

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

Manual Técnico

CONTROLE AS MACROINCRUSTAÇÕES CAUSADAS PELA ESPÉCIE
Limnoperna fortunei NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA
DA COMPANHIA DE SANEAMENTO DE ALAGOAS (CASAL)

Ana Maria Edivia Silva dos Santos
Ronny Francisco Marques de Souza



INSTITUTO
FEDERAL
Alagoas



TECNOLOGIAS
Ambientais



ANEXO I - MANUAL TÉCNICO

CONTROLE ÀS MACROINCRUSTAÇÕES CAUSADAS PELA ESPÉCIE *Limnoperna fortunei* NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA COMPANHIA DE SANEAMENTO DE ALAGOAS (CASAL)

Ana Maria Edivia Silva dos Santos
Ronny Francisco Marques de Souza

MARECHAL DEODORO - AL

2021

MANUAL TÉCNICO

CONTROLE ÀS MACROINCRUSTAÇÕES CAUSADAS PELA ESPÉCIE *Limnoperna fortunei* NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA COMPANHIA DE SANEAMENTO DE ALAGOAS (CASAL)

Produto técnico originado da dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais – PPGTEC/IFAL (Modalidade Mestrado Profissional), pelo autor.

Linha de Pesquisa: Tecnologias ambientais

MARECHAL DEODORO – AL

2021

APRESENTAÇÃO

O presente documento constitui um manual, referente a uma proposta elaborada para uso de equipes técnicas de tratamento da Companhia de Saneamento de Alagoas - CASAL, Unidade de Negócios do Sertão - UNSERTÃO, para o controle às macroincrustações causadas pela espécie *Limnoperna fortunei*, conhecida popularmente por mexilhão-dourado, nos sistemas de captação e abastecimento de água afetados.

Esta espécie causou impactos importantes, nos sistemas de abastecimento de água da Companhia como: redução na eficiência de abastecimento, custo adicional com limpezas e manutenções para retirada das incrustações fixadas nos sistemas e problemas de ordem pública devido a paralisações no abastecimento de água.

O que justificou a elaboração deste manual foi o objetivo identificar, monitorar e aplicar as estratégias de combate às macroincrustações nos sistemas adutores de água, visando controlar a expansão do mexilhão-dourado de forma a evitar assim maiores prejuízos ao abastecimento público.

Este manual orientará sobre as ações que devem ser utilizadas como estratégias de controle às macroincrustações como também quais atividades técnicas deverão ser executadas estabelecendo-se como conteúdo básico, cronograma e processo necessário à legitimação do controle de incrustações.

SUMÁRIO

ANEXO I - MANUAL TÉCNICO	5
1. CONTEXTUALIZAÇÃO	10
2. PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA AS OPERAÇÕES INICIAIS NO CONTROLE ÀS MACROINCRUSTAÇÕES	12
3. EQUIPE TÉCNICA E SUAS ATRIBUIÇÕES NO CONTROLE ÀS MACROINCRUSTAÇÕES	15
4. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL – EPIS.....	17
5. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO CONTROLE ÀS MACROINCRUSTAÇÕES	18
6. PRODUTOS QUÍMICOS.....	20
7. CONTROLE ÀS MACROINCRUSTAÇÕES	22
7.1. Caracterização do ambiente	22
7.1.1. Ocorrência do <i>Limnoperna fortunei</i>	22
7.1.2. Levantamento de dados.....	23
7.2. Análise do nível de exposição e/ou incrustação do local.....	24
7.3. Métodos de controle.....	27
7.3.1. Métodos mecânicos	29
7.3.2. Métodos químicos	30
7.3.3. Métodos físicos	31
8 ANEXOS.....	32
9 CONSIDERAÇÕES.....	33
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O processo de invasão, adaptação e permanência do *Limnoperna fortunei* em sistemas de captação e tratamento de água, vem causando impactos ambientais e econômicos em empresas que utilizam água como atividade principal, independentemente do segmento ou porte, tais como a indústria, a geração de energia e a navegação, devido a sua capacidade de formar estruturas compactas conhecidas como “macrofouling” ou “biofouling” (formação de macroaglomerados), responsáveis por problemas de incrustação, e consequentemente obstrução destas estruturas.

As macroincrustações em instalações de captação e tratamento de água demonstram a potencial elevação dos custos de bombeamento, quando os valores do coeficiente de perda de carga se elevam e provocam uma drástica redução das vazões bombeadas, o que aumenta a preocupação de entidades ambientais e companhias de abastecimento públicas, além da grande problemática que este molusco vem causando às plantas de geração de energia.

Em estações de tratamento e abastecimento de água o *L. fortunei* apresenta histórico de formar macroincrustações em tubulações e equipamentos pela introdução de suas larvas planctônicas, com a característica de ligar-se a todo e qualquer tipo de substrato duro, permitindo sua fixação de forma descontrolada nas áreas operacionais causando problemas 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, entre outras complicações (Canzi *et al.*, 2005). Em alguns casos, sua ocorrência e consequente morte em uma estação de tratamento de água, devido operações mecânicas e processos químicos, leva a geração de resíduos orgânicos indesejáveis que podem modificar as características e a qualidade da água na estação, levando ao acréscimo de etapas no processo de tratamento (Mansur *et al.*, 2003).

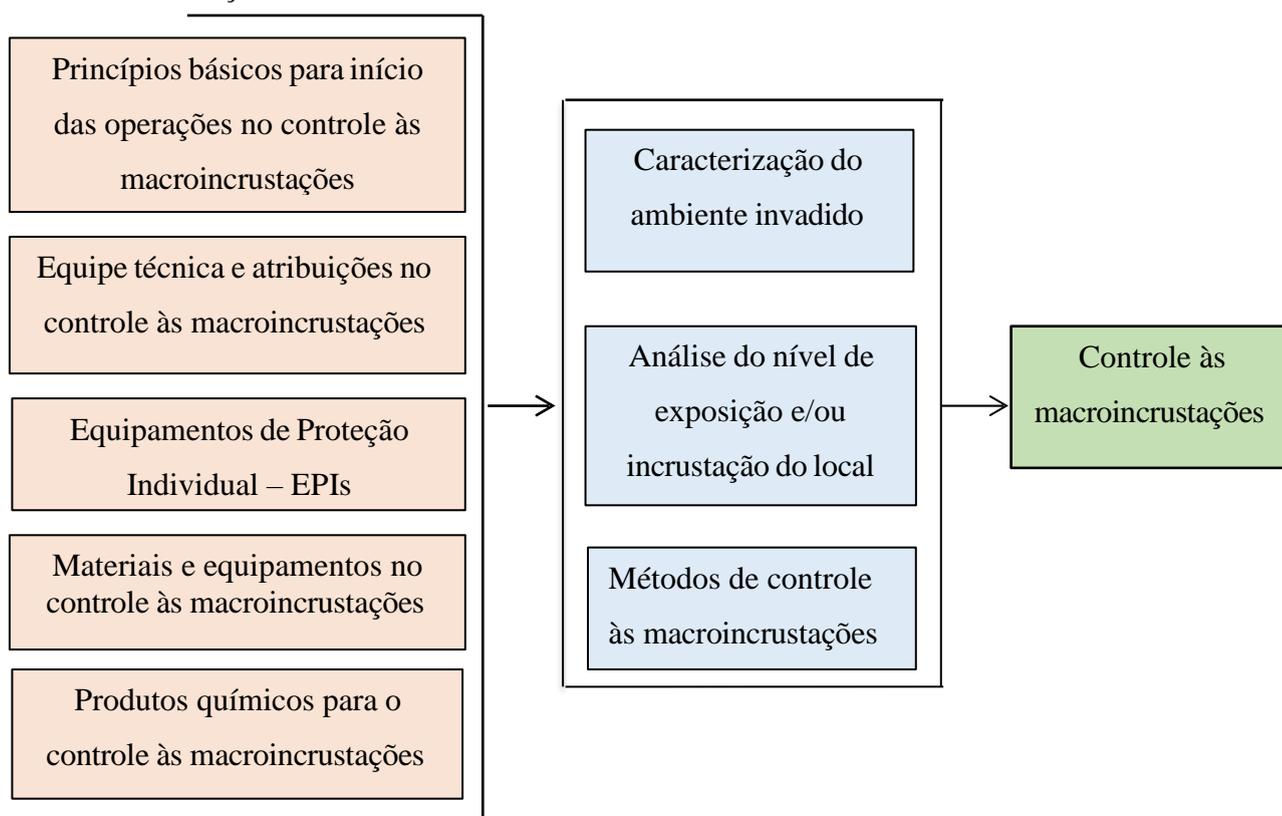
Esses impactos no âmbito ambiental, econômico e social alertam ao quão importante e imediato são: o conhecimento sobre as metodologias de controle e a utilização destes no combate às incrustações em plantas industriais e de tratamento de água dos setores e órgãos de abastecimento público de água potável afetado diretamente pela presença do molusco invasor em seus sistemas.

Medidas de controle para redução e/ou eliminação do avanço do *L. fortunei*, nas plantas de captação e tratamento dos sistemas de abastecimento de água da Companhia de Saneamento de Alagoas – CASAL subsidiaram a elaboração deste manual através de

procedimentos de controle da disseminação da espécie, servindo como base e visando à garantia da continuidade do abastecimento com qualidade e segurança hídrica.

Este manual vem a corroborar com o controle às macroincrustações demonstrando metodologias, técnicas e equipamentos que possam minimizar ou mesmo eliminar o avanço das incrustações nos sistemas de abastecimento de água afetados, visando à geração mínima de contaminantes, não alteração das características da água e sendo economicamente viável, abrangendo procedimentos mapeados por estratégias definidas para serem cumpridas como ações práticas operacionais, e seu conteúdo está distribuído conforme fluxograma:

Fluxograma de procedimentos e práticas de condução das estratégias de controle às macroincrustações



O fluxograma acima descreve os passos iniciais para conduzir o alcance das metas, onde se destacam as etapas de diagnóstico da situação atual dos sistemas afetados e das incrustações, captação dos recursos necessários para tomada de ação, definição das metas e soluções a serem tomadas através das medições de parâmetros e consolidação das estratégias de controle para o alcance das metas através do uso dos métodos descritos nos procedimentos práticos operacionais.

2. PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA AS OPERAÇÕES INICIAIS NO CONTROLE ÀS MACROINCRUSTAÇÕES

Inicialmente alguns elementos cruciais para o controle das macroincrustações causadas pelo mexilhão nos sistemas de captação e tratamento de água, devem ser tomados e analisados, pois são significativamente importantes à execução dos procedimentos descritos neste manual. São eles:

- **Escolha dos pontos de abertura das tubulações para coletas de amostras, vistorias e utilização dos métodos de controle.**

Devem-se considerar características locais como:

- Facilidade de acesso periódico ao local para monitoramento;
- Logística de materiais, equipamentos e métodos a serem utilizados;
- Segurança, confiabilidade e eficiência das técnicas utilizadas.

- **Amostragens laboratoriais qualitativas e quantitativas da incrustação nos dois períodos sazonais mais críticos local.**

- Clima chuvoso e frio;
- Clima mais quente e seco.

Outros dados primordiais que servem como base de confirmação da presença da espécie invasora *L. fortunei* nos sistemas de abastecimento de água para tomada de ações de combate à espécie são:

- **Registros das ocorrências verificadas desde a primeira detecção do molusco nos sistemas.**

- Registro através da verificação *in loco*, por avaliação tátil e visual nos pontos detectados com aglomerações pelo molusco;
- Verificação dos boletins operacionais constatando a presença de incrustações em tubulações e equipamentos nos sistemas de abastecimento de água.

- **Índices, dados e informações nas áreas operacionais, gerenciais e administrativas dos serviços.**

- Registros de ocorrências relacionadas às macroincrustações obtidas em plataformas eletrônicas intranet, laudos e boletins das áreas operacionais, gerenciais e administrativas.
- **Registros de boletins operacionais e relatórios analíticos referentes à qualidade da água.**
 - Laudos dos parâmetros de potabilidade de água bruta das captações, analisados semestralmente, conforme exigido pela Portaria de Consolidação de controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (origem: PRT MS/GM 2914/2011) n° 05/2017, anexo XX, do Ministério da Saúde.
- **Registros das manutenções dos sistemas de abastecimento de água.**
 - Registros da presença de incrustações durante realização de serviços de: manutenção preventiva ou corretiva em equipamentos de bombeamento de água, abertura de tubulações, desmontagem de bombas, válvulas e conexões das redes adutoras e paralisações de sistemas de tratamento.

Os procedimentos de paralisação do abastecimento para execução de serviços de manutenção preventiva e corretiva, amostragens e vistoria dos sistemas de captação e abastecimento de forma geral são:

- **Procedimento de paralisação do abastecimento**
 1. Planejamento da execução do serviço e apontamento dos materiais necessários;
 2. Comunicação prévia para as equipes envolvidas nas ações (operadores e auxiliares das estações de tratamento e corpo técnico executor);
 3. Comunicação externa à população através de meios de comunicação da região referente ao procedimento de parada do abastecimento;
 4. Preparação para a paralisação do abastecimento (regulação de dosagem de químicos da água tratada, contralavagens e descargas de fundo nos filtros de areia, preparo de equipamentos e materiais);
 5. Manutenção do reservatório de água tratada no volume máximo para garantir população abastecida durante execução do serviço;
 6. Paralisação do bombeamento de água bruta das captações;

7. Paralisação do tratamento de água na ETA;
8. Desmontagem de bombas, tubulações, conexões, registros e/ou válvulas do sistema de captação conforme programado;
9. Início da execução do serviço conforme programação;
10. Finalização do serviço conforme programação;
11. Montagem de bombas, tubulações, conexões, registros e válvulas que foram desmontados;
12. Partida do bombeamento do sistema de captação de água bruta;
13. Partida do tratamento de água na ETA;
14. Recuperação do volume do reservatório de água tratada para garantir o abastecimento de água da população;
15. Partida do bombeamento de água à população, isto se o abastecimento tiver sido comprometido durante execução do serviço.

Obs.: Estes procedimentos, vez ou outra, possuem algumas peculiaridades que vem a modificar ou acrescentar alguns passos, mas que não interfere na sequência executiva do serviço.

3. EQUIPE TÉCNICA E SUAS ATRIBUIÇÕES NO CONTROLE ÀS MACROINCRUSTAÇÕES

Um desafio constante e diário, perseguido pelas empresas de saneamento, mas especificamente pelos profissionais que atuam direta ou indiretamente na condução das atividades e serviços das Estações de Tratamento de Águas – ETAs e seus sistemas, é a garantia assegurada em legislação específica em se obedecer aos parâmetros de potabilidade da água e assegurar a capacidade hídrica do abastecimento público continuamente. As equipes técnicas envolvidas nos serviços de operação, monitoramento, controle, planejamento e distribuição do abastecimento de água são constituídas por:

- **Equipe de assistentes operacionais - Constituída pelos profissionais assistentes operacionais das estações de abastecimento responsáveis por:**
 - Serviços de operação, monitoramento e controle dos sistemas de captação, tratamento e abastecimento de água;
 - Registro de dados e informações operacionais verificadas durante execução dos processos em boletins e ATAs operacionais.

- **Equipe técnica eletromecânica - Constituída pelos profissionais técnicos em mecânica, técnicos em eletrotécnica e encanadores responsáveis por:**
 - Serviços de manutenção preventiva ou corretiva e atendimento a chamados em situações atípicas para serviços em equipamentos de bombeamento de água, adutoras e paralisações de sistemas de tratamento;
 - Abertura e desmontagem de bombas, tubulações, válvulas e conexões das redes;
 - Manobras de abastecimento;
 - Serviços de manutenção preventiva e/ou corretiva de equipamentos danificados.

- **Equipe técnica Química - Constituída pelos profissionais técnicos em química responsáveis pelos serviços de amostragem de:**
 - Dados e informações operacionais, administrativas e de produção dos sistemas de abastecimento;
 - Registro das características ambientais do meio (ambiente, água, vegetação, solo);

- Água para caracterização da qualidade (através das análises físico-químicas e microbiológicas da água);
 - Caracterização quantitativa (densidade populacional de espécies).
- **Equipe de engenharia - Constituída pelos profissionais de engenharia: química, mecânica, elétrica, civil e biólogos responsáveis por:**
- Análises dos dados e informações operacionais, administrativas e de produção;
 - Tomadas de decisões das ações durante paralisações;
 - Tomada de decisões para serviços de manutenção preventiva e/ou corretiva dos equipamentos;
 - Planejamento de estratégias para tomada de ações;
 - Organização e condução das equipes para tomada de ações.
- **Equipe de comercial/administrativo - Constituída pelos profissionais administrativos e assistentes das áreas comerciais e de produção responsáveis pelo levantamento de informações de:**
- Dados de faturamento de água distribuída;
 - Ligações ativas de abastecimento público;
 - Quantitativo de paralisações mensais ocorridas;
 - Custos com não abastecimento;
 - Custos com manutenções preventivas e/ou corretivas;
 - Perdas por faturamento devido paralisações.

4. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL – EPIS

Utilizar EPI apenas para a finalidade a que se destinam, responsabilizando-se pela limpeza, guarda e conservação, substituindo-os quando houver qualquer alteração que os tornem impróprios para uso. A escolha do EPI dependerá do procedimento a ser realizado pelo profissional.

▪ Equipe de Assistentes operacionais e eletromecânicos

- Luvas de raspa de couro – Para atividades industriais que representem riscos físicos para as mãos em serviços em geral que exigem do colaborador o carregamento e manipulação de objetos abrasivos e escoriantes;
- Botas de couro - Para proteger os pés do trabalhador contra impactos, danos térmicos, umidade e produtos químicos;
- Óculos de proteção - Para proteção da visão contra eventuais impactos de partículas volantes multidirecionais;
- Protetor auricular tipo plug – Para reduzir o nível de ruído excessivo que chega ao ouvido do trabalhador até um nível que não cause danos ao seu sistema auditivo.

▪ Equipe química

- Luvas de procedimento nitrílica – Para manipulação em procedimentos analíticos que exija alguma resistência;
- Botas de couro – Para proteger os pés do trabalhador contra impactos, danos térmicos, umidade e produtos químicos;
- Óculos de proteção - Para proteção da visão contra eventuais impactos de partículas volantes multidirecionais;
- Protetor auricular tipo plug – Para reduzir o nível de ruído excessivo que chega ao ouvido do trabalhador até um nível que não cause danos ao seu sistema auditivo.

▪ Equipe de engenharia e administrativa

- EPI apenas para a finalidade a que se destinam, dependerá do procedimento a ser realizado pelo profissional.

5. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO CONTROLE ÀS MACROINCRUSTAÇÕES

A escolha dos materiais, equipamentos e utensílios para uso nos serviços de controle às incrustações se baseou na possibilidade de execução dos procedimentos em relação à extensão da invasão e ao tempo do serviço, levando-se também em consideração a disponibilidade dos recursos materiais a serem utilizados pela CASAL durante os procedimentos, melhor logística e facilidade de acesso ao local. Estes instrumentos devem ser usados unicamente para os fins aos quais foram projetados, estando em bom estado de conservação e funcionamento, dando-se atenção à escolha do procedimento a ser executado para definição dos equipamentos a serem empregados nas atividades.

Segue a lista dos principais equipamentos e máquinas indicados para utilização nos procedimentos de controle às macroincrustações.

▪ Procedimentos eletromecânicos:

- Alavancas metálicas sextavadas;
- Anéis de borracha para vedação;
- Conjunto chave combinada boca e estrela;
- Escova de aço para raspagem;
- Cavadeira reta para raspagem;
- Pá de bico;
- Enxada estreita;
- Lavadora de alta pressão;
- Vassourão piaçava gari;
- Pórtico móvel com talha manual para içamento de equipamentos;
- Lixadeira angular;
- Máquina de solda inversora;
- Aparelho de medição pitométrica Lamon 5400086, para determinação pitométrica da vazão interna nas tubulações;
- Cintas de içamento de carga;
- Gerador de energia portátil à gasolina;
- Equipamento de retroescavamento – Máquina retroescavadeira;
- Equipamento de hidrojateamento – Caminhão hidrojato.

- **Procedimentos de controle às macroincrustações:**
 - Câmera endoscópica de marca SmartCam modelo HY-5908;
 - Tubo flexível de PVC com 15 metros de comprimento;
 - Espátula ou formão chanfrado para raspagem e coletas;
 - Trena de medição com 5,0 metros de comprimento;
 - Paquímetro digital com precisão de 0,01 mm;
 - Recipientes plásticos para amostragem de água e organismos;
 - Bandejas plásticas capacidade 3,0 litros;
 - Luminária de emergência autônoma LED;
 - Pinça de aço inox;
 - Lupa;
 - Termômetro de mercúrio, com certificado de aferição pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro);
 - Becker de plástico de 250 mL;
 - Comparadores Visodisc Policontrol para medição da concentração de cloro livre pelo método colorimétrico com reagente DPD;
 - Equipamento condicionador eletromagnético para combate às incrustações, GASPAR-A, da LGM Engenharia.

- **Procedimentos Laboratoriais físico-químicos:**
 - pHmetro digital Instrutemp modelo ITMPA-210;
 - Condutivímetro digital Tecnopon modelo MCA-150;
 - Turbidímetro digital Policontrol modelo AP2000 WT;
 - Forno mufla de 1200°C;
 - Dessecador;
 - Balança analítica de precisão;
 - Equipamentos e vidrarias para filtração à vácuo;
 - Membrana de filtração de 1,2 µm;
 - Cápsula de porcelana de 80 mL;
 - Estufa de secagem e esterilização;
 - Buretas 100mL;
 - Pipetas volumétricas;
 - Erlenmeyer de 250 mL.

6. PRODUTOS QUÍMICOS

Todos os produtos químicos apresentam algum risco para quem os manuseia, dessa forma a empresa responsável deve orientar e treinar seus colaboradores, sobre a utilização correta dos produtos químicos e os riscos para a saúde e/ou para as áreas a serem utilizados, considerando sempre o uso das medidas de proteção EPI (Equipamento de Proteção Individual) necessárias.

Em qualquer diluição de produtos concentrados, o colaborador deve seguir as orientações descritas nos protocolos para obter o resultado esperado. As diluições devem ser feitas com muito cuidado, evitando respingos de produtos concentrados, tanto no ambiente onde está sendo feita a manipulação como também para o colaborador.

Alguns produtos, principalmente os concentrados, podem causar irritação na pele, olhos, mucosas e até queimaduras nos operadores. O colaborador deve sempre estar atento às dosagens recomendadas, uma vez que nas dosagens manuais podem ocorrer erros na diluição, o que inclusive compromete a eficácia do produto sendo obrigatória a utilização de um dosador para proceder à diluição.

Engano comum no manuseio de produtos químicos para limpeza é achar que misturar produtos aumenta eficácia, o que não é verdade. A mistura pode produzir gases tóxicos, níveis de calor perigosos, danos à saúde como ao meio ambiente, sem contar que a mistura pode neutralizar os produtos, invalidando a aplicação.

Dentre os produtos químicos utilizados nos procedimentos adotados neste manual estão os compostos liberadores de cloro ativo para utilização no controle às macroincrustações causadas pelo mexilhão-dourado nas tubulações, equipamentos e sistemas afetados.

▪ **Inorgânicos - Os mais utilizados são hipocloritos de sódio e cálcio.**

- Características: bactericida, virucida, fungicida e esporicida, dependendo da concentração de uso.
- Apresentação líquida ou pó; amplo espectro; ação rápida e baixo custo.
- Indicação: desinfecção.
- Mecanismo de ação: o exato mecanismo de ação ainda não é completamente elucidado.

- Desvantagens: instável (afetado pela luz solar, temperatura >25°C e pH ácido). Inativo em presença de matéria orgânica; corrosivo para metais; odor desagradável, e pode causar irritabilidade nos olhos e mucosas.
- Concentração de uso: desinfecção 0,02% a 1,0%.

▪ **Orgânicos - Os ácidos dicloroisocianurato de sódio e tricloroisocianúrico são os compostos desse grupo**

- Características: bactericida, virucida, fungicida e esporicida, dependendo da concentração de uso.
- Apresentação em pó. Mais estável que o cloro inorgânico.
- Indicação: descontaminação.
- Mecanismo de ação: o exato mecanismo de ação ainda não é completamente elucidado.
- Concentração de uso: 1,9% a 6,0%, com tempo de ação conforme comprovado pelo fabricante.

Para utilização em procedimentos de amostragens laboratoriais, os produtos químicos adotados são:

▪ **Álcool 70° - Utilizado para conservação de amostras de organismos.**

- Características: bactericida, virucida e fungicida. Não é esporicida.
- Fácil aplicação e ação imediata.
- Indicação: Conservação de amostragem de espécies.
- Mecanismo de ação: desnaturação das proteínas que compõem a parede celular dos microrganismos.
- Desvantagens: inflamável, volátil, opacifica acrílico, resseca plásticos e borrachas; ressecamento da pele.
- Concentração de uso: 60% a 90% em solução de água volume/volume.

7. CONTROLE ÀS MACROINCRUSTAÇÕES

7.1. Caracterização do ambiente

A percepção da realidade do sistema afetado avaliada através observação de suas peculiaridades locais, deve tomar como base o atendimento às necessidades demandadas por cada sistema. A caracterização do ambiente afetado é feita através de duas perspectivas: através do registro de ocorrências da presença da espécie e pelo levantamento de dados operacionais e de produção nos sistemas.

7.1.1. Ocorrência do *Limnoperna fortunei*

Diagnóstico, com foco técnico, estruturado com dados e informações sobre o perfil do local de ocorrência das macroincrustações, através da descrição correta da situação atual do sistema, relacionada ao avanço das incrustações causadas pelo mexilhão-dourado fundamentado pelas seguintes informações:

- **Por localização geográfica**

Recomenda-se a utilização do georeferenciamento por GPS para localização das coordenadas do ponto amostrado, fundamental para estimar o sentido da dispersão e, conseqüentemente, possível projeção de introdução.
- **Por densidade populacional da incrustação**

Contabilização da população da espécie em razão do número total de indivíduos coletados por área total amostrada em m².
- **Por características ambientais do local (solo, vegetação, chuvas).**

Descrição das peculiaridades ambientais observadas no local (tipo de solo, vegetação, incidência solar, chuvas, etc.).
- **Por características da água**

Descrição das características da água do manancial (presença de sujidades, alteração de cor e odor, crescimento de algas e vegetação, animais mortos, contaminação, etc.).
- **Por características da incrustação**

Descrição das características da incrustação (espessura da incrustação, localização, características das colônias, etc.). Recomenda-se uso de equipamento de medição métrica (régua, trena, paquímetro) para dimensionamento da incrustação.

- **Por visualização e dimensão do avanço das incrustações**

Amostragem fotográfica e filmagens com o auxílio de câmara endoscópica.

7.1.2. Levantamento de dados

O levantamento das informações registradas nas áreas comerciais e de produção dos sistemas é fundamental para o conhecimento da situação atual dos sistemas e o quão afetados estes se encontram para definição de estratégias para tomadas de decisões após as análises críticas destes dados coletados.

As informações obtidas nas medições dos processos, produção de água, e nos registros operacionais, de produção e da característica da água, nos sistemas de abastecimento, são importantes neste acompanhamento, pois através das observações de todo o processo, registradas desde a captação até a estação de tratamento é possível gerar informações básicas para a caracterização da invasão da espécie nos sistemas estudados e montagem de cronograma de procedimentos estratégicos para controle às macroincrustações.

- **Dados de faturamento de água distribuída**

Volume mensal (m³) de água faturada após produção e distribuição em rede de abastecimento público.

- **Ligações ativas de abastecimento público**

Número de ligações ativas na rede de abastecimento público.

- **Quantitativo de paralisações devido macroincrustações**

Quantitativo mensal de paralisações devido às incrustações causadas pelo mexilhão-dourado no sistema invadido.

- **Custos com não abastecimento**

Volume mensal de água não faturada devido às paralisações.

- **Custos com manutenções devido macroincrustações**

Soma dos custos gerados devido serviços de manutenção realizados em razão das macroincrustações causadas pelo mexilhão-dourado.

- **Perdas por faturamento devido paralisações**

Soma dos custos gerados pelo não faturamento de água devido às paralisações.

Essas informações auxiliarão na compreensão das especificidades dos locais e os quais afetados estes se encontram devido à invasão. Destaca-se ainda que a caracterização do ambiente com informações e dados em uma perspectiva histórica permite o enfrentamento de determinados gargalos ou dificuldades futuras, configurando uma das ações estratégicas para o atingimento dos objetivos deste manual.

7.2. Análise do nível de exposição e/ou incrustação do local

Encontro de dados e informações que venham a viabilizar o alcance das metas com a aplicação das ações de controle às macroincrustações. Estes dados são norteadores estratégicos que levam ao entendimento sobre o mecanismo de avanço das macroincrustações encontradas nos sistemas invadidos, e concede informações diretamente ligadas à:

- Garantia do abastecimento público de água;
- Fornecimento de água dentro dos parâmetros de potabilidade conforme Portaria de consolidação nº05/2017, anexo XX do MS;
- Manutenção de seus equipamentos de abastecimento, de forma a garantir a capacidade hídrica nominal do sistema;
- Redução de impactos no abastecimento público.

Os dados levantados para diagnóstico e análise crítica dos problemas enfrentados, definindo os pontos fortes (positivos) e os pontos fracos (negativos) para tomadas de decisão foram:

- **Medições pitométricas de vazão da água nas tubulações**

- Utilizar o aparelho para determinação pitométrica da vazão interna nas tubulações adutoras de água bruta de acordo com o manual do equipamento;
 - Utilizar a técnica de medição da vazão e pressão do líquido em escoamento na tubulação, com o auxílio do equipamento denominado tubo Pitot;
 - Instalar a haste de medição (tubo de Pitot) no ponto de tomada de medição na tubulação;
 - Proceder com a medição e anotar resultados e registrar.
- **Amostragem quantitativa de indivíduos**
- Coletar periodicamente (a cada 06 meses), nos pontos de abertura das tubulações, amostras dos mexilhões fixados nos substratos;
 - Marcar pequenos trechos de seção de 10 x 10 cm nas paredes da tubulação incrustada;
 - Retirar os indivíduos com auxílio de uma espátula;
 - Fixar os indivíduos coletados em álcool 70% acondicionando-os em recipientes plásticos devidamente identificados com etiquetas;
 - Encaminhar amostras coletadas para o laboratório.
- **Densidade Populacional**
- No laboratório selecionar os indivíduos coletados um a um, através da separação daqueles que estão agregados uns aos outros e ainda presos em substratos e detritos;
 - Lavar as amostras segregadas e colocar em bandejas plásticas sob fonte de luz auxiliar;
 - Realizar a contagem de cada amostra de forma manual com auxílio de uma pinça de aço inox;
 - Calcular a densidade populacional através da relação entre o número de indivíduos encontrados no recorte da amostra de 10 x 10 cm.
 - A densidade de indivíduos deve ser calculada pela razão entre o número de indivíduos e a área amostrada em m², conforme abaixo:

$$\text{Densidade populacional} = n^{\circ} \text{ indivíduos} / \text{área amostrada (m}^2\text{)}$$

- **Biometria**

- Selecionar os indivíduos para contagem biométrica das conchas com o auxílio de uma lupa e um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm;
- Quantificar os indivíduos de acordo com sua classe de tamanho, isto é, conforme seu comprimento máximo (distância da extremidade anterior, situada logo abaixo e à frente dos umbos, até a extremidade posterior da concha);
- Considerando o comprimento dos indivíduos, distribuir a amostragem em tabelas de frequências em intervalos de 5,0 mm, para análise dos dados.

- **Amostragem qualitativa da água**

- Anotar todas as peculiaridades relevantes ao local, isto é, observando-se as características da água, do local e do tempo, como: cor, odor, presença de algas, óleos, corantes, material sobrenadante e peixes ou outros animais aquáticos mortos;
- Utilizar a técnica de coleta conforme amostra a ser coletada: o tipo de água (água superficial), o tipo de amostragem (amostra simples ou composta) e a natureza das análises a serem efetuadas entre físico-químicas ou microbiológicas.

- **Parâmetros físico-químicos**

1. Temperatura – Aferida no local no momento da coleta com um termômetro de mercúrio, com certificado de aferição pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro). Em um Becker de 250 mL colocar uma amostra de 150 ml de água onde foi imerso o termômetro até o material dilatante (mercúrio) estabilizar e proceder à leitura.
2. Análise de pH – Através de pHâmetro digital. Imergir o eletrodo do aparelho em 150 mL de água dispostos em um Becker de 250 mL até estabilização.
3. Análise de condutividade – Através de condutivímetro digital. Imergir o eletrodo do aparelho em 150 mL de água dispostos em um Becker de 250 mL até estabilização.
4. Determinação de turbidez – Através de turbidímetro digital. Inserir a amostra em uma cubeta do aparelho que deve ser inserida no leitor até estabilização do resultado.
5. Sólidos suspensos totais – Utilizar o método gravimétrico, baseado na diferença entre as massas, seca e úmida, em relação ao volume de amostra. Método de análise

descrito no manual de procedimento operacional de análises do laboratório UNSERTÃO – CASAL, descrito no anexo I.

6. Determinação da concentração de cálcio – Para a determinação do teor de cálcio dissolvido na água utiliza-se o método titulométrico empregando o indicador Murexida. Método de análise descrito no manual de procedimento operacional de análises do laboratório UNSERTÃO – CASAL, descrito no anexo II.

7.3. Métodos de controle

A escolha de quais métodos de controle às incrustações seriam utilizados nos sistemas afetados foi planejada considerando-se a classificação das características da incrustação conforme seu nível ou grau da invasão para então determinar quais métodos seriam empregados no controle às macroincrustações.

Esta classificação avaliou o perfil comportamental da invasão da espécie nos sistemas afetados, baseando-se no quantitativo de indivíduos distribuídos durante a realização dos procedimentos de amostragens biométricas de comprimento da espécie e levou em consideração os seguintes itens:

- 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 25mm);
- Extensão da incrustação (pontuais, curtas, extensas).

Sendo assim a caracterização acima serviu como base para a elaboração de um cronograma para aplicação dos procedimentos de controle das incrustações, que utilizou os métodos mecânicos por raspagem ou jateamento de água a alta pressão, químicos por diluição de compostos dicloroisocianurato de sódio e ácido tricloroisocianúrico, e físico por emissão de ondas eletromagnéticas, de acordo com o grau de incrustação encontrado nas tubulações.

A escolha destes métodos se baseou na possibilidade de execução dos procedimentos em relação à extensão da invasão e ao tempo, levando-se também em consideração a disponibilidade dos recursos materiais a serem utilizados pela CASAL durante os procedimentos, melhor logística e facilidade de acesso ao local.

Foi criado um cronograma de ações de controle às incrustações que tomou como base as características das incrustações relacionadas à medição quantitativa biométrica dos indivíduos coletados, que seguiu a classificação conforme descrito abaixo:

- 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 a 15 mm de comprimento;
- Incrustações semi-críticas – Quando camadas de mexilhão encontradas em equipamentos se estendiam para outros processos, mas ainda havia possibilidade de limpezas pontuais. Predominância de indivíduos entre 15 e acima de 20 mm de comprimento;
- Incrustação crítica - Quando a invasão alcançava níveis máximos, levando a obstruções, colapso no abastecimento e a macroincrustação se estendia além dos equipamentos verificados, não podendo se avaliar a extensão da incrustação. Predominância de indivíduos 15 e acima de 25 mm de comprimento.

A caracterização acima conduziu a utilização dos métodos de controle às incrustações nos sistemas de captação de água bruta seguindo uma frequência periódica de limpezas descritas conforme a Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 - Cronograma ações de controle às incrustações nos sistemas afetados de acordo com sua classificação.

Classificação das incrustações	Métodos	Frequência de limpezas
Iniciais	Químico (pastilha) individual	Semanalmente
	Mecânico (raspagem) individual	A cada 25 a 30 dias
Comuns	Mecânico (raspagem) + Químico (granulado)	A cada 30 a 60 dias
Semi-críticas	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 constitui-se de um procedimento contínuo, isto é, quando instalado, o equipamento deve ser utilizado ininterruptamente.

O cronograma elaborado (Tabela 1) 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 macroincrustações até em situações críticas de invasão. Os métodos de controle utilizados pela CASAL foram:

7.3.1. Métodos mecânicos

Tratamento que atinge os indivíduos adultos de forma pontual e imediata, necessitando de reaplicação periodicamente conforme especificação escrita no cronograma de ações de controle às incrustações descrita anteriormente (Tabela 1).

▪ Raspagem mecânica

Retirada de incrustações com auxílio de instrumentos raspadores.

- Espátulas,
- Pás de bico e enxadas;
- Vassourões;
- Escova de aço para raspagem;

- Cavadeira reta para raspagem.

▪ **Jateamento de água a alta pressão**

Jateamento de água a alta pressão com auxílio de caminhão tanque de hidrojateamento.

- Proceder com a abertura da tubulação no ponto que se deseja jatear;
- Instalar ou preparar na saída da tubulação uma rede em nylon para recolhimento de sujidades carregadas durante limpeza;
- Acoplar tubo flexível de jateamento a caminhão tanque hidrojetado;
- Iniciar o procedimento de jateamento sendo inseridos 15 metros de tubo flexível à jusante e à montante deste ponto.

7.3.2. Métodos químicos

Aplicação de compostos oxidantes a base de cloro, sendo estes: o dicloroisocianurato de sódio granulado e o ácido tricloroisocianúrico em pastilha.

▪ **Utilização do composto granulado dicloroisocianurato de sódio**

- Proceder com a abertura da tubulação no ponto desejado;
- Dosagem do produto químico, medida com base na concentração de cloro mínima na água, de 0,5 mg/l para combate às incrustações;
- Introdução do composto químico dicloroisocianurato de sódio granulado no interior da tubulação;
- Fechar o ponto de abertura da tubulação após adição do produto químico;
- Iniciar a partida do bombeamento de água para enchimento total das tubulações;
- Diluição deste produto químico no interior das tubulações;
- Proceder com a verificação da concentração de cloro livre da solução preparada através de análises pelo método colorimétrico com reagente DPD em comparadores Visodisc;
- Deixar as tubulações imersas em solução clorada durante um período de 24 horas para ação do produto;
- Após término do tratamento, iniciar o bombeamento gradativamente;
- Verificar a eliminação completa da solução clorada na água drenada, através de análises de cloro livre em comparadores colorimétricos.

▪ **Utilização do ácido tricloroisocianúrico em pastilha**

- Após paralisação do bombeamento do sistema de captação, em um recipiente plástico totalmente perfurado e preencher seu conteúdo totalmente com as pastilhas de ácido tricloroisocianúrico;
- Fixar o recipiente, totalmente preenchido com o produto químico, na boca de sucção da bomba de captação desativada;
- Após fixação do recipiente, iniciar a partida do bombeamento de água para iniciar o processo de diluição deste produto químico no interior das tubulações.
- Proceder com a verificação da concentração de cloro livre através de análises pelo método colorimétrico com reagente DPD em comparadores Visodisc na água de chegada da Estação de Tratamento – ETA em questão.
- Durante este período de dissolução do produto químico, os indivíduos da espécie *L. fortunei* serão eliminados gradativamente através da corrente de fluxo das tubulações de água bruta até a ETA sendo estes indivíduos recolhidos nos procedimentos de descargas da ETA e de lavagens dos filtros;
- A autonomia de permanência da pastilha no recipiente leva em torno de 3 a 4 dias, sendo necessária a reposição do produto periodicamente.

7.3.3. Métodos físicos

Utilização do equipamento GASPAR-A, um condicionador eletromagnético para combate às incrustações da empresa LGM Engenharia. O método eletromagnético constitui-se de um procedimento contínuo, isto é, quando instalado, o equipamento deve ser utilizado ininterruptamente.

▪ **Utilização de condicionador eletromagnético para combate às incrustações**

- Instalado ao redor (encamisamento) de algumas tubulações na sucção e recalque das bombas de captação;
- Utiliza a emissão de ondas eletromagnéticas por uma câmara de bobinas chamadas de solenóides instaladas ao redor do fluxo da água, que induz uma força eletromagnética sobre as partículas da água.

8 ANEXOS

ANEXO I - Método de análise de sólidos suspensos conforme descrito no manual de procedimento operacional de análises do laboratório UNSERTÃO – CASAL

SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS
<ul style="list-style-type: none"> • Calcinar-se uma membrana de filtração de 1,2 μm em uma cápsula de porcelana de 80 mL em Mufla a $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 15 minutos; • Deixar resfriar em dessecador; • Proceder com a pesagem da membrana para obter a massa inicial M_i; • Utilizando a membrana realizar uma filtração a vácuo de uma alíquota da amostra; • Após término da filtração, levar a membrana para estufa em uma temperatura entre 103 a 105 $^{\circ}\text{C}$ até obtenção de medição constante (aproximadamente 2h); • Retirar a cápsula da estufa deixando-a esfriar em dessecador; • Finalizar com a pesagem e obtenção da massa final M_f. • O valor dos sólidos suspensos totais é obtido pela diferença entre $M_f - M_i$.

ANEXO II - Método de análise de concentração de cálcio conforme descrito no manual de procedimento operacional de análises do laboratório UNSERTÃO – CASAL

DETERMINAÇÃO DE CÁLCIO (Cavalcante, 2012)
<p>Utilizar neste experimento os reagentes: solução padrão de carbonato de cálcio, solução padrão de EDTA 0,02N, solução de Hidróxido de Sódio (NaOH) 6N, indicador Murexida (APHA, 1998)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Após homogeneização da amostra, medir 100 mL e transferir para um Erlenmeyer de 250 mL; • Adicionar aos poucos a solução de NaOH 6N até atingir pH de $12 \pm 0,1$ (aproximadamente 1 mL); • Em seguida adicionar o indicador Murexida; • Proceder com a titulação da amostra com solução EDTA 0,02N até a viragem da cor rósea para púrpura.

9 CONSIDERAÇÕES

As informações obtidas nos registros operacionais e de produção de água, como também da característica da qualidade da água dos sistemas afetados, tiveram um papel importante na construção deste manual.

Foi através das observações operacionais e de produção de água realizadas em todo o processo, desde a captação até a distribuição, que puderam ser gerados os procedimentos básicos tanto para uma caracterização comportamental da invasão da espécie, como também para tomada de ações no combate às macroincrustações.

Desta forma este manual corrobora com o processo de propagação das informações sobre a proliferação do molusco nos sistemas de captação superficial de água, de suma importância para empresas e segmentos que tem a água como elemento principal em seus processos de produção, como também serve de subsídio para utilização dos métodos de controle do *L. fortunei* que estejam em estudo ou em aplicações em outros sistemas de tratamento de água em outros estados brasileiros.

Frente a tudo que foi descrito até o momento, este manual vem trazer o embasamento para que os procedimentos de controle às macroincrustações, realizada pela equipe técnica de tratamento da Companhia de Saneamento de Alagoas - CASAL, Unidade de Negócios do Sertão – UNSERTÃO, seja feito de um modo sistematizado visando à economia de materiais sem perder de vista a qualidade da assistência, a racionalização do dispêndio de esforços e tempo, pois por meio da padronização dos procedimentos da atividade laboral diminuirá as chances de erros, exposições ocupacionais e a geração de resíduos.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA – American Public Health Association. Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th, **1998**.

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. Brasília, **2005**.

CAVALCANTE, E.C. Manual de procedimentos operacionais padrão – POP. Gerência de qualidade do produto - GEQPRO. Companhia de Saneamento de Alagoas – CASAL. Maceió, **2012**.

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**.