do baixo São Francisco tendo seu primeiro registro nas tubulações dos sistemas de abastecimento público de Barragem Leste no município de Delmiro Gouveia e Xingó no município de Piranhas no ano de 2016. Durante o monitoramento da infestação nos mananciais de captação de água bruta foi possível observar aglomerados presos a substratos submersos, consolidados ou não, com densidade de 291 mil indivíduos/m² distribuídos em tamanhos médios entre 11 e 20 mm de comprimento. As macros incrustações trouxeram a necessidade de novos serviços e manutenções de equipamentos e tubulações que gerou impactos financeiros a companhia em torno de 260 mil reais/ano, em valores do mercado local à época. Este trabalho relata as experiências obtidas nas ações de controle e monitoramento do mexilhão-dourado nas instalações da CASAL.

Palavras-chave: Mexilhão-dourado; Bioincrustações; Sistemas de abastecimento de água; Classificação das incrustações; Métodos de controle.

Limnoperna fortunei: impacts and control measures on the water supply in the sertão alagoano

The golden mussel (*Limnoperna fortunei*, Dunker, 1857) is an invasive species originating in China which has the impressive ability to adhere to the most diverse substrates made by man, thereby forming macroclusters that can effectively block systems of raw water passage, filtration and capture. Due to its success in populating artificial structures, it has been - since the 1990's - causing unprecedented impact, in Brazil, to sectors whose economical activities relate to water usage. In the raw water capture and adduction systems of the Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), in the sertão region of the state, it has been causing obstructions and blockages since its arrival at the area of lower São Francisco - the first register of its presence in the pipes of the public supply system of the Barragem Leste (in the municipality of Delmiro Gouveia) and of Xingó (in the municipality of Piranhas) dates to the year of 2016. During the monitoring of the infestation at the source of water capture, it was possible to see clusters stuck to submerged substrates, consolidated or not, at a density of 291 thousand individuals/m², their average size within the 11-20 mm range. These macro-incrustations required new services and also the repair of pipes and equipment, which, in 2019, cost the company 260 thousand reais, in local market value at the time. This paper describes the data gathered during the monitoring and control of the golden mussel at the CASAL facilities.


Keywords: Golden mussel; Biofouling; Water supply systems; Classification of incrustations; Control methods.


Topic: **Engenharia de Recursos Hídricos**

Received: **08/04/2022**

Approved: **23/04/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Ana Maria Edivia Silva dos Santos 
Companhia de Saneamento de Alagoas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0262462995076046>
<https://orcid.org/0000-0003-3504-9210>
edivia2301@gmail.com

Ronny Francisco Marques de Souza 
Instituto Federal de Alagoas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7651317326903869>
<https://orcid.org/0000-0002-8943-0247>
ronny.souza@ifal.edu.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.004.0010

Referencing this:

SANTOS, A. M. E. S.; SOUZA, R. F. M.. *Limnoperna fortunei: impactos e medidas de controle no abastecimento de água no sertão alagoano*. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.13, n.4, p.108-117, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.004.0010>

INTRODUÇÃO

O *Limnoperna fortunei* conhecido popularmente no Brasil como “mexilhão-dourado” e internacionalmente como “golden mussel” devido à coloração dourada de suas valvas é um molusco bivalve de água doce da família Mytilidae, mesma família dos mexilhões marinhos (NEWELL, 1969), nativo da China, que foi amplamente distribuído durante as décadas de 1960 e 1970 em lagos e rios em todo o sudeste da Ásia (XU et al., 2015). Nas bacias hidrográficas da América do Sul dispersou-se chegando ao Brasil na década de 90, no lago Guaíba (MANSUR et al., 1999), avançando rapidamente pela bacia do Paraná alcançando UHE Itaipu Binacional (CANZI et al., 2014). Registros da espécie na bacia do São Francisco na região do reservatório da UHE de Sobradinho- PE (BARBOSA et al., 2016) e em pisciculturas de tilápias em Jatobá – PE (AVELINO et al., 2019) já foram reportadas. Este êxito adaptativo pode ser explicado sob dois aspectos atuando conjuntamente: o perfil da espécie invasora e as características da área invadida (SOUZA et al., 2014). Com o perfil de reprodução quase contínua, flexibilidade e tolerância a mudanças abióticas do meio e até passagem pelo trato digestivo de algumas espécies de peixes (OLIVEIRA et al., 2010), o mexilhão-dourado pode ser considerada uma espécie engenheira por ter a característica de modificar ecossistemas estruturalmente e funcionalmente, devido seu comportamento gregário (OLIVEIRA et al., 2003), formação de macro aglomerações resistentes à vazão de água, fixando suas formas juvenis e adultas em um arranjo compacto nos diversos tipos de substratos, consolidados ou não (BRENTANO, 2014), onde os indivíduos menores se encaixam preenchendo os espaços entre os maiores (BOLTOVSKOY et al., 2009).

O processo de bioinvasão, adaptação e permanência do *L. fortunei* em águas continentais vem causando impactos ambientais e econômicos devido as macro incrustações em sistemas de captação e tratamento de água como também nos setores da sociedade que utilizam a água nas suas atividades principais, tais como a indústria, a geração de energia e a navegação (BRASIL, 2017), causando danos como: redução no diâmetro e obstrução de tubulações, redução da velocidade e turbulência no fluxo, aumento do processo de corrosão de tubulações, gosto e odor indesejáveis na água tratada, entre outras complicações (BRASIL, 2020). No Brasil, os custos excedentes provenientes de serviços de manutenções e limpezas e na contratação de mão-de-obra em relação a uma usina hidrelétrica de com três unidades geradoras afetadas pelo mexilhão-dourado, oneram valores em torno de R\$ 40.000,00 (BRASIL, 2017). Rebelo *et al.*, 2018 descreve prejuízos da ordem de US\$ 120 milhões por ano, além de uma estimativa de US\$ 6,9 e US\$ 8 milhões gastos anualmente com atividades de monitoramento e manutenção em usinas de geração de energia. Esses impactos no âmbito ambiental, econômico e social apontam a importância do estudo sobre os processos de invasão, adaptação e permanência da espécie nos setores industriais e nos sistemas de abastecimento de água potável afetados diretamente pela presença do molusco invasor em seus sistemas de captação de água (Colares *et al.*, 2002). Neste estudo apresentam-se os resultados do monitoramento e dos métodos de controle adotados para controle da infestação do mexilhão-dourado nos sistemas de captação e adução de água bruta pertencentes à Unidade de Negócios da CASAL, no sertão do Estado de Alagoas/Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram monitorados dois sistemas de abastecimento - Barragem Leste e Xingó - municípios de Delmiro Gouveia e Piranhas – Alagoas/Brasil, respectivamente. Os procedimentos adotados seguiram uma rotina de aplicação semestral, para os casos de monitoramento das incrustações e anual para contagem da densidade populacional e levantamento de dados técnicos operacionais e de produção. A periodicidade da aplicação dos métodos de controle mecânicos, químicos e físicos foi avaliada após cada procedimento. O registro dos pontos detectados com aglomerações pelo molusco, nos sistemas de captação de água bruta invadidos foi marcado pelas suas respectivas coordenadas geográficas usando o equipamento GPS Garmin Etrex Vista HCx.

As imagens e filmagens foram realizadas com o auxílio de câmera endoscópica de marca SmartCam modelo HY-5908, acoplada a um tubo flexível de PVC de 25 mm Ø com 15 metros de comprimento, nas duas direções opostas do ponto de abertura (jusante e montante), somando-se assim 30 metros de comprimento de tubos vistoriados. A medição pitométrica de vazão de água aduzida pelo sistema de captação foi realizada semestralmente, com o aparelho Lamon número de série 5400086.

As amostragens quantitativas dos indivíduos foram realizadas anualmente entre os anos de 2017 e 2020, tomando-se as bordas de conexão da luva mecânica, local de menos perda de carga muito propício para o crescimento de colônias, onde unem-se os dois tubos da adutora. Trechos de seção de 10 x 10 cm foram retirados com auxílio de uma espátula conforme metodologia adaptada a proposta por Mansur et al., (2008). Os indivíduos foram quantificados de acordo com sua classe de tamanho com o auxílio de lupa e um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm de marca OEM, modelo 25363 com faixa de medição de 150 mm. As amostragens foram distribuídas em intervalos de 5,0 mm e 10 mm (Maronas *et al.*, 2003) e divididos em quatro grupos: indivíduos menores que 5,0 mm à 10 mm, a partir de 11 mm a 15 mm, os de 15 mm a 20 mm, e os maiores que 20 mm (PEREIRA, 2014).

No sistema Barragem Leste foram utilizados os métodos os mecânicos, realizados por meio da abertura das tubulações para remoção pontual por limpeza e/ou raspagem e por hidrojateamento a alta pressão, seguindo os métodos químicos, com adição dos compostos a base de dicloroisocianurato de sódio granulado e ácido tricloroisocianúrico em pastilha, e o método físico por emissão de ondas eletromagnéticas na tubulação de captação de água bruta afetada pelas incrustações. Para o sistema de Xingó no município de Piranhas/AL os procedimentos de controle foram aplicados similarmente ao sistema de Barragem Leste diferenciando apenas para o método mecânico que foi realizado por meio da substituição das tubulações afetadas. A dosagem do produto químico dicloroisocianurato de sódio granulado foi medida com base na concentração de cloro mínima de 0,5 mg/L para combate às incrustações e no volume total das tubulações a serem tratadas, desde a captação até a ETA (MORTON et. al., 1976). Neste procedimento a verificação da concentração de cloro livre da solução preparada foi realizada através de análises pelo método colorimétrico com reagente DPD em comparadores Visodisc da marca Policontrol e as tubulações ficaram imersas em solução clorada durante um período de 24 horas para ação do produto. Para a dosagem de pastilhas do ácido

tricloroisocianúrico, estas foram adicionadas nas tubulações na boca de sucção da bomba de captação, agindo de forma que, empregados a cada 25 a 30 dias, os indivíduos fossem eliminados gradativamente através da corrente de fluxo das tubulações de água bruta até a ETA sendo recolhidos nos procedimentos de descargas da ETA e de lavagens dos filtros.

O método físico por emissão de ondas eletromagnéticas foi por meio do equipamento GASPARE-A, um condicionador eletromagnético da empresa LGM Engenharia, instalado em algumas tubulações na sucção e recalque das bombas de captação. A avaliação de quais métodos de controle às incrustações seriam adotados considerou o perfil comportamental invasivo da espécie *L. fortunei* nos sistemas afetados, conforme esquema.

Característica da incrustação	→	Métodos a serem utilizados	→	Periodicidade da utilização
-------------------------------	---	----------------------------	---	-----------------------------

Baseando-se no quantitativo de indivíduos distribuídos durante a realização dos procedimentos, de amostragens levou em consideração: A característica da incrustação (colônias rasas, dispersas ou aglomeradas); A predominância de indivíduos conforme tamanho (menores que 5,0 a 10 mm; de 10 a 15 mm; 15 a 20 mm; de 15 a acima de 25 mm); Extensão da incrustação (pontuais, curtas, extensas).

O protocolo utilizou os métodos mecânicos por limpeza, substituição de equipamentos e tubulações, raspagem ou jateamento de água a alta pressão, os químicos por diluição de compostos dicloroisocianurato de sódio e ácido tricloroisocianúrico, e o físico por emissão de ondas eletromagnéticas, de acordo com o grau de incrustação encontrado nas tubulações, da qual poderia ser controlado ou eliminado à medida que fossem utilizados de forma individual ou conjunta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição média dos indivíduos, em ambos os sistemas de abastecimento, serviu como base para a elaboração da classificação das características das incrustações entre iniciais, comuns, semicríticas e críticas, de forma a definir quais estratégias de controle seriam utilizadas no intuito de eliminar a formação de macro incrustações causadas pelo mexilhão-dourado. Esta classificação auxiliou na elaboração de um protocolo de ações de controle às incrustações, que tomou como base as características das incrustações em comparação à medição quantitativa biométrica dos indivíduos coletados nos sistemas invadidos pela espécie *L. fortunei*, conforme descrito:

Incrustações iniciais – Observadas no início da fixação, onde os organismos se apresentavam dispersos uns dos outros ou em colônias rasas, no início de sua fase juvenil adulta. Predominância de indivíduos menores que 5,0 a 10 mm de comprimento; Incrustações comuns – Quando se observou colônias de mexilhão em partes de equipamentos operacionais, mas havia possibilidade de limpeza pontual em cada equipamento afetado. Predominância de indivíduos entre 10 e 15 mm de comprimento; Incrustações semicríticas – Quando camadas de mexilhão encontradas em equipamentos se estendem para outros processos, mas ainda havia possibilidade de limpezas pontuais. Predominância de indivíduos entre 15 e 20 mm de comprimento; Incrustação crítica - Quando a invasão alcançava níveis máximos, levando a obstruções,

colapso no abastecimento e a macro incrustação se estendia além dos equipamentos verificados, não podendo se avaliar a extensão da incrustação. Predominância de indivíduos entre 15 e acima de 25 mm de comprimento.

A presença do mexilhão-dourado nos sistemas de captação e adução de água bruta pertencente aos sistemas de abastecimento de água da CASAL/Unidade de Negócios do Sertão – UNSERTÃO teve o primeiro local de detecção da invasão caracterizado por um trecho de 12 metros de tubulação na captação do sistema Xingó, localizado na Barragem da UHE Xingó no município de Piranhas-AL (Figura 1).



Figura 1: Macro incrustações por mexilhão-dourado nas paredes do tubo por câmera endoscópica.

Conforme observa-se na figura 1 as macros incrustações são críticas, conforme o protocolo de ações de controle às incrustações, formadas por extensas colônias de indivíduos distribuídos em camadas de incrustação que impede o dimensionamento da colônia de forma confiável. Observou que os pontos preferenciais de incrustação são aqueles com as condições locais de elevação com maior coeficiente de perda de carga, que propicia o aparecimento inicial em caso de uma recolonização, como por exemplo nas bordas de conexão de equipamentos e tubulações, enquanto, onde a velocidade e pressão são muito elevadas, como exemplo locais muito próximo a bombas de adução, dificulta o crescimento de indivíduos, não havendo a formação de macro aglomerações. Na tabela 1, encontram-se representados os locais de ocorrência do *L. fortunei* na região do sertão alagoano, nas instalações da CASAL, baixo Rio São Francisco, através de suas coordenadas geográficas.

Tabela 1: Coordenadas Geográficas dos sistemas de captação da CASAL/UNSERTÃO afetados

Ponto	Município (AL)	Latitude	Longitude
Captação e filtros	¹ Delmiro Gouveia	9°.37'25"S	38°.19'83"W
Dutos de captação	² Delmiro Gouveia	9°.29'70"S	38°.19'32"W
Dutos de captação	³ Delmiro Gouveia	9°.35'15"S	38°.20'50"W
Dutos de captação	⁴ Piranhas	9°.61'81"S	37°.78'76"W
Dutos de captação	⁵ Delmiro Gouveia	9°.45'80"S	38°.03'36"W

¹ Sistema de captação da Estação de Tratamento de Água de Barragem Leste. ² Sistema de Abastecimento de Água Individual do povoado de São José.

³ Sistema de Abastecimento de Água Individual do povoado São Sebastião. ⁴ Sistema de captação da Estação de Tratamento de Água de Xingó, Barragem UHE XINGÓ; ⁵ Sistema de captação da Estação de Tratamento de Água de Abastecimento Urbano do município Delmiro Gouveia.

Nos sistemas de abastecimento da CASAL onde foram registradas a presença da espécie, as macro aglomerações causaram impactos referentes à: redução na eficiência de abastecimento, aumento do custo adicional com limpezas e manutenções e problemas de ordem pública devido a paralisações no abastecimento de água, gerando custos financeiros e aumento de investimentos para reparos nas estruturas

de produção de água em razão da: contratação de serviços de manutenções, limpezas, e mão-de-obra, compra de materiais e equipamentos, diárias para vistorias e visitas técnicas, custos com hora-homem trabalhada, entre outros. Estes impactos financeiros gerados pelos serviços de manutenções e limpezas dos sistemas da CASAL/Unidade Sertão – UNSERTÃO, afetados pelas macros incrustações de mexilhão-dourado são descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Custos financeiros no controle do mexilhão-dourado nos sistemas de captação da CASAL / Unidade Sertão - UNSERTÃO.

Ações	Custo anual (R\$)
Viagens (visitas técnicas e pesquisas de campo)	4.800
Compra de materiais (troca de tubulações, peças, consertos de bombas)	63.457,50
Contratação de Serviços (retroescavadeira, pitometria, caminhão hidrojato)	171.000,00
Intervenções de vistoria e amostragem de água	4.842,00
Produtos químicos para retirada de incrustações ou limpeza de tubulações	5.000
Diárias, horas extras e outros	13.937,43
TOTAL	263.036,93*

*Custo baseado na contratação de serviços e compra de materiais e equipamentos do mercado local no ano de 2019.

Conforme a Tabela 2, os impactos financeiros causados pelo mexilhão-dourado nos sistemas de abastecimento mostraram-se mais relacionados às paradas para limpeza e manutenção, valores estimativos de contratação de serviços, mão-de-obra e compra de materiais e equipamentos nas situações de prestação de serviços emergenciais dos sistemas afetados pelas macros incrustações que chegaram a um valor estimado anual de R\$ 263.036,93, baseado em valores do mercado local no ano de 2019. Outra perda importante está relacionada ao não abastecimento das populações devido à redução de vazão de água captada para o abastecimento e estes resultados de perdas de vazão, obtidos nas medições periódicas de pitometria, estão dispostos na Tabelas 3.

Tabela 3: Medições de pitometria e perdas de vazão

Mês / Ano	Sistema Barragem Leste			
	*Vazão de captação	*Vazão de chegada ETA	*Perdas	Perdas (%)
11/2017	130	124	6,7	5,11%
07/2018	154	153	1,0	0,64%
09/2019	166	161	5,0	3,01%
Sistema Xingó				
01/2017	450	330	119,2	26,50%
07/2018	338	330	7,9	2,35%
09/2019	351	327	24,1	6,86%

*m³/h

Na Tabela 3 verifica-se que no ano de 2017, período em que foram constatadas as incrustações e iniciados os procedimentos de controle, as vazões de chegada à ETA estavam menores que as vazões de saída da captação, conferindo perdas de 5,11% e 26,50% de vazão, em torno de 6,7 m³/h e 119,2 m³/h de água não produzida, nos sistemas Barragem Leste e Xingó respectivamente. A partir do ano de 2018 notou-se uma significativa redução no número de indivíduos coletados nos pontos de verificação pitométrica possivelmente associada à utilização dos métodos de controle, quando os resultados de perda de vazão reduziram para: 0,64% equivalente a 1,0 m³/h em Barragem Leste e 2,35% equivalente a 7,9 m³/h no sistema de Xingó.

O mexilhão-dourado mostrou-se bem adaptado às condições fornecidas no decorrer da extensão das tubulações de captação de água bruta dos sistemas de abastecimento, formando macro incrustações com

densidades populacionais variadas entre os anos de 2017 e 2020, conforme disposto na tabela 4.

Tabela 4: Densidade populacional e a distribuição quantitativa de indivíduos de mexilhão-dourado

Indivíduos por tamanho (%)					
Período	5,0 a 10 mm	11 a 15 mm	16 a 20 mm	21 a 25 mm	*Densidade
Barragem Leste					
Jan/17	8,4	43,7	37,3	10,6	14.200
Mai/18	0	0	0	0	0
Ago/19	0	0	0	0	0
Ago/20	9,8	50,9	37,7	1,6	530
Xingó					
Jan/17	4,5	45,2	41,3	9	291.028
Mai/18	0	41,2	41,2	17,6	8.658
Ago/19	6,1	13,8	50,8	29,2	8.928
Ago/20	0	0	0	0	0

*indivíduos/m²

Na tabela 4 encontram-se os resultados de densidade e distribuição quantitativa de indivíduos de mexilhão-dourado obtidas nas amostragens periódicas anuais realizadas nas tubulações do sistema Barragem Leste e Xingó com picos de densidade de 14.200 e 291.028 indivíduos/m², respectivamente. Observa-se que no ano de 2017 foram encontradas as maiores densidades populacionais em ambos sistemas com indivíduos com faixas de tamanho entre 11 a 20 mm. Entre os anos de 2018 e 2019, percebeu-se, no sistema Barragem Leste, que a densidade de organismos presos às tubulações chegou a “zero”, isto é, 100% de eliminação de indivíduos, e no sistema Xingó, a densidade de organismos reduziu de 291.028 para 8.658 a 8.928 indivíduos/m², este fato pode estar relacionado as ações adotadas para o controle da espécie adotadas. Em 2020, notou-se um aumento da densidade de indivíduos no sistema Barragem Leste, chegando a 530 indivíduos por metro quadrado, demonstrando o retorno da colonização nas paredes da tubulação, provavelmente em seu primeiro estágio de vida juvenil, no início do processo de fixação. Este fato não conferiu perigo aos resultados de vazão de água produzida pelo sistema, pois este parâmetro mostrou aumento em relação aos últimos dois anos e as colônias de mexilhão-dourado se encontravam em uma formação rasa, em sua fase inicial de vida, podendo ser eliminados facilmente com a reutilização dos métodos químicos ou mecânicos combinados ou não, como feito em procedimentos anteriores. Já o sistema Xingó, em 2020, mostrou completa eliminação de indivíduos do bivalve invasor. A ausência de grandes macros aglomerados presos no ponto de abertura escolhido na captação Xingó pode estar relacionado com a proximidade do ponto de abertura à bomba de captação, que confere alta velocidade de fluxo da água neste ponto, não permitindo a fixação dos organismos, isto porque o processo de dispersão das larvas planctônicas e assentamento dos indivíduos nos diversos tipos de substrato estão intimamente ligados à velocidade da corrente da água (OLIVEIRA et al., 2011). Conforme Simeão (2011), a proximidade da bomba de captação, com velocidade e pressão são muito elevadas, neste local, pode dificultar a formação de macro aglomerações, podendo haver restabelecimento em novos locais após perturbações, o que auxilia o espalhamento e da espécie (URYU et al., 1996). O protocolo de ações conduziu a utilização dos métodos de controle às incrustações nos sistemas de captação de água bruta seguindo uma frequência periódica de limpezas descritas na Tabela 5.

O protocolo de ações, Tabela 5, serviu como base para uma caracterização comportamental inicial

da invasão da espécie nos sistemas afetados, como também serviu para avaliar quais medidas seriam mais viáveis e seguras, no combate às macros incrustações até em situações críticas de invasão. Segundo Penaforte (2014), não existe um método único de prevenção e controle a ser aplicado de forma a obter uma solução ao problema, por isso a utilização dos métodos combinados considerando a capacidade de reprodução e de adaptação da espécie e a características do ambiente invadido, e as peculiaridades do ambiente estrutural a ser tratado, como foi demonstrado neste trabalho.

Tabela 5: Protocolo ações de controle às incrustações nos sistemas afetados de acordo com sua classificação.

Classificação	Métodos	Frequência
Iniciais	Químico (pastilha) individual	Semanalmente
Comuns	Mecânico (raspagem) + Químico (granulado)	A cada 30 a 60 dias
Semicríticas	Mecânico (raspagem) + Químico (pastilha / granulado) + Físico (eletromagnético)*	A cada 30 a 90 dias
Críticas	Mecânico (jateamento) + Químico (pastilha/granulado) + Físico (eletromagnético)*	Anualmente

* O método eletromagnético é um procedimento contínuo, pois o equipamento deve ser utilizado ininterruptamente.

CONCLUSÕES

Este trabalho confirmou a presença da espécie *Limnoperna fortunei* e investigou os impactos negativos relacionados às perdas de vazão nas tubulações dos sistemas de abastecimento de Barragem Leste (município de Delmiro Gouveia) e Xingó (município de Piranhas) da Companhia de Saneamento do Estado de Alagoas – CASAL, no Baixo São Francisco. Diante do problema foram adotadas ações de monitoramento e implantado um protocolo de ações com métodos de controle as macros incrustações.

Impactos financeiros gerados pelas paradas para limpeza e manutenção dos sistemas da CASAL/Unidade Sertão – UNSERTÃO, afetados pelas macros incrustações de mexilhão-dourado chegaram a um valor estimado anual de R\$ 263.036,93, baseado na contratação de serviços auxiliares, mão-de-obra e compra de materiais e equipamentos em valores de mercado local no ano de 2019.

A invasão do molusco é significativa e, apesar das medidas adotadas, ainda acomete em novos ciclos de colonização os sistemas estudados interferindo no abastecimento de água das populações atendidas. Foi em 2017, no sistema Xingó que se observou a maior macro aglomeração da espécie *L. fortunei* com uma densidade de 291.028 indivíduos/m².

As incrustações foram observadas recorrentemente em locais de elevação de coeficiente e de perda de carga, como por exemplo, as bordas de conexão de equipamentos e tubulações, enquanto, onde a velocidade e pressão são elevadas, como exemplo locais próximos as bombas de adução, notou-se a dificuldade no crescimento de indivíduos, não havendo a formação de macro aglomerações.

O uso dos métodos de controle (mecânico, químico e físico) de forma independente, apesar de seus bons resultados na redução das incrustações, não se mostrou a melhor abordagem no combate ao avanço da macro incrustação, isto porque o retorno das incrustações se mostrava inevitável, a depender do método utilizado. Ao longo do estudo percebeu-se que os métodos combinados apresentavam melhores resultados e com menores impactos na aplicação. A melhor combinação foi a utilização de jateamento a alta pressão somado a utilização do composto dicloroisocianurato de sódio em conjunto ao método por emissão de ondas eletromagnéticas que levou a resultados satisfatórios com a eliminação completa das incrustações por um

período de 24 meses, sem retorno das incrustações.

As informações geradas na utilização dos métodos de controle auxiliaram na elaboração de um protocolo, de ações às macros incrustações, baseado na classificação das incrustações segundo a característica (colônias rasas, dispersas ou aglomeradas), faixa de tamanho (menores que 5 a 10 mm; de 10 a 15 mm; 15 a 20 mm; de 15 a acima de 25 mm) e a extensão (pontuais, curtas, extensas) conforme a viabilidade técnica e acessibilidade de materiais, equipamentos e mão-de-obra disponíveis na Companhia.

A presença do *L. fortunei* nas instalações dos sistemas Barragem Leste e Xingó aponta para a presença do molusco nas águas do Baixo São Francisco e deve servir de alerta para autoridades e gestores públicos no sentido de adotarem práticas que minimizem os impactos ambientais e econômicos que esta espécie invasora poderá provocar em seu novo habitat.

REFERÊNCIAS

BOLTOVSKOY, D.; KARATAYEV, A.; BURLAKOVA, L.; CATALDO, D.; KARATAYEV, V.; SYLVESTER, F.; MARINÉLARENA, A.. Significant ecosystem wide effects of the swiftly spreading invasive freshwater bivalve *Limnoperna fortunei*.

Hydrobiologia, v.636, n.1, p.271-284, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-009-9956-9>

BRASIL. **Diagnóstico sobre a invasão do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) no Brasil**. Brasília: MMA, 2017.

BRASIL. **Plano nacional de prevenção, controle e monitoramento do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) no Brasil**. Brasília: MMA, 2020.

BRENTANO, A. M.. **Controle de larvas de *Limnoperna fortunei* coletadas em ambiente natural com uso de agente oxidante clorado**. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

CANZI, C.; BORTOLUZZI, L.; FERNANDEZ, D. R.. Ocorrência e situação atual do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) no reservatório da central hidrelétrica de Itaipu. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS. **Anais**. Brasília, 2005.

CANZI, C.; FIALHO, N. S.; BUENO, G. W.. Monitoramento e ocorrência do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) na hidroelétrica Itaipu Binacional, Paraná ((BR). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.5, n.2, 2014.

COLARES, E. R. C.; SUMINSKI, M.; BENDATI, M. M. A.. Diagnóstico e controle do mexilhão-dourado, *Limnoperna fortunei*, em sistemas de tratamento de água em Porto Alegre (RS, Brasil). In: SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais**. Vitória, 2002.

DARRIGRAN, G.; MANSUR, M. C. D.. Introdução e dispersão do *Limnoperna fortunei*. In: DARRIGRAN, G.; DAMBORENEA, C.. **Introdução a Biologia das Invasões, o mexilhão-dourado na América do Sul: biologia, dispersão, impacto, prevenção e controle**. São Paulo: Cubo, 2009. p.89-110.

FILIPPO, R.. Mexilhão-dourado nos ecossistemas brasileiros. **SEPRONEWS**, n.3, 2003.

MANSUR, M. C. D.; SANTOS, C. P.; DARRIGRAN, 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 ambiente. **Revista Brasileira de Zoologia**, v.20, n.1, p.75-84, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-81752003000100009>

MANSUR, M. C. D.; FIGUEIRÓ, H.; SANTOS, C. P.; GLOCK, L.; BERGONCI, P. E. A.; PEREIRA, D.. Variação espacial do comprimento e do peso úmido total de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) no delta do rio Jacuí e lago Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. **Biotemas**, v.21, n.4, p.49-54, 2008. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2008v21n4p49>

MARONÑAS, M. E.; DARRIGRAN, G. A.; SENDRA E. D.; BRECKON, G.. Shell Growth of the Golden mussel, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (*Mytilidae*), in the Río de La Plata, Argentina. **Hydrobiologia**. v.495, p.41-45, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1025463523364>

NEWELL, N. D.. Classification of Bivalvia. In: MOORE, R.. **Treatise on Invertebrate Paleontology**. Manhattan: University of Kansas, 1969. p. 205-223.

MORTON, B.S.; AU, C. S.; LAM, W. W.. Control of *Limnoperna fortunei*: the efficacy the chlorine in the control of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae) colonizing parts of Hong Kong's raw water supllly system. **Journal of Institution of water Engineers and Scientists**, v.30, p.147-156, 1976.

MUSIN, G. E.; MOLINA, F. R.; GIRI, F.; WILLINER, V.. Structure and density population of the invasive mollusc *Limnoperna fortunei* associated with *Eichhornia crassipes* in lakes of the Middle Paraná floodplain. **Journal of Limnology**, v.74, n.3, p.537-548, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2015.1107>

OLIVEIRA, M. D.. **Ocorrência e impactos do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) (Dunker 1857) no Pantanal Mato-Grossense**. Brasília: EMBRAPA, 2003.

OLIVEIRA, M. D, HAMILTON, S. K.; JACOBI, C. M.. Forecasting the expansion of the invasive golden mussel *Limnoperna*

fortunei in Brazilian and North American rivers based on its occurrence in the Paraguay River and Pantanal wetland of Brazil. **Aquatic Invasions**, v.5, n.1, p.59-73, 2010.

OLIVEIRA, M. D.; CALHEIROS, D. F.; JACOBI, C. M.; HAMILTON, S. K.. Abiotic factors controlling the establishment and abundance of the invasive golden mussel *Limnoperna fortunei*. **Biological Invasions**, v.13, p.717-729, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10530-010-9862-0>

PENAFORTE, L. R.. **Invasão do mexilhão-dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857): impactos, métodos de controle e estratégias de gestão adotadas.** Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

PEREIRA, S. M.. **Estudos ecológicos do Mexilhão-dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857): Experimentos de laboratório e observações de campo.** Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2014.

REBELO, M. F.; AFONSO, L. F.; AMERICO, J. A.; SILVA, L.; NETO, J. L.; DONDERO, F.; ZHANG, Q.. A sustainable synthetic biology approach for the control of the invasive golden mussel (*Limnoperna fortunei*). **Peerj Preprints**. 2018. DOI:

<https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.27164v3>

SOUZA, R.; NOVAIS, A.; COSTA, R.; STRAYER, D. R.. Invasive bivalves in fresh waters: impacts from individual to ecosystems and possible control strategies. **Hydrobiologia**, v.735, p.233-251, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1409-1>

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. *Hislopilii* n. e. b. (*euphorbiaceae*) para esta espécie.** Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

URYU, Y.; IWASAKY, K.; HINQUE, M.. Laboratory experiments on behaviour and movement of a freshwater mussel, *Limnoperna fortunei* (DUNKER). **Journal of a Molluscan studies**, v.62, n.3, p.327-341, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1093/mollus/62.3.327>

XU, M.; WANG, Z.; ZHAO, N.; PAN, B.. Growth, reproduction, and attachment of the golden mussel (*Limnoperna fortunei*) in water diversion projects. **Acta Ecologica Sinica**, v.35, p.70-75, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2015.06.006>

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157828592569155585/>