

# MAN SO NIA

**Controle e vigilância entomológica  
na Hidrelétrica Santo Antônio**

**LIVRO 2**

**JOSÉ BENTO PEREIRA LIMA  
ROBINSON ANTONIO PITELLI  
ORGANIZADORES**

Livro produzido por

R. General Góis  
Monteiro, 550 - São  
Paulo - SP  
CEP 05029-000  
e-mail: [sagaranaedi-  
torial@gmail.com](mailto:sagaranaeditorial@gmail.com)  
Fone: +5511 99618-  
3301

**Sagarana  
Editorial**

# ÍNDICE



Foto: Saulo Simões

An aerial photograph of a flooded landscape. The water is dark and still, reflecting the sky. Numerous dead, skeletal trees stand in the water, their trunks and branches visible. Patches of green vegetation, likely grass or small plants, are scattered throughout the flooded area, some forming small islands. In the background, a dense line of green trees separates the flooded area from a distant body of water under a cloudy sky.

# MANSONIA

LIVRO 2





Capítulo 1

# MACRÓFITAS AQUÁTICAS

**Robinson Antonio Pitelli <sup>1</sup>**

**Robinson Luiz C. M. Pitelli <sup>2</sup>**

**Edivaldo Domingues Velini <sup>3</sup>**

**Plinio Saulo Simões <sup>3</sup>**

**Augusto Antonio Bronhara <sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,  
FCAV/Unesp, Jaboticabal, SP

<sup>2</sup> Ecosafe Agricultura e Meio Ambiente SS Ltda,  
Jaboticabal, SP

<sup>3</sup> NUPAM - Núcleo de Pesquisas Avançadas  
em Matologia. Departamento de Proteção  
Vegetal. FCA / Unesp – Botucatu, SP

<sup>4</sup> FUNDUNESP, São Paulo, SP

*As macrófitas aquáticas, apesar das singulares importâncias nas biocenoses de águas continentais, normalmente se tornam problemáticas quando as condições originais são fortemente alteradas, podendo causar sérios problemas ao ambiente, aos seus usos múltiplos da água e dos corpos hídricos e às sociedades dos respectivos entornos. Dentre as alterações que mais têm impactado as comunidades de macrófitas aquáticas podem ser destacadas a eutrofização e a mudança do regime de fluxo da água, a introdução de espécies exóticas e as mudanças no entorno e na bacia de contribuição.*

*As extensas e densas colonizações de macrófitas aquáticas em ambientes antrópicos causam problemas à geração de energia elétrica, prejudicam a navegação esportiva e profissional, aumentam as perdas de água por evapotranspiração e alteram as características químicas da água, como a redução das concentrações de oxigênio dissolvido, dentre outros.*

*O provimento de habitat para instalação e desenvolvimento de populações de organismos vetores de doenças humanas, especialmente mosquitos, constitui um dos principais problemas à população do entorno. Os insetos têm sido considerados como os principais vetores de arbovírus e uma grande variedade de parasitas que causam doenças humanas, levando a taxas de mortalidade sem precedentes no mundo – e considerável parte desses surtos estão relacionados à presença de plantas aquáticas. Esse é o assunto foco dessa obra no seu todo.*

## Introdução

As macrófitas aquáticas podem ser definidas como plantas vasculares cujas partes fotossinteticamente ativas estão permanentemente ou por algum período submersas na água ou flutuando em sua superfície<sup>1</sup>. Essa vegetação coloniza de forma diferenciada os vários ambientes dos corpos hídricos e, para tanto, desenvolvem tipos biológicos distintos que, segundo Irgang et al. (1984), podem ser definidos como:

- **submerso fixo:** inclui as plantas enraizada no sedimento, com caule e folhas submersos, geralmente saindo apenas a flor para fora da água, como *Vallisneria americana*;
- **submerso livre:** inclui as plantas com pequeno desenvolvimento de raízes totalmente submersas, geralmente emergindo somente as flores, como *Utricularia foliosa*
- **flutuante fixo:** inclui plantas enraizadas no fundo, com caule e/ou ramos e/ou folhas flutuantes, como *Nymphaea caerulea*;
- **flutuante livre:** inclui plantas com raízes livres na lâmina-d'água, podendo ser levada pela correnteza, pelo vento ou até por animais, como *Eichhornia crassipes*;
- **emergente fixa:** inclui plantas enraizadas no sedimento, com caules e folhas parcialmente submersos e parcialmente fora d'água, como *Typha domingensis*;
- **anfíbio:** inclui plantas capazes de colonizar tanto áreas inundadas como de solo exposto, às vezes modificando a morfologia da fase aquática para a terrestre quando baixam as águas, como *Polygonum hydropiperoides*;
- **epífito:** inclui plantas que se desenvolvem utilizando banco de outras macrófitas como substrato de crescimento, como *Oxycaryum cubense*.

As macrófitas têm destacada relevância no funcionamento de ambientes permanente ou temporariamente alagados, proporcionando importantes fontes de energia e de matéria no primeiro nível trófico das cadeias alimentares, promovendo abrigo para reprodução e proteção de organismos aquáticos e terrestres, retirando o excesso de substâncias tóxicas na água, proporcionando expressiva superfície para desenvolvimento do perifiton, promovendo heterogeneidade espacial e temporal no corpo hídrico que favorece a diversidade biológica e protegendo as margens dos corpos hídricos contra o processo erosivo, dentre outros efeitos benéficos ao biótopo e à dinâmica das biocenoses que colonizam corpos hídricos<sup>3,4</sup>. Esses grandes benefícios das macrófitas aquáticas podem ser observados em ambientes ainda inalterados ou com baixa intervenção antrópica.

Em corpos hídricos sob forte intervenção humana, as características do entorno, as características do fluxo, as topografias de fundo e as características da água são alteradas e algumas populações de ma-

crófitas são favorecidas e passam a desenvolver densas colonizações em detrimento de outras espécies que são prejudicadas ou não favorecidas pelas alterações promovidas pelo homem.

---

### **Alterações e ações nos corpos hídricos que favorecem alterações nas dinâmicas de comunidades de macrófitas aquáticas**

As construções de reservatórios artificiais para armazenamento de água de rios com vistas ao abastecimento público, irrigação, dessedentação animal ou geração de energia elétrica, promovem alterações importantes que contribuem expressivamente para o desenvolvimento de populações de macrófitas aquáticas.

Com a instalação desses reservatórios, a região litorânea e o tempo de residência da água aumentam consideravelmente, a profundidade média dos corpos hídricos é reduzida em grande parte das situações, o processo de assoreamento tem sido expressivo e a eutrofização da água passa a ser mais rápida e intensa. Como consequência, são criadas condições favoráveis ao profuso crescimento e desenvolvimento de várias populações de macrófitas aquáticas.

A opção da matriz energética brasileira pela hidreletricidade foi fundamental para a transformação de corpos hídricos lóticos em ambientes lênticos. Atualmente, alguns importantes rios brasileiros têm grande par-

te de seu curso transformado em reservatórios de hidrelétricas, como o Rio Tietê (SP), Rio Paraná (SP/MS), Complexo dos Rios Canoas, Pelotas e Uruguai (SC/RS), Rio Grande (SP/MG) e Rio Madeira (RO).

O crescimento de áreas ocupadas com agricultura e pecuária e o crescimento do uso de fertilizantes nos agroecossistemas permitiu maior carregamento de nutrientes para os cursos d'água levados pelas chuvas e pela erosão laminar, contribuindo para aumento da disponibilidade de recursos nutricionais para as macrófitas aquáticas.

O crescimento das áreas urbanas e de seus dejetos residenciais e industriais, as construções de clubes náuticos, a introdução de sistemas de confinamentos animais e a mudança de atitude das propriedades rurais no sistema de descarga de resíduos também têm contribuído para a eutrofização dos corpos hídricos.

O desmatamento, especialmente nas áreas periféricas dos corpos hídricos, reduz

expressivamente as diversidades e equilíbrios das redes tróficas regionais e afetam negativamente as pressões bióticas sobre as macrófitas aquáticas. E as reduções dessas pressões não atingem igualmente todas as espécies e algumas populações são mais prejudicadas que outras.

Dentre os principais fatores que favorecem as formações de extensas e pouco diversificadas colonizações de macrófitas aquáticas em corpos hídricos, destaca-se a introdução de plantas exóticas invasoras. Por planta exótica invasora entende-se uma espécie que não se desenvolveu localmente e que foi introduzida a partir de outro local. Por isso, não houve coevolução dentro da biocenose local e as pressões bióticas existentes normalmente não são suficientes para os controles populacionais dessas plantas que passam a ter grande desenvolvimento, ocupando e competindo com espécies nativas pelos recursos do meio. São inúmeros os exemplos de plantas exóticas que se tornaram importantes macrófitas invasoras no Brasil, como *Urochloa subquadrifida* e *Hydrilla verticillata*.

A introdução de um herbívoro exótico pode criar condições para que uma espécie nativa que não esteja incluída na dieta deste predador tenha condições para desenvolvimento de elevadas colonizações. Um exemplo interessante foi o grande crescimento populacional de *Ipomoea fis-*

*tulosa* na Reserva Biológica do Rio Flexal (AP) que se seguiu à introdução de rebanhos de búfalos. O pastoreio mais intenso e precoce desse animal nos igarapés em processo de vazante, reduziu a competição de gramíneas e de outras plantas palatáveis sobre as plantas de *I. fistulosa*, permitindo a formação de densas populações<sup>3</sup>.

Também é importante comentar as condições que permitiram grandes incrementos nas populações de *Egeria densa*, *Egeria najas* e *Ceratophyllum demersum* no reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Jupia, nos Estados de São Paulo e Paraná. Essas condições foram: (i) a maior transparência e menor fluxo da água que se seguiu à construção do reservatório da UHE Três Irmãos, em Pereira Barreto (SP), situado a montante, e (ii) a introdução de peixes carnívoros, como o tucunaré e a pescada-branca, que promoveram grandes reduções das populações de organismos herbívoros que eram os principais agentes de controle biológico destas macrófitas submersas<sup>3</sup>.

Assim, no planejamento da construção e da manutenção de corpos hídricos artificiais, as equipes envolvidas devem estar devidamente informadas e capacitadas para a prevenção e manejo dessas condições que favorecem as populações de macrófitas aquáticas, em função dos problemas econômicos, sociais e ambientais que proporcionam.

## Problemas causados por extensas e densas colonizações de macrófitas aquáticas

Densas colonizações de macrófitas podem afetar as características da água e dos corpos hídricos, alterando as condições de vida das populações de organismos aquá-

ticos e as utilizações econômicas e sociais dessas coleções d'água, acarretando problemas ambientais, econômicos e sociais.



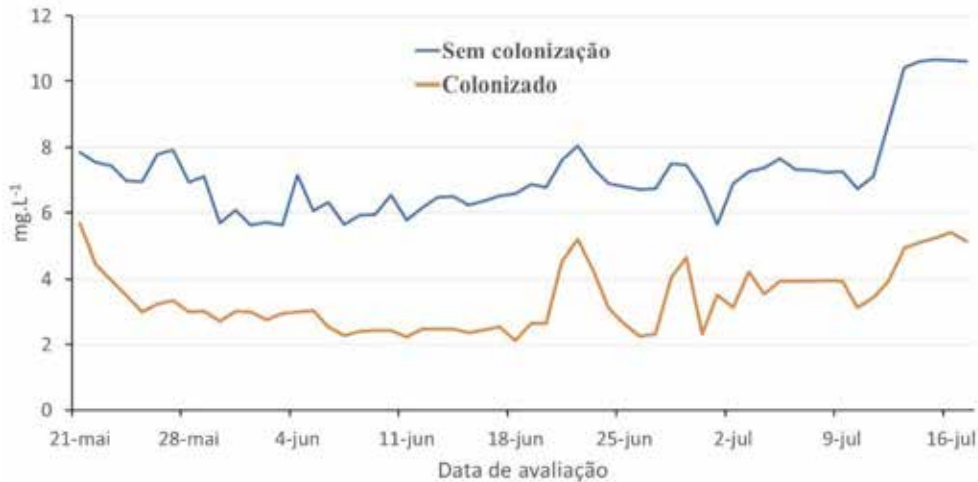
### Alterações nas concentrações de oxigênio dissolvido na água

Densas colonizações de macrófitas emergentes podem afetar negativamente os teores de oxigênio dissolvido na coluna d'água. Essa redução ocorre em função das plantas emergentes e flutuantes que (i) ocupam grande proporção da interface água-atmosfera onde há o rápido ingresso do oxigênio na camada superficial; (ii) promovem o sombreamento da coluna d'água, prejudicando a atividade fotossintética das algas e macrófitas submersas; (iii) consomem oxigênio da água pela atividade respiratória do sistema submerso, (iv) prejudicam a turbulência superficial que auxilia a incorporação da interface rica em oxigênio nas camadas mais profundas do corpo hídrico e (v) fornecem materiais senescentes e exsudatos radiculares que são intensamente colonizados por microrganismos decompositores, gerando a demanda biológica de oxigênio (DBO)<sup>3</sup>.

As variações das concentrações de oxigênio em mesocosmos com e sem a

cobertura de *Eichhornia crassipes* (medições realizadas às 17:00 h) no período de 15 de maio a 17 de julho de 2002, estão graficamente representadas na **FIGURA 1.1**. As concentrações de oxigênio dissolvido na coluna d'água foram expressivamente menores no mesocosmo colonizado pelas macrófitas flutuantes e na maior parte das avaliações estavam abaixo do valor limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 (5 mg.L<sup>-1</sup>).

A redução das concentrações de oxigênio dissolvido na água pode afetar negativamente a sobrevivência de organismos aeróbicos e promover efeitos ambientais indesejados pela predominância de condições anaeróbicas, como a produção de substâncias malcheirosas e a metilação do mercúrio, dentre outras. O metil-mercúrio é uma forma altamente neurotóxica deste metal e é preocupante porque permite a sua biomagnificação na rede alimentar, incluindo os peixes<sup>5</sup>.



**Figura 1.1** – Variação das concentrações de oxigênio dissolvido na água, na profundidade de 15 cm, em mesocosmos colonizados e sem colonização de macrófita flutuante. Fonte: Adaptado de Guimarães (2004).

Em geral, existe a ideia de que as plantas submersas enriquecem a coluna d'água com oxigênio, pelo fato de manterem suas estruturas fotossintetizantes sob a superfície. Este efeito é real durante o dia e a camada superficial da coluna-d'água pode atingir o ponto de saturação de oxigênio dissolvido. No entanto, quando as colonizações dessas plantas se tornam muito elevadas, o auto sombreamento das plantas que não recebem luz solar faz com que a produção de oxigênio pela fotossíntese global da população seja suplantada pela atividade respiratória, tornando o balanço Produção/Consumo menor que a unidade. No período noturno não há fotossíntese, apenas a atividade respiratória, ocasionando uma grande depleção nos teores de oxigênio, chegando a provocar abnóxia.

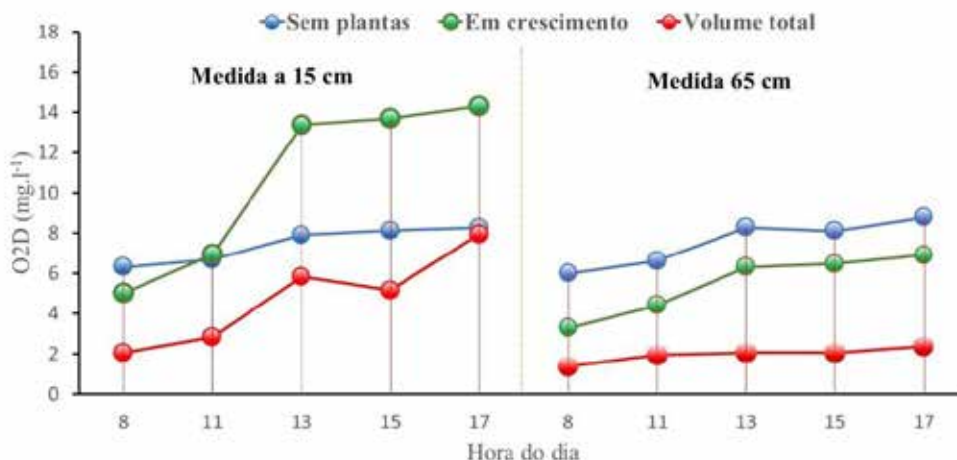
Carnwall et al. (2001) avaliaram as variações de concentração de oxigênio dissolvido na água nas profundidades de 15 cm e 65 cm em mesocosmos sem qual-

quer macrófita aquática e mesocosmos com duas situações de colonização por *Egeria densa*, sendo: (i) do sedimento até 15 cm antes de atingir a superfície da água e (ii) do sedimento até a superfície da coluna-d'água (FIGURA 1.2).

As concentrações de oxigênio dissolvido (O<sub>2</sub>D) aumentaram durante o dia em todos os mesocosmos. Nos mesocosmos sem *Egeria densa*, as concentrações de O<sub>2</sub>D tiveram pequenas oscilações ao longo do dia, variando de 6,30 a 8,20 mg/L na profundidade de 15 cm e de 5,90 a 8,70 mg/L na profundidade de 65 cm. Esta variação está acima dos limites recomendados na Resolução CONAMA 357/2005 para águas continentais (5,0 mg.L<sup>-1</sup>).

Nos mesocosmos em que a colonização da *E. densa* atingiu 15 cm da superfície d'água houve a maior variação das concentrações de oxigênio dissolvido no período diurno nas avaliações realizadas a

Figura 1.2 - Concentrações de oxigênio dissolvido em diferentes horários e profundidades na água de mesocosmos sem macrófitas, mesocosmos colonizados com *Egeria densa* até 15 cm da superfície e mesocosmos totalmente colonizados por esta macrófita. (Média de um período de avaliação de 30 dias). Adaptado de Cornwall et al. (2001)



15 cm de profundidade, o que pode ser atribuído à produção fotossintética nessa região da coluna-d'água (topo da colonização). Aos 65 cm de profundidade, a variação diurna foi menor e manteve em valores abaixo das observadas nas avaliações mais superficiais, devido ao auto sombreamento dentro da colonização.

Esse efeito de auto sombreamento fica bastante evidenciado nos mesocosmos totalmente colonizados pela *E. densa*. Na profundidade de 15 cm houve expressiva variação das concentrações de O<sub>2</sub>D, mas os valores apenas atingiram o valor de 5 mg.L<sup>-1</sup> na avaliação das 13 horas. Na profundidade de 65 cm, a variação diurna foi bastante reduzida e os valores ficaram o dia todo abaixo dos valores recomendados para águas continentais.

Esses resultados são bastante claros na demonstração dos efeitos que densas colonizações de macrófitas submersas podem ocasionar na dinâmica do O<sub>2</sub>D pelo

auto sombreamento, sem considerar os efeitos da depleção noturna pela falta de fotossíntese e continuidade do processo respiratório.

De maneira geral, todas as características químicas, físicas e biológicas da água são afetadas pelas colonizações de macrófitas aquáticas e plantas de diferentes hábitos de crescimento alteram de forma diversa as condições da coluna-d'água e refletem nas comunidades biológicas.

Segundo Pedralli (2003), em corpos hídricos com densas colonizações de macrófitas aquáticas ocorrem maiores formações de gases tóxicos (H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> etc.) e a diminuição do pH da água quando comparados com áreas sem macrófitas flutuantes ou com colonizações moderadas. Quanto ao pH da água com plantas submersas ocorre o contrário durante o período diurno.

Enfim, são inúmeras as alterações nas dinâmicas dos elementos químicos e nas

propriedades físicas da coluna d'água promovidas pelas macrófitas e, com isso, há consequências nas comunidades bióticas. Martins & Pitelli (2007) estudaram as comunidades perifíticas que se formavam em substratos neutros localizados em mesocosmos que receberam diferentes condições de controle de *Eichhornia crassipes* (sem controle, controle por congelamento ou controle com diquat) ou que tinham a lâmina d'água sem macrófitas (com e sem a aplicação de diquat). Os resultados da análise multivariada mostraram que as

comunidades perifíticas foram primariamente grupadas pela presença ou ausência do aguapé. Sob as colonizações desta macrófita, as comunidades apresentaram menores densidades e menores índices de diversidade e de equitabilidade quando comparadas com mesocosmo sem a presença da cobertura de macrófitas. Redução da radiação luminosa e alterações da qualidade da água podem ter sido os fatores determinantes das variações nas composições específicas e densidades populacionais do perifíton.

#### **Aumento das perdas d'água por evapotranspiração**

As macrófitas aquáticas tiveram seus processos de evolução adaptativa associadas a ambientes sem limitações expressivas na disponibilidade de água e, por isso, as limitações à evapotranspiração não foram bem desenvolvidas nesse grupo vegetal. As águas naturais normalmente não são abundantes em nutrientes essenciais e a intensa evapotranspiração facilita a aquisição de quantidades expressivas desses nutrientes por fluxo de massa, especialmente em plantas flutuantes.

O aumento das perdas d'água por evapotranspiração constitui um dos problemas mais sérios ocasionados por extensas e densas colonizações de macrófitas aquáticas emersas. Este é um tipo de problema pouco percebido pela sociedade e, frequentemente, não é citado dentro das importantes interferências de macrófitas em corpos hídricos.

Vários estudos foram conduzidos comparando perdas de água de superfícies livres com superfícies colonizadas por diferentes espécies de macrófitas aquáticas. Estudo realizado na Argentina por Lallana et al. (1987) comparou as perdas d'água de superfícies colonizadas por macrófitas aquáticas flutuantes (FIGURA 1.3). *Eichhornia crassipes* apresentou maior perda d'água em relação às demais macrófitas avaliadas, mas todas aumentaram as perdas em relação a simples evaporação de lâmina-d'água.

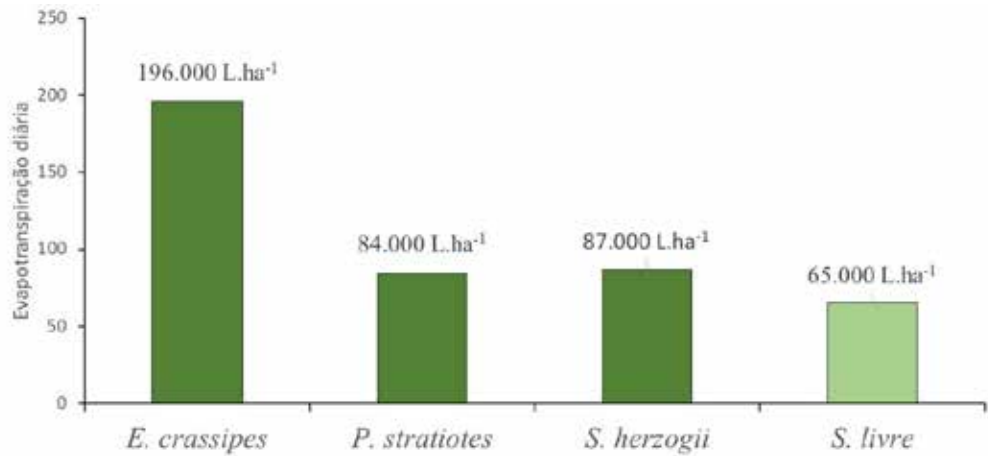
Uma maneira bastante interessante de expressar as perdas d'água de superfícies colonizadas com macrófitas aquáticas em relação à superfície livre é a razão entre a evapotranspiração e a evaporação ( $E/E_o$ ). Alguns resultados publicados estão sumarizados na TABELA 1.1 e *Eichhornia crassipes* apresentou potencial de aumento das





Pontos de água parada ou pouca movimentação são propícios para colonizações de macrófitas aquáticas  
Foto: Saulo Simões

Figura 1.3 - Representação gráfica dos valores de perdas d'água por evapotranspiração por superfícies d'água colonizadas por *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia herzogii* em comparação com a evaporação de superfície sem macrófitas; durante o verão 1982/83 na Argentina. Fonte: Adaptado de Lallana et al. (1987).



perdas d'água em até 3,73 vezes. *P. stratiotes* até 3,82 vezes e plantas de gênero *Typha* em até 4,71 vezes.

Considerando que o mundo caminha rapidamente para uma crise de abastecimento de água doce, o aumento expressivo das perdas por evapotranspiração preocupa muito. No Brasil, grande parte dos pequenos corpos hídricos, como riachos e

córregos, encontra-se completamente colonizada por *Urochloa subquadrifera* e *Typha* spp., às quais cobrem completamente a lâmina d'água e aumentam drasticamente as perdas por evapotranspiração. Muitos destes pequenos córregos já não contribuem muito para os rios dos quais são tributários e, cada vez mais, há dificuldades para manutenção dos níveis nos reservatórios artificiais no período de estiagem.

Tabela 1.1 – Valores da relação entre as perdas de água por evapotranspiração e evaporação (E/E0) observadas por vários autores de superfícies de água colonizadas por macrófitas aquáticas.

| Macrófita                   | E/E0        | Referência             |
|-----------------------------|-------------|------------------------|
| <i>Eichhornia crassipes</i> | 1,26        | Brenzy et al. (1973)   |
|                             | 1,82 - 3,73 | Lallana et al. (1987)  |
| <i>Pistia stratiotes</i>    | 1,75        | Snyder & Boyd (1986)   |
|                             | 3,82        | Bandara & Najim (2012) |
| <i>Typha latifolia</i>      | 0,90 - 1,60 | Lallana et al. (1987)  |
|                             | 4,71        | Rosa et al. (2009)     |
| <i>Typha angustifolia</i>   | 1,60 - 1,70 | Brenzy et al. (1973)   |

### Afetando a geração de energia elétrica

Em termos econômicos e sociais, um dos principais problemas promovidos pelas macrófitas aquáticas é a interferência nos sistemas de geração de energia elétrica. No Brasil, há exemplos bastante ilustrativos deste tipo de interferência envolvendo macrófitas com diferentes hábitos de crescimento e em diferentes etapas do processo de geração de hidreletricidade.

O caso mais evidente de interferência de macrófitas aquáticas na geração de energia elétrica tem ocorrido na Usina Hidrelétrica Souza Dias da CESP, em Castilho (SP). Esta usina é movimentada pela água retida no reservatório de Jupia, onde há grande ocorrência das macrófitas aquáticas submersas *Egeria densa*, *Egeria najas* e *Ceratophyllum demersum*. Quando há expressiva movimentação da água, ocorre deslocamento de bancos destas plantas submersas, as quais são carregadas pelo fluxo de água numa certa profundidade até atingirem as grades de proteção das turbinas.

Tais plantas acumulam nessas grades e vão paulatinamente reduzindo o fluxo de água. Quando este processo de obstrução é intenso pode ocorrer uma grande pressão negativa, sugando a grade para o interior da unidade geradora e promovendo sérios danos às turbinas. A perda de eficiência das turbinas, a falta de geração durante paradas das máquinas para limpeza, manutenção ou troca de peças, os custos das operações de desobstrução das grades e o transporte das macrófitas retiradas para áreas de descarte representam grandes despesas à CESP<sup>13</sup>. Na **FIGURA 1.4** observa-se flagrante relação entre o aumento do volume de macrófitas retiradas e redução na produção de energia neste reservatório. Adicionalmente, há a eventual necessidade de troca de grades de proteção que foram danificadas pelas macrófitas, envolvendo, além do custo do processo, a necessidade da parada das turbinas, aumentando os prejuízos.



Figura 1.4 - Variação mensal dos volumes de macrófitas retiradas das grades das turbinas e produção de energia na UHE Souza Dias, Castilho, SP. Adaptado de Mustafá et al. (2010).

As macrófitas também podem interferir na geração de energia elétrica em painéis solares flutuantes em corpos hídricos (FIGURA 1.5). A estrutura de suporte dos painéis atua de forma similar aos paliteiros, dando estabilidade geográfica às plantas flutuantes. Essas plantas fixadas na estrutura têm renovação constante da disponibilidade de nutrientes no sistema radicular pelo movimento da água e, com isso, têm

plenas condições de crescimento e consolidação de seus bancos. Sobre as mantas de plantas flutuantes há o crescimento epifítico de outras macrófitas, há a interceptação de luz e inclusive danos físicos nos painéis. A remoção dessa colonização apresenta complexa operação de desenergização do painel e processo físico de remoção manual das plantas. Há grande insalubridade no processo.

Figura 1.5 – Colonização de macrófitas aquáticas em painéis solares flutuantes no Reservatório da UHE Aimorés.  
Foto Ecosafe Agricultura e Meio Ambiente Ltda.



#### Redução da capacidade de transporte de canais de irrigação e de drenagem

O crescimento de macrófitas aquáticas em canais de irrigação e de drenagem reduz a velocidade do fluxo de água, permitindo maior infiltração de água no solo e incremento das perdas por evapotranspiração. Com o aumento das taxas de colonização há uma correspondente redução na quantidade de campos agrícolas irrigados por uma dada fonte. No

caso da drenagem, embora as perdas de água sejam incrementadas por evapotranspiração, a redução do fluxo se torna limitante para proporcionar condições aeróbicas suficientes para os outros usos do solo. Gopal (1987) cita dados de que o aguapé reduz entre 40% e 95% a quantidade de água transportada em canais de irrigação.

#### Prejuízos à produção de peixes e para a captura do pescado

Não há dúvidas da grande importância das macrófitas aquáticas na dinâmica de ictio-

fauna de um determinado corpo hídrico, mas em condições de extensas e densas

colonizações de macrófitas aquáticas podem ocorrer prejuízos na diversidade e na produção de peixes e na captura do pescado, com importantes reflexos na ecologia do corpo hídrico e para a população ribeirinha que vive da pesca.

Em revisão da literatura, Villamagna & Murphy (2010) apresentou observações sobre efeitos de densas colonizações de macrófitas sobre a diversidade, abundância, produção e crescimento de peixes (TABELA 1.2).

| Autor                                  | Local  | Efeitos                                                                           |
|----------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Troutman et al. (2007)</i>          | USA    | Alteração composição específica ictiofauna.                                       |
| <i>Bartodziej &amp; Leslie (1998)</i>  | USA    | Alteração composição específica ictiofauna.                                       |
| <i>Twongo &amp; Howard (1998)</i>      | África | Dificuldade de movimentação, reprodução e alimentação. Decréscimos de populações. |
| <i>Katerregga &amp; Sterner (2009)</i> | África | Dificuldade de captura do pescado.                                                |
| <i>Mc Vea &amp; Boyd (1975)</i>        | USA    | Redução na produtividade de peixes.                                               |
| <i>Brown &amp; Maceina (2002)</i>      | USA    | Redução do crescimento dos peixes em tanques de criação.                          |

Tabela 1.2 – Sumário de alguns resultados gerais observados na ictiofauna por alguns autores (todos citados em Villamagna & Murphy, 2010) em consequência de densas colonizações de macrófitas aquáticas.

Em pesquisa conduzida no Rio Kafawei (Nigéria), Olaleye et al. (1993) compararam as composições específicas de peixes em trechos do corpo hídrico sem macró-

fitas flutuantes, trechos colonizados com densa população de *E. crassipes* e trechos em que havia ocorrido o controle da macrófita com dois herbicidas.

| Espécie                         | Sem EICCR | Infestado | Controle herbicidas |           |
|---------------------------------|-----------|-----------|---------------------|-----------|
|                                 |           |           | Diquat              | Terbutryn |
| <i>Calamichitys calabaricus</i> | 01        | -         | -                   | -         |
| <i>Heterotis niloticus</i>      | 02        | -         | 09                  | 13        |
| <i>Pantodon buchholzi</i>       | 02        | -         | -                   | -         |
| <i>Gnathonemus petersii</i>     | 01        | -         | -                   | -         |
| <i>Gymnarchus niloticus</i>     | 02        | -         | 12                  | 15        |
| <i>Hepsetus odoe</i>            | 01        | -         | 01                  | 02        |
| <i>Clarias lazera</i>           | 02        | -         | 02                  | 03        |
| <i>Tilapia zillii</i>           | 02        | -         | -                   | -         |
| <i>Ctenopoma kinslaye</i>       | 30        | 08        | 11                  | 15        |
| <i>Channa obscura</i>           | 01        | -         | 32                  | 28        |

Tabela 1.3 – Espécies e quantidades de peixes coletados com o mesmo esforço de captura aos 14 e 28 dias após a aplicação dos herbicidas em trechos do Rio Kafawei (Nigéria) (i) sem colonização de *Eichhornia crassipes*, (ii) com densa infestação, (iii) controle com diquat e (iv) controle com terbutryn (adaptado de Olaleye et al. [1973])

Nas áreas densamente colonizadas por aguapé foi coletada apenas uma espécie de peixe: *Ctenopoma kingsleyae*. Este peixe vive em baixas tensões de oxigênio dissolvido na água, porque possui um labirinto no cérebro como órgão acessório da respiração, característico dos peixes da Subordem Anabantoidei. Nas áreas em que houve o controle de *E. crassipes* houve menor diversidade, mas maior quantidade global de peixes e os autores admitem que a decomposição da planta aquática e a fauna associada atuaram atraindo esses peixes.

Ezeri (2002) observou no Lago Ere, na Nigéria, que o controle das macrófitas aquáticas flutuantes aumentou a captura de peixes por unidade de esforço de pesca, mas também o estado sanitário dos animais foi muito melhor, especialmente

em relação a sintomas de abrasão, ulcerações de epiderme, lesões inespecíficas e secreções de muco.

Adekoya (2002) publicou um interessante trabalho que exemplifica os efeitos do controle químico de densa colonização de *E. crassipes* na captura de peixes nos canais do complexo Ere, Nigéria. Com o mesmo esforço de antes do controle da macrófita foram capturadas sete espécies e 5,1 Kg de peixes e, após o controle, foram capturadas 13 espécies e 75,1 Kg. As modificações de qualidade da água, especialmente a depleção das concentrações de oxigênio dissolvido e as dificuldades físicas impostas pela macrófita na pesca foram os principais fatores na determinação desse efeito, segundo o autor.

---

#### **Alteração das características de navegabilidade e de utilização do corpo hídrico para esportes náuticos**

As colonizações de macrófitas aquáticas podem afetar a navegabilidade de corpos hídricos, desde pequenos barcos para pesca amadora até grandes embarcações para pesca profissional e transporte em hidrovias. Segundo cita Gopal (1987), o coeficiente de rugosidade para transporte em hidrovias aumenta de 0,024 para 0,055 em áreas infestadas com *E. crassipes*. No passado, antes dos grandes investimentos em controle desta macrófita aquática, ocorriam grandes prejuízos no sistema de transporte fluvial de produtos vegetais e animais e insumos agrícolas em várias partes do mundo. No Delta do rio Mississipi,

os prejuízos decorrentes da interferência do aguapé somavam US\$ 35 milhões por ano. Outros grandes prejuízos foram observados no canal do Panamá. Também na porção belga do rio Congo, onde foi gasto US\$ 1 milhão para manter a navegabilidade do corpo hídrico entre 1956/57<sup>14</sup>.

No Brasil não existem dados quantitativos sobre a interferência de macrófitas aquáticas no transporte fluvial, mas as colonizações de macrófitas submersas e flutuantes têm causado interferências no funcionamento da hidrovia dos rios Tietê e Paraná. Na região de Itapúra (SP), as den-

sas colonizações de *E. densa*, *E. najas* e *C. demersum* prejudicaram o movimento de pequenas embarcações de pescadores profissionais e utilização dessa porção final do rio Tietê para esportes náuticos. Atualmente,

colonizações de plantas flutuantes têm causado dissabores ao transporte de cargas na região dos reservatórios de Ibitinga e Bariri da Hidrovia do Tietê, na região central do Estado de São Paulo.

---

### Outras interferências

**Redução da capacidade de armazenamento e da durabilidade de represas rurais.** As macrófitas aquáticas podem reduzir a capacidade de armazenamento de água em represas rurais durante o período de estiagem pelo aumento da demanda evapotranspiratória. É bastante comum que estas represas sejam eutrofizadas e há grande crescimento de algumas macrófitas de elevado poder de crescimento como o aguapé, alface-d'água e a taboa. O aguapé e a taboa são plantas de elevada taxa de evapotranspiração. As macrófitas também contribuem para a rápida formação de sedimento e, com isso, o assoreamento é mais rápido que represas sem essas plantas. O assoreamento permite que a hidrossere se processe de maneira mais rápida, muitas vezes exigindo dragagem para evitar a perda deste corpo hídrico.

**Interferências na captação de água para irrigação e uso público.** As macrófitas também podem causar problemas bastante sérios à captação de água para abastecimento público ou de sistemas de

irrigação. Este fato é comum nas cidades do Vale do Rio Paraíba do Sul. A captação de água da cidade de Barra do Piraí (RJ) tem sido prejudicada por densas colonizações de *Potamogeton pectinatus* e de *E. densa* que se estabeleceram no local. É bastante comum prejuízos na captação de água para irrigação e dessedentação animal em represas rurais promovidos por macrófitas aquáticas.

**Prejuízos à edificações no corpo hídrico.** É bastante comum os acúmulos de “ilhas” de vegetação arrastadas pela água na base de pontes e outras edificações construídas dentro e nas margens dos corpos hídricos. Estes acúmulos chegam a conter toneladas de biomassa verde. Como as pontes, normalmente foram construídas para suportar pressão vertical, esta forma de pressão horizontal pode desestabilizar a estrutura dessas edificações. Nos rios Paraíba do Sul, Pardo e Mogi-Guaçu é bastante frequente este tipo de ocorrência com “ilhas” de gramíneas marginais que se deslocam das margens e são levadas para jusante.

### Promovendo condições para instalação e desenvolvimento de populações de organismos indesejáveis

Em condições prístinas, as comunidades vegetais que colonizam os corpos hídricos continentais são bastante diversificadas, com elevadas riquezas de espécies e populações de pequenos portes ocupando habitats específicos em função da profundidade, movimentação da água e outros fatores. Nessas condições, a micro e macrofauna também são bastante diversificadas e com fortes redes de retrocontrole biótico, mantendo as populações dentro de limites característicos das capacidades de suporte de cada espécie.

Como já foi comentado anteriormente nesse capítulo, quando os corpos hídricos são profundamente alterados por ações antrópicas, o equilíbrio ecológico original é rompido e, dentre as primeiras consequências observadas, destacam-se as fortes alterações nas comunidades de macrófitas aquáticas, levando à redução da diversidade natural e formação de extensas colonizações de poucas espécies. Nessas condições, a fauna também é modificada, alguns organismos são favorecidos em detrimento de outros e desenvolvem elevadas populações. Esse fenômeno tem sido observado com populações de organismos indesejados ao homem e ao meio ambiente, destacando-se, de acordo com o enfoque desse capítulo, os insetos vetores de doenças humanas<sup>19</sup>.

Os insetos, especialmente mosquitos, tem sido considerado como os principais vetores de arbovírus e uma grande varie-

dade de parasitas que causam doenças humanas, levando à taxas de mortalidade sem precedentes no mundo e vários desses surtos estão relacionados a presença de plantas aquáticas<sup>20,21</sup>. Os mosquitos *Culex pipiens* e *Culex quinquefasciatus*, são vetores comuns do vírus da febre do Nilo em seres humanos<sup>22</sup>. *Culex quinquefasciatus* também está associado a filariose linfática; *Aedes aegypti* é importante vetor de dengue, chikungunya, febre amarela e doença da zika e *Anopheles quadrimaculatus* é o principal vetor da malária<sup>23</sup>. [\[Leia mais nos capítulos 2 e 3 do Livro 1\]](#)

É importante salientar que em extensas colonizações de macrófitas aquáticas, as populações de insetos aquáticos também são favorecidas de forma diferencial. As populações de larvas de mosquitos são afetadas por múltiplos fatores bióticos e abióticos em ambientes condicionados pela vegetação infestante<sup>19,24</sup>.

Dentre esses fatores, além da vegetação, destacam-se a presença de competidores, predadores e condições da água, como temperatura e pH<sup>24,25</sup>, em mesocosmos com diferentes colonizações de macrófitas, observaram que no período de seis semanas, as populações de mosquitos foram cerca de nove vezes maiores em relação aos mesocosmos sem plantas aquáticas e 30 vezes maiores nos colonizados com *Egeria densa*. Embora as plantas flutuantes não tenham mostrado tendências diferenciais no favorecimento dessas



Macrófitas em lagoa na  
margem do rio Madeira,  
Porto Velho (RO).  
Foto: Saulo Simões

populações, observou-se que a *Egeria densa* inibiu fortemente as populações de mosquitos e não influenciou significativamente as dos competidores e predadores.

O mosquito *Culex pipiens* realizou oviposição significativamente maior em água colonizada por *Lemna minor*<sup>26</sup> em relação à superfície livre de macrófitas. O autor sugere o uso de potes com essa macrófita para atuar como sumidouro desse mosquito em programas de controle.

Em estudo de interação entre habitat fornecido por diferentes espécies de macrófitas para *Culex pipiens*, Turnipseed (2017) observou relação positiva entre a presença dessas plantas e as taxas de sobrevivência de larvas. Também observou que a quantidade de ovos depositados pelo mosquito foi estatisticamente similar em mesocosmos colonizados por *Eichhornia crassipes* e *Ludwigia hexapetala*, mas superiores aos ambientes colonizados com *Hydrocotyle umbellata*. A oviposição foi bastante baixa em mesocosmos colonizados com *Myriophyllum aquaticum* e *Azolla filiculoides*.

A influência de diferentes colonizações de macrófitas aquáticas sobre insetos vetores tem sido relatada por vários autores. Áreas colonizadas por *Pistia stratiotes* são mais favoráveis às populações de mosquitos vetores que áreas colonizadas por *Salvinia auriculata*, pois essa última limita o acesso das fêmeas grávidas à superfície da água<sup>24,28</sup>. Dependendo das condições,

colonizações de *Eichhornia crassipes* reduzem populações de mosquitos vetores por prover condições de habitat mais adequado para predadores<sup>29</sup>. Entretanto, em outras situações, são observadas associações positivas entre essa pontederiácea e larvas de mosquitos<sup>30</sup>. Estudos mostraram que é importante a complexidade que as partes submersas das macrófitas conferem ao ambiente para afetar a relação dos predadores com as larvas, sendo a dificuldade de visualização das presas provavelmente o mais importante<sup>27</sup>. As plantas aquáticas também podem reduzir a disponibilidade de oxigênio na água criando condições desfavoráveis a predadores e competidores aeróbicos<sup>31</sup>.

Também é importante observar que as macrófitas constituem importantes fontes de alimento às larvas dos mosquitos, fornecendo matéria orgânica particulada (MOP) por exsudatos ou decomposição, e por favorecer o crescimento do perifíton e outras populações de microrganismos<sup>25</sup> ou, ainda, atraindo adultos que procuram néctar<sup>19</sup>. Alguns mosquitos, incluindo *Culex quinquefasciatus*, são atraídos por exsudatos de raízes de *Eichhornia crassipes*<sup>27</sup>. Plantas de *Eichhornia crassipes* apresentam elevadas condutâncias estomáticas, aumentando as quantidades de vapores que saem das partes submersas da planta<sup>32</sup>, o que pode constituir atrativo para oviposição de *Anopheles gambiae*<sup>33</sup>.

Algumas colonizações de plantas aquáticas podem ser prejudiciais às populações

de mosquitos. Essas colonizações, que podem bloquear a superfície da água, prejudicando o acesso ao oxigênio atmosférico para as larvas, constituem obstáculos para as fêmeas em oviposição e sombreiam a água<sup>24,33</sup>. O sombreamento pode diminuir o crescimento de algas, limitando o alimento larval, reduzindo a disponibilidade de oxigênio dissolvido e, também, diminuindo a temperatura da água, que pode retardar o desenvolvimento da larva de mosquitos<sup>34</sup>. Metabólitos secundários de plantas também podem oferecer toxicidade aos mosquitos<sup>35</sup>. As plantas aquáticas também podem atrair predadores, incluindo peixes e competidores<sup>29,36</sup>.

As mudanças ambientais devido ao controle das macrófitas podem afetar as populações de muitos competidores e predadores, afetando, consequentemente, as populações de mosquitos vetores. Competidores, como algumas larvas de dípteros predadores como *Ephemoptera* e caramujos, podem se beneficiar do aumento da matéria orgânica particulada durante a decomposição das plantas. Predadores, como ninfas de Odonata, hemípteros e coleópteros, podem se beneficiar devido ao maior sucesso de caça. No entanto, na medida em que as macrófitas decompõem, competidores podem perder refúgios em relação aos predadores e, alguns deles, podem perder locais de oviposição<sup>37</sup>.

Com relação especificamente ao gênero *Mansonia*, Krishnamoorthy et al. (1994)

utilizaram índices de prevalência, de proporção de amostras positivas, hospitalidade natural e de planta hospedeira, para estabelecer um ranking para várias espécies de macrófitas como hospedeiras de mosquito desse gênero. *Monochoria vaginalis* foi identificada como uma das plantas hospedeiras mais importantes. Três gramíneas *Hygrophiza aristata*, *Sacciolepis interrupta* e *Leersia hexandra* formaram ambientes bastante propícios para a colonização das três espécies de *Mansonia* envolvidas no estudo —*M. anilífera*, *M. uniformis* e *M. indiana*. O estudo de Gil et al. (2021) em foz de Igarapé no Rio Madeira, no região Norte do Brasil, observou maiores quantidades de larvas de *Mansonia* em *Eichhornia crassipes*, seguido *Ceratopteris* sp, *Eichhornia azurea* e *Pistia stratiotes*.

Em Igarapé no Rio Amazonas, Ferreira et. al (2003) observaram maior incidência de larvas de *Mansonia* em *Eichhornia crassipes* de que em uma espécie de *Ceratopteris*. As possíveis explicações inferidas pelos autores foram que: (i) a proporção de aerênquima é maior na pontederiácea, o qual pode prover mais oxigênio e manter um maior número de larvas; (ii) que os tecidos radiculares de *Ceratopteris* sp. são mais rígidos e impedem a perfuração pelo sifão das larvas; (iii) a possibilidade de que nessa Ptericadeae ocorra maior produção de substâncias secundárias tóxicas ou repelentes às larvas de *Mansonia*. Anteriormente, Ferreira (1999) havia observado maior incidência de *Mansonia* sp. em *Eichhornia crassipes* em comparação da *Pistia stratio-*

tes. O aparelho bucal picador-raspador da *Mansonia* é adaptado para perfurar partes submersas das macrófitas e obter oxigênio para sua respiração<sup>39</sup>. Esse comportamento alimentar pode ter se desenvolvido por evolução adaptativa, como estratégia de sobrevivência contra predadores, escondendo-se em raízes onde as tensões de oxigênio dissolvido são mais baixas<sup>42</sup>.

Amorim et al. (2022) observaram em lagoas marginais ao Rio Madeira, em Rondônia, que fêmeas de *Mansonia* apresentaram preferência para oviposição em plantas do gênero *Salvinia* e que larvas e pupas eram identificadas em maior proporção em plantas de *Eichhornia crassipes*. Os autores ponderam que essa preferência de oviposição pode ser associada

à densa pilosidade das folhas da samambaia, corroborando comportamento inferido por Ferreira et al. (2003), que observaram maior oviposição da *Mansonia* em folhas de *Pistia stratiotes* em relação a *Eichhornia crassipes*. Os autores sugerem que, em função de preferência de oviposição, o controle de *Salvinia molesta* pode constituir uma estratégia importante para controle de populações de duas espécies de *Culex*. É possível que essa estratégia também possa ser adotada para controle de *Mansonia* spp.

As fortes relações e entre colonizações de macrófitas aquáticas e insetos vetores de doenças humanas podem ser estendidas para outros grupos animais, por exemplo, moluscos<sup>43</sup>.

Macrófitas do gênero  
*Limnobium* no reservatório  
da UHE Santo Antônio,  
Porto Velho, RO.  
Foto: Martha Rojas



## Considerações finais

Nesse capítulo procurou-se mostrar que as macrófitas aquáticas, apesar das singulares importâncias nas dinâmicas dos corpos hídricos continentais, podem causar problemas ao ambiente, aos múltiplos aproveitamentos da água e às sociedades do entorno quando as condições do ambiente de colonização são alteradas. Dentre as alterações que mais têm impactado as comunidades de macrófitas aquáticas podem ser destacadas: a eutrofização e a mudança do regime de fluxo da água, a introdução de espécies exóticas e as mudanças no entorno e na bacia de contribuição.

Normalmente, as alterações das condições originais dos corpos hídricos favorecem algumas poucas populações de macrófitas em detrimento das demais, com reflexos na diversidade de espécies e nos tamanhos das populações. Em condições de baixas diversidades e extensas populações de

macrófitas, as comunidades de insetos são profundamente alteradas e, regularmente, existem as magnificações de populações de vetores de doenças humanas.

As evidências dos efeitos das elevadas colonização de macrófitas aquáticas na incidência de mosquitos vetores de doenças são muitas e vêm sendo motivo de preocupações e estudos há muito tempo. As pesquisas e observações mostraram que há forte relação entre as espécies de macrófitas e densidades de colonização sobre as populações de insetos vetores, e normalmente estão relacionadas ao favorecimento em relação aos predadores e provimento de habitat de alimentação. A atração dos insetos para oviposição está relacionada a fatores de origem olfativa e ótica. Há sugestões de que o controle seletivo de macrófitas pode reduzir as populações desses insetos pela eliminação de plantas com preferência para oviposição.

## Referências

1. Pedralli G. Macrófitas aquáticas como bioindicadoras da qualidade da água: alternativas para usos múltiplos de reservatórios. IN: THOMAZ, SM, BINI, LM (eds.) **Ecologia e Manejo de macrófitas aquáticas**. Ed. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, 2003.
2. Irgang BE, Pedralli G, Waechter LL. Macrófitos aquáticos da Estação ecológica do Taim, Rio Grande do Sul. *Roessleria*. 1984, 6: 395-404.
3. Pitelli RA, Martins D, Velini ED. Interferências e controle de macrófitas aquáticas. In: Vargas L, Roman ES (org.). *Manual de manejo e controle das plantas daninhas*. 2ed., EMBRAPA, 2008.
4. Pompeo M. Monitoramento e Manejo de Macrófitas Aquáticas. Editora USP, 2017
5. Miranda MR, Coelho-Souza SA, Guimarães JRD, Correia RRS, Oliveira D. Mercúrio em sistemas aquáticos: fatores que afetam a metilação. *Oecologia Brasileira* 2007, 11: 240-251,
6. Cornwall M, Martins AT, Mendes D, Pitelli RA Avaliação do impacto da colonização de *Egeria densa* sobre a variação dos teores de oxigênio dissolvido na água e sobrevivência de *Poecillia reticulata*. *Ciência das Plantas Daninhas*. 2001, 7: 9-13.
7. Martins, AT, Pitelli RA. *Eichhornia crassipes* control with diquat and its effect on periphyton community under mesocosm conditions. In: Aquatic Plant Management Society Annual Meeting, 47o, Nashville, 2007.
8. Lallana VH, Sabattini A, Lallana MC Evapotranspiration from *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia herzogii* and *Azolla caroliniana* during summer in Argentina. *Journal of Aquatic Plant Management*, 1987, 25: 48-50, 1987.
9. Brenzy O, Mehta I, Sharma RK. Studies on evapotranspiration of some aquatic weeds. *Weed Science*. 1973, 21:197-204;
10. Snyder RL, Boyd CE. Evapotranspiration by *Eichhornia crassipes*(Mart.) Solms and *Typha latifolia* L. *Aquatic Botany*. 1986, 19:18-26..
11. Bandara HKM, Najim MMM. Influence of aquatic plants (*Pistia stratiotes* and *Vallisneria spiralis*) and aerators on evaporation and transpiration losses in an indoor aquatic system. In: Proceeding of the Young Scientists Forum Symposium, 2012.
12. Rosa CS, Antunes RD, Pitelli RA, Pitelli RLCM. Avaliação comparativa das perdas de água por evapotranspiração em mesocosmos colonizados por diferentes macrófitas aquáticas. *Planta Daninha*. 2009. 27: 441-445.
13. Mustafa, A. L. et al. A experiência da CESP no manejo e controle de macrófitas no reservatório da UHE Souza Dias (Jupia). *Ação Ambiental*, 2010, 13 (43): 17-26,
14. Gopal, B. *Water Hyacinth*. Oxford, Elsevier Publishers, 1987.
15. Villamagna A, Murphy B. Ecological and Socio-Economic Impacts of Invasive Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*): A Review. *Freshwater Biology*. 2010, 55: 282-298.
16. Olaleye VF, Akintunde EA, Akinyemiju OA. Effect of herbicidal control of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Mart.) on fish composition and abundance in Kofawei Creek, Ondo State, Nigeria. *Journal of Environmental Management*, 1993, 38:85-97.

17. Ezeri GNO. Effect of Herbicidal Control of Water Hyacinth on Fish Health at the Ere Channel, Ogun State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences & Environmental Management*, 2002, 6:49-52.
18. Adekoya BB. Chemical control of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) at Ere, Ogun State, Nigeria: Implications for aquatic and terrestrial biodiversity conservation. In: International Conference on Water Hyacinth, New Bussa, Nigéria, , 2002.
19. Blaustein L, Chase JM. Interactions between mosquito larvae and species that share the same trophic level. *Annual Review of Entomology*. 2007. 52:489-507.
20. Hemingway J, Beaty BJ, Rowland M, Scott TW, Sharp BL. The innovative vector control consortium: improved control of mosquito-borne diseases. *Trends in Parasitology*. 2006, 22:308–312.
21. Benelli G, Mehlhorn H. Declining malaria, rising of dengue and Zika virus: in- sights for mosquito vector control. *Parasitology Research*. 2016, 115:1747–1754.
22. Hamer GL, Kitron UD, Brawn JD, Loss SR, Ruiz MO, Goldberg TL, Walker ED. *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae): A Bridge Vector of West Nile Virus to Humans. *Journal of Medical Entomology*. 2008. 45:125–128.
23. Rinker DC, Pitts RJ, Zwiebel LJ. Disease vectors in the era of next generation sequencing. *Genome Biology*, 2016, 17: 95.
24. Silver, JB. Mosquito Ecology: Field Sampling Methods. Springer Science & Business Media, 2008.
25. Portilla MA, Moran P, Lawler SP. Invasive aquatic weeds influence abundances of larval mosquitoes and other invertebrates. *Journal of Aquatic Plant Management*, 2021, 59: 33–40.
26. Cuthbert RN, Coughlan NE, Dick JTA, Callaghan A. Sink trap: duckweed and dye attractant reduce mosquito populations. *Medical and Veterinary Entomology*. 2020: 34, 97–104
27. Turnipseed, R.K. Behavioral and physiological ecology of mosquito disease vectors (Diptera: Culicidae) as a function of aquatic macrophyte invasions. Berkeley, University of California, 2017. PhD Thesis, 90 p, R.K. Behavioral and physiological ecology of mosquito disease vectors (Diptera: Culicidae) as a function of aquatic macrophyte invasions. Berkeley, University of California, 2017. PhD Thesis.
28. Hobbs JH, Molina PA. The influence of the aquatic fern *Salvinia auriculata* on the breeding of *Anopheles albimanus* in coastal Guatemala. *Mosquito News*. 1983, 43:456–459.
29. Ofulla AVO, Karanja D, Omondi R, Okurut T, Matano A, Jembe T, Abila R, Boera P, Gichuki J. Relative abundance of mosquitoes and snails associated with water hyacinth and hippo grass in the Nyanza gulf of Lake Victoria. *Lake Reservation. Management*. 2010, 15: 255-271.
30. Minakawa N, Seda P, Yan G, Influence of host and larval habitat distribution on the abundance of African malaria vectors in Western Kenya. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 2002, 67:32–38.
31. Flores D, Carlson JW. Biological control of giant salvinia in East Texas waterways and the impact on dissolved oxygen levels. *Journal of Aquatic Plant Management* 2006. 44:115–121
32. Cavaleri MA, Sack L. Comparative water use of native and invasive plants at multiple scales: a global meta-analysis. *Ecology*. 2010, 91: 2705-2715.

33. Okal MN, Francis B, Herrera-Varela M, Fillinger U, Lindsay, SW. Water vapour is a pre-oviposition attractant for the malaria vector 20 *Anopheles gambiae* sensu strict. *Malaria Journal*. 2013, 12:365.
34. Walton WE, Popko DA, Van Dam AR, Merrill A. Distribution of *Culex* species in vegetation bands of a constructed wetland undergoing integrated mosquito management. *Journal American Mosquitoes Control Association*. 2013: 29:69– 73.
35. Reiskind MH, Greene KL, Lounibos LP. Leaf species identity and combination affect performance and oviposition choice of two container mosquito species. *Ecological Entomology*. 2009, 34:447– 456.
36. Reiskind MH, Wilson ML. *Culex restuans* (Diptera: Culicidae) oviposition behavior determined by larval habitat quality and quantity in southeastern Michigan. *Journal of Medical Entomology*. 2004, 41:179–186.
37. Portilla MA, Lawler SP. Herbicide treatment alters the effects of water hyacinth on larval mosquito abundance. *Journal of Vector Ecology*. 2020, 45: 69-81.
38. Krishnamoorthy H, Rajendran G, Panicker KN Aquatic vegetation and their natural hospitability to the immatures of *Mansonia* mosquitos, the vectors of *Brugia malayi* in Shertallai, Kerala, India.



- Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health, 1994, 25:760-765.
39. Gil LHS, Mello CF, Silva JS, Oliveira JS, Silva SOF, Rodriguez-Planes L, Costa FM, Alencar, J. Evaluation of *Mansonia* spp. infestation on aquatic plants in lentic and lotic environments of the Madeira River basin in Porto Velho, Rondônia, Brazil. Journal of the American Mosquito Control Association. 2021, 37:143–151.
  40. Ferreira RLM, Pereira ES, Ferreira Har NT, Hamada N. *Mansonia* spp. (Diptera: Culicidae) associated with two species of macrophytes in a Varzea lake, Amazonas, Brazil. Entomotropica. 2003, 18: 21-25
  41. Ferreira, RLM Densidade de oviposição e quantificação de larvas e pupas de *Mansonia* Blanchard, 1901 (Diptera, Culicidae) em *Eichhornia crassipes* Solms e *Pistia stratiotes* Linn. na ilha da Marchantaria, Amazônia Central. Acta Amazonica, 1999, 29:123-134.
  42. Amorim JA; Sá ILR, Rojas MVR, Santos Neto NF, Galardo AKR, Carvalho DP, Ribeiro KAN, Sallum MAM. Aquatic Macrophytes Hosting Immature *Mansonia* (*Mansonia*) Blanchard, 1901 (Diptera, Culicidae) in Porto Velho, Rondônia State, Brazil. Journal of Medical Entomology. 2022, 59: 631–637.
  43. Pointer JP, Théron A, Imbert-Establet D, Borel G. Eradication of a sylvatic focus of *Schistosoma mansoni* using biological control by competitor snails. Biological Control, 1991, 01: 244-247.



XXX





Capítulo 2

# MACRÓFITAS AQUÁTICAS DO RESERVATÓRIO DA UHE SANTO ANTÔNIO

**Robinson Luiz C. M. Pitelli<sup>2</sup>**

**Robinson Antonio Pitelli<sup>1</sup>**

**Edivaldo Domingues Velini<sup>3</sup>**

**Plinio Saulo Simões<sup>3</sup>**

**Augusto Antonio Bronhara<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,  
FCAV/Unesp, Jaboticabal, SP

<sup>2</sup> Ecosafe Agricultura e Meio Ambiente SS Ltda,  
Jaboticabal, SP

<sup>3</sup> NUPAM - Núcleo de Pesquisas Avançadas em  
Matologia. Departamento de Proteção Vegetal.  
FCA / Unesp – Botucatu, SP

<sup>4</sup> FUNDUNESP, São Paulo, SP

*O estudo da comunidade de macrófitas no reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Santo Antônio, em Porto Velho, estado de Rondônia, mostrou elevada biodiversidade de espécies, sendo que nas campanhas de campo foram identificadas 41 espécies inseridas em 19 famílias botânicas, sendo Poaceae, Cyperaceae e Fabaceae as que apresentaram maiores números de representantes. Grande parte das populações que colonizam o reservatório não tem histórico de interferências significativas no meio ambiente, assim como nos usos múltiplos da água e de corpos hídricos, e contribuem de forma expressiva para a biodiversidade local. As dinâmicas das plantas flutuantes não foram fundamentalmente alteradas com a construção do reservatório, excetuando-se a presença de anteparos ao livre escoamento das plantas, como paliteiros, que permitem formação de grandes bancos dessas macrófitas e de epífitas, em posição mais interna do reservatório.*

*O aumento das populações de gramíneas marginais que formam ilhas de vegetação, como Paspalum repens e Echinochloa polystachya, aumentaram no período de realização do projeto, mostrando ser uma clara tendência na dinâmica das comunidades vegetais desse corpo hídrico. A presença da gramínea exótica invasora Urochloa subquadripara foi discutida, ressaltando os riscos de suas infestações nas áreas marginais dos rios amazônicos e da pronta necessidade de medidas de controle. As relações entre as populações de algumas espécies e mosquitos do gênero Mansonia, uma das principais metas desse projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, foram discutidas em outros capítulos desse livro.*



Figura 2.1 – Fotos de momentos das campanhas de campo para coleta/observação da comunidade de macrófitas aquáticas no reservatório da UHE Santo Antônio.

### Introdução

As macrófitas aquáticas podem ser definidas como plantas vasculares cujas partes fotossinteticamente ativas estão permanentemente ou por algum período submersas na água ou flutuando em sua superfície. Em condições pristinas, as macrófitas exercem importantes serviços ambientais aos corpos hídricos, criando grande diversidade espacial e temporal, dando condições para diferentes impactos dessas comunidades nas biocenoses locais. No entanto, quando as condições não são pristinas e os corpos hídricos experimentam grandes alterações na qualidade da água, no regime de fluxo, nas relações bióticas no interior de coluna-d'água e nas características gerais do entorno, frequentemente ocorre a formação de extensas colonizações de poucas espécies de macrófitas aquáticas favorecidas pelo novo sistema instalado.

Na formação de reservatórios artificiais, o regime de fluxo original do corpo hídrico, a qualidade da água e as alterações das proporções ecótonos de diferentes características promovem profundas alterações nas comunidades de macrófitas aquáticas. Apparently, essa é a situação atual vivenciada no reservatório da UHE Santo Antônio, uma vez que a ocupação do entorno ainda é

predominantemente de áreas naturais e pecuária extensiva e a eutrofização antrópica ainda não é relevante. Nesse contexto, esse capítulo abordará a situação da composição específica e dinâmica parcial da comunidade de macrófitas aquáticas que colonizou esse reservatório entre 2019 e 2022, durante a realização do projeto de pesquisa e desenvolvimento que gerou o presente estudo.

A comunidade de macrófitas aquáticas do reservatório da Santo Antônio Energia foi identificada e quantificada durante três anos. Os levantamentos das comunidades foram realizados em diversas épocas durante este período, compreendendo o corpo central do reservatório e os remansos formados pela inundação do rio Madeira. Dentre os remansos avaliados citam-se, como principais, os Igarapés Florida, Búfalo, Jatuarana, Teotônio, Canto, Ceará, Santa Rita, Samaúma, Caripuna, Jaci e São Domingos. Não houve regularidade de tempo entre as campanhas de campo, em função da pandemia de Covid-19 que incidiu neste período. As campanhas de identificação e quantificação das macrófitas aquáticas foram realizadas com embarcação motorizada, percorrendo os principais locais de ocorrência de plantas aquáticas, com principal atenção às áreas de remansos (FIGURA 2.1).

As identificações e descrições das macrófitas neste capítulo foram realizadas utilizando literatura científica especializada, citando-se Hoyer et al. (1996)<sup>1</sup>, Kissmann & Groth. (1997)<sup>2</sup>, Pott & Pott (2000)<sup>3</sup>, Lageland et al. (2008)<sup>4</sup>, Lorenzi (2008)<sup>5</sup>, Pitelli et al. (2012 e 2013)<sup>6,7</sup>.

É bastante importante salientar que o foco principal do projeto de pesquisa e desenvolvimento foi avaliar a relação entre populações de *Mansonia* spp. e de macrófitas aquáticas. Dessa forma, os locais de

levantamento, embora bastante abrangentes no reservatório, tiveram maior esforço de identificação e quantificação em locais em que esse mosquito foi detectado nas redondezas, inclusive para as necessidades de intervenção mecânica. Apesar de diversas espécies terem sido identificadas no reservatório da UHE Santo Antônio durante este período de estudo, poucas espécies realmente apresentaram comportamentos significativos do ponto de vista do manejo das macrófitas e do próprio objeto de estudo, o mosquito *Mansonia*.

Macrófitas aquáticas identificadas

No período desse projeto de pesquisa e desenvolvimento foram identificadas quarenta e uma espécies de macrófitas aquáticas no reservatório da UHE Santo Antônio (TABELA 2.1). Essas espécies estão distribuídas em dezenove famílias botâni-

cas, sendo as de maior representatividade, em termos de riqueza taxonômica, as famílias Poaceae, com nove representantes, Cyperaceae, com cinco, e Fabaceae, com quatro espécies.

Tabela 2.1 – Espécies de macrófitas aquáticas identificadas no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia, entre os anos de 2019 e 2022

| Família       | Espécie                                                     | Símbolo | Hábito           |
|---------------|-------------------------------------------------------------|---------|------------------|
| Amaranthaceae | <i>Alternanthera hassleriana</i> Chodat ex Chodat & Hassler | ALRHA*  | Flutuante fixa   |
| Amaranthaceae | <i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.          | ALRPH   | Emersa/epífita   |
| Araceae       | <i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott                      | CXSES   | Marginal         |
| Araceae       | <i>Lemna minor</i> L.                                       | LEMMI   | Flutuante livre  |
| Araceae       | <i>Pistia stratiotes</i> L.                                 | PIIST   | Flutuante livre  |
| Commelinaceae | <i>Commelina diffusa</i> Burm. f.                           | COMDI   | Marginal/epífita |
| Cyperaceae    | <i>Oxycaryum cubense</i> (Poepp. & Kunth) Lye               | SCPCU   | Epífita          |
| Cyperaceae    | <i>Eleocharis sellowiana</i> Kunth                          | ELOSE*  | Emersa/marginal  |
| Cyperaceae    | <i>Eleocharis acutangula</i> (Roxb.) Schult                 | ELOAT*  | Emersa/marginal  |
| Cyperaceae    | <i>Eleocharis minima</i> Kunt                               | ELOMI*  | Emersa/marginal  |
| Cyperaceae    | <i>Fimbristylis miliacea</i> (L.) Vahl                      | FIMMI   | Emersa/marginal  |
| Euphorbiaceae | <i>Caperonia palustris</i> (L.) St.-Hil.                    | CNPPA   | Margina/epífita  |

| Família          | Espécie                                           | Símbolo | Hábito             |
|------------------|---------------------------------------------------|---------|--------------------|
| Euphorbiaceae    | <i>Phyllanthus fluitans</i> Benth. Ex Müll.Arg.   | PYLFU*  | Flutuante livre    |
| Fabaceae         | <i>Mimosa pigra</i> L.                            | MIMPI   | Emersa/marginal    |
| Fabaceae         | <i>Aeschynomene</i> sp                            | AESSS   | Emersa/marginal    |
| Fabaceae         | <i>Neptunia plena</i> Benth.                      | NEPPL*  | Flutuante fixa     |
| Fabaceae         | <i>Vigna luteola</i> (Jacq.) Benth.               | VIGLU*  | Trepadeira         |
| Hydrocharitaceae | <i>Limnobium spongia</i> (Bosc) Rich. ex Steud.   | LIMSP   | Flutuante livre    |
| Lentibulariaceae | <i>Utricularia gibba</i> L.                       | UTRBI   | Submersa livre     |
| Malvaceae        | <i>Hibiscus sororius</i> L.                       | HIBSO*  | Marginal           |
| Marsileaceae     | <i>Marsilea crotophora</i> D.M.Johnson            | MARCR*  | Flutuante fixa     |
| Najadaceae       | <i>Najas microcarpa</i> K.Schum.                  | NAICO*  | Submersa livre     |
| Onagraceae       | <i>Ludwigia sedoides</i> (Bonpl.) H.Hara          | LUDSE*  | Flutuante fixa     |
| Onagraceae       | <i>Ludwigia helminthorrhiza</i> (Mart.) H. Hara   | LUDHE*  | Flutuante fixa     |
| Poaceae          | <i>Hymenachne amplexicaulis</i> (Rudge) Nees      | HYMAM*  | Emersa/marginal    |
| Poaceae          | <i>Paspalum repens</i> L.                         | PASRE   | Emersa /marginal   |
| Poaceae          | <i>Panicum rivulare</i> Trin.                     | PANRV*  | Marginal           |
| Poaceae          | <i>Panicum repens</i> L.                          | PANRE   | Marginal/epífita   |
| Poaceae          | <i>Echinochloa polystachya</i> (H.B.K.) Hitchcock | ECHPO   | Marginal           |
| Poaceae          | <i>Urochloa subquadrifida</i> (Trin.) R.D.        | BRASU   | Marginal/epífita   |
| Poaceae          | <i>Luziola fluitans</i> (Michx.) Terrell & H. Rob | LUZFL   | Emersa             |
| Poaceae          | <i>Oryza rufipogon</i> Griff.                     | ORYRU*  | Emersa             |
| Asteraceae       | <i>Enhydra anagallis</i> Gardner                  | ENYAN*  | Marginal/epífita   |
| Polygonaceae     | <i>Polygonum lapathifolium</i> L.                 | POLLA   | Emersa/marginal    |
| Pontederiaceae   | <i>Eichhornia azurea</i> (Sw.) Kunth              | EICAZ   | Flutuante fixa     |
| Pontederiaceae   | <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms         | EICCR   | Flutuante livre    |
| Pontederiaceae   | <i>Eichhornia heterosperma</i> Alexander          | EICHE*  | Flutuante fixa     |
| Salviniaceae     | <i>Salvinia auriculata</i> L.                     | SAVMO   | Flutuante livre    |
| Salviniaceae     | <i>Azolla caroliniana</i> Willd                   | AZOCA   | Flutuante livre    |
| Sphenocleaceae   | <i>Sphenoclea zeylanica</i> Gaertn.               | SPHZE*  | Marginal           |
| Pteridaceae      | <i>Ceratopteris thalictroides</i> (L.) Brongn.    | CERTH   | Marginal/flutuante |

\* Ainda não foram atribuídos códigos Bayer para a espécie e o código foi sugerido pelos próprios autores desse capítulo.

As principais populações que contribuem para a dinâmica do reservatório de Santo Antônio, definindo suas paisagens, serão apresentadas a seguir. Estas paisagens, muitas vezes, estão restritas a

determinados remansos que apresentam características próprias, as quais permitem o crescimento e desenvolvimento de populações específicas.

---

***Alternanthera hassleriana.***

Planta de hábito flutuante fixo. Sua principal característica constitui o caule esponjoso grosso flutuante, com nós e folhas simples e opostas inseridas em lados opostos de cada nó. No reservatório da UHE Santo Antônio essa macrófita foi identificada nos igarapés Florida e São Domingos. Pelo

seu histórico em outras regiões e corpos hídricos no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Ambientalmente, sua população pode contribuir para a biodiversidade local.

Figura 2.2 – Plantas de *Alternanthera hassleriana* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.




---

***Alternanthera philoxeroides***

Planta de hábito flutuante fixo, com raras observações como epífita. É uma macrófita distribuída por todo o Brasil, sendo descrita como bastante comum em reservatórios de hidrelétricas, sem qualquer relato de que esteja causando problemas ambientais, sociais ou econômicos para esses corpos hídricos e seus manejos. No reservatório da UHE Santo Antônio sua ocorrência é restrita a alguns igarapés na

região à jusante do Teotônio. Pelo seu histórico em outras regiões e corpos hídricos no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.



Figura 2.3 – Plantas de *Alternanthera philoxeroides* no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

#### ***Colocasia esculenta***

Planta de hábito marginal. Trata-se de espécie exótica que é descrita em corpos hídricos de norte a sul do Brasil e é utilizada na alimentação humana. Não tem sido relatada como problemática em reservatórios de hidrelétricas no país. Sua ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio é restrita a algumas margens na região do

Rio Jaci e na região do Teotônio. Pelo seu histórico em outras regiões e corpos hídricos no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.



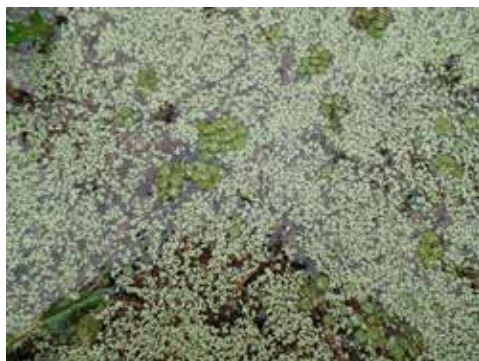
Figura 2.4 – Foto de plantas de *Colocasia esculenta* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

***Lemna minor***

Planta de hábito flutuante livre. As plantas do gênero *Lemna* são citadas por todo o Brasil em corpos hídricos lânticos de toda natureza, como lagoas, represas, Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), Estações de Tratamento de Água (ETAs) e outros. Não são citadas como problemáticas em reservatórios de hidrelétricas no Brasil. Sua ocorrência é generalizada nos igarapés do reservatório da UHE Santo Antônio, embora dificilmente seja visualizada quando se navega nesse corpo hídrico, em função

de seu pequeno porte e sua colonização entremeada com plantas maiores. Essas plantas têm rápido crescimento e são rapidamente predadas por herbívoros. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no país, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.

Figura 2.5 – Plantas de *Lemna minor* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia. Visão geral e detalhes da planta mostrando seu diminuto porte.

***Pistia stratiotes***

Planta de hábito flutuante livre. As plantas de *Pistia stratiotes* são citadas em ambientes lânticos em todo Brasil, incluindo reservatórios de usinas hidrelétricas. No caso do reservatório da UHE Santo Antônio, sua população é frequente e requer atenção, uma vez que a literatura científica a cita como uma das principais hospedei-

ras de *Mansonia*. Nesse período do projeto, essa macrófita mostrou bastante sazonalidade na ocorrência de sua população, produzindo plantas maiores e mais vigorosas no início da vazante. No resto do ano, a população está restrita a poucas plantas com pequeno porte e bastante lesionadas por insetos.



Figura 2.6 – Plantas de *Pistia stratiotes* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

#### ***Commelina difusa***

Planta de hábito marginal, mas que em algumas ocasiões apresenta crescimento epifítico sobre bancos de plantas flutuantes, especialmente em áreas rasas. Sua ocorrência é citada em todo o Brasil e é bastante comum em reservatórios de hidrelétricas. Essa espécie foi identificada em praticamente todo reservatório da UHE Santo Antônio, em pequenos bancos,

ocupando as áreas marginais dos igarapés. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.



Figura 2.7 – Foto de plantas de *Commelina difusa* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

#### ***Oxycaryum cubense***

Planta de hábito epifítico de crescimento. Essa espécie tem sido citada em reservatórios e lagoas de grande parte do Brasil, onde sua principal incidência ocorre

na forma de crescimento epifítico sobre banco de plantas flutuantes. Sua ocorrência tem causado problemas no manejo de vários reservatórios, onde intensifica

os impactos dos bancos flutuantes sobre a coluna d'água, aumentando a depleção de oxigênio e dificultando bastante a colheita mecânica. No reservatório da UHE Santo Antônio observou-se que a germinação dos diásporos e crescimento inicial de *Oxycaryum cubense* ocorre sobre plantas de *Salvinia* spp., onde pode adquirir elevada biomassa emersa. Das plantas de salvinia, o crescimento epifítico pode se estender sobre bancos de *Eichhornia crassipes* onde o acúmulo de biomassa passa a ser maior. Essa é uma planta que

causa preocupação à operação da usina, pois as plantas-suporte (*Eichhornia crassipes* e *Salvinia* spp.) podem morrer pela competição por luz, perder flutuabilidade e o conjunto ser carregado submerso até atingir as grades de proteção das turbinas. Nos igarapés do Canto, São Domingos e Florida, suas populações ocorrem em maiores densidades e em grandes áreas de superfície de lâmina d'água. Nas áreas de paliteiro, a incidência dessa macrófita também é elevada.

Figura 2.8 – Foto de plantas de *Oxycaryum cubense* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia. Na esquerda, plântulas da ciperácea emergindo em folhas de salvinia e, na direita, crescimento epifítico sobre bancos de *Eichhornia crassipes*.



#### ***Eleocharis sellowiana***

Planta de hábito emergente em áreas marginais e de baixa profundidade. É uma planta pouco citada em reservatórios de hidrelétricas no Brasil. No reservatório da UHE Santo Antônio apenas foi identificada no Igarapé Ceará. Devido sua ocorrência marginal em área rasa e devido seu pequeno porte dificilmente é visualizada pelos avaliadores, quando em coloniza-

ções mistas. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.



Figura 2.9 – Foto de banco de *Eleocharis sellowiana* do reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia, e detalhe de sua inflorescência.

### ***Eleocharis acutangula***

Planta de hábito emergente e marginal, ocorrendo em águas rasas. É uma planta pouco citada em reservatórios de hidrelétricas no Brasil. Seu porte é maior que *E. sellowiana* e é facilmente identificada pelo colmo com secção transversal triangular de faces côncavas. Não é citada como problemática em reservatório de hidrelé-

tricas no Brasil. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.



Figura 2.10 – Plantas de *Eleocharis acutangula* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

### ***Eleocharis minima***

Planta de hábito marginal ou submersa fixada. Planta também considerada anfíbia por seu desenvolvimento desde áreas úmidas não inundadas até submersas em locais rasos. Ocorre normalmente em borda de lagoas, brejos, vazantes e campos

muito alagáveis. Essa planta tem sido relatada praticamente por todo o Brasil e não há qualquer indicação de problemas ao meio ambiente e atividades antrópicas. No reservatório da UHE Santo Antônio sua ocorrência é generalizada nas margens

rasas dos igarapés. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco nega-

tivo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.

Figura 2.11 – Fotos de bancos de *Eleocharis minima* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.



### ***Caperonia palustris***

Planta de hábito marginal, mas que eventualmente apresenta crescimento epifítico sobre bancos de planta flutuantes. Sua ocorrência tem sido relatada em vários reservatórios no Brasil, sem qualquer evidência de danos ao meio ambiente ou às atividades antrópicas nos corpos hídricos. No reservatório da UHE Santo Antônio sua ocorrência é rara e foi identificada em iga-

rapés abaixo da região do Teotônio. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.

Figura 2.12 – Plantas de *Caperonia palustris* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.



### ***Phyllanthus fluitans***

Planta de hábito flutuante. Ocorre em ambientes lânticos e é citada como colonizadora de corpos hídricos na região norte do Brasil. Sua coloração varia de verde a arroxeada, variando conforme as condições do ambiente e apresenta uma minúscula flor de coloração branca. Não há relato de que sua ocorrência tenha causado qualquer problema ambiental ou operacional ao manejo de reservatórios no Brasil. No reservatório da UHE Santo Antônio sua ocorrência é baixa e limitada a poucos igarapés. Foi observado um início de cresci-

mento epifítico de *O. cubense* em pequena população desta planta flutuante, mas sem formação de bancos. Devido ao seu tamanho diminuto, sua observação no reservatório é difícil. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.



Figura 2.13 – Foto de plantas *Phyllanthus fluitans* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

### ***Mimosa pigra***

Planta de hábito emerso marginal. Sua ocorrência é citada em praticamente todo o Brasil e é bastante comum em reservatório de acumulação, onde há sazonalidade da altura da lâmina-d'água. Não é relatada qualquer interferência dessa planta ao meio ambiente ou às atividades antrópicas em reservatórios de hidrelétricas. Ao contrário, tem sido relatada como importante poleiro para aves e insetos que forrageiam a lâmina-d'água. No reservatório da UHE

Santo Antônio tem ocorrência nos igarapés, sempre em baixas densidades. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.

Figura 2.14 – Plantas de Mimosa pigra de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.



### ***Neptunia plena***

Planta de hábito flutuante fixo, que apresenta caule esponjoso para sua flutuação. Sua ocorrência tem sido citada em vários reservatórios de hidrelétricas no Brasil, especialmente no Brasil Central, e não há qualquer relato sobre interferência de suas colonizações sobre o meio ambiente e os usos múltiplos da água e dos corpos hídricos. No reservatório da UHE Santo Antônio sua ocorrência é esporádica, sendo mais detectada em bancos de plantas

flutuantes que estão sendo carregados no corpo central desse corpo hídrico. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.

Figura 2.15 – Fotos de planta de Neptunia plena de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.



### ***Limnobium spongia***

Planta de hábito flutuante livre. Sua flutuação ocorre devido à presença de tecido parenquimatoso bem desenvolvido na face adaxial das folhas. É um macrófita bastante relatada em todo território nacional, especialmente em lagoas rurais. Em reservatório de hidrelétricas sua ocorrência é comum e não há qualquer relato de interferência de suas infestações no meio ambiente ou nas atividades humanas. No reservatório da UHE Santo Antônio sua

ocorrência é generalizada, mas sempre em pequenas populações nos igarapés. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.



Figura 2.16 – Plantas de *Limnobium spongia* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, com detalhe para o parênquima esponjoso na superfície adaxial da folha.

### ***Utricularia gibba***

Planta de hábito submerso livre. Trata-se de planta carnívora aquática cujo gênero é descrito em corpos hídricos de todo o Brasil, habitando ambientes lênticos. Essa macrófita é bastante citada em reservatório de hidrelétricas no Brasil e não há qualquer relato da interferência de suas infestações no meio ambiente e nos usos múltiplos da água e do corpo hídrico pelo homem. No reservatório da UHE Santo Antônio geral-

mente ocorre nas partes mais lênticas dos igarapés e com maiores concentrações de substratos orgânicos. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.

Tabela 2.17 – Foto de plantas de *Uricularia gibba* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.



#### ***Marsilea crotophora***

Planta de hábito flutuante fixo. Sua característica mais importante é que tem o aspecto de um trevo. Esta espécie tem sido descrita com pouca frequência em reservatório de hidrelétricas no Brasil e não tem sido relatada qualquer interferência de suas colonizações ao meio ambiente ou aos usos múltiplos da água e desses corpos hídricos. No reservatório da UHE Santo Antônio não é frequente e tem sido

identificada nas foz dos igarapés, próximas ao corpo central. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.

Figura 2.18 – Plantas de *Marsilea crotophora* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.



#### ***Najas microcarpa***

Planta de hábito submerso livre, muito rara no reservatório da UHE Santo Antônio, sendo encontrada apenas no igarapé Florida. Essa espécie tem sido relatada

nas regiões norte e nordeste do Brasil. O grupo de plantas do gênero *Najas* é bastante comum na sucessão primária, após a inundação de verão dos igarapés e não

há relatos sobre interferência de suas colonizações no meio ambiente e nos usos múltiplos de reservatórios. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa

de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.



Tabela 2.19 – Plantas de *Najas microcarpa* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

### ***Ludwigia sedoides***

Planta de hábito flutuante fixo. Essa espécie tem sido relatada em praticamente todo o Brasil, ocorrendo em ambientes lânticos e não há relatos da interferência de suas populações no meio ambiente e no uso múltiplo da água e de corpos hídricos. No reservatório da UHE Santo Antônio suas colonizações são abundantes na região de inundação do rio Jaci, ocorrendo também em outros igarapés. Sua folhagem e flores são de rara beleza e esse fato constitui grande preocupação do Serviço de Inspeção Sanitária Animal e Vegetal

(APHIS, na sigla em inglês), dos Estados Unidos, na prevenção de sua introdução como planta exótica nas regiões pantanosas do sul e sudeste desse país. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.



Figura 2.20 – Plantas de *Ludwigia sedoides* de ocorrência no Rio Jaci, reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

***Ludwigia helminthorrhiza***

Planta de hábito flutuante livre, com raízes e estruturas esponjosas para flutuação que lhe empresta aspecto peculiar e que caracteriza a espécie. Sua ocorrência tem sido citada nas regiões do Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, incluindo reservatório de hidrelétricas. Não há relato de que suas colonizações tenham causado qualquer problema ao meio ambiente e aos usos múltiplos de corpos hídricos no Brasil. Essa espécie apresenta baixa densidade populacional no reservatório de

Santo Antônio, sendo encontrada principalmente nas margens de colonizações de *Paspalum repens* ou *Echinochloa polystachya*. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.

Figura 2.21– Plantas de *Ludwigia helminthorrhiza*, com seus flutuadores característicos, no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

***Hymenachne amplexicaulis***

Planta de hábito marginal. Trata-se de uma gramínea de elevado porte e que coloniza densamente as margens e regiões periodicamente inundadas de corpos hídricos. É uma gramínea perene que pode avançar sobre a lâmina d'água, mas tem preferencialmente um crescimento ereto. Essa espécie é bastante citada como colonizadora de margens de corpos hídricos por todo o Brasil e não estão relacionados quaisquer problemas provocados por suas infestações ao meio ambiente e aos usos múltiplos da água e dos corpos hí-

dricos. No reservatório da UHE Santo Antônio essa gramínea tem grande importância, principalmente nos igarapés Santa Rita, Ceará, Samaúma e Caripuna. Estas plantas normalmente apresentam populações entremeadas às populações de *P. repens* e *E. polystachya*, o que dificulta sua identificação. Sua detecção é mais fácil na época de florescimento da espécie, quando sua inflorescência espiciforme permite sua rápida identificação. Apresenta importância em alguns reservatórios, especialmente em inícios de remansos, onde

seus ramos projetados na lâmina-d'água proporcionam estabilidade geográfica a plantas flutuantes, permitindo a formação

de bancos que posteriormente serão destacados e carregados para jusante.



Figura 2.22 – Plantas de *Hymenachne amplexicaulis* de cor no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia,

### ***Paspalum repens***

Planta de hábito marginal. Essa planta projeta suas ramificações por sobre a lâmina-d'água e seus colmos apresentam grande flutuabilidade. Essa gramínea é citada em corpos hídricos por praticamente todo o Brasil. No reservatório da UHE Santo Antônio essa planta é atualmente considerada a macrófita de maior expressão populacional e sua dominância cresce na medida em que o reservatório se torna mais lântico. Nessas condições, a gramínea forma grandes massas de vegetação que cobrem extensas áreas de superfície de lâmina d'água. Na entrada de alguns remansos,

a planta chega a fechar o acesso devido ao acúmulo de biomassa na superfície da água. Seus ramos flutuantes projetados na lâmina-d'água proporcionam estabilidade geográfica para as plantas flutuantes, permitindo a formação de bancos que posteriormente serão destacados e carregados para jusante. Nesse caso, pela sua capacidade de flutuação, são formadas grandes ilhas de vegetação flutuante que são deslocadas de montante para jusante e se alojam próximas das casas de força da barragem.



Figura 2.23 – Foto de plantas de *Paspalum repens* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.





Ambiente lântico tomado por macrófitas em [xxx nome da comunidade], Porto Velho (RO).  
Foto: Saulo Simões

***Panicum rivulare***

Planta de hábito marginal, que tem pouca projeção de ramificações sobre a lâmina-d'água. Trata-se de uma gramínea de porte elevado e cuja presença tem sido relatada em praticamente todo o Brasil. No reservatório da UHE Santo Antônio, suas populações se concentram no início do remanso nas margens do corpo central, mas sempre em baixas frequências e densidades. No Brasil não foram registrados problemas causados por suas colonizações ao

meio ambiente e usos múltiplos da água e dos corpos hídricos. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno do reservatório. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.

Figura 2.24 – Plantas de *Panicum rivulare* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

***Panicum repens***

Planta de hábito marginal e, algumas vezes, epifítico. Trata-se de gramínea de baixo porte e que coloniza intensamente margens de corpos hídricos, estendendo seus rizomas sobre a superfície da lâmina d'água. Essa espécie é citada em praticamente todo o Brasil, sem que sejam relatadas interferências de suas colonizações no meio ambiente e nos usos múltiplos da água e dos corpos hídricos. No reservatório da UHE Santo Antônio sua incidência é baixa e concentrada nas entradas de igarapés. Em algumas situações mais som-

breadas pode apresentar importante crescimento epifítico sobre banco de macrófitas flutuantes, situação não observada na vegetação estudada neste projeto. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno e, ao contrário, sua população pode contribuir para a biodiversidade local.



Figura 2.25 – Plantas de *Panicum repens* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

### ***Echinochloa polystachya***

Gramínea de hábito marginal de grande porte que tem grande projeção de seus colmos sobre a superfície da lâmina d'água. Essa macrófita tem sido citada em praticamente todo o Brasil e apresenta densa colonização das regiões marginais de rios e reservatórios. Suas projeções de caule na lâmina-d'água podem atingir grandes dimensões, se romper pelo peso e descer para jusante, causando problemas para embarcações e em edificações, como pontes e embarcadouros. Seus ramos projetados sobre a lâmina-d'água atuam como anteparos para dar estabilidade geográfica para plantas flutuantes, proporcionando habitat adequado para formação de colonizações importantes.



No reservatório da UHE Santo Antônio, a população de *Echinochloa polystachya* é a mais importante colonizadora no início do remanso, nas margens do corpo central, principalmente nas regiões mais a montante, próximo à entrada do Jaci e igarapés Florida e Búfalo. As preocupações com essa macrófita é com relação a formação de grandes ilhas flutuantes que juntamente com os troncos, podem causar problemas nos vertedouros.



Figura 2.26 – Foto de plantas de *Echinochloa polystachya* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

***Urochloa subquadrifara***

Planta de hábito marginal e epífítico. Trata-se de uma espécie invasora exótica considerada como o principal fator biótico de degradação da biodiversidade litorânea de corpos hídricos continentais na América do Sul. As colonizações dessa macrófita têm proporcionado problemas ambientais importantes na medida em que dominam margens de corpos hídricos e eliminam grande parte das espécies nativas. Essa interferência ambiental tem sido motivo de preocupações das entidades brasileiras de proteção da diversidade biológica, especialmente no Pantanal Matogrossense. O crescimento epífítico dessa gramínea em

banco de plantas flutuantes promove sérias interferências no manejo de comunidades de macrófitas aquáticas em reservatório, aumentando os custos com colheita mecânica. As ilhas flutuantes formadas pela sua associação com plantas flutuantes podem submergir e bloquear as grades de proteção das turbinas de hidrelétricas. No reservatório da UHE Santo Antônio essa gramínea foi inicialmente descoberta no Igarapé Ceará, apresentando uma pequena colonização. Observou-se que o crescimento desse banco foi rápido e que atualmente há vários focos de colonização em outros igarapés a jusante do foco inicial.

Figura 2.27 – Plantas de *Urochloa subquadrifara* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

***Oryza rufipogon***

Planta aquática de hábito emergente, tendo *Oryza glumipatula* como sinônimo. Sua ocorrência é mais citada nas regiões norte e no pantanal matogrossense, mas em rios e lagoas naturais. No reservatório da UHE Santo Antônio foi observado apenas no igarapé Búfalo e em baixas densidades. Pelo seu histórico em outras regiões

e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno e, ao contrário, sua população pode contribuir com a biodiversidade local.



Figura 2.28 – Plantas de *Oryza rufipogon* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

### ***Polygonum lapathifolium***

Planta de hábito emerso e marginal. É bastante comum em corpos hídricos lânticos no Brasil e tem bastante importância na dinâmica da fauna de corpos hídricos naturais. Suas projeções de ramificações na lâmina-d'água contribuem para a formação de bancos de plantas flutuantes. Esse impacto é inferior ao observado para as gramíneas, provavelmente por apresentar dossel mais compacto e exercer maior competição por luz. Não são citados problemas ambientais ou operacionais nos

reservatórios de hidrelétricas em relação às colonizações dessa espécie. No reservatório da UHE Santo Antônio é uma planta pouco frequente, sendo observada nos igarapés Búfalo e Caripuna. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno e, ao contrário, sua população pode contribuir para a biodiversidade local.



Figura 2.29 – Plantas de *Polygonum lapathifolium* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

***Eichhornia azurea***

Planta de hábito flutuante fixo. Trata-se de uma espécie bastante importante na dinâmica de ambientes de água doce e é citada em todo território nacional. Seus caules são submersos rasos, recebem bastante luz e constituem excelente substrato para o desenvolvimento de colonizações perifíticas, importante fonte alimentar para as fases jovens de organismos aquáticos, especialmente peixes. Apesar de ser bastante frequente e abundante em reservatórios, não são citadas interferências de suas colonizações no

meio ambiente e uso múltiplo da água e do corpo hídrico. Nas margens do corpo central do reservatório da UHE Santo Antônio essa espécie ocorre com frequência, principalmente nas partes intermediárias do remanso. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno e, ao contrário, sua população pode contribuir para a biodiversidade local.

Figura 2.30 – Plantas de *Eichhornia azurea* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

***Eichhornia crassipes***

Planta de hábito flutuante livre. Espécie de rápido crescimento em resposta a pequenas variações da qualidade da água. Coloniza áreas alagadas marginais a rios, onde exerce serviços ambientais fundamentais tanto na regulação de concentrações de elementos químicos na água como no provimento de habitat de reprodução e proteção de inúmeros organismos aquáticos. Trata-se de macrófita disseminada por

todo o Brasil e suas densas populações proporcionam importantes interferências no meio ambiente e usos múltiplos da água e dos corpos hídricos. No reservatório da UHE Santo Antônio, essa macrófita tem alta população e suas colonizações mais densas concentram-se nas áreas de igarapés abaixo do Teotônio. No início do remanso, o aguapé se desenvolve bem nos igarapés no período seco, quando há baixa taxa de reno-

vação da água. É uma planta que causa preocupações nesse corpo hídrico em

função de sua relação com a ocorrência de mosquitos *Mansonia*.



Figura 2.31 – Plantas de *Eichhornia crassipes* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

#### ***Eichhornia heterosperma***

Planta de hábito flutuante fixa. Em função do aspecto das suas plantas e habitat de colonização, é possível que, em algumas ocasiões, tenha sido confundida com a *E. azurea* (especialmente na ausência de inflorescências). Estas duas espécies aparentemente têm nichos ecológicos bastante similares, atuando como importante substrato para comunidades perifíticas. No Brasil, essa espécie tem sido citada nos estados do Norte e

Nordeste. As importantes colonizações dessa macrófita ocorrem nas margens do corpo central do reservatório da UHE Santo Antônio, nas partes interdiárias do remanso, próximas da foz do Rio Jaci. Não há expectativa que essa espécie ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno e, ao contrário, sua população pode contribuir para a biodiversidade local.



Figura 2.32 – Plantas de *Eichhornia heterosperma* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

***Salvinia auriculata***

Planta de hábito flutuante livre. É possível que ocorram outras espécies desse gênero no reservatório da UHE Santo Antônio, mas *S. auriculata* é amplamente predominante. Plantas desse gênero são citadas nos reservatórios de todo o Brasil. Trata-se de uma planta de ambientes lânticos e que apresenta elevados fluxos de crescimento populacional, quando inicia o processo de isolamento das lagoas marginais no início da estação seca. Suas colonizações têm causado sérios problemas ao meio ambiente e aos uso múltiplos da água e dos reservatórios em várias regiões do Brasil. Pelo seu tamanho há muita dificuldade

de sua retirada pelos equipamentos de colheita mecânica normalmente utilizados. Outro aspecto bastante importante das salvinias é que constituem substrato para a germinação e crescimento inicial de *Oxycaryum cubense*. No reservatório da UHE Santo Antônio essa macrófita está distribuída por todo o corpo hídrico, mas sua população pode ter sido subestimada nas avaliações de campo em função de seu tamanho diminuto, pois pode se desenvolver entremeadas às plantas de gramineas, poligonáceas ou mesmo de outras plantas flutuantes e não ser observada nos levantamentos.

Figura 2.33 - Plantas de *Salvinia auriculata* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

***Azolla caroliniana***

Planta de hábito flutuante livre. Trata-se de uma samambaia aquática de pequeno porte e que, muitas vezes, não é visualizada em levantamento botânico por se encontrar entremeadas em dosséis de plantas maiores. Esse gênero tem uma grande importância em ambientes aquáticos, pois estabelece relação comensal com algas

cianofíceas que fixam nitrogênio atmosférico. Consegue se desenvolver bem em ambientes sombreados. As plantas do gênero *Azolla* se encontram distribuídas por todo o Brasil e não há relatos de interferências negativas causadas por duas populações em reservatórios de usinas hidrelétricas. No reservatório da UHE Santo

Antônio sua ocorrência é esporádica e sua população pode ter sido subestimada em função de seu porte e habitat. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa

de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.

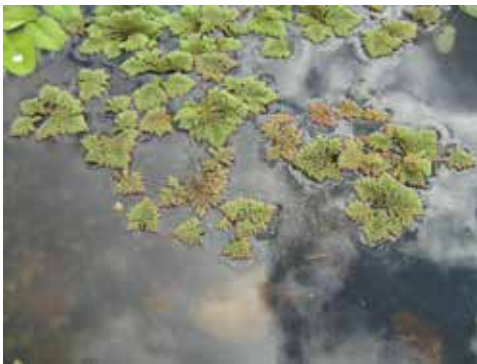


Figura 2.34 – Plantas de *Azolla caroliniana* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

### ***Ceratopteris thalictroides***

Planta de hábito flutuante e marginal. Trata-se de uma espécie de avenca aquática citada em todo o Brasil. É uma planta de vegetação bastante bonita e não tem sido relatado qualquer problema causado por suas populações no meio ambiente e usos múltiplos dos corpos hídricos. No reservatório da UHE Santo Antônio sua ocorrência é rara e foi encontrada colonizando aglomerados de ma-

terial orgânico em igarapés mais próximos da barragem, especialmente no São Domingos. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.



Figura 2.35 – Plantas de *Ceratopteris thalictroides* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

***Sphenoclea zeylanica***

Planta de hábito marginal. Tem sua ocorrência relatada em praticamente todo o Brasil onde coloniza margens de corpos hídricos sujeitos a variações de níveis d'água. Apresenta caule ereto e esponjoso na porção proximal com raízes nos nós inferiores. Não há qualquer relato de interferências de suas populações no meio ambiente e usos múltiplos dos corpos hídricos. No reservatório da UHE Santo Antônio tem sua ocorrência mais comum nas

entradas de igarapés, onde há maior variação do nível d'água e em ilhas causadas pelo assoreamento localizadas em frente à Vila do Teotônio. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.

Figura 2.36 – Plantas de *Sphenoclea zeylanica* em regiões de baixa profundidade no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

***Enydra anagallis***

Planta de hábito marginal e flutuante. Sua ocorrência é mais comum no sul do Brasil e Pantanal Matogrossense e não há relatos de interferências de suas colonizações no meio ambiente e usos múltiplos dos corpos hídricos. No reservatório da UHE Santo Antônio sua ocorrência é bastante baixa e confinada a áreas bastante lânticas nos igarapés abaixo da região do Teotô-

nio. Pelo seu histórico em outras regiões e reservatórios de hidrelétricas no Brasil, não há expectativa de que seja uma macrófita que ofereça risco negativo ao meio ambiente, ao manejo do reservatório e à sociedade do entorno. Sua presença no corpo hídrico pode contribuir para a biodiversidade local.



Figura 2.37 – Plantas de *Enydra anagallis* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, Rondônia.

## Dinâmica da comunidade de macrófitas aquáticas no reservatório da UHE Santo Antônio

A comunidade de macrófitas aquáticas no reservatório da UHE Santo Antônio é bastante diversificada. Nas campanhas de campo foram identificados 41 táxons de macrófitas aquáticas inseridas em dezoito famílias botânicas, sendo Poaceae, Cyperaceae e Fabaceae as que apresentaram maiores números de representantes. Grande parte das espécies presentes não tem histórico de causar problemas ao meio ambiente e aos usos múltiplos da água e dos corpos hídricos no Brasil. Ao contrário, são importantes plantas para manutenção da biodiversidade e dinâmica biótica do reservatório e do entorno imediato.

Além das plantas detectadas nos levantamentos, outras espécies não incluídas nos

pontos amostrais foram observadas em baixa ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio, podendo ser citadas: *Xyris* sp. (Xyridaceae), *Pontederia* spp. (Pontederiaceae), *Centella asiática* L. (Urban) (Apiaceae), *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. (Araliaceae), *Polygonum hydropiperoides* e *P. ferrugineum* (Polygonaceae), *Leersia hexandra* (Poaceae), *Cyperus ferox* e *C. giganteus* (Cyperaceae) e *Diodia saponariifolia* (Rubiaceae).

Várias são as espécies identificadas no reservatório da UHE Santo Antônio que tem histórico de interferência no meio ambiente e no uso múltiplo da água e de corpos hídricos, especialmente em atividades de interesse do homem.

### Plantas flutuantes

As plantas flutuantes *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia* spp. são plantas flutuantes livres com amplo histórico de

causarem problemas em reservatórios de usinas hidrelétrica e para o abastecimento de água e que ocorrem no reservatório

rio da UHE Santo Antônio. Em condições pristinas são plantas de ocorrência em ambientes lênticos, como áreas alagadas e lagoas marginais de corpos hídricos lóticos e nesses sistemas exercem relevantes serviços ambientais, sendo extremamente importantes para as dinâmicas da biota e da qualidade da água.

Em grandes rios as lagoas marginais ficam completamente inundadas no período das chuvas e acabam isoladas com o rebaixamento do nível da lâmina-d'água na estação seca. Na chegada dessa estação, na medida em que o nível d'água vai baixando e as lagoas sendo isoladas, o ambiente vai se tornando mais lêntico e há maior disponibilidade de nutrientes na água pela decomposição de material orgânico e proximidade do sedimento à superfície. As macrófitas flutuantes respondem rapidamente à maior disponibilidade de nutrientes e prontamente colonizam essas lagoas e igarapés. Com esse rápido e profuso crescimento, retiram grandes quantidades de nutrientes da água, fornecem abundante biomassa para herbívoros e constituem habitat adequado para a reprodução de organismos aquáticos e para proteção de suas fases jovens. São serviços ambientais relevantes.

Na chegada da estação chuvosa, os níveis da lâmina-d'água vão subindo e as áreas marginais sendo inundadas. Nessas condições, as macrófitas flutuantes vão sendo carregadas para o leito do rio e descem para jusante, distribuindo os nu-

trientes que mobilizaram na estação seca. Nas partes submersas se alojam larvas de peixes e outros organismos aquáticos que também vão se dispersando ao longo da jusante.

Quando os rios são interceptados para formação de reservatórios, o sistema lêntico é instalado e as condições passam a oferecer ambiente favorável para as macrófitas flutuantes. Quando a formação do lago é acompanhada de rápida eutrofização da água, as condições para a plantas flutuantes passam a ser similares às encontradas nas lagoas marginais e igarapés na estação seca. Esses dois fatos (sistema lêntico e eutrofização) são determinantes para a formação de extensas e densas colonizações de macrófitas aquáticas flutuantes observadas em inúmeros reservatórios artificiais no Brasil e no mundo. Somando a esses dois fatores fundamentais para o crescimento de plantas flutuantes, as ocupações agrosilvopastoris e o desmatamento das bacias de contribuição reduzem as diversidades e densidades das redes tróficas locais e o controle biológico natural dessas plantas também se torna reduzido.

Nas condições do reservatório da UHE Santo Antônio, o comportamento ecológico das plantas flutuantes é menos afetado pelo sistema em relação a reservatórios associados a corpos hídricos menores. Pelo caráter prístino de sua bacia de contribuição, a diversidade biológica foi pouco alterada e as pressões bióticas de predação e parasitismo ainda são bastante impor-



Colonização de plantas  
aquáticas em lago no  
entorno do rio Madeira,  
Porto Velho (RO).  
Foto: Martha Rojas

tantes nessas populações de macrófitas. A qualidade da água não sofreu alterações suficientes para maior promoção do crescimento das plantas flutuantes no corpo do reservatório e o ciclo de variação do nível das águas ainda é marcante no comportamento dessa macrófitas, com crescimento profuso nos igarapés na estação seca e escoamento para o corpo central na estação úmida.

No período de vazante começa nos igarapés a dinâmica das populações das macrófitas flutuantes com rápido desenvolvimento das plantas do gênero *Salvinia*. Nas partes mais distantes do igarapés são observadas as formações de densas colonizações dessa macrófita. Com o passar do tempo e redução da lâmina-d'água, as populações de *P. stratiotes* vão se instalando rapidamente nas partes mais externas dos bancos de *salvinia*. Em seguida, há o rápido e predominante crescimento da população de *E. crassipes*. Durante todo esse período, as populações de *salvinia*

começam a ser colonizadas epifiticamente por plântulas de *O. cubense* e essa colonização se estende para bancos de aguapé na medida em que as flutuantes vão formando colonizações mistas.

Nas áreas mais próximas do corpo do reservatório, há grande acúmulo de macrófitas flutuantes nos obstáculos ao livre deslocamento dessas plantas para jusante, destacando-se os paliteiros. As plantas já chegam a esses paliteiros com o início da colonização epifítica de *O. cubense*, ficam estacionadas nestes locais e ocorre a formação de grande biomassa dessa ciperácea. O crescimento das macrófitas flutuantes nestes obstáculos é favorecido pelo caráter estacionário das plantas e a passagem de água em seus sistemas subterrâneos, realimentando constantemente a disponibilidade de nutrientes. No corpo de reservatório não ocorre significativo crescimento das macrófitas flutuantes livres, apenas observando-se o carregamento pela correnteza.

---

### Plantas marginais

Dentre as principais macrófitas aquáticas marginais que colonizam o reservatório da UHE Santo Antônio várias não tem histórico de problemas causados pelas suas colonizações ao meio ambiente e aos usos múltiplos da água e de corpos hídricos no Brasil, podendo ser incluídas *E. azurea*, *E. heterosperma*, *M. pigra*, *P. rivulare* e *Panicum repens*. Essas plantas têm sido importantes componentes da biodiversidade

marginal, protegendo margens de processo erosivo, fornecendo poleiros para predadores, provendo site de proteção e reprodução de organismos aquáticos e terrestres, disponibilizando substratos para o desenvolvimento de comunidades perifíticas e outros serviços ambientais importantes.

As macrófitas marginais *Paspalum re-*

pens e *E. polystachya* também executam esses serviços ambientais importantes. Entretanto, tem tido um comportamento dominante nas regiões litorâneas, onde crescem sobre a lâmina-d'água e formam grandes biomassas flutuantes. Essa biomassa não tem sustentação, se despregam das margens e são carregadas para jusante na forma de grandes ilhas flutuantes, colocando em risco pequenas embarcações e se acumulando próximas dos vertedouros. Essas ilhas de vegetação podem potencializar o deslocamento de tocos e submergir atingindo as grades de proteção das turbinas.

No período de observações desse projeto (2018-2021), se observou que *E.*

*polystachya* é a mais importante colonizadora marginal do terço inicial do remanso e abaixo desse trecho predomina a população de *Paspalum repens*. Além do risco das formações de ilhas, essas plantas contribuem para o crescimento de plantas de *E. crassipes*. As projeções das ramificações constituem anteparos ao deslocamento das plantas flutuantes que adquirem estabilidade geográfica e são nutridas pela renovação constante de água em suas partes submersas. Essas são condições adequadas para o crescimento dessa macrófita. Não foi avaliada a contribuição dessa associação para a dinâmica das populações das plantas flutuantes no reservatório da UHE Santo Antônio.

---

### ***Urochloa subquadrifida***

Neste capítulo será dada especial atenção à gramínea exótica invasora *U. subquadrifida* que é considerada como a maior ameaça à biodiversidade marginal em águas continentais no Brasil. Essa espécie é nativa do centro-sul da África e foi introduzida nos EUA e, depois, no Brasil, com a finalidade de viabilizar pastagens em áreas úmidas, onde outras gramíneas não cresciam a contento. Este projeto foi abandonado devido ao baixo conteúdo nutricional desta gramínea e seu potencial tóxico para algumas espécies animais, promovendo fortes sintomas de fotossensibilização em animais domésticos.

Nas áreas em que foi introduzida e

abandonada, sem a pressão de pastoreio do gado, a planta passou a expandir suas populações e aumentou rapidamente sua área de distribuição geográfica. Os habitats adequados foram as margens de corpos hídricos e baixas úmidas. Esta planta não encontrou inimigos naturais locais que fossem suficientes para controlar o profuso crescimento de suas populações e sua forragem não se insere na preferência alimentar de uma série de herbívoros nativos que vivem na região litorânea dos corpos hídricos, como a capivara, a paca e alguns cervídeos.

A propagação de *U. subquadrifida* ocorre predominantemente por fragmen-

tos de caules que são transportados pela água e seu estabelecimento é rápido. A planta não é exigente em fatores abióticos do solo, exceto umidade, e, por isso, não é sensível à série de limitações encontradas nos vários ambientes de colonização. Com tantas condições favoráveis, essa macrófita se tornou uma planta exótica invasora importante em corpos hídricos.

Devido a esta rusticidade, esta gramínea cresce profusamente nas margens de reservatórios e corpos hídricos, competindo com sucesso e substituindo a vegetação nativa podendo ser considerada como uma das principais causas da perda de biodiversidade marginal em corpos hídricos no Brasil.

Outro aspecto importante da relação entre as colonizações da braquiária-aquática com macrófitas flutuantes é observado quando a gramínea passa a proporcionar condições para que ocorra o aumento da colonização das flutuantes, como o aguapé e a alface d'água. *Urochloa subquadrifida* começa sua colonização pelas mar-

gens e lança ramos para sobre a lâmina d'água. Nesta situação, os ramos passam a ancorar plantas flutuantes, tornando-as geograficamente estáveis. Essa é uma condição bastante favorável ao crescimento vegetativo das plantas aquáticas, mesmo porque o sistema hídrico é moderadamente lótico e o fluxo de água passando pelo seu sistema radicular renova constantemente a disponibilidade de nutrientes. Nesta condição, as plantas flutuantes passam a formar bancos bastante vigorosos e de rápido crescimento vegetativo, atingindo elevadas taxas de crescimento, mesmo em águas não eutrofizadas. No reservatório da UHE Santo Antônio, o crescimento do banco de aguapé é praticamente contínuo, pois o sistema lótico fornece nutrientes e não há estação térmica pronunciada em Rondônia.

Os próprios bancos de aguapé formados nas colonizações marginais de *U. subquadrifida* fornecem apoio para que os ramos da gramínea possam expandir-se novamente em direção ao corpo hídrico e, com isso, repetirem o ciclo pro-

Figura 2.38 – Fotos da formação de associação proto-cooperativa entre colonizações de *Eichhornia crassipes* e *Urochloa subquadrifida*. Na esquerda, aspecto da invasão da gramínea sobre banco da pontederiácea e, na direita, foto de plantas de aguapé estabilizadas geograficamente e início de colonização epifítica da braquiária-aquática. Foto tomada na EHE Aimorés e do acervo da Ecosafe Agricultura e Meio Ambiente SS Ltda.





Lago nas proximidades  
do rio Madeira,  
Porto Velho (RO).  
Foto: Saulo Simões

to-cooperativo, elevando mais ainda a associação dessas macrófitas. Estas colonizações mistas chegam a formar franjas com largura de 50 a 100 metros. Na **FIGURA 2.38** estão apresentadas fotos dessa associação obtidas no reservatório da UHE Aimorés, pois como a colonização da *U. subquadripara* é recente ainda não chegou na fase de formação da associação comentada no reservatório da UHE Santo Antonio.

Estas formações epifíticas podem debilitar e até matar as plantas flutuantes,

fazendo com que o conjunto submerja e seja arrastado pelo fluxo d'água para as grades de proteção das turbinas.

Considerando que os bancos de braquiária-aquática já estabelecidos no reservatório da UHE Santo Antônio são de pequenas dimensões e ainda passíveis de erradicação sem elevado impacto ambiental, é sugerido o seu rápido controle para que igarapés não sejam comprometidos em seus serviços ambientais fundamentais para a dinâmica da fauna dos rios amazônicos.

### Considerações finais

O reservatório da UHE Santo Antônio apresentou elevada biodiversidade de espécies de macrófitas aquáticas e nas campanhas de campo foram identificadas 41 espécies inseridas em 19 famílias botânicas, sendo Poaceae, Cyperaceae e Fabaceae as que apresentaram maiores números de táxons. Grande parte das populações que colonizam o reservatório não tem histórico de interferências significativas no meio ambiente e nos usos múltiplos da água e de corpos hídricos e contribuem bastante para a biodiversidade local.

As dinâmicas das plantas flutuantes não foram expressivamente alteradas com a construção do reservatório, excetuando-se a presença de anteparos ao livre escoamento das plantas, como paliteiros, que permitem formação de grandes bancos dessas macrófitas e das plantas de

crescimento epifítico em posições mais internas do reservatório.

As populações de gramíneas marginais que formam ilhas de vegetação, como *Paspalum repens* e *E. polystachya* aumentaram no período desse projeto, mostrando ser uma clara tendência na dinâmica da comunidade vegetal desse corpo hídrico. A presença da gramínea exótica invasora *Urochloa subquadripara* foi discutida ressaltando os riscos de suas infestações nas áreas marginais dos rios amazônicos.

As relações entre as populações de algumas espécies e mosquitos do gênero *Mansonia*, uma das principais metas desse projeto de pesquisa e desenvolvimento foram discutidas em outros capítulos do presente livro.

## Referências

1. Hoyer MV, Canfield Jr DE, Horsburgh CA, Brown K Florida freshwater plants a handbook of common aquatic plants in Florida lakes. Gainesville, IFAS/UFL, 1996.
2. Kismann K, Groth D. Plantas infestantes e nocivas. 2ªed. São Paulo, BASF, 1997.
3. Pott VJ, Pott A. A. Plantas do pantanal. Brasília: Editora da Embrapa, 2000.
4. Langeland KA, Cherry HM, McCormick CM, Burks KA Invasive and Non-native Species. Freshwater Plants in the Southeastern United States: A Recognition Guide for 133 Plants. Gainesville, IFAS/UFL, 2008.
5. Lorenzi, H. Plantas Daninhas do Brasil: Terrestres, Aquáticas, Parasitas e Tóxicas. 4ªed Nova Odessa, Instituto Plantarum, 2008
6. Pitelli RLCM, Pitelli RA, Rodrigues CJ, Dias JHP. Manual de identificação das plantas aquáticas de Porto Primavera. 1ªed. Jaboticabal, Editora FUNEP, 2012.
7. Pitelli RLCM, Pitelli RA, Santos SCA, Silva AF, Velini ED. Macrófitas aquáticas do reservatório de Nova Avanhandava. 1ªed. Jaboticabal: Editora Funep, 2013.
8. Pompeo M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros. São Paulo, Editora da USP, 2017.





Capítulo 3

# PLANO DE MANEJO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NO RESERVATÓRIO DA UHE SANTO ANTÔNIO

**Edivaldo Domingues Velini<sup>1</sup>**

**Augusto Antonio Bronhara<sup>2</sup>**

**Plínio Saulo Simões<sup>1</sup>**

**Robinson Antonio Pitelli<sup>3</sup>**

**Robinson Luiz C. M. Pitelli<sup>4</sup>**

**Caio Antônio Carbonari<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> NUPAM - Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia,  
Departamento de Proteção Vegetal, FCA/Unesp Botucatu, SP, BR.

<sup>2</sup> FUNDUNESP, São Paulo, SP, BR.

<sup>3</sup> Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,  
FCAV/Unesp, Jaboticabal, SP, BR.

<sup>4</sup> Ecosafe Agricultura e Meio Ambiente SS Ltda, Jaboticabal, SP, BR.

*O crescimento excessivo de plantas aquáticas pode comprometer o ambiente e as atividades humanas. No Brasil, são poucas as opções para o manejo deste tipo de vegetação. Há apenas um herbicida registrado para o controle de plantas submersas, os estudos de controle biológico se limitam a pesquisas e há poucos equipamentos de controle mecânico. Neste contexto, é muito relevante utilizar todo o conhecimento disponível e empregar as técnicas de controle com o máximo racionalidade e eficácia. Neste capítulo são apresentados os principais métodos de controle de macrófitas e são discutidas suas vantagens, limitações e potencial de uso em grandes reservatórios no Brasil. O reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Santo Antônio tem condições extremamente favoráveis ao crescimento de macrófitas, mas a infestação tem se mantido estável indicando que, mesmo em condições de escassez de métodos de controle, a produção e aplicação do conhecimento contribui de modo decisivo para o manejo integrado sustentável das plantas aquáticas.*

## Introdução

Macrófitas aquáticas são plantas superiores que vivem em ambientes hídricos ou em solos permanentemente encharcados, não obstante alguns autores incluam determinadas algas como *Nitella* spp. e *Chara* spp. nesta cenose funcional. As macrófitas são importantes componentes dos ecossistemas de águas continentais onde exercem relevantes serviços ambientais, tais como: (i) regulação das concentrações de nutrientes e outros elementos na água; (ii) provimento de expressiva fonte alimentar para herbívoros; (iii) determinação de heterogeneidade espacial e temporal, favorecendo a biodiversidade local; (iv) provimento de substrato abundante e diversificado para comunidades perifíticas e (v) proteção das margens do corpo hídrico contra o processo erosivo determinado pelas variações dos níveis d'água e ondas. Estes benefícios ambientais são observados em sua plenitude em corpos hídricos prístinos ou com pequenas intervenções antrópicas <sup>1,2</sup>.

Em ambientes sob forte influência antrópica ocorrem alterações das condições ambientais originais, afetando de forma diferenciada as populações de macrófitas que colonizam o corpo hídrico. Nestas condições algumas espécies são menos afetadas ou mesmo favorecidas em detrimento de outras, que não são favorecidas e até prejudicadas pelas novas condições. Como consequência, ocorrem profundas alterações nas importâncias relativas das populações presentes, chegando mesmo

à extinção local de algumas delas. As espécies favorecidas podem formar extensas e densas colonizações e, com isso, determinar alterações no ambiente de modo que seus benefícios ambientais sejam superados pelos efeitos prejudiciais que ocasionam <sup>2</sup>.

As principais alterações ambientais que influenciam os corpos hídricos e favorecem alterações nas comunidades de macrófitas aquáticas são: (i) construções de barragens e de lagos artificiais; transformando ambientes originalmente lóticos em lênticos; (ii) eutrofização da água; (iii) assoreamento de corpos hídricos; (iv) introdução de espécies exóticas, tanto vegetais quanto animais, e (v) redução da diversidade e quantidade de inimigos naturais das macrófitas aquáticas ocasionados pela ocupação agropastoril e urbanização da bacia de contribuição do corpo hídrico <sup>2</sup>.

Nas situações de forte desequilíbrio das condições originais do corpo hídrico são verificadas as formações de elevadas colonizações de apenas algumas populações de macrófitas aquáticas, promovendo interferências nas biocenoses e que são prejudiciais ao meio ambiente, à sociedade e aos usos múltiplos de água e do próprio corpo hídrico. As interferências fazem com que as macrófitas aquáticas, apesar dos benefícios ambientais importantes em ambientes prístinos ou de baixa intervenções antrópicas, sejam alvos de medidas de controle, algumas até drásticas, para

prevenir efeitos negativos nos usos múltiplos da água e dos corpos hídricos, na saúde humana e no meio ambiente <sup>2</sup>.

O reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Santo Antônio, apesar da recente formação, já vem enfrentando algumas expressivas alterações em sua comunidade de macrófitas aquáticas, sendo as mais evidentes: (i) grandes áreas colonização de plantas típicas de ambientes lânticos, como as macrófitas flutuantes e suas epífitas e (ii) colonização intensa das bordas por plantas marginais em função da lâmina-d'água se aprofundar de forma gradativa, permitindo que as colonizações adentrem maiores distâncias para o interior do corpo hídrico, formando grandes biomassas de macrófitas aquáticas marginais, especialmente gramíneas.

Em função, especialmente destas duas alterações, os problemas que vêm sendo atribuídos à presença de macrófitas no reservatório da UHE Santo Antônio são: (i) aumento regional das populações de mosquitos hematófagos, especialmente os Culicídeos; (ii) interferência na geração de energia elétrica e nos custos de manutenção da operação e (iii) ocorrência de *Urochloa subquadrifida*, espécie exótica com alta capacidade de crescimento, que pode levar à exclusão de espécies nativas de macrófitas e redução da biodiversidade. Sem esquecer de outros problemas relevantes que as macrófitas aquáticas podem

causar, o presente Plano de Manejo vai enfocar as plantas mais diretamente relacionadas a essas duas modalidades de interferência.

O plano foi elaborado considerando as informações produzidas no projeto de pesquisa "Biomonitoramento e Controle Integrado de macrófitas e mosquitos do gênero *Mansonia* (Diptera: Culicidae) em região associada a lago de Usina Hidrelétrica (UHE) no Brasil". Na execução desse projeto houve grande avanço no entendimento das relações entre macrófitas com a ocorrência de mosquitos do gênero *Mansonia*, sendo possível definir quais são as espécies de macrófitas prioritárias em termos de controle.

Duas espécies que parecem estar mais diretamente associadas à ocorrência de *Mansonia* são o aguapé (*Eichhornia crassipes*) e a salvinia (*Salvinia molesta*) (FIGURA 3.1), duas espécies flutuantes com fácil movimentação por correntes de água ou vento. Essas espécies podem ser encontradas crescendo conjuntamente com outras espécies, especialmente as que têm se tornado predominantes no reservatório, como o *Paspalum repens* e o *Oxycaryum cubense*. A salvinia, principalmente, está presente em praticamente todo o reservatório, crescendo isolada, livremente ou entremeada com outras espécies. Essa samambaia aquática proporciona ambiente para a germinação e distribuição de outras macrófitas, com destaque para o *Oxycaryum cubense*.



Figura 3.1 – Fotos de plantas de *Eichhornia crassipes* (aguapé) e de *Salvinia auriculata* (salvinia) importantes macrófitas na dinâmica das populações de espécies de *Mansonia* no reservatório da UHE Santo Antonio

## Plano de manejo de macrófitas aquáticas

Ao contrário de planos de manejo de pragas agrícolas, fitopatógenos e plantas daninhas resistentes que tem o objetivo de atingir apenas uma espécie ou um pequeno grupo de espécies pertencentes a uma cenose específica ou, mesmo, um biotipo de dentro de uma população, o manejo de macrófitas aquáticas tem o objetivo de atingir toda uma comunidade de plantas aquáticas, na maioria das vezes compostas de variadas populações que ocupam diferentes nichos ecológicos.

Assim, o manejo de macrófitas aquáticas pode ser definido como a aplicação integrada e inteligente das técnicas de controle de populações de macrófitas indesejadas e de incentivo de populações desejadas, visando o estabelecimento de uma composição específica e taxa de ocupação da vegetação aquática que não causem interferências nos usos múltiplos da água e do corpo hídrico, no meio ambiente e na saúde humana e animal. É importante ressaltar que as macrófitas

aquáticas que causam algum tipo de interferência são mais importantes e devem merecer mais atenção no estabelecimento do programa de manejo. Esse processo é dinâmico e, a cada período, a composição específica e as taxas de colonização podem ser alteradas. Assim sendo, as aplicações das técnicas de manejo devem ser reprogramadas em períodos, visando atender às novas demandas dos usos da água, do reservatório e dos problemas de saúde pública e meio ambiente.

Outro fato a ser considerado é que em alguns corpos hídricos, especialmente aqueles de grande extensão, os problemas causados pela comunidade de macrófitas aquáticas não são uniformes e causam interferência diversas dependendo das condições e características do local em que se localizam, exigindo atitudes de manejo também diversas. Esta dinâmica da variação geográfica e temporal nas aplicações das medidas de manejo ao lon-

go de tempo é denominada de plano de manejo de macrófitas aquáticas.

As medidas de manejo das macrófitas aquáticas podem ser classificadas como medidas preventivas, *físicas* (incluindo o confinamento das populações em locais espe-

cíficos por meio de barreiras de contenção e o uso de vapor ou laser), *mecânicas* (que também podem ser consideradas medidas físicas), *químicas* (uso de compostos naturais ou sintéticos; orgânicos ou inorgânicos), *biológicas* (uso de inimigos naturais) e alterações ambientais dos locais de colonização.

---

### Medidas de manejo de macrófitas aquáticas

Neste texto inicialmente serão descritas as medidas de controle das macrófitas aquáticas agrupadas por categoria e será realizada apenas uma breve descrição de cada uma, considerando que muitas delas não

são aplicáveis às condições do reservatório da UHE Santo Antônio em função das características deste corpo hídrico e das demandas que determinam a necessidade do manejo destas plantas.

---

#### Medidas preventivas e erradicação

As medidas preventivas são aplicadas com os objetivos de detectar e evitar (i) o estabelecimento de novas populações de macrófitas que são exóticas ao ambiente do reservatório e que possam tornar-se potenciais problemas no futuro e (ii) situações que permitam profusa proliferação e crescimento das plantas presentes e que são conhecidamente causadoras de interferências indesejadas. Essas medidas incluem (i) monitoramento periódico do reservatório com equipe especializada e (ii) educação ambiental na população ribeirinha e usuários do corpo hídrico, visando evitar a introdução de espécies exóticas, a eutrofização e a contaminação da água.

Quando já houve a introdução de uma

nova espécie, deve ser avaliada a possibilidade de erradicação. A prática somente é viável em infestações iniciais e deve ser feita com o uso de agentes de controle que permitam eliminar as plantas já estabelecidas e, também, os propágulos presentes. Em geral, a erradicação apenas é alcançada com a integração e ou repetição das práticas de controle.

Nesse contexto, o fato mais relevante nesse estudo na reservatório da UHE Santo Antonio foi a identificação, na campanha de maio de 2019, de uma população de braquiária aquática (*Urochloa subquadrifera*) no igarapé Ceará (FIGURAS 3.2 A 3.5). Esta gramínea é uma invasora de corpos hídricos muito agressiva, que tende a formar infestações monoespecíficas nas regiões marginais,

substituindo a flora nativa da região. Atualmente, a infestação da braquiária já atinge área expressiva no Ceará e outros igarapés e demanda ações urgentes para sua erradicação. Esta planta não apresenta capacidade de flutuação e seus caules possuem elevada resistência mecânica. Além dos danos ecológicos, o seu deslocamento até as grades de proteção das turbinas pode comprometer seriamente a geração de energia elétrica. Essa gramínea exótica invasora pode tornar dominante nas região litorânea do reservatório. A melhor alternativa para a sua supressão é o uso de herbicidas sistêmicos (com capacidade de translocar nas plantas). Herbicidas como glyphosate, imazapyr ou imazamox aplicados isoladamente ou associados seriam alternativas para a erradicação dessa espécie no reservatório. A aplicação somente seria viável com o uso de drones, considerando a presença de paliteiros (troncos de árvores mortas oriundas das áreas de florestas inundadas) e a dificuldade de deslocamento nas áreas infestadas. As técnicas necessárias para o uso de drone na aplicação de líquidos e grânulos nas condições do reservatório da UHE Santo Antônio já foram desenvolvidas e não haveria grandes dificuldades técnicas para realizar a aplicação emergencial de herbicidas para a erradicação da *Urochloa subquadriflora*, caso essa atividade seja autorizada pelos órgãos reguladores.

As medidas preventivas no manejo de pragas, moléstias e plantas indesejadas é uma ação que deve ser contínua, pois previne grandes fluxos populacionais que podem gerar problemas ambientais, econômicos e sociais.



Figura 3.2: Fragmento de planta de braquiária (*Urochloa subquadriflora*) identificada no Igarapé Ceará, em maio de 2019.



Figura 3.2: Infestação de braquiária (*Urochloa subquadriflora*) no Igarapé Ceará observada em maio de 2019.



Figura 3.3: Infestação de braquiária (*Urochloa subquadriflora*) no Igarapé Ceará observada em janeiro de 2020.



Figura 3.4: Imagem aérea da infestação de braquiária (*Urochloa subquadriflora*) no Igarapé Ceará observada em janeiro de 2020.

### Controle biológico

O controle biológico consiste na utilização de organismos vivos (inimigos naturais) para a redução populacional de espécies indesejáveis, denominadas espécies-alvo. Os inimigos naturais são organismos que têm relações antagônicas com a espécie-alvo, incluindo predação, parasitismo, competição e amensalismo. O controle biológico tradicionalmente realizado no manejo de macrófitas aquáticas se baseia na utilização de predadores e parasitas <sup>4</sup>. Para o controle de algas, o amensalismo tem sido utilizado com sucesso.

O controle biológico tem caráter específico e deve sempre fazer parte de programas de manejo integrado de macrófitas, sendo associado a outras medidas de controle de ação geral. Tem grande utilidade no controle de espécies consideradas de alta nocividade, como aquelas que são capazes de favorecer a ocorrência de mosquitos considerados indesejáveis ou plantas exóticas invasoras.

Considerando o controle biológico por predadores e parasitas de macrófitas, três estratégias têm sido utilizadas em diferentes partes do mundo.

- A **estratégia clássica** é adequada para plantas exóticas invasoras e se baseia na pesquisa, seleção, estudos de seletividade e de segurança ambiental de inimigos naturais que ocorrem no centro de origem da espécie-alvo para posterior introdução no local de controle. É uma

estratégia que requer estudos intensivos e completos a respeito da biologia e especificidade do agente, muito onerosa e demorada e, por isso, não se recomenda para as condições do reservatório da UHE Santo Antônio. É importante observar que esta estratégia utiliza agentes de controle que também são exóticos, com todos os riscos ambientais e econômicos embutidos, apesar do intenso estudo de segurança ambiental <sup>5</sup>.

- A **estratégia inundativa** se baseia na utilização de inimigos naturais da espécie-alvo que são endêmicos no reservatório ou na bacia hidrográfica, mas que ocorrem em tamanhos populacionais que não são suficientes para promover danos suficientes para controlar o crescimento populacional da macrófita. O tamanho da população do agente de controle biológico é função das pressões bióticas que recebe naquele ambiente e não consegue aumentar sua população de forma natural e espontânea.

A estratégia inundativa consiste em selecionar os inimigos naturais no próprio local em que pretende implementar o controle biológico, selecionar o agente de acordo com sua especificidade para a espécie-alvo, avaliar seu comportamento predador ou parasita em densidades maiores que as que ocorre naturalmente e, uma vez assegurada a segurança ambiental, desenvolver criações de grandes quantidades em laboratório. Com

os organismos criados em laboratório é possível aumentar rápida e drasticamente o potencial de dano do agente sobre a espécie-alvo, promovendo expressivo impacto negativo no vigor e na sua densidade populacional <sup>5</sup>.

Esse controle é bastante rápido, mas tem resiliência elevada, uma vez que as populações de inimigos naturais dos agentes liberados respondem prontamente ao aumento da oferta de alimento e rapidamente o equilíbrio relativo original das populações é restabelecido. Se necessárias, outras liberações podem ser realizadas. Esta estratégia é passível de ser utilizada no reservatório da UHE Santo Antônio, uma vez que já existem inúmeros predadores e parasitas identificados para *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia* spp., *Polygonum lapathifolium* e outras macrófitas importantes, os quais são sabidamente específicos, utilizados em várias regiões do mundo e adequados para serem utilizados nessa estratégia, após rápido estudo de segurança ambiental. Neste projeto de pesquisa foram identificados inimigos naturais autóctones das principais espécies de macrófitas e foram desenvolvidos os procedimentos para multiplicar alguns deles.

- A **estratégia repositiva** constitui uma adaptação da estratégia inundativa, na qual se estabelece um tamanho populacional do agente de controle biológico que é suficiente para manter a espécie-

-alvo sob controle e esse tamanho populacional é mantido artificialmente por liberações controladas <sup>5</sup>. No caso de macrófitas aquáticas, o exemplo clássico é a utilização da carpa-capim para o manejo de plantas submersas em ambientes lacustres e canais. À luz do conhecimento atual, não se vislumbra a possibilidade da utilização desta estratégia no controle de macrófitas aquáticas no reservatório da UHE Santo Antônio.

Em resumo, nas avaliações realizadas no reservatório da Usina Hidrelétrica Santo Antônio foram identificadas oportunidades de utilização da estratégia inundativa utilizando predadores e fitopatógenos no controle de algumas espécies flutuantes e marginais. Os resultados mais significativos foram obtidos com patógenos de plantas e o gafanhoto, *Cornops aquaticum*, que ocorre exclusivamente em populações de aguapés (*Eichhornia crassipes* e *Eichhornia azurea*) <sup>6</sup>. Observações feitas no reservatório indicam que o *Cornops aquaticum* já apresenta efeito importante no controle das populações dessas duas espécies de aguapé, principalmente de *Eichhornia crassipes*, que tem a capacidade de alojar as fases larvais de *Mansonia* spp.. Portanto, o controle de aguapés com uso de *Cornops aquaticum* já ocorre naturalmente em nível expressivo no reservatório.

Uma alternativa bastante utilizada no reservatório é a intervenção mecânica seletiva buscando o controle de *Eichhornia*

*crassipes*. Após a atividade de controle a comunidade que infesta as áreas é predominantemente composta por *Paspalum repens* e outras gramíneas marginais. Ao ocupar o ambiente, essas gramíneas dificultam a reinfestação por *Eichhornia*

*crassipes*, pela competição por espaço e recursos de crescimento. Portanto, o que de modo simples poderia ser chamado de controle mecânico é efetivamente, a integração do controle mecânico com o controle biológico (competição).

---

### Controle químico

O controle químico se refere à utilização de substâncias químicas para promover a mortalidade, inibir diretamente o crescimento de macrófitas aquáticas ou alterar as condições ambientais, tornando-as menos propícias ao crescimento dessas plantas. As substâncias podem ser naturais ou sintéticas, inorgânicas ou orgânicas <sup>3</sup>.

O controle químico tradicional utiliza substâncias sintéticas com capacidade herbicida para o controle de plantas aquáticas. Essa opção não pode ser considerada no plano de manejo de macrófitas aquáticas no reservatório da UHE Santo Antônio, uma vez que não há qualquer herbici-

da registrado para utilização em ambientes hídricos no Brasil que tenha capacidade de controlar as espécies de macrófitas predominantes nesse reservatório. As características, vantagens e limitações do controle químico são discutidas em capítulo específico tratando do tema.

Merece destaque que o sulfato de alumínio e o sulfato de cobre, compostos inorgânicos utilizados em tratamento de águas, têm atividade no controle de macrófitas. Esses compostos não possuem ação sistêmica nas plantas e, consequentemente, as macrófitas se recuperam rapidamente exigindo rapidamente novas intervenções de controle.

---

### Controle mecânico

O controle mecânico de macrófitas aquáticas utiliza equipamentos para a retirada das macrófitas aquáticas do corpo hídrico ou a destruição das plantas dentro da água, de forma que percam sua capacidade de rebrota e recolonização.

O método tradicionalmente utilizado

no Brasil é o controle mecânico com a retirada da biomassa do corpo hídrico. Este é um processo bastante oneroso, mas apresenta a vantagem de solução imediata dos problemas causados pelas macrófitas em locais específicos. Também se trata de um processo que precisa ser repetido frequentemente quando

as condições da água são favoráveis ao crescimento vegetal.

O controle mecânico com retirada de biomassa do corpo hídrico envolve várias etapas para sua completa execução: (i) o deslocamento das plantas de seus bancos de colonização, (ii) a sua coleta e armazenamento em embarcações, (iii) o transporte dentro do reservatório até o porto de retirada da biomassa, (iv) a própria retirada da biomassa do corpo hídrico e o (v) transporte para a área de disposição final de forma ambientalmente adequada. Dependendo do tipo de corpo hídrico e da modalidade de colheita, algumas destas etapas podem ser eliminadas.

As avaliações das taxas de crescimento das principais macrófitas presentes no reservatório da UHE Santo Antônio indicaram que se essas plantas não tiverem nenhum tipo de limitação adicional às já existentes, podem crescer da ordem de 10% ao dia. Portanto, as práticas mecânicas de controle não podem dispersar as plantas no reservatório e, quando possível, devem ser associadas a práticas de constrição das populações para que elas tenham sua capacidade de crescimento limitada. **As capacidades operacionais dos equipamentos utilizados e a intensidade das interferências realizadas devem ser sempre muito superiores ao potencial de crescimento das macrófitas no local para que o controle mecânico possa efetivamente reduzir as infestações.**

No reservatório da UHE Santo Antônio, o controle mecânico vem sendo utilizado desde a sua constituição. Os equipamentos tradicionalmente empregados no Brasil apresentam elevada capacidade operacional e têm como principal característica o uso de escavadeiras de esteiras no processo de retirada das plantas, deslocamento das balsas e compactação das plantas. O processo de compactação é bastante eficiente permitindo a colheita de grandes áreas até que haja a necessidade de descarregamento. As maiores limitações são os custos, a necessidade de áreas para descarregar a biomassa, a presença de escavadeiras se movimentando sobre as balsas (o que pode ocasionar acidentes) e a fragmentação e dispersão das massas de plantas.

Alternativamente aos sistemas de grande porte em uso no reservatório, foi desenvolvida uma embarcação multifuncional, acoplada a uma balsa de apoio que utiliza um sistema de garra para a retirada das macrófitas do reservatório (**FIGURA 3.5**). Esta embarcação foi desenvolvida e está sendo avaliada no âmbito desse projeto de pesquisa e tem demonstrado ser bastante útil no controle de macrófitas em áreas de difícil acesso às embarcações de grande porte. O sistema de garra para a retirada de plantas mostrou-se bastante eficiente e com grandes vantagens em relação ao sistema com concha frontal utilizado nos sistemas convencionais com escavadeiras.

Figura 3.5: Embarcação multifuncional desenvolvida com recursos do projeto de pesquisa, operando no controle de plantas aquáticas no Igarapé São Domingos.



As operações emergenciais de controle realizadas no âmbito do projeto de pesquisa tiveram por objetivos principais: 1) avaliar os efeitos na ocorrência de mosquitos; 2) produzir informações operacionais que permitissem otimizar o uso dos sistemas; 3) gerar informações que contribuíssem no projeto de sistemas de controle mecânico mais efetivos; 4) estabelecer diretrizes para integrar o controle mecânico a outras práticas de controle; 5) controle emergencial de grandes infestações de macrófitas, como no caso de *Salvinia molesta* no Igarapé Jatuarana e áreas a jusante.

Os resultados obtidos indicam que o controle mecânico emergencial realizado no Igarapé São Domingos, de julho de 2019 a janeiro de 2020, reduziu efetivamente o número de adultos de *Mansonia* coletados na armadilha instalada na comunidade de

São Domingos, indicando que o controle de macrófitas é uma opção efetiva para o controle de mosquitos desde que realizado em partes do reservatório próximas aos locais de ocorrência dos mosquitos que estão causando problemas à população. O controle de salvinias foi bastante eficaz em termos de remoção das infestações dessa macrófita. Contudo, os custos do controle mecânico são muito altos e a capacidade operacional é limitada, não sendo viável o seu uso em áreas extensas.

Conforme já discutido, o controle mecânico realizado de modo preciso e seletivo pode reduzir as populações com alta nocividade. A ocupação das áreas que sofreram controle mecânico por espécies de macrófitas com menor potencial de danos é uma estratégia que tem funcionado muito bem no reservatório. Ou seja, o contro-

le mecânico não é utilizado de modo simplista para remover macrófitas, mas para estabelecer um novo equilíbrio entre as

populações, reduzindo a participação das que são consideradas mais críticas para o uso múltiplo do reservatório.

### Controle físico

As medidas físicas de controle das macrófitas aquáticas são bastante variadas com o hábito de crescimento das plantas. Uma estratégia muito utilizada é o confinamento das macrófitas em um local determinado do reservatório, por meio de barreiras físicas. O confinamento é muito eficiente para reduzir o espaço e conseqüentemente a proliferação e dispersão de uma população de plantas aquáticas. Normalmente, é utilizado como uma estratégia auxiliar a algum outro método de controle de macrófitas. Uma outra medida utilizada, principalmente em outros países, para o controle de macrófitas submersas é a cobertura da coluna d'água com vários tipos de materiais, limitando a disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa para as plantas. Essa é uma medida empregada em pequenos corpos hídricos devido, especialmente, à viabilidade técnica e/ou ao custo. Não se pode considerar que a cobertura da coluna-d'água, impedindo a penetração da radiação solar, afeta todos os organismos fotossintetizantes e, em conseqüência, reduz drasticamente a disponibilidade de oxigênio (O<sub>2</sub>) e altera as condições de oxirredução da água e as conseqüentes alterações das disponibilidades de elementos químicos.

O rebaixamento da cota da coluna-d'água, expondo grande parte do sedi-

mento, é uma medida bastante eficiente no controle de macrófitas submersas e algumas flutuantes, dependendo da extensão do período de rebaixamento e das condições climáticas. Em reservatórios de acúmulo, nos quais há grande variação da coluna-d'água, não é comum a ocorrência de expressivas populações de plantas submersas, mas há grande proliferação de plantas emergentes anfibias, como as do gênero *Aeschynomene*, *Mimosa* e *Ipomoea*. A drenagem completa de um corpo hídrico é uma medida drástica de menor resiliência, mas são poucos aqueles que têm essa possibilidade.

A dragagem é outro método físico utilizado para promover o rebaixamento de corpos hídricos assoreados que propiciam o crescimento de macrófitas emergentes e marginais. Esta medida também não é aplicável para o reservatório da UHE Santo Antônio com o propósito específico de controle de macrófitas aquáticas.

Neste projeto de pesquisa foi avaliado o potencial de uso do laser e de calor aplicado na forma de vapor no controle de macrófitas. O laser tem capacidade de controle limitada, mas tem como grandes vantagens o baixo custo e a facilidade de transmitir energia para as plantas

em distâncias longas, que possivelmente alcançarão dezenas ou centenas de metros, dependendo do equipamento e da construção utilizada. Os custos com componentes de sistemas a laser têm sido reduzidos de modo significativo e contínuo nos últimos anos. No projeto de pesquisa foi avaliada a eficiência de lasers de CO<sub>2</sub> com comprimento de onda de 10,5 µm. Os testes demonstraram potencial de uso, mas os custos para construir os sistemas de laser de grande potência além da dificuldade de importar componentes durante a pandemia de coronavírus inviabilizaram o uso desse método em escala de reservatório. No projeto foi identificada a possibilidade de uso de lasers de diodo azuis, com comprimento de onda de 445 nm, com custos muito inferiores aos dos lasers de CO<sub>2</sub>. Essa nova opção estava sendo avaliada e pode ser uma alternativa para o manejo de macrófitas no futuro.

O uso de vapor mostrou-se eficaz quando é possível conter o calor aplicado na região próxima das macrófitas. Essa contenção envolve a cobertura da comunidade de macrófitas, o que mostrou ser inviável nas condições do reservatório em função da presença de paliteiros e troncos. Mas se o vapor for aplicado a plantas retiradas do reservatório por períodos entre 30s e 2min, é possível promover a morte total dos tecidos, o que eliminaria a necessidade de retirada das plantas coletadas do reservatório.

O uso de laser e vapor ainda estão em desenvolvimento e esses métodos têm alto potencial de integração com o controle mecânico, seja inviabilizando plantas coletadas tornando desnecessário o descarregamento em margem, no caso do vapor, ou atuando no controle em locais de difícil acesso, no caso de lasers.

---

#### **Alteração do ambiente de colonização das macrófitas aquáticas**

A alteração do ambiente de colonização é uma prática bastante útil no manejo de macrófitas aquáticas. Para sua aplicação é necessário bastante conhecimento da biologia da espécie-alvo e de suas relações com a coluna d'água.

As alterações nos ambientes de co-

lonização receberão destaque nos itens **Diagnóstico e Prognóstico** deste plano de manejo, mas podem ser citadas a precipitação de nutrientes essenciais às macrófitas, a remoção de condições que garantam estabilidade geográfica às macrófitas flutuantes, dentre outras.

## Objetivos do plano de manejo de macrófitas aquáticas do reservatório da UHE Santo Antônio

O presente plano de manejo de tem como objetivo principal adequar a comunidade de macrófitas aquáticas no reservatório da UHE Santo Antônio em termos de composição específica, densidades e localizações geográficas das populações de modo que seus efeitos indesejáveis à população ribeirinha, ao meio ambiente e à geração de energia elétrica sejam os menores possíveis. Na atualidade, os efeitos indesejáveis mais evidentes e de soluções mais urgentes

do reservatório da UHE Santo Antônio são as elevadas populações de insetos hematófagos, as interferências na geração de energia elétrica e a presença da espécie exótica *Urochloa subquadriflora*. Por isso, esse plano de manejo abordará principalmente o manejo de plantas flutuantes, além da *Urochloa subquadriflora*. É muito importante frisar que o plano de manejo é dinâmico e poderá ser alterado na medida em que novos conhecimentos forem produzidos.

---

### Diagnóstico das colonizações de macrófitas aquáticas no reservatório da UHE Santo Antônio

Um dos capítulos deste livro é dedicado à apresentação dos resultados dos levantamentos de flora e à exposição dos principais problemas relacionados às macrófitas. Mas vale destacar que os levantamentos indicaram que a comunidade de macrófitas é bastante dinâmica. A substituição das populações ocorre rapidamente ao longo das estações e as dinâmicas têm caráter local dificultando a extração de conclusões para todo o reservatório. As decisões sobre as atividades de controle devem ser dinâmicas e ajustadas localmente às várias partes do reservatório.

*Eichhornia azurea*, *Pontederia parviflora*, *Salvinia* spp. (com predominância de *Salvinia molesta*), *Polygonum lapathifolium* e *Oxycaryum cubense*.

Neste plano de manejo de macrófitas do reservatório da UHE Santo Antônio serão discutidas com prioridade as relações entre macrófitas aquáticas flutuantes e os ambientes de colonização, plantas que à luz do conhecimento atual são as principais responsáveis por propiciar habitats adequados para proliferação de insetos hematófagos.

Os resultados dos levantamentos das macrófitas aquáticas na UHE Santo Antônio mostraram que as espécies com maiores frequências de ocorrência foram *Paspalum repens*, *Echinochloa polystachya*, *Panicum rivulare*, *Eichhornia crassipes*,

**Nicho ecológico das macrófitas flutuantes:** As macrófitas aquáticas flutuantes são muito importantes em corpos hídricos de bacias aluviais na região tropical e subtropical do mundo. Os três principais táxons presentes no reservatório da UHE

Santo Antônio — *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia* spp. — são relatados como muito importantes nas bacias da região amazônica e do Pantanal Matogrossense. Nestes ambientes, são extremamente importantes nas dinâmicas da biota e da qualidade da água dos sistemas hídricos. Em condições pristinas, essas plantas não se desenvolvem de forma eficiente em ambientes lóticos e suas colonizações são bastante concentradas em ambientes léticos ligados aos rios, como igarapés e lagoas marginais. As regiões amazônica e do Pantanal têm ciclos pluviométricos bem definidos, com uma estação seca e outra chuvosa, e, nesta condição, as macrófitas flutuantes exercem seus nichos ecológicos em toda plenitude.

Durante a estação de restrição hídrica (estiagem) dessas regiões há o intenso rebaixamento dos níveis da água na malha hidrográfica e grande parte das lagoas marginais e igarapés fica isolada ou com restrita ligação aos rios. Tais lagoas e igarapés adquirem uma condição lética intensa. Neste período, há elevações das concentrações de nutrientes das lagoas e igarapés em função das menores taxas de renovação da água e das decomposições de plantas e animais que morrem nestas condições em que as pressões abióticas se tornam mais limitantes. As elevações das concentrações de nutrientes são compensadas pelo intenso crescimento da vegetação própria desses locais no período seco, sendo que as plantas flutuantes são as mais importantes nesse processo. O

profuso crescimento das plantas flutuantes retira grandes quantidades de nutrientes e metais da água, preservando sua qualidade para outros organismos componentes desta biocenose.

No final do período chuvoso também ocorre a reprodução de inúmeros organismos aquáticos e grande parte das fases jovens acaba sendo mantida nesse sistema de lagoas e igarapés e desenvolve seu crescimento inicial durante o período da estiagem. As raízes das macrófitas flutuantes, especialmente do aguapé, são finas e bastante densas, fornecendo habitats ideais para a produção de perífiton (alimentos das larvas e alevinos de peixes) e para a proteção desses animais contra inimigos naturais. O habitat formado pelas raízes das plantas flutuantes é fundamental para a dinâmica das populações de inúmeras espécies de peixes amazônicos e do Pantanal.

Com a chegada da estação chuvosa, os níveis de água das malhas hidrográficas vão sendo paulatinamente restabelecidos e as plantas flutuantes são deslocadas para as regiões lóticas e carregadas pelo fluxo, levando grandes quantidades de nutrientes para jusante e, com isso, mantendo um equilíbrio na distribuição dos nutrientes no corpo hídrico. No caminhar para jusante, alevinos de peixes são protegidos nas raízes do aguapé e, na medida em que a planta vai perdendo sua integridade, esses animais vão se distribuindo ao longo do rio em tamanhos em que já conseguem evitar uma predação total.

Esses dois serviços ambientais prestados pela macrófitas flutuantes, regulando a qualidade da água e provendo habitat de alimentação e segurança para as fases jovens de peixes, são fundamentais para a dinâmica da fauna dos rios em praticamente todo o Brasil, mesmo nos locais em que essas plantas foram introduzidas, como nas bacias hidrográficas das regiões Leste e Sul do Brasil.

Esses dois aspectos do nicho ecológico das plantas flutuantes foram aqui destacados para que se possa argumen-

tar sobre as sugestões do manejo dessas macrófitas em reservatórios artificiais. Mas é muito importante destacar que há inúmeros outros serviços ambientais muito relevantes que são executados por essas plantas, como o fornecimento de grande quantidade de forragem para as guildas tróficas superiores (herbívoros e onívoros), provimento de habitat para nidificação e proteção das fases jovens de inúmeras aves aquáticas, répteis e anfíbios, proporcionando heterogeneidade circadiana e sazonal das condições de sombreamento da coluna-d'água, dentre outras.

---

#### **Os reservatórios artificiais e os crescimentos das macrófitas aquáticas flutuantes**

Na formação dos reservatórios artificiais normalmente ocorre o barramento do fluxo de um rio levantando a cota da coluna-d'água até a altura estabelecida no projeto da barragem. Com isso, em pouco tempo, há a substituição de um sistema lótico (rio) por um sistema lêntico (lago).

É bastante importante frisar que, mesmo nos reservatórios formados em grandes rios em que há grandes vazões e são citados baixos valores de tempo da retenção da água, não há uniformidade neste processo e nos braços laterais formados pelos alagamentos a renovação da água pode ser muito lenta e o ambiente bastante lêntico, favorecendo o crescimento das macrófitas flutuantes.

Nesse sistema lêntico ocorre uma adaptação da biocenose para as novas

condições do biótopo e começa uma sucessão ecológica que é denominada de hidrossere, na qual grupos de plantas vão colonizando o reservatório de acordo com as condições de qualidade da água. Essa colonização, na medida em que se estabelece, vai alterando a qualidade da água, provendo condições para que outro grupo de populações com hábitos de crescimento diferentes se instale. Essa nova colonização altera a qualidade da água e do biótopo, criando condições para que outro grupo de plantas se instale em substituição. Esse processo segue de forma sucessiva até culminar na formação de um corpo hídrico lótico com uma várzea marginal, gerando outra planície aluvial artificial. Cada período de ocupação de um determinado grupo de populações é denominado de sere ou estágio seral. Para cada estágio seral há uma flora e fauna característica associada.

No entanto, em corpos hídricos em que há grandes variações da altura de coluna-d'água, como é o caso dos reservatórios da Amazônia, não há estabilidade ambiental para o desenvolvimento da hidrossere. No período chuvoso de inverno toda a formação lântica formada na estiagem de verão é coberta com espessa camada de água ou arrastada para jusante, especialmente as flutuantes formadas neste período, conforme seu nicho ecológico. No período de estiagem de verão as lagoas voltam a ser formadas, há a decomposição do material remanescente, aumenta a disponibilidade de nutrientes na água e as plantas flutuantes voltam a crescer. Esse processo é semelhante ao que ocorria no rio antes da formação do reservatório, porém agora em extensão muito maior.

No reservatório da UHE Santo Antônio, os paliteiros agravam as colonizações

de plantas flutuantes, dando estabilidade geográfica e permitindo o crescimento epifítico de gramíneas e ciperáceas sobre banco de plantas flutuantes. As duas relações epifíticas atualmente mais importantes neste reservatório são *Oxycaryum cubense* e *Paspalum repens*.

O *Oxycaryum cubense* é uma macrófita epifítica que normalmente germina e desenvolve seu crescimento inicial sobre plantas flutuantes de pequeno porte, especialmente *Salvinia* spp. (FIGURA 3.6) e, no reservatório da UHE Santo Antônio foi observada germinação e crescimento inicial em *Azolla caroliniana*. Como estas plantas flutuantes de pequeno porte ocorrem entremeadas nos bancos de *Eichhornia crassipes*, essa ciperácea emite rizomas e passa a colonizar as plantas de aguapé, onde formam densas colonizações epifíticas.

Figura 3.6: Dispersão, germinação e desenvolvimento de *Oxycaryum cubense* sobre plantas de *Salvinia molesta*. Igarapé São Domingos, em dezembro de 2019.



Estas densas colonizações de *Oxycaryum cubense* podem provocar a submersão do conjunto e ocorrer o carregamento para as grades de proteção das turbinas, como já foi observado na UHE Santo Antônio. Esta imersão ocorre quando há o desligamento de moitas deste conjunto do banco fixo e as plantas de *Eichhornia crassipes* debilitadas pela competição da ciperácea perdem parte da flutuabilidade e todo o conjunto submerge.

No caso de *Paspalum repens* ocorre um processo de facilitação mútua para o desenvolvimento das populações, especialmente com *Pistia stratiotes* e *Eichhornia crassipes*. Os ramos da gramínea que se projetam sobre a lâmina-d'água propor-

cionam apoio para estabilidade geográfica destas plantas flutuantes que passam à formação de expressivos bancos. Em sequência, *Paspalum repens* emite ramos sobre as plantas flutuantes, colonizando-as de forma epifítica e, em seguida, prolonga seus ramos sobre a lâmina-d'água. Esses ramos passam a reter novas plantas flutuantes e o processo continua para dentro da lâmina-d'água, formando grandes franjas de colonização marginal. Fragmentos destas franjas se desprendem e formam ilhas flutuantes que descem para jusante.

Neste contexto, passam-se aos prognósticos do presente plano de manejo de macrófitas aquáticas no reservatório da UHE Santo Antônio.

---

#### **Relação entre a infestação de macrófitas e a ocorrência de mosquitos do gênero *Mansonia***

No período de 19 a 24 de janeiro de 2020 foi realizado o levantamento conjunto de macrófitas e mosquitos para definir quais espécies de macrófitas são efetivamente prioritárias em termos de manejo no reservatório. Vale ressaltar que:

- 1) Do ponto de vista de danos ecológicos, a espécie prioritária em termos de controle é a braquiária (*Urochloa subquadriflora*), espécie exótica com elevada capacidade de crescimento, caules resistentes e baixa capacidade de flutuação. Essa espécie tende a substituir as demais espécies marginais e flutuantes presentes no reservatório. É urgente o estabelecimento de planos de erradicação da espécie.

- 2) Do ponto de vista de problemas à geração de energia, as espécies com maiores potenciais de danos são a própria braquiária (*Urochloa subquadriflora*) e as espécies *Paspalum repens* e *Oxycaryum cubense*. As três espécies têm dinâmicas próprias de dispersão que precisam ser consideradas na elaboração de programas de controle.

Em termos de associação entre macrófitas e mosquitos, apresentaremos as principais observações feitas até o momento e que poderão ser modificadas à luz de novos conhecimentos. A primeira observação é a de que as espécies *Salvinia molesta* e *Eichhornia crassipes* são fundamentais

para a multiplicação dos mosquitos. Mas a questão não é tão simples. As características ambientais também são fundamentais para que a multiplicação dos mosquitos ocorra ou não. Portanto, não basta constatar a presença ou ausência dessas espécies para avaliar o potencial de multiplicação de *Mansonia*.

O primeiro ponto a ser discutido é sobre o potencial de transferência de oxigênio para o sistema radicular (e entorno) que algumas espécies de macrófitas apresentam. Essa capacidade de transferência está associada à formação de aerênquima. A formação de aerênquima tem como principal determinante a anoxia que leva ao acúmulo de etileno (com alta produção em condições anaeróbicas) que, por sua vez, induz à morte celular no sistema radicular das macrófitas. O sistema tem sua dinâmica própria de controle. Quanto menor o teor de O<sub>2</sub> dissolvido, maior a produção de etileno e maior a produção de aerênquima, garantindo o suprimento desse gás para o sistema radicular. Quando o teor de oxigênio na água é alto, ocorre menor produção de etileno e, consequentemente, menor formação de aerênquima. Inibidores da ação de etileno, como o ácido salicílico, têm a capacidade de inibir a formação de aerênquima e reduzir a transferência de oxigênio para o sistema radicular e seu entorno.

Por outro lado, a intensa cobertura com plantas aquáticas reduz a penetração de luz na coluna de água, reduzindo também

a atividade fotoautotrófica e produção de oxigênio. Exceto no entorno do sistema radicular das macrófitas, o esperado é que o teor de O<sub>2</sub> seja muito reduzido, dificultando a presença de animais, sobretudo peixes, que podem atuar na predação das larvas de mosquitos.

Portanto, ambientes lânticos completamente cobertos por macrófitas são um ambiente bastante inóspito para muitos predadores de larvas de *Mansonia*. Seriam ambientes inóspitos também para as próprias larvas se elas não tivessem a capacidade de se prender ao sistema radicular das macrófitas e utilizar parte do seu suprimento de oxigênio. Por outro lado, ambientes com intensa anoxia são os mais propícios para a formação de aerênquima e facilitar o transporte de oxigênio da parte aérea para o sistema radicular das macrófitas.

Para avaliar se o que foi descrito nos três parágrafos anteriores de fato ocorre em condições de reservatório, avaliou-se a ocorrência de larvas de *Mansonia* em diferentes condições ambientais e espécies de macrófitas. Elevados números de larvas foram observados quando as seguintes condições estiveram presentes:

**Primeira Condição:** Ambientes lânticos com intensa ocupação por macrófitas conforme apresentado nas FIGURAS 3.7 e 3.8. Efetivamente esses ambientes mostraram-se propícios à ocorrência de larvas de *Mansonia* (FIGURA 3.9).



Figura 3.7: Local *a priori* propício para a multiplicação de *Mansonia*.



Figura 3.8: Local em que foram encontradas larvas em grande número.



Figura 3.9: Detalhe de local para a multiplicação de *Mansonia* e exemplares coletados a partir do sistema radicular de plantas de aguapé (*Eichhornia crassipes*).

Avaliações do teor de oxigênio nesses locais indicaram valores próximos a 1,5mg/L abaixo das infestações. Contudo, nas regiões correspondentes aos sistemas radiculares de *Eichhornia crassipes* e *Salvinia molesta* mantidas na sombra e a pleno sol foram em média 4,3; 4,04 e 6,56mg/L, respectivamente. No mesmo horário dessas avaliações, o teor médio de oxigênio em ambientes lóticos ou ambientes lênticos sem a ocorrência de macrófitas eram de 3,6 e 3,4mg/L, respectivamente.

Estudos complementares em condições controladas indicaram que a capacidade de transferir oxigênio para a região das raízes é máxima para a *Salvinia molesta*, mínima para a *Pistia stratiotes* e intermediária para o *Eichhornia crassipes*. Vale lembrar que o suposto sistema radicular de *Salvinias* de fato é um conjunto de folhas modificadas com capacidade de absorver água e nutrientes e, também, disponibilizar O<sub>2</sub> no seu entorno.

**Segunda Condição:** a presença de aguapé (*Eichhornia crassipes*). Elevados números de larvas foram encontrados apenas nas raízes dessa espécie quando ocorrendo em ambientes lênticos extensos, com baixos teores de oxigênio na água (distante das raízes) e com a presença de *Salvinia molesta*. Possivelmente extensos ambientes lênticos com baixo teor de O<sub>2</sub> limitam a presença de predadores, favorecem a formação de aerênquima e aumentam a capacidade das plantas transferir oxigênio para o sistema

radicular onde as larvas de *Mansonia* se prendem. Está em avaliação a utilidade do ácido salicílico como inibidor da formação de aerênquima e transferência de O<sub>2</sub> para o sistema radicular das plantas. De modo coerente, os maiores teores naturais de ácido salicílico em raízes de macrófitas foram observados para *Pistia stratiotes*, a espécie com menor capacidade de transferência de oxigênio das folhas para as raízes e para a água em seu entorno.

**Terceira condição:** presença de *Salvinia molesta*. A infestação intensa com essa planta é importante para reduzir o teor de O<sub>2</sub> na água (em locais distantes das raízes), garantir elevados teores de oxigênio na região superficial e fornecer suporte e abrigo para a oviposição de *Mansonia*. Pela primeira vez, foram localizadas posturas de *Mansonia* nas condições do reservatório (Figura 3.10). Os ovos foram identificados na face inferior de folhas de *Salvinia molesta*. Os pelos das folhas de *Salvinia molesta* são altamente hidrorrepelentes e criam um ambiente entre o limbo foliar e a superfície da água que permanece preenchido com ar e que tem a capacidade de receber os ovos. Por outro lado, após a eclosão, as larvas estarão bastante próximas da água, possivelmente facilitando a sua sobrevivência. Contudo, as “raízes” de *Salvinia molesta* não hospedam as larvas de *Mansonia*. Possivelmente, a única espécie que hospeda adequadamente as larvas de *Mansonia* é o *Eichhornia crassipes*.

Os resultados obtidos até o momento indicam que, do ponto de vista de controle de mosquitos do gênero *Mansonia*, o controle de *Eichhornia crassipes* e *Salvinia molesta* é prioritário. Portanto, essas espécies são as mais relevantes em termos de desenvolvimento de métodos de controle. Alguns dos aspectos discutidos ainda carecem de comprovação experimental mais robusta, mas esta é a conclusão que pode ser obtida a partir dos resultados e evidências disponíveis até o momento.

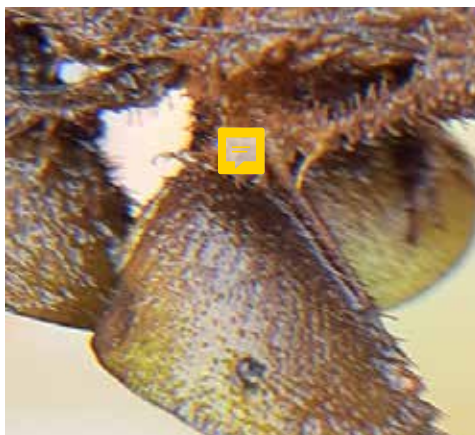


Figura 3.10: Oviposição de *Mansonia* na face inferior da folha de *Salvinia molesta*.

### Recomendações

Nesta versão do plano de manejo de macrófitas aquáticas no reservatório da hidrelétrica Santo Antônio permanecem complexos os prognósticos e recomendações referentes às reduções das populações de insetos hematófagos, uma vez que os estudos das relações entre estas duas cenoses funcionais ainda estão em desenvolvimento. As recomendações serão direcionadas para as ações sobre a colonização de macrófitas aquáticas no reservatório.

Como primeira recomendação neste plano de manejo no reservatório de UHE Santo Antônio destaca-se que é urgente a ação preventiva no sentido de eliminar dois núcleos de colonização de *Urochloa subquadrifera* (braquiária aquática) que foram detectados e procurar identificar outros. Esta gramínea é exótica no continente Americano e foi introduzida de Uganda para viabilizar pastagens em áreas alaga-

das ou muito úmidas. A gramínea não se mostrou uma boa forrageira, mas passou a reproduzir e invadir margens de corpos hídricos e várzeas. Hoje, a colonização por essa macrófita é considerada como o principal fator de degradação ambiental nas áreas litorâneas de corpos hídricos, pequenos riachos e várzeas da região central e sudeste do Brasil. Esta degradação é caracterizada pela rápida expansão de sua população de elevada competitividade, substituindo a vegetação nativa e formando extensas colonizações praticamente monoespecíficas. A eliminação química é a mais recomendada, pois há herbicidas que matam totalmente a planta e eliminam qualquer possibilidade de rebrota.

Com o objetivo de reduzir as populações de mosquitos do gênero *Mansonia*, é prioritário o controle de *Eichhornia crassipes* e *Salvinia molesta*, mas ainda é necessário avaliar se alguma outra espécie tem

papel relevante em termo de fornecimento de abrigo ou alimento para larvas ou adultos desses mosquitos.

Sendo viável, é importante a eliminação dos paliteiros para permitir o livre escoamento das macrófitas aquáticas flutuantes durante o período de inverno. Não há dúvidas de que essas árvores mortas fixam geograficamente as plantas flutuantes, as quais, além de não seguirem para jusante, permitem os crescimentos de macrófitas aquáticas de hábito epifítico, especialmente *Oxycaryum cubense*, que constitui importante risco para as unidades geradoras. A eliminação dos paliteiros deveria ser iniciada pela região entre a barragem e a antiga cachoeira do Teotônio, em função da proximidade das unidades geradoras.

A terceira medida recomendada neste plano de manejo é o controle das projeções de gramíneas sobre a lâmina-d'água do reservatório. A espécie mais importante para esta ação é *Paspalum repens*, a qual destacadamente apresenta maior área de ocupação do terço inferior do reservatório, onde o lago apresenta declives mais suaves na transição do corpo hídrico com o ambiente terrestre. Outra

gramínea que pode promover a fixação de macrófitas flutuantes e formação de ilhas flutuantes é *Echinochloa polystachya* (capituva), embora nas condições do reservatório da UHE Santo Antônio o risco associado à essa espécie é bem menor em relação ao *Paspalum repens*. A capituva é mais demorada na projeção sobre a lâmina-d'água, apresenta caules mais fortes, não fixa plantas flutuantes na intensidade da outra gramínea e sua população ocorre com maior frequência no terço superior do reservatório, onde o lago é mais "encaixado" a as margens não tem transição suave com o corpo hídrico. O controle dessas projeções deverá ser realizado com a utilização de equipamentos de controle mecânico ou do controle físico. *Panicum rivulare* não apresenta projeções relevantes para a lâmina-d'água e não constitui risco.

É fundamental dar continuidade no desenvolvimento de medidas de controle que possam ser integradas ao controle mecânico com destaque para o controle físico (com vapor ou laser), o controle biológico (com prioridade para patógenos) e o controle químico (com compostos naturais ou sintéticos; orgânicos ou inorgânicos).

## Referências

1. Pompeo M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros. São Paulo, EDUSP, 2017.
2. Pitelli RA, Martins D, Velini ED. Interferências e controle de macrófitas aquáticas. In: Vargas L, Roman ES (Org.). Manual de manejo e controle das plantas daninhas. 2ªed. Passo Fundo: Embrapa, 2008.
3. Pitelli RA. Macrófitas aquáticas no Brasil, na condição de problemáticas. In: Workshop Controle De Plantas Aquáticas. Brasília. Ibama.1998, p. 12-15.
4. Charudattan, R. Inundative control of weeds with indigenous fungal pathogens. In Burge, MN ed. Fungi in Biological Control Systems. Manchester, Manchester University Press. 1988. p. 86-110.
5. Pitelli RA, Nachtigal GF, Pitelli RLCM. Controle biológico de plantas daninhas. In: Congreso Latinoamericano de Malezas, 16º, Manzanillo. 2003, p. 518-524.
6. Lhano MG, Adis J. Marques MI, Battirola LR. *Cornops aquaticum* (Orthoptera, Acrididae, Leptysminae): aceitação de plantas alimentares por ninfas vivendo em *Eichhornia azurea* (Pontederiaceae) no Pantanal Norte, Brasil. Amazoniana. 2005, 18: 397–404.



Foto: Saulo Simões



Capítulo 4

# PROSPECÇÃO E SELEÇÃO DE INIMIGOS NATURAIS DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NO RESERVATÓRIO DA UHE SANTO ANTÔNIO

**Robinson Luiz C. M. Pitelli<sup>1</sup>**

**Raghavan Charudattan R<sup>2</sup>**

**Flávia Regina Rezende<sup>1</sup>**

**Robinson Antonio Pitelli<sup>3</sup>**

**Edivaldo Domingues Velini<sup>4</sup>**

**Plinio Saulo Simões<sup>4</sup>**

**Augusto Antonio Bronhara<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Ecosafe Agricultura e Meio Ambiente SS Ltda, Jaboticabal, SP, BR.

<sup>2</sup> University of Florida, Gainesville, FL, USA

<sup>3</sup> Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, FCAV/Unesp,  
Jaboticabal, SP

<sup>4</sup> NUPAM - Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia.  
Departamento de Proteção Vegetal. FCA / Unesp – Botucatu, SP

<sup>5</sup> FUNDUNESP, São Paulo, SP

O controle biológico de macrófitas aquáticas é uma ferramenta utilizada em várias regiões do mundo e pode ser aplicada em três estratégias distintas. O controle biológico clássico, que normalmente é utilizado para o controle de macrófitas exóticas, é aplicado pela introdução de inimigos naturais selecionados na área de origem da planta-alvo. O controle biológico aumentativo se utiliza de inimigos naturais endêmicos na área de macrófita-problema e seu potencial de inóculo ou tamanho populacional é drasticamente aumentado para redução da planta-alvo. O controle biológico repositivo mantém artificialmente a população de um inimigo natural para a manutenção permanente da população-alvo abaixo de um nível indesejado no corpo hídrico. No reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Santo Antônio apenas é viável a estratégia aumentativa utilizando inimigos naturais nativos da região.

No período de 2019 a 2020 foram observados importantes inimigos naturais nas populações das principais macrófitas nesse corpo hídrico, como *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Paspalum repens*, dentre outras. O patógeno *Alternaria eichhorniae* foi identificado, selecionado e testado em *Eichhornia crassipes* e mostrou potencial para seu desenvolvimento como agente de controle biológico pela estratégia aumentativa, sendo viabilizada a produção de esporos em condições de laboratório. Esse projeto de Pesquisa & Desenvolvimento foi importante para mostrar que esse método de controle pode ser desenvolvido para obtenção de um bioherbicida baseado nessa relação *Eichhornia crassipes*-*Alternaria eichhorniae*. Outras interações patógeno-hospedeiro podem ser desenvolvidas em pesquisas posteriores.

As macrófitas são importantes componentes dos ecossistemas aquáticos, realizando importantes serviços ambientais, como os descritos em Pompeo (2017)<sup>1</sup>. No entanto, em determinados corpos hídricos alterados de suas condições pristinas, essas plantas desenvolvem extensas e densas populações e podem causar uma série de interferências ao meio ambiente e usos múltiplos da água e dos corpos hídricos, como os citados em Pitelli et al (2008)<sup>2</sup>. Nessas condições existe a necessidade do controle de algumas populações mais problemáticas para que suas interferências não provoquem sérios problemas ambientais, sociais e econômicos no corpo hídrico e na sociedade do entorno.

O controle de macrófitas aquáticas raramente tem o objetivo de erradicação, sendo essa medida drástica aplicada apenas nas colonizações iniciais de plantas exóticas invasoras. Na grande maioria das vezes, o controle visa a redução da macrófita a níveis populacionais em que os benefícios de suas colonizações suplantem os efeitos negativos proporcionados ao meio ambiente e às atividades antrópicas no corpo hídrico que motivam a intervenção em suas populações. Os procedimentos de controle das macrófitas podem ser classificados em grandes modalidades de ação, destacando-se os grupos de métodos preventivos, mecânicos, físicos, químicos e biológicos.

Os métodos preventivos englobam medidas que detectam precocemente

o fluxo de crescimento populacional de alguma macrófita problemática ou a introdução de espécie exótica, adoção de medidas que impeçam a disseminação de diásporos de plantas indesejadas e outras. Dentro dessas medidas preventivas é que se recomenda o monitoramento periódico das comunidades de macrófitas aquáticas em reservatórios, não simplesmente para cumprir mera condicionante de órgãos licenciadores, mas para se analisar e detectar futuros problemas e avaliar o impacto das medidas de manejo do corpo hídrico. Isso é muito importante.

Os métodos mecânicos envolvem a destruição das colonizações de macrófitas aquáticas com equipamentos manuais ou mecanizados e/ou a retirada da biomassa das plantas do corpo hídrico com transferência para o ambiente terrestre. O controle químico contempla o uso de substâncias químicas com propriedades herbicidas para reduzir o crescimento ou matar macrófitas aquáticas que estejam causando interferências no meio ambiente e no uso múltiplo da água e do corpo hídrico. Os métodos físicos envolvem a utilização de eletricidade, radiação ionizante, calor e outros processos para redução do crescimento ou destruição total de populações de plantas exóticas invasoras.

Os métodos físicos, químicos e mecânicos serão abordados em capítulos separados nessa obra, sendo que esse capítulo será dedicado apenas ao controle biológico das macrófitas aquáticas.

### Controle biológico natural

Em conceito amplo, o controle biológico pode ser definido como a ação dos fatores bióticos do ecossistema regulando a instalação e crescimento de populações de macrófitas aquáticas. Uma definição mais específica de controle biológico é a utilização de organismos vivos para matar, controlar o crescimento dos indivíduos, a expansão populacional e/ou reduzir a capacidade competitiva de uma ou mais espécies de macrófitas aquáticas. Dentre as principais pressões bióticas que atuam no controle populacional das plantas estão: a competição, o amensalismo, a predação e o parasitismo. Todos estes fatores são passíveis de manejo, com profundos reflexos no crescimento das plantas e nas dinâmicas de suas populações.

A competição pelos recursos de crescimento (água, luz, espaço e nutrientes) limita o crescimento das populações vegetais, incluindo as indesejadas<sup>3</sup>. Na Flórida, em corpos hídricos naturais em que é combatida a invasão da planta submersa exótica *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle ocorre o plantio da nativa *Vallisneria americana* Michx para retardar o avanço da planta indesejada por competição<sup>4</sup>. Interessante trabalho foi realizado na avaliação do avanço da gramínea exótica invasora *Urochloa subquadrifida* (Trin.) R.D. Webster em áreas marginais de corpos hídricos no Brasil em que Fernandes et al. (2013)<sup>5</sup> observaram maiores resistências bióticas à expansão da *U. subquadrifida* em locais ocupados com macrófitas nativas e que

esses efeitos eram maiores com o aumento das densidades, riquezas e índices de diversidade de espécies de macrófitas aquáticas nativas.

Os efeitos da alelopatia no controle biológico em ambientes aquáticos é mais comum nas relações entre macrófitas e algas. Estudos conduzidos em laboratório mostraram que *Ceratophyllum demersum* L. inibiu o crescimento de *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis panniformis*, *Ankistrodesmus falcatus* e *Raphidocelis subcapitata*<sup>6</sup>. Em testes em casa de vegetação, as combinações de duas ou mais espécies das macrófitas *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb, *Ranunculus sceleratus* L e *Trapa incise* Sieb. & Zucc inibiram em mais de 50% os crescimentos de populações de *Microcystis aeruginosa* e de *Chlorella pyrenoidosa*<sup>7</sup>.

Para macrófitas aquáticas, a utilização de predadores como insetos e peixes nas condições de agentes de controle biológico tem sido bem-sucedida, especialmente para plantas exóticas invasoras. A utilização do parasitismo, especialmente com fitopatógenos, também foi bastante estudada em plantas aquáticas. Nesse capítulo serão apresentados estudos e aplicações desses dois tipos de agentes de controle biológico no manejo de macrófitas aquáticas.

O controle biológico por meio de inimigos naturais é um processo que natural-



Macrófitas aquáticas em ambiente de água parada próximo ao rio Madeira, Porto Velho (RO).  
Foto: Martha Rojas

mente ocorre em comunidades pristinas e faz partes das pressões bióticas que as populações enfrentam dentro dos equilíbrios ecológicos em suas respectivas biocenoses. A pressões de predação e parasitismos são muito importantes na regulação do tamanho das populações de presas/hospedeiros em todos os ecossistemas.

Os tamanhos das populações de macrófitas aquáticas em ambientes íntegros são determinados pelas disponibilidades de recursos, como espaço, luz e nutrientes, pelas ações das condições físico-químicas do ambiente, como a presença de substâncias tóxicas, e pela rede trófica, que estabelece circuitos adequadamente ajustados. Quando as condições ambientais são alteradas temporariamente, as pressões bióticas são determinantes para o reequilíbrio da biocenose, em processo denominado homeostase. No entanto, quando as alterações são bastante pro-

fundas e permanentes, as pressões bióticas não são mais suficientes e ocorrem alterações profundas na comunidade de macrófitas aquáticas com o favorecimento de determinadas populações e prejuízo para outras. Há total desconfiguração da biocenose antiga, na qual as relações bióticas foram estabelecidas ao longo de um processo de coevolução das diversas populações.

Mesmo em condições de desequilíbrio, o controle biológico natural continua exercendo importante função na regulação de muitas populações de macrófitas. Um exemplo interessante ocorreu nas represas do sistema Paraná-Tietê, nas quais mesmo após a transformação do sistema lótico em lântico, as populações de macrófitas submersas nativas continuavam em equilíbrio nos reservatórios, provavelmente em função de predação exercida por herbívoros, especialmente

peixes e insetos. Esse equilíbrio foi rompido quando foram introduzidos peixes exóticos carnívoros vorazes, como o tucunaré e a corvina, que afetaram negativamente as populações e atividades dos herbívoros e a pressão de predação contra as plantas submersas foi drasticamente reduzida, permitindo grandes colonizações vegetais submersas que promoveram sérios problemas ambientais e aos usos da água e dos reservatórios<sup>2</sup>.

Nas condições do reservatório da UHE Santo Antônio, o controle biológico natural das macrófitas aquáticas por insetos e fitopatógenos é bastante ativo. Na prin-

cipal macrófita flutuante do reservatório, *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms são observados sintomas das ações de inúmeros inimigos naturais.

Nas folhas e pecíolos de *E. crassipes* são observadas cicatrizes ocasionadas pela ação dos curculionídeos *Neochetina eichhorniae* Warner e *Neochetina bruchi* Hustache (FIGURA 3.1). Os insetos usam de seus aparelhos bucais raspadores para fazer emergir a seiva das plantas e a utilizarem como alimento. Além do prejuízo na atividade fotossintética global das folhas, o transporte de fotossintatos para os caules e raízes é bastante reduzido e há

Figura 3.1 – Cicatrizes provocados pela ação de *Neochetina* spp em folhas de *Eichhornia crassipes* e detalhe mostrando um indivíduo de uma dessas espécies.  
Foto: XXXXXX



Figura 3.2 – Sintomas de infecção de microrganismos oportunistas em cicatrizes promovidas por *Neochetina* spp em folhas de *Eichhornia crassipes*.  
Fotos: XXXXX



consequências negativas no crescimento da planta. Dependendo da intensidade de predação desses insetos pode ocorrer a morte da planta.

Um efeito secundário, mas igualmente importante das cicatrizes promovidas pelas ações desses predadores é o provimento de condições favoráveis a infecções secundárias de fungos

oportunistas (FIGURA 3.2) e, também, de patógenos dessa macrófita. Maiores detalhes sobre os insetos do gênero *Neochetina* serão comentados no item relacionado às estratégias adotadas para o controle biológico.

Além das infecções de microrganismos secundários, as cicatrizes promovidas por *Neochetina* spp. também constituem

aberturas adequadas para as infecções de importantes patógenos para essa planta, como é o caso do fungo *Acremonium zonatum* (Sawada) W.Gams, também observado no reservatório da UHE Santo Antônio (FIGURA 3.3). *Acremonium zonatum* apresenta todas as características para seu desenvolvimento como agente de controle biológico de *Eichhornia crassipes* pela estratégia do bioherbicida<sup>8</sup>.



Figura 3.3 – Sintomas de dois estágios de desenvolvimento de doença ocasionada pelo fungo *Acremonium zonatum* em folhas de *Eichhornia crassipes*. Observam-se cicatrizes de *Neochetina* spp nos centros dos halos de infecção.

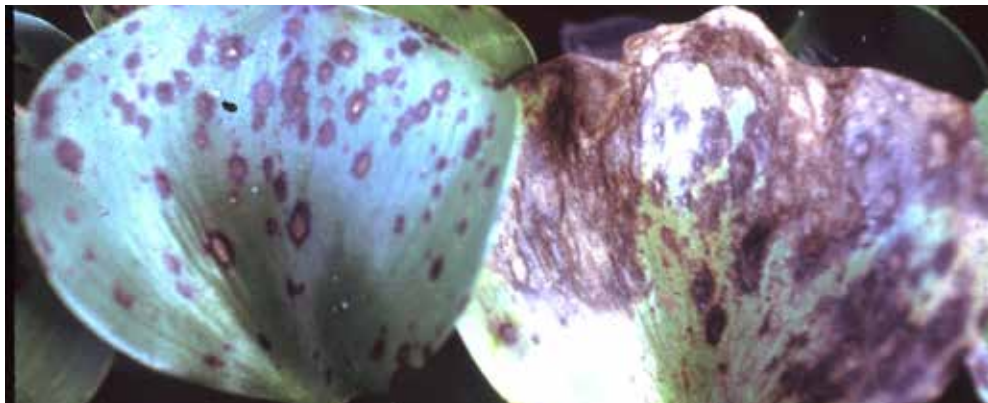
Fotos: XXXXX

Galbraith (1989)<sup>9</sup> cita uma relação interessante entre as interações do ataque de *N. eichhorniae* e com infecção de *A. zonatum*. O autor verificou que a alimentação pelo gorgulho aumentou a infecção pelo fitopatógeno em condições relativamente secas e verificou que os esporos desse fungo foram transportados nas patas e no trato digestivo do gorgulho. Há uma importante interação entre esses dois agentes de controle biológico nos danos provocados nas plantas de aguapé. Esse tipo de interação entre o gorgulho do aguapé e o fungo *A. zonatum* explica o grande sucesso do uso dessa associação no controle

biológico de aguapé pela estratégia aumentativa levada a efeito no México por Jiménez & Gomes-Balandra (2007)<sup>10</sup>.

Um outro fitopatógeno que provavelmente foi o agente causal de doença de folhas de *E. crassipes* de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio foi *Cercospora* sp. Embora os sintomas sejam bastante similares aos provocados por esse fungo, não foi possível a comprovação pelo isolamento do patógeno e a confirmação pelo Postulado de Koch. Na FIGURA 3.4 estão apresentados os sintomas discutidos acima.

Figura 3.4 – Sintomas de doença causada por *Cercospora* sp. em folhas de aguapé. Fonte: Charudattan (2001) 49. Foto: XXXXXX



O fungo *Cercospora piaropi* Tarp vem sendo testado por anos como agente de controle biológico de aguapé e tem apresentado resultados altamente promissores<sup>11</sup>. A sua alta especificidade de hospedeiros tem sido o mais importante fator para considerá-lo como candidato a bioherbicida<sup>12</sup>. No entanto, esse fungo apresenta pouca viabilidade para seu desenvolvimento como agente de controle biológico para estratégia aumentativa, devido à dificuldade de crescimento e esporulação em meios artificiais em laboratório<sup>13</sup>. Outra doença no aguapé encontrada no reservatório da UHE Santo Antônio era causada pela *Alternaria eichhorniae* Nag Raj and Ponnappa e será objeto de item especial nesse capítulo.

Outro agente de controle biológico bastante ativo encontrado no reservatório da UHE Santo Antônio atuando sobre plantas de *Eichhornia crassipes* e *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth foi o ortóptero *Cornops aquaticum* Bruner (FIGURA 3.5). Esse inseto é nativo na região e se alimenta de folhas principalmente dessas duas plantas. Em-

bora ataque outras plantas da família Pontederiaceae, Lhano et al. (2005)<sup>14</sup> comenta que essas outras espécies, aparentemente, não lhe proporcionam um substrato adequado para oviposição endofítica. O poder de predação desse gafanhoto é tão elevado que o faz merecer fortes considerações para sua introdução em outras regiões como agentes de controle biológico<sup>15</sup>. Na FIGURA 3.6 e 3.7 estão apresentados sintomas da predação promovida por esse gafanhoto em folhas de *E. azurea* e *E. crassipes*, respectivamente.

Tanto os adultos quanto as ninfas desfolham a planta, causando graves danos. Adultos e ninfas de último instar desfolham as plantas mastigando ocasionando buracos nas folhas, enquanto ninfas de primeiro instar criam cicatrizes ao raspar o tecido da superfície. O gafanhoto do aguapé tem um apetite voraz e é capaz de consumir grandes quantidades de tecido vegetal<sup>15</sup>. A perda de área fotossintetizante prejudica gravemente o crescimento da planta e retarda a reprodução vegetativa. Além disso, o método de oviposição das

fêmeas também prejudica as plantas, pois os buracos criados para as oviposições interferem na translocação de nutrientes pelas folhas e expõem os pecíolos ao encharcamento, fazendo com que ocorra se-

nescência prematura das folhas. O número e duração das ninfas até atingir o estágio adulto são relacionadas ao clima, aos pulso nos níveis da coluna d'água e a quantidade de alimento <sup>16-18</sup>.



Figura 3.5 – Indivíduos jovens (esquerda) e adultos (direita) de *Cornops aquaticum* em flores de *Eichhornia crassipes* e folhas de *Eichhornia azurea*, respectivamente.

Fotos: XXXXX



Figura 3.6 – Sintomas de ataque de ninfas (esquerda) e adultos (direita) de *Cornops aquaticum* em folhas de *Eichhornia azurea*.

Fotos: XXXXX

Após o interesse de vários países, especialmente, da África do Sul, na introdução deste inseto como agente de controle biológico para aguapé, atualmente, vários aspectos da história de sua vida têm sido intensamente estudados <sup>16</sup>.

O consumo diário de folhas de *E. crassipes* por indivíduo de *C. aquaticum* variou significativamente de acordo com a classe de idade. O valor mais elevado foi encontrado nas fêmeas adultas ( $0,119 \pm 0,03g$ ) e o mais baixo nas ninfas A ( $0,029 \pm 0,031g$ ).

O consumo diário de *C. aquaticum* foi de 0,039 e 0,093g de folhas por dia em ninfas e adultos, respectivamente. O índice de consumo relativo por unidade de peso animal foi maior nas ninfas jovens e foi decrescendo na medida em que os gafanhotos foram se tornando mais adultos <sup>19</sup>.

Esses foram os principais agentes de controle biológico de *E. crassipes* e *E. azurea* observados no reservatório da UHE Santo Antônio no período de desenvolvimento desse projeto.

Figura 3.7 – Sintomas de ataque de adultos de *Cornops aquaticum* em folhas de *Eichhorniae crassipes* no reservatório da UHE Santo Antônio.  
Fotos: XXXXX



Em plantas de *Pistia stratiotes* L, a ação de inimigo natural mais pronunciada no reservatório foi decorrente do ataque da mariposa *Spodoptera pectinicornis* Hampson (FIGURA 3.8). Nesse ambiente também foram obser-

vadas outras populações de lepidópteros minadores de folhas, mas que não puderam ser identificados. A ação desses predadores sobre as plantas de *P. stratiotes* podem ser observadas na FIGURA 3.9.

Figura 3.8 – Larva de *Spodoptera pectinicornis* minando folhas de *Pistia stratiotes* e o respectivo adulto observados no reservatório da UHE Santo Antônio.  
Fotos: XXXXX



Figura 3.8 – Plantas de *Pistia stratiotes* com severos danos provocados pela predação exercida por *Spodoptera pectinicornis*.  
Fotos: XXXXX



Essa mariposa é um agente de controle biológico com boa especificidade para *P. stratiotes* e foi introduzida em vários países para tal fim. Um fator importante que frequentemente limita o crescimento e desenvolvimento desse inseto é a qualidade nutricional das plantas, especialmente a porcentagem de nitrogênio e tenacidade<sup>20</sup>.

Wheeler et al (1998b)<sup>21</sup> observaram interessante adaptação de oviposição desse inseto relacionado ao nível nutricional das folhas. Em folhas bem nutridas, a oviposição ocorria em massas de ovos, mas quando as folhas não tinham bom estado nutricional, a oviposição ocorria com ovos isolados, provavelmente para reduzir a competição por alimentos pelos neonatos.

Aphrodyanti et al. (2017)<sup>22</sup> comentam o elevado poder de predação de *S. pecticornis* em *P. stratiotes*. No entanto, quando as condições de crescimento são adequadas para a planta, a predação apenas retarda o crescimento da planta e não é suficiente para deter o crescimento populacional da macrófita. Por esse motivo, sugerem que seria interessante sistemas aumentativos frequentes de liberação desse inseto, mantendo suas populações bastante elevadas.

O alto índice de chuvas faz com que as alfaces-d'água aumentassem seu tamanho e o número de perfilhos para que pudessem colonizar essas águas. O fato de *S. pectinicornis* ainda ter a capacidade de destruir as alfaces-d'água dá grande esperança aos esforços de controle. No entanto, é necessária uma avaliação minuciosa em todos os aspectos, como os agentes de controle biológico, alvos de plantas daninhas, organismos associados a eles e o estado do meio ambiente, de modo a minimizar a possibilidade de falha no campo.

Nas plantas de *P. stratiotes* não foram encontrados sintomas de doenças causadas por fitopatógenos e os danos de predação foliar podem ter sido causados por outros insetos minadores, mas não foram coletados adultos que pudessem confirmar essa hipótese.

No reservatório foram verificadas plantas de *Paspalum repens* P.J.Bergius com sintomas de morte do ponteiro causados por um lepidóptero minador de colmos, que mais tarde foi identificado como *Diatrea saccharalis* (Fabr.) (FIGURA 3.9). Esse lepidóptero é bastante importante como praga agrícola, afetando o colmo de importantes gramíneas de interesse econômico, especialmente cana-de-açúcar.



Figura 3.9 – Plantas de *Paspalum repens* com sintomas de seca do ponteiro observada no reservatório da UHE Santo Antônio, orifício de saída da larva e foto da larva minando o caule da planta. Fotos: XXXXX

Nas campanhas de campo realizadas no reservatório da UHE Santo Antônio várias outras plantas com sintomas de ataque de pragas ou de infecção de fito-

patógenos foram observadas. Não foram pesquisadas devido ser plantas de ocorrência bastante restrita ou pela severidade dos danos não serem significativos.

---

## Controle biológico manipulado pelo homem

Os agentes de controle biológico podem ser manipulados pelo homem com a finalidade de aumentar as suas pressões bióticas sobre a macrófita-alvo. Há três estraté-

gias de utilização dos agentes de controle biológico na manipulação de seus efeitos sobre as plantas indesejadas e que serão alvos de controle,

---

### Estratégia clássica

A estratégia clássica baseia-se na seleção de inimigos naturais específicos de uma determinada macrófita em sua área de origem, estudo de sua biologia e especificidade e, posteriormente, suas liberações no ambiente em que a planta constitui um problema. O inimigo natural se estabelece no local de introdução e mantém a população da plantas-alvo abaixo de um nível que cause interferência econômica, social ou ambiental. Essa é uma estratégia basicamente utilizada no controle de macrófitas exóticas. Essas plantas normalmente são introduzidas isentas de seus inimigos naturais e não encontram fortes pressões de predação e de parasitismo no novo ambiente. Teoricamente, uma planta que desenvolve várias gerações sem a pressão de seleção de um patógeno ou predador, tende a formar uma população mais vulnerável quando o contato for reestabelecido<sup>23</sup>.

No ambiente de origem da macrófita-alvo os inimigos naturais são identificados e catalogados. Após a identificação, uma pesquisa bibliográfica permite uma primeira avaliação da especificidade e potenciais de predação ou parasitismo dos organismos coletados, permitindo o descarte daqueles pouco eficientes ou que representam risco potencial para outras plantas. Esse levantamento deve ser efetuado preferencialmente em condições climáticas análogas.

A especificidade de hospedeiro é um quesito básico para um organismo candidato a agente de controle biológico que será introduzido na estratégia clássica. Os primeiros estudos de especificidade são realizados no ambiente de origem da planta, considerando um esquema centrífugo filogenético, partindo de plantas do mesmo gênero, depois da mesma família

e tribo. Na medida em que as plantas testadas vão se afastando do centro, as atenções vão se concentrando mais em plantas de interesses econômicos, sociais ou ambientais evidentes. Estes testes devem ser realizados em condições ótimas para infecção ou predação<sup>24</sup>.

Se o organismo candidato para agente de controle biológico preencher todas os itens de segurança testados, numa segunda etapa será estudado no ambiente de introdução, dentro de estruturas quarentenárias, onde será avaliada a possibilidade de alteração de especificidade e serão complementados os testes com espécies não existentes no ambiente de origem do candidato a agente. Os estudos de adaptação do agente de controle biológico às novas condições climáticas também são realizados na fase de quarentena. Se o organismo for considerado seguro, de risco mínimo, após todos os estudos, um processo é elaborado para solicitação da autorização dos órgãos competentes para liberação do inimigo natural como agente de controle biológico. O inimigo natural liberado em pontos estrategicamente definidos, passa a preda ou parasitar a macrófita-alvo, dispersar suas populações e entra em equilíbrio na sua relação com o hospedeiro ou presa, mantendo suas densidades populacionais em níveis aceitáveis<sup>23</sup>.

A estratégia clássica constitui um programa de longo prazo, requer um investimento inicial elevado, seu sucesso não é previsível e não é completamente se-

guro. Não é adequado para soluções de curto prazo.

A estratégia clássica para controle biológico de macrófitas aquáticas ainda não foi aplicada no Brasil, mesmo porque a maior parte das macrófitas problemáticas em nossos reservatórios têm a América do Sul e o Brasil como centro de origem. No entanto, são inúmeros os exemplos da aplicação de estratégia clássica em outros locais, especialmente no controle de macrófitas aquáticas originárias da América do Sul. Os besouros *N. eichhorniae*, *N. bruchi* e *C. aquaticum* foram introduzidos com grande sucesso para o controle biológico de *E. crassipes* na América do Norte, África, Ásia e Austrália<sup>25</sup>. O coleóptero *Cyrtobagous salvinae* Calder & Sands também foi introduzido com bastante sucesso no controle biológico de *Salvinia* spp nesses locais<sup>26</sup>. Outro coleóptero, *Neohydronomus affinis* Hustache foi introduzido na África e tem tido sucesso no controle de *P. stratiotes*<sup>27</sup>. Ainda para *P. stratiotes* houve sucesso na introdução de *S. pectinicornis* na África<sup>22</sup>. Em Porto Rico, a introdução do besouro *Agasicles hygrophila* Selman & Vogt proporcionou redução das populações de *A. philoxeroides* em áreas encharcadas e canais de irrigação<sup>28</sup>.

São vários os exemplos de introdução bem-sucedidas de agentes de controle biológico para macrófitas aquáticas pela estratégia clássica, mas não foi vislumbrada essa possibilidade nas condições do reservatório da UHE Santo Antônio.





Terreno pantanoso em  
Porto Velho (RO).  
Foto: Saulo Simões

### Estratégia aumentativa

A estratégia aumentativa consiste na seleção de inimigo natural da macrófita-alvo, que seja endêmico e suficientemente específico para não constituir risco às outras espécies vegetais quando sua população ou potencial de inóculo for repentinamente aumentada, visando um impacto negativo sobre a população da planta-problema<sup>23</sup>. Esta estratégia é mais adequada para espécies nativas ou naturalizadas há muito tempo e que já apresentam uma microflora e/ou fauna associadas. Se a macrófita é nativa ou naturalizada e constitui problema em alguns ambientes, é uma evidência de que a pressão dos inimigos naturais associados foi reduzida ou que os impactos desses agentes de controle biológico nos tamanhos populacionais atuais das macrófitas são amplamente suplantados pelas condições favoráveis ao crescimento da planta, como é comum em águas eutrofizadas.

A estratégia inundativa consiste em elevar rápida e drasticamente a população ou potencial de inóculo de um ou mais inimigos naturais da macrófita-alvo, numa época em que a planta está mais suscetível, visando obter um grande impacto de redução em seu tamanho populacional. Esse aumento populacional do inimigo natural não é sustentável, pois como esse agente de controle biológico é endêmico na área, há uma pressão ambiental natural sobre sua população magnificada, tendendo a decrescer rapidamente para a capacidade de estoque original naquele ecossistema. Nesse ínterim, a ação fortificada

do inimigo natural já promoveu o impacto desejado na população-alvo. Quando o inimigo natural volta a atingir sua antiga magnitude populacional, ocorre novo fluxo de crescimento da macrófita e há necessidade de nova liberação do agente de controle biológico. Portanto, há necessidade de nova liberação em massa do agente de controle biológico<sup>29</sup>.

Considerando que se trata de um agente endêmico na área de liberação, os testes de especificidade e da ação sobre alguns indicadores de qualidade ambiental são bem menos rigorosos em relação aos agentes utilizados na estratégia clássica, uma vez que há grande histórico de coevolução das populações envolvidas no processo. Como o patamar populacional do candidato a agente de controle biológico é originalmente baixo no ambiente, os testes de especificidade e de toxicidade à fauna e outros deverão ser efetuados com o tamanho populacional do agente requerido para o controle biológico.

A estratégia inundativa para o controle biológico de plantas indesejadas tem tido sucesso com utilização de agentes microbianos, especialmente os fungos<sup>30</sup>. Vários fungos têm sido desenvolvidos para o controle biológico de macrófitas aquáticas, como *C. piaropi* e *Myrothecium roridum* Tode ex Fr<sup>31</sup>, *A. eichhorniae*<sup>32</sup> e *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.)<sup>33</sup> que estão sendo desenvolvidos para o controle de *E. crassipes*.

Um programa bem-sucedido de controle biológico de *E. crassipes* na estratégia aumentativa foi conduzido pelo INTA (Instituto Nacional de Tecnologia da Água), no México, em que foram associados dois inimigos naturais – *N. eichhorniae* e *A. zozanum*. Os besouros foram criados em con-

dições de cativeiro, liberados no campo e logo após, ocorria a aplicação de fungo. Os efeitos sobre a população de aguapé foram expressivos<sup>10</sup>. Esse sucesso pode ser decorrente da interação de disseminação promovida pelo inseto por meio de esporos aderidos ao corpo e nas fezes<sup>9</sup>.

### Estratégia repositiva

A estratégia repositiva consiste na determinação de uma densidade populacional de um agente de controle biológico que seja suficiente para manter a população da macrófita-alvo numa densidade baixa o suficiente para não interferir negativamente no ambiente ou nos usos múltiplos da água e dos corpos hídricos. Esta densidade populacional ou nível de inóculo deve ser constantemente monitorada e corrigida toda vez que estiver fora dos limites para os quais o controle biológico da macrófita-alvo é eficaz e há segurança para outras populações.

O exemplo clássico desta estratégia de controle biológico é o controle de macrófitas aquáticas por meio do peixe carpa-capim (*Ctenopharyngodon idella*), que é nativo da Ásia. Esse peixe foi introduzido nos EUA proveniente da Malásia e do Taiwan, visando o controle de macrófitas aquáticas submersas. Devido a problemas de escape, reprodução e ocupação de ambientes não desejados pelo animal, hoje somente é permitida a utilização de carpa-capim triploide (72 cromossomos). Este animal é considerado estéril e é completamente vegetariano,

a partir de 10 cm de comprimento. As espécies ingeridas e a taxa de consumo variam com o tamanho do peixe, temperatura e qualidade da água e composição específica da comunidade de macrófitas<sup>34</sup>.

A carpa-capim apresenta baixa especificidade para alimentação, em altas densidades pode consumir praticamente todas as macrófitas de um lago<sup>35</sup>, especialmente as submersas. Por esse motivo, o estoque do peixe no corpo hídrico deve ser controlado para que não haja super-pastoreio. É importante ressaltar que o controle biológico tem o objetivo de reduzir a população da macrófita-alvo para um nível em que não interfira no ambiente do lago ou nos usos múltiplos da água, afetando ao mínimo as populações de plantas aquáticas nativas.

Alguns estudos conduzidos no Brasil mostraram que a carpa-capim tem destacada preferência por macrófitas aquáticas submersas e pouca eficiência no controle de plantas marginais e flutuantes<sup>36</sup>. Não há indicação para a utilização dessa estratégia de controle biológico no reservatório da UHE Santo Antônio.

### Desenvolvimento de *Alternaria eichhorniae* com agente de controle biológico de *Eichhornia crassipes*

Nas campanhas de campo no reservatório da UHE Santo Antônio, o fitopatógeno que apresentou efeitos mais pronunciados sobre o aguapé foi *Alternaria eichhorniae*. Esse patógeno já havia sido identificado em levantamento de inimigos naturais de aguapé no delta do rio Nilo, no Egito<sup>37</sup>. Uma importante característica de diagnóstico desse fungo é a produção de uma pigmentação avermelhada em meio de cultura sob certas condições. Estudos realizados por Charudattan & Rao (1982)<sup>48</sup> demonstraram que a pigmentação é causada por dois compostos (bostrycin e deoxybostrycin) que são tóxicos ao aguapé. A produção máxima de pigmentos foi obtida quando as culturas foram cultivadas em BDA (Batata Dextrose Agar) contendo 20% de dextrose, com pH inicial de 4,5, temperatura de 25-30°C sob condições de escuro contínuo ou luz diurna e sem raspagem das culturas<sup>38</sup>. Shabana et al (2001)<sup>39</sup>

demonstraram que a eficácia de infecção do inóculo foi semelhante na produção de sintomas de doença utilizando tanto soluções de micélio como de esporos.

Evans & Reeder (2001)<sup>40</sup> determinaram a presença de *A. eichhorniae* em plantas de *E. crassipes* nas regiões Peruana e Equatoriana do Rio Amazonas. Enfim, *A. eichhorniae* tem sido reportada como de ocorrência natural em plantas de aguapé no Egito, Sudão, Kenya, Zimbabwe, Ghana, Uganda, Nigéria, Tanzânia, África do Sul, Índia, Indonésia e Tailândia<sup>40</sup>. O presente texto tem o objetivo de apresentar a identificação e as pesquisas iniciais do fitopatógeno *Alternaria eichhorniae* (isolado I-18), isolado na região de Porto Velho (RO) em plantas de *E. crassipes*. É interessante ressaltar que, provavelmente, esse seja o primeiro relato desse fitopatógeno na Amazônia Brasileira.

### A Prospecção do patógeno

As campanhas de campo para avaliações dos inimigos naturais das principais macrófitas aquáticas de ocorrência no reservatório da UHE Santo Antônio foram iniciadas em abril de 2019 e encerradas em 2020 em função da pandemia de Covid-19. Nessas ocasiões, o reservatório foi percorrido com embarcação motorizada por grande parte da extensão de suas margens à procura de macrófitas aquáticas que apresentassem sintomas que indicassem ações de predadores ou fitopatógenos. Especificamente,

em relação aos fitopatógenos foram observados vários sintomas, como os apresentados na FIGURA 3.10. As bordas dos tecidos com sintomas foram coletadas, acondicionadas em sacos plásticos, inseridas em caixas térmicas com gelo e encaminhadas ao laboratório para isolamento dos microrganismos fitopatogênicos. Os isolamentos dos patógenos das macrófitas foram realizados em meio AA (ágar-água), conforme técnica apresentada por Sinclair & Dhingra (1985)<sup>41</sup>. (FIGURA 3.11).

O método utilizado permitiu o isolamento de diversos microrganismos que desenvolveram a partir dos tecidos doentes das macrófitas. Devido o meio AA não apresentar nutrientes, somente se desenvolvem microrganismos que utilizam o material vegetal como fonte de energia. Poderiam ser fitopatógenos ou detritívoros.

Amostras de meio contendo crescimentos laterais do microrganismos foram coletadas e transferidas para meio de cultura mais nutritiva, batata-dextrose-agar (BDA). Esse meio é preparado com água resultante da fervura da batata, dextrose e ágar, e é considerado o meio padrão para cultivo de fungos em laboratório.

A partir desse ponto, o texto será enfiado nos resultados obtidos em *E.crasipes*, que foi a planta em que foi observado resultado satisfatório. É importante esclarecer que em isolamento realizado em tecidos de plantas com sintoma em meio de cultura BDA, normalmente permite o crescimento de uma grande variedade de microrganismos em geral.

Os fungos isolados foram inoculados em plantas sadias de aguapé, utilizando para tal a técnica do palito de dente, conforme descrito por Nogueira et al (2019)<sup>42</sup>. Nessa técnica, palitos de dente são impregnados com micélio dos fungos isolados e posteriormente inseridos nos tecidos sadios da lâmina foliar ou pecíolos de plantas de aguapé.

Figura 3.10 – Sintomas de prováveis doenças em tecidos foliares de *Eichhornia crassipes* observados no reservatório da UHE Santo Antônio durante as coletas realizadas nos anos de 2019 e 2020.



Após a inoculação, as plantas foram submetidas por vinte e quatro horas de câmara úmida para permitir a infecção do microrganismo. Após esse período de or-

valho, as plantas foram transferidas para a casa de vegetação e mantidas para observação possíveis desenvolvimentos de sintomas (FIGURA 3.12).



Figura 3.11 – Método de isolamento em meio agar-água, proposto por Sinclair & Dhingra, 1985 41.



Isolado I-17



Isolado I-15



Isolado I-12



Isolado I-18



Isolado I-18



Isolado I-18

Figura 3.12 – Fotos de resposta de plantas de *Eichhornia crassipes* a inoculação de alguns isolados coletados no reservatório da UHE Santo Antônio. Fotos: XXXXX

Dentre todos, o isolado I-18 foi o único que promoveu sintomas de doenças em plantas saudáveis de aguapé pelo teste do palito de dente (FIGURA 3.12). Os demais isolados não causaram quaisquer sintomas nos tecidos saudáveis da planta. A grande vantagem deste teste é que ele coloca o micélio do possível patógeno no interior dos tecidos da planta hospedeira, eliminando todas as barreiras de pré-penetração e condições adversas que impediriam ou dificultariam a penetração e posterior infecção.

Os sintomas proporcionados pelo isolado I-18 foram caracterizados por

manchas irregulares, inicialmente com aspecto encharcado e que depois se tornam necróticas com coloração acinzentada. Um fino halo amarelo claro pôde ser observado ao redor das lesões, quando em estádios iniciais de desenvolvimento. Com o desenvolvimento da doença, as lesões crescem e tomam grande parte do limbo foliar, causando rasgaduras na folha e, posteriormente, murcha e necrose. O reisolamento e posterior inoculação comprovou o Isolado I-18 como patógeno de *E. crassipes*, fechando o teste comprobatório pelo postulado de Koch.

#### Isolado I-18

Novos testes foram realizados com o isolado I-18 com o objetivo de avaliar a patogenicidade desse fungo ao aguapé e inferir sobre a possibilidade desse organismo ser utilizado como agente de controle biológico dessa macrófita. Em testes

subsequentes, fragmentos de micélio do fungo foram suspensos em água e aplicados sobre a superfície de plantas saudáveis de aguapé. Mesmo com a submissão das plantas inoculadas a vinte e quatro horas de câmara úmida, não houve infecção significativa das plantas.

Nessa etapa, cogitou-se que se tratava de um patógeno fraco, que apenas lograria sucesso na infecção do hospedeiro quando na presença de ferimentos que permitissem a entrada dos micélios no interior dos tecidos. Essa hipótese foi ainda mais aceita pelo fato de, na maioria dos casos de sintomas obtidos em campo, as lesões estavam quase sempre associadas a danos causados por insetos, como é o caso de *N. eichhorniae* ou *N. bruchi* (FIGURA 3.13).

Figura 3.13 - Sintoma de doença causada por microrganismo em folha de aguapé associada a lesão causada por insetos.  
Foto: XXXXX



Novos testes foram realizados com a aplicação de suspensões com fragmentos de micélio do isolado I-18 em plantas de aguapé previamente lesionadas. As lesões nas folhas foram realizadas mediante a raspagem da superfície foliar com uma lixa de

madeira, de modo a eliminar a cutícula e parte da epiderme foliar. Esta metodologia permitiu reproduzir os sintomas de colonização do isolado I-18 obtidos nos testes do palito de dente, comprovando novamente sua patogenicidade (FIGURA 3.14).



Figura 3.14 – Sintomas obtidos pela aplicação de micélio do isolado I-18 em plantas saudáveis de aguapé que sofreram abrasão de tecidos.

Fotos: XXXXX

Apesar de sua eficácia de infecção, o isolado I-18 ainda não havia produzido quaisquer unidades de reprodução, ou seja, ainda não havia produzido esporos, o que impedia sua correta identificação.

Nas culturas do isolado I-18 em diversos meios de cultura, um único esporo surgiu, o que permitiu a primeira identificação do patógeno estudado: um esporo em forma de clava, com septos transversais e longitudinais, forma característica do gênero *Alternaria*.

Utilizando métodos adequados para esporulação em meio de cultura sólido, foi possível a produção de maior quantidade de esporos, os quais foram observados em microscópio óptico (400x) para a correta identificação do fungo fitopatogênico. Na FIGURA 3.15 estão apresentados esporos típicos do gênero *Alternaria*, representante do isolado I-18 obtido a partir de plantas doentes de aguapé provenientes do reservatório de Santo Antônio.



Figura 3.15 – Fotos obtidas em microscópio eletrônico para esporos de *Alternaria* (isolado I-18) isolada a partir de plantas doentes de *Eichhornia crassipes* no reservatório de Santo Antônio.

Fotos: XXXXXX

O gênero *Alternaria* apresenta conidióforos escuros, em sua maioria simples, simpodial ou alongado, conídios escuros, com septos transversais e longitudinais, forma clavada, elíptica ou ovóide, frequentemente desenvolvida no ápice de conidióforos simples ou ramificados. Atua como parasita e saprófito em material vegetal<sup>43</sup>.

Uma nova observação mostrou a for-

mação de esporos em cadeia, algo muito comum em *Alternaria alternata*, uma espécie patogênica ao tomate e descrita como patogênica em plantas de aguapé<sup>44</sup>. Baseando nos sintomas causados em plantas de aguapé, na alteração de coloração do meio causada pelo crescimento micelial (FIGURA 3.16) e a morfologia dos conídios, pode-se concluir que o isolado pertence à espécie *Alternaria eichhorniae*<sup>45</sup>.

Figura 16 – Coloração avermelhada das colônias formadas em meio de cultura do meio causada pelo crescimento micelial do isolado I-18.



*Alternaria eichhorniae* apresenta crescimento micelial inter e intracelular na planta hospedeira, com hifas apresentando coloração marrom a marrom claro, septada, com 1 a 5  $\mu\text{m}$  de diâmetro. Os conídios são ovados, obclavados ou raramente elipsóides, normalmente com um poro basal indistinto, sem pontas quando elipsóide, ou com um pequeno bico cônico ou cilíndrico com 3-5  $\mu\text{m}$  de diâmetro. A base apresenta cerca de 145  $\mu\text{m}$  de diâmetro, com comprimento maior que o comprimento do corpo do conídio, e, normalmente, representando um quarto a dois terços do comprimento total do conídio, sendo normalmente mais claro que o restante e podendo apresentar septos. O conídio apresenta de quatro a dez sep-

tos transversais e um a quatro septos longitudinais. Também segundo os autores, em todos os meios nutritivos testados, o fungo produziu uma intensa pigmentação vermelha no meio. Em culturas velhas, os conídios foram sujeitos a crescimento secundário, resultando em mudanças na forma, tamanho e cor. Seus conídios se tornam duas vezes mais grossos, o número de septos aumenta, aumentando também a constrição do septo e escurecimento das paredes celulares<sup>45</sup>.

O fungo *Alternaria eichhorniae* foi primeiramente reportado como potencial agente de controle biológico de *E. crassipes* em 1970, na Índia<sup>45</sup>. No Egito, Shabana et al (1995)<sup>46</sup> demonstraram que o

isolado Ae-5 de *A. eichhorniae* apresentava segurança, eficácia e praticabilidade no uso como agente de controle biológico de aguapé. Os autores demonstram que nenhuma das 97 plantas de importância econômica e macrófitas não alvo testadas foram suscetíveis ao patógeno. Eles também demonstram que múltiplas aplicações do patógeno aumentaram a sua eficácia no controle do aguapé.

Testes foram realizados com aplicação da *Alternaria eichhorniae* (isolado I-18) em plantas de aguapé cultivadas em mesocosmos ao ar livre. As plantas foram inocu-

ladadas com pulverização de suspensão concentrada de esporos até o escoamento superficial da suspensão aplicada. A aplicação foi realizada ao anoitecer, evitando a possibilidade de ressecamento dos esporos pelo sol. Devido às condições ambientais estarem favoráveis (temperatura e umidade relativa do ar), houve um rápido estabelecimento da doença na população da planta alvo. Na FIGURA 3.17 são apresentadas plantas de aguapé com os sintomas observados nas condições de mesocosmos até uma semana após inoculação do patógeno.



2 dias após inoculação



4 dias após inoculação



7 dias após inoculação



7 dias após inoculação

Figura 3.17 – Sintomas de doença de *Alternaria eichhorniae* (isolado I-18) em aguapé sob condições de mesocosmos, sem submissão das plantas às condições artificiais de câmara úmida. Foto: XXXXX

Um fato observado nestas aplicações é que talvez haja necessidade de aplicações sequenciais do patógeno para um efetivo controle da população local de aguapé,

como foi ponderado por Shabana et al (1995)<sup>46</sup>. Após alguns dias, se as condições se tornarem mais favoráveis à planta, pode-se iniciar uma rápida recuperação

do aguapé com a emissão de novas folhas. Nesse caso, o fitopatógeno apenas retardaria circunstancialmente o crescimento da população de *Eichhornia crassipes*, justificando as aplicação sequenciais.

Em testes em condições menos favoráveis ao crescimento do aguapé, como no caso de locais com alto nível de sombreamento, a velocidade de crescimento da doença é muito superior à observada no

exemplo acima e o impacto sobre a população é maior e mais prolongado. Normalmente os testes eram baseados na aplicação de 0,1 g de esporos para cada 100 ml de água, o que corresponde a uma concentração próxima a  $4,5 \times 10^4$  esporos/mL.

Na FIGURA 3.18 são apresentados detalhes dos sintomas das lesões causadas pelo fungo *A. eichhorniae* (isolado I-18) em tecidos *E. crassipes*.

Figura 3.18 – Detalhes dos sintomas da colonização dos tecidos de *Eichhornia crassipes* pelo fungo *Alternaria eichhorniae* (isolado I-18).  
Foto: XXXXX



### A produção de inóculo

Uma vez comprovada a patogenicidade e virulência da *A. eichhorniae*, a próxima etapa foi o desenvolvimento de método para a produção massiva de inóculo. Alguns fungos são de fácil produção, desenvolvendo micélio e produzindo esporos em meios de cultura tradicionais sem necessidade de qualquer outro estímulo que não seja o nutricional e o tempo. No caso de fungos do gênero *Alternaria*, segundo experiência dos autores, este não é o cenário. Muitas espécies de *Alternaria* necessitam de condições especiais para produção de esporulação, tanto com relação ao aspecto nutricional (meios de cultura) quanto aos estímulos externos (luz, temperatura, estresse). Um fato interessante sobre este gênero é que seus representantes dificilmente esporulam em meios de cultura com excesso de carboidratos prontamente disponíveis, por exemplo, o meio de BDA.

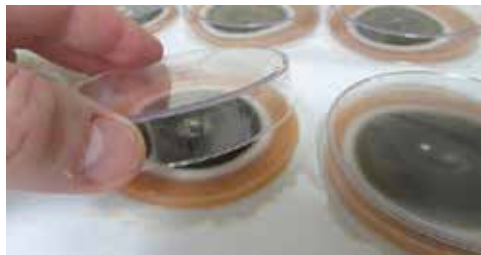
Baseando-se nos trabalhos de Walker (1982)<sup>47</sup> desenvolvidos com *Alternaria cassiae*, foi testada a metodologia de esporulação nesse patógeno com adaptações, introduzindo modificações que facilitaram sua utilização nas condições presentes do laboratório.

O fungo foi cultivado em placas de plástico estéreis contendo meio de toma-

te. O meio de tomate era composto por: 200 ml de suco de tomate integral, 2,0 gramas de carbonato de cálcio, 18g de ágar-ágar e 800 mL de água. Os fungos permaneciam em local arejado sem luminosidade até que a colônia apresentasse diâmetro entre 3,5 e 5,0 cm. As placas eram então abertas e uma alíquota de 30 mL de água era depositada sobre a colônia, a qual era imediatamente raspada com um pincel, retirando todo o micélio que se encontrava acima do nível da superfície do meio de cultura, o qual era posteriormente descartado.

O meio ágar foi retirado da placa com o auxílio de uma espátula e colocado sobre uma folha de papel tipo sulfite sob luz fluorescente por 12 horas. Após o período de luz, os meios de cultura sólidos foram tampados com as tampas das placas de plástico, e mantidos no escuro total em temperatura mais baixa à utilizada no crescimento micelial. Decorridas 24 horas, as tampas eram retiradas e o meio deixado secar sob condições de frio e baixa umidade relativa do ar (condições presentes em sala com condicionador de ar). A esporulação ocorria de forma abundante e os esporos foram retirados do meio de cultura seco por meio da raspagem com pincel (FIGURA 3.19).

Figura 3.19 – Fotos das etapas da produção massiva de esporos de *Alternaria eichhorniae* isolado [1-18] em meio de cultura sólido. Fotos: XXXXX



A etapa do projeto de pesquisa e desenvolvimento relacionada com a prospecção de inimigos naturais de aguapé, principal hospedeira de larvas do inseto do gênero *Mansonia*, apresentou como resultado a seleção e início do desenvolvimento de um agente fúngico de controle biológico dessa macrófita. O referido inimigo natural, *Alternaria eichhorniae*, é um fitopatógeno já isolado e estudado em outras regiões do mundo como agente de controle biológico de *Eichhornia crassipes*<sup>37,40,45</sup>.

O fungo demonstrou ser eficaz no controle da planta quando as condições ambientais são favoráveis ao desenvolvimento do patógeno. Shabana et al (1995)<sup>46</sup>, em estudo conduzidos em casa-de-vegetação, verificaram alta especificidade deste patógeno para aguapé. Uma vez que este fungo faz parte da flora microbiana

nativa do bioma onde encontra-se inserido o reservatório da UHE Santo Antônio, toda a flora local se desenvolveu em presença deste fator biótico ao longo do tempo e não apresentou sintomas de infecção. Este fato proporciona uma segurança ambiental para uso deste agente no controle de *Eichhornia crassipes* no reservatório da UHE Santo Antônio.

O controle biológico com fitopatógenos, na estratégia inundativa, sempre deverá ser encarada como uma ferramenta adicional em um plano de manejo com integração de estratégias de controle. O referido agente de controle biológico deverá ser ainda testado em campo, quando houver condições para tal, visando avaliar sua eficácia como bioherbicida.

A identificação da *Alternaria eichhorniae* no reservatório de Santo Antônio

demonstra, indubitavelmente, que programas de controle biológico de plantas aquáticas com microrganismos endêmicos

(nativos) é possível de serem desenvolvidos, não havendo necessidade do risco de introdução de agentes exóticos.

---

### Considerações finais

As macrófitas que se desenvolvem em corpos hídricos antropizados causam sérios problemas ao meio ambiente e aos usos múltiplos da água têm limitadas opções de controle, não podendo ser aplicado o controle químico, ocorrendo sérias dificuldades para o controle mecânico e outros métodos físicos. Nessas condições o controle biológico é uma opção bastante interessante para o manejo dessa vegetação.

As macrófitas importantes no reservatório da UHE Santo Antônio são nativas e não há a possibilidade de utilização da estratégia clássica em seus controles biológicos. Vários inimigos naturais importantes para as macrófitas locais foram observados nesse reservatório, mas são populações que coevoluíram localmente e mantêm seus estoques populacionais dentro dos limites determinados na evolução do biocenose

local. Mesmo assim são importantes nas regulações das determinadas populações.

A estratégia de controle biológico aumentativo utilizando um inimigo natural nativo é a mais adequada para o manejo de macrófitas nativas no reservatório da UHE Santo Antônio. O inimigo natural que se mostrou mais viável para desenvolvimento com agente de controle biológico foi o patógeno *Alternaria eichhorniae*, isolado de tecidos doentes de plantas de *Eichhornia crassipes*. A severidade de doença foi considerada satisfatória, produção de esporos foi viabilizada em condições de laboratório, a literatura cita que é um patógeno específico e é importante que estudos posteriores sejam desenvolvidos para produzir formulações e condições de aplicação que tornem possíveis a produção de bioherbicida para o aguapé.

## Referências

1. Pompeo M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros. São Paulo, EDUSP, 2017.
2. Pitelli RA, Martins D, Velini ED. Interferências e controle de macrófitas aquáticas. In: Vargas L, Roman ES (Org.). Manual de manejo e controle das plantas daninhas. 2ªed. Passo Fundo: Embrapa, 2008.
3. Pitelli RA. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. Informe Agropecuário. 1985, 129: 16-17.
4. Van TK, Wheeler SS, Center TD. Competition between *Hydrilla verticillata* and *Vallisneria americana* as influenced by soil fertility. Aquatic Botany, 1999, 62:225-233.
5. Fernandes LFG, Teixeira MC, Thomaz SM. Diversity and biomass of native macrophytes are negatively related to dominance of an invasive Poaceae in Brazilian sub-tropical streams. Acta Limnológica Brasiliensis. 2013, 25: 202-209
6. Amorim CA, Moura-Falcão RHM, Valença CR, Souza VR, Moura AN. Allelopathic effects of the aquatic macrophyte *Ceratophyllum demersum* L. on phytoplankton species: contrasting effects between cyanobacteria and chlorophytes. Acta Limnológicas Brasiliensia. 2019: 31: e21.
7. Zuo S, Kun W, Ma S.M, Ye LT. Combined allelopathic potential of aquatic plants species to control algae. Allelopathy Journal. 2014, 34: 315-324.
8. Mutebi C, Opande G. Harnessing *Acremonium zonatum* (Sawada) Gams oil formulations as water hyacinth control mycoherbicides. Archives of Ecotoxiloggy. 2021, 3:81-84.
9. Galbraith C. The pathogenicity of an Australian isolate of *Acremonium zonatum* to water hyacinth, and its relationship with the biological control agent, *Neochetina eichhorniae*. Australian Journal of Agricultural Research. 1989, 38: 219 – 229
10. Jiménez MM, Gomes-Balandra AJ. Integrated control of *Eichhornia crassipes* by using insects and plant pathogens in Mexico. Crop Protection. 2007, 26: 1234-1238.
11. Ávila ZR, Pitelli RA. Crescimento, esporulação e virulência do inóculo de *Cercospora piaropi*, agente de biocontrole do aguapé. Fitopatologia Brasileira, 2004, 29: 189-192.
12. Martinez JM, Gomez B. Integrated control of *Eichhornia crassipes* by using insects and plant pathogens in Mexico. Crop Protection 2007, 26:1234–1238.
13. Del Peloso MC, Fernandes CD, Filgueiras AT, Chaves GM. Esporulação de *Cercospora coffeicola* em diferentes meios de cultura. Fitopatologia Brasileira. 1989, 14: 41-44.
14. Lhano MG, Adis J. Marques MI, Battirola LR. *Cornops aquaticum* (Orthoptera, Acrididae, Leptysminae): aceitação de plantas alimentares por ninfas vivendo em *Eichhornia azurea* (Pontederiaceae) no Pantanal Norte, Brasil. Amazoniana. 2005, 18: 397–404.
15. Braga CES, Gutjahr ALN, Morais JW, Adis J. Avaliação do potencial do gafanhoto *Cornops aquaticum* (Orthoptera) como agente de controle biológico de *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae). Interciência, 2013, 38: 590-596.
16. Hill MP, Oberholzer IG. Host specificity of the grasshopper, *Cornops aquaticum* a natural enemy of water hyacinth. In: Neal, RS (Ed.) International Symposium on Biological Control of Weeds. 10º; Bozeman. 2000, p. 349-356.
17. Adis J, Junk W Feeding impact and bionomics of grasshopper *Cornops aquaticum* on the water hyacinth *Eichhornia crassipes* in the Central Amazonian floodplains. Studies in Neotropical Fauna Environment. 2003, 38: 245-249.
18. Brede E, Adis J, Schneider P. What is responsible for the variance in life history traits of South American semi-aquatic grasshopper (*Cornops aquaticum*)? A test of three possible hypotheses. Studies on Neotropical Fauna and Environment. 2007, 42: 225-233.

19. Franceschini MC, De Wysiecki ML, Neiff AP, Galassi ME, Martínez FS. The role of the host-specific grasshopper *Cornops aquaticum* (Orthoptera: Acrididae) as consumer of native *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae) floating meadows Revista de Biologia Tropical. 2011, 59: 407-418.
20. Wheeler GS, Van T K, Center TD. Herbivore Adaptations to a Low-Nutrient Food: Weed Biological Control Specialist *Spodoptera pectinicornis* (Lepidoptera: Noctuidae) Fed the Floating Aquatic Plant *Pistia stratiotes*. Entomology Papers from Other Sources: 1998. 88: 998-1000.
21. Wheeler GS, Van T K, Center TD. Fecundity and egg distribution of the herbivore *Spodoptera pectinicornis* as influenced by quality of the floating aquatic plant *Pistia stratiotes*. Entomologia experimentalis et applicate. 1998, 86: 95-304.
22. Aphrodyanti L, Rosa H, Samharinto S. The potential of *Spodoptera pectinicornis* in controlling water lettuce (*Pistia stratiotes*) in field. Tropical Wetland Journal. 2017, 3: 10-16.
23. Charudattan, R. Inundative control of weeds with indigenous fungal pathogens. In Burge, MN ed. Fungi in Biological Control Systems. Manchester, Manchester University Press. 1988. p. 86-110.
24. Watson AK. The classical approach with plant pathogens. In: TeBeest DO ed. Microbial Control of Weeds. New York, Chapman and Hall, 1991, p. 3-23
25. Center TD, Hill MP, Cordo H, Julien MH. Waterhyacinth. In: Van Driesche R, Blossey B, Hoddle M, Lyon S, Reardon R. Biological control of invasive plants in the Eastern United States. Morgantown, USDA Forest Service Forest, 2002, p. 41-78
26. Julien MH, Center TD, Tipping, PW. Floating Fern (*Salvinia*). In: Van Driesche R, Blossey B, Hoddle M, Lyon S, Reardon R. Biological control of invasive plants in the Eastern United States. Morgantown, USDA Forest Service Forest, 2002. p. 17-28
27. Coetzee J, Langa S, Motitsoe S, Hill M. Biological control of water lettuce, *Pistia stratiotes* L., facilitates macroinvertebrate biodiversity recovery: a mesocosm study. Hydrobiologia. 2020, 847: 10.1007/s10750-020-04369-w.
28. Abreu E, Semidey N. Introduction and release of the alligatorweed flea beetle *Agasicles hygrophila* in Puerto Rico. In: Aquatic Management Society Annual Meeting, 40th, San Diego: Aquatic Plant Management Society, 2000 p. 10.
29. Pitelli RA, Nachtigal GF, Pitelli RLCM. Controle biológico de plantas daninhas. In: Congreso Latinoamericano de Malezas, 16º, Manzanillo. 2003, p. 518-524.
30. Morin L. Progress in Biological Control of Weeds with Plant Pathogens. Annual Review of Phytopathology. 2020, 58: 201-223
31. Mutebi CM, Musyimi, DM, Opande GT. Bio control of water hyacinth with *Cercospora piaropi* and *Myrothecium roridum* corn oil formulations for enhanced water resources management and conservation. East African Journal of Science, Technology and Innovation, 2021, 2 (especial): 1-15.
32. Shabana Y, Baka Z, Abdel-Fattah G. *Alternaria eichhorniae*, a biological control agent for waterhyacinth: Mycoherbicidal formulation and physiological and ultrastructural host responses. European Journal of Plant Pathology. 1997, 103: 99-111
33. Dagno K, Lahlali R, Diourte M, Jijakli MH. Present status of the development of mycoherbicides against water hyacinth: successes and challenges. A review. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 2012, 6: 360-368
34. Clugston JP, Shireman J V. Triploid grass carp for aquatic plant control. Washington, USDA/FWS, Fish and Wildlife Leaflet, 1987, 8, 3 p.
35. Sutton DL, Vandiver VV. Grass carp: a fish for biological management of *Hydrilla* and other aquatic weeds in Florida. Gainesville (FL), IFAS/UF. 1986. Bulletin 867, 10 p.
36. Silva AF, Cruz C, Pitelli RA, Pitelli RLCM. Use of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) as a biological control agent for submerged aquatic macrophytes. Planta Daninha. 2014, 32: 765-773.

37. Shabana YM, Charudattan R, Elwakil MA. Identification, pathogenicity, and safety of *Alternaria eichhorniae* from Egypt as a bioherbicide agent for waterhyacinth. *Biological Control*, 1995, 5: 123–135.
38. Shabana, YM, Elwakil MA, Charudattan R. Effect of media, light and pH on growth and spore production by *Alternaria eichhorniae*, a mycoherbicide agent for waterhyacinth. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. Journal of Plant Disease and Protection*. 2000, 107: 617–626
39. Shabana, YM, Elwakil MA, Charudattan R. 2001. Biological Control of Water Hyacinth by a Mycoherbicide in Egypt. In: Julien MH, Center TD, Jianqing D. *Biological and Integrated Control of Water Hyacinth, Eichhornia crassipes*, edited by M.H. ACIAR 2001, Proceedings, p. 102.
40. Evans HC, Reeder RH. Fungi associated with *Eichhornia crassipes* (water hyacinth) in the upper Amazon basin and prospects for their use in biological control. In: Julien M.H, Hill MP, Center TD, Jianqing, D (eds.) *Meeting of the Global Working Group for the Biological and Integrated Control of Water Hyacinth, Eichhornia crassipes*, Beijing, China. Proceedings, 2001, 2<sup>o</sup>: 62-70
41. Dhingra OD, Sinclair JB. *Basic plant pathology methods*. Boca Raton, CRC Press, 1985.
42. Nogueira GA, Silva SGA, Linhares SMA, Ambrosio MMQ, Nunes GHS. Métodos de inoculação de *Fusarium solani* e *Sclerotium rolfsii* em meloeiro. *Summa Phytopathologica*, 2019, 44: 59-63.
43. Barnett HL, Hunter BB. *Illustrated genera of imperfect fungi*. 4<sup>o</sup> ed. Minnesota: Burgess Publishing Company, 1998.
44. Babu RM, Sajeena A, Seetharaman K. Bioassay of the potentiality of *Alternaria alternata* (Fr.) keissler as a bioherbicide to control waterhyacinth and other aquatic weeds. *Crop Protection*. 2003, 22: 1005-1013
45. Nag, JR, Ponnappa, KN. Blight of water hyacinth caused by *Alternaria alternata* sp. Nov. *Transactions of the British Mycological Society*. 1970, 55: 123-130.
46. Shabana, YM, Charudattan R, Elwakil MA 1995. Identification, pathogenicity, and safety of *Alternaria eichhorniae* from Egypt as a bioherbicide agent for waterhyacinth. *Biological Control*. 1995: 5: 123–135.
47. Walker HL Seedling blight of sicklepod caused by *Alternaria cassia*. *Plant Disease*. 1982, 66: 426-428
48. Charudattan R, Rao KV Bostrycin and 4-deoxybostrycin: two nonspecific phytotoxins produced by *Alternaria eichhorniae*. *Applied Environmental Microbiology*. 1982, 43: 846–849.
49. Charudattan R. Biological control of weeds by means of plant pathogens: Significance for integrated weed management in modern agroecology. *Biological Control*, 2001, 46:229–260







Capítulo 5

# CONTROLE QUÍMICO DE PLANTAS AQUÁTICAS: CENÁRIO INTERNACIONAL E POTENCIAL DE USO NO BRASIL

**Edivaldo Domingues Velini<sup>1</sup>**

**Maria Lúcia Bueno Trindade<sup>1</sup>**

**Caio Antônio Carbonari<sup>1</sup>**

**Plinio Saulo Simões<sup>1</sup>**

**Diego Munhoz Gomes<sup>1</sup>**

**Rapael Mereb Negrisoni<sup>1</sup>**

**Augusto Antonio Bronhara<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> NUPAM - Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia,  
Departamento de Proteção Vegetal, FCA/Unesp, Botucatu, SP, BR.

<sup>2</sup> FUNDUNESP, São Paulo, SP, BR.

*O controle de plantas aquáticas é um assunto de importância crescente no Brasil. O crescimento excessivo desse tipo de vegetação pode causar efeitos negativos sobre o ambiente e sobre as atividades humanas. No exterior, há um longo histórico de uso seguro e eficiente de herbicidas no controle de plantas aquáticas flutuantes, marginais e submersas. Em contraste, no Brasil há apenas um herbicida, específico para plantas submersas, registrado para uso em ambientes aquáticos.*

*Quando se trata de plantas aquáticas flutuantes ou marginais, as mais frequentes no Brasil, não é possível o uso do controle químico. Este capítulo traz informações sobre os principais herbicidas que podem ser utilizados em ambientes aquáticos, sobre técnicas de aplicação e, também, são feitas considerações sobre os riscos e segurança do uso desses produtos em condições representativas das que ocorrem em reservatórios de hidroelétricas no Brasil.*

## Introdução

A demanda por água de boa qualidade tem aumentado continuamente. Em muitos países o aspecto mais agudo das mudanças climáticas será a escassez de água para seus vários usos e funções. A falta de água já constitui a principal limitação ao desenvolvimento e à qualidade de vida em muitas nações. Neste contexto, zelar pelas coleções de água é papel de todos e um compromisso que devemos assumir de imediato com as próximas gerações.

No Brasil, lagos e rios são importantes ecossistemas que têm, também, a função de fornecer água para o consumo humano e animal, para a produção agrícola e industrial e para a geração de energia elétrica, além de constituírem o meio para o desenvolvimento de atividades de recreação, navegação e pesca. Essas atividades devem ser desenvolvidas e planejadas com racionalidade e à luz do conhecimento técnico e científico para que se possa alcançar o uso múltiplo e sustentável das coleções de água.

Embora um mínimo de vegetação aquática nativa seja necessário como fonte de oxigênio (O<sub>2</sub>), alimento e abrigo para a vida aquática, grandes quantidades desses vegetais podem dificultar a navegação, pesca, recreação e geração de energia elétrica. A presença de plantas aquáticas também pode causar efeitos negativos, como a redução da oxigenação e da degradação de compostos orgânicos, além de aumentar as perdas por evapora-

ção e transpiração.

No caso do reservatório da Usina Hidrelétrica Santo Antônio, objeto de extenso projeto de pesquisa visando ao manejo integrado de macrófitas e *Mansônias*, o principal problema está associado ao fato do desenvolvimento das larvas de mosquitos e a oviposição ocorrerem preferencial ou exclusivamente em macrófitas. Um segundo aspecto relevante é a presença de espécies exóticas, como a *Urochloa subquadriflora*, que pode colocar em risco a sobrevivência de espécies nativas e a biodiversidade no reservatório. Dificuldades à pesca, navegação e funcionalidade de *Log Boom* também são efeitos negativos relevantes, mas que não foram prioridade neste projeto.

Considerando as características do reservatório da UHE Santo Antônio e os efeitos negativos das macrófitas especificamente associados à ocorrência de *Mansônias*, os métodos clássicos de controle de macrófitas, como o químico, o mecânico e o biológico, têm sido planejados como complementos da capacidade de controle já presente no reservatório. De modo mais específico, ao ser concluído que o aguapé (*Eichhornia crassipes*) é a espécie que oferece abrigo e fonte de oxigênio para as fases larvais de *Mansônias*, a redução de sua população no reservatório passou a ser prioritária. As ações de controle planejadas e desenvolvidas tiveram como objetivo a remoção dessa espécie,

mas em condições que permitissem a ocupação do ambiente por outras espécies não associadas a Mansônias. O objetivo do controle busca a remoção do aguapé ou a das suas populações criando condições para que outras espécies, como *Paspalum repens* e *Oxycarium cubense*, ocupassem o ambiente. No projeto de pesquisa, não foi possível avaliar se o controle químico poderia ser utilizado para a substituição de flora, mas o controle mecânico vem sendo utilizado com muito sucesso para esse fim.

Em janeiro de 2020, em atividade conjunta de todas as equipes envolvidas no projeto, foram identificadas oviposições de Mansônias em folhas de *Salvinia molesta* e essa espécie passou a ser um segundo alvo prioritário em termos de desenvolvimento de práticas de manejo. Vale ressaltar que, se o controle de *Eichhornia crassipes* já não é simples, o controle de *Salvinia molesta* é ainda mais difícil. Uma vez que as salvinias têm as folhas extremamente hidrorrepelentes, sendo um desafio molhá-las com soluções

aquosas, é necessária a adição de surfactantes. As plantas de *Salvinia molesta* são pequenas e dispersas pelo vento, sendo encontradas misturadas a outras espécies em praticamente todo o reservatório. Elas também oferecem suporte para a dispersão, germinação e crescimento inicial de *Oxycarium cubense* e, possivelmente, outras espécies de macrófitas.

Todos os testes com agentes de controle tiveram como alvos prioritários *Eichhornia crassipes*, *Salvinia molesta* e *Urochloa subquadripara*. Outras espécies como *Paspalum repens* e *Oxycarium cubense* foram considerados alvos complementares em caso de ser necessário manejá-las no futuro. Foram conduzidos levantamentos em literatura para identificar as principais alternativas disponíveis no exterior e no Brasil. Também foram desenvolvidas técnicas de aplicação que poderiam ser utilizadas no reservatório da UHE Santo Antônio caso tivéssemos algum herbicida registrado para o controle de plantas marginais e flutuantes no Brasil.

---

#### **Características principais do reservatório da UHE Santo Antônio considerando um possível uso do controle químico**

Os levantamentos de flora indicaram o predomínio de espécies marginais e flutuantes, o que seria esperado considerando a elevada turbidez das águas em praticamente toda a extensão do reservatório nas diferentes épocas do ano. Até o momento as espécies submersas não são um problema, mas em alguns igarapés é possível

que esse tipo de vegetação se desenvolva no futuro considerando a transparência das águas, sendo exemplos as partes altas dos igarapés Ceará e Jatuarana.

A presença de partículas minerais e orgânicas em suspensão também tem elevado potencial de sorção de eventuais agen-

tes de controle que possam ser aplicados no controle de macrófitas e contribui para a segurança deste tipo de aplicação caso um dia seja feita. Por outro lado, a turbidez é relevante por reduzir a penetração de luz e, portanto, o potencial de fotólise de compostos orgânicos, incluindo possíveis agentes de controle, na coluna de água. Mas a principal característica do reservatório da UHE Santo Antônio é a elevada vazão de água não só no leito principal, mas nos igarapés também.

Considerando que eventuais aplicações seriam feitas de modo racional e otimizado nos alvos prioritários de controle (plantas flutuantes e marginais), foram feitas algumas estimativas das concentrações máximas que seriam esperadas de eventuais compostos utilizados como agentes de controle. De modo bem resumido, algumas dessas informações são apresentadas na **TABELA 5.1**. Foi considerada uma área aplicada de 10ha, compatível com a superfície unitária das áreas que têm sido submetidas ao controle mecânico no reservatório. Foram consideradas doses de 10, 100 e 1.000 g de i.a./ha e esses valores são apenas exemplos de doses de agentes de controle que poderiam ser utilizadas para causar a morte ou reduzir o crescimento de plantas. As duas principais variáveis consideradas foram a vazão de água no local e a taxa máxima diária de liberação do composto na coluna de água, por efeito de aplicação direta, escoamento ou pela degradação das plantas controladas.

As vazões de 10 a 10.000m<sup>3</sup>/s são representativas das condições localmente encontradas no leito do rio Madeira ou em igarapés pelos quais fluem rios. Deve ser ressaltado que as vazões do rio Madeira podem ser muito superiores a 10.000m<sup>3</sup>/s e, portanto, valores reais deveriam ser considerados na eventual aplicação de um agente químico de controle de macrófitas ao *Logboom*.

A outra variável altamente relevante é a porcentagem de escoamento ou liberação a partir das plantas controladas. Foi considerado o valor de 10% para quase todas as simulações. Sendo mais preciso na definição do que representa esse valor, se a aplicação fosse feita de modo direcionado às plantas e essas cobrissem 10% da superfície, todo o agente de controle depositaria sobre as plantas. Do total aplicado e depositado, 10% seriam liberados na água a cada dia, por escoamento ou decomposição das plantas. Destaca-se que a técnica de aplicação selecionada para ser desenvolvida é com uso de drone, que permite aplicar apenas onde há plantas. Com este tipo de aplicação, o escoamento, se presente, será a principal via de contato do herbicida com a água. É possível mapear previamente a ocorrência de plantas e criar mapas de aplicação com a interrupção do fluxo do agente de controle se não há cobertura vegetal. Esse cuidado não era possível no passado e em muitos casos toda a superfície do lago ou rio era tratada aumentando o consumo do agente de controle e os problemas com contaminação da água.

XXX



Para permitir avaliar a contribuição da aplicação precisa e localizada, foi simulada a Condição 3, idêntica à Condição 2, mas supondo a aplicação em área total e os mesmos 10% de liberação (por escorrimiento ou decomposição) a partir das plantas que receberiam a aplicação. Nas condições com 100% da área ocupada por macrófitas as condições são idênticas pois as duas técnicas de aplicação tratariam 100% da área. Nas demais condições com 10 ou 20% da área com infestação, a aplicação localizada permitiria reduzir em 91 e 41 vezes, respectivamente, a máxima concentração do agente de controle na água. Portanto, esses dados indicam que para avaliar a segurança de uma possível aplicação de um herbicida em ambiente aquático, além das características do próprio herbicida, é necessário considerar a porcentagem da área ocupada e as características da tecnologia de aplicação a ser utilizada. A aplicação direcionada aos pontos em que há a presença de plantas aquáticas pode contribuir significativamente para a menor exposição do meio ambiente e para a maior segurança da aplicação.

Considerando as informações apresentadas, foram estimadas as concentrações máximas que seriam alcançadas na água após possíveis aplicações sem considerar o potencial de sorção e decomposição dos compostos em água. As concentrações máximas esperadas são expressas em nanograma por litro, ou ng/L – equivalente a microgramas/metro cúbico (ug/m<sup>3</sup>) ou parte por trilhão (ppt).

Mesmo sendo insignificante, os melhores métodos e sistemas analíticos disponíveis já são capazes de identificar e quantificar compostos ao nível de ppqs e, por isso, a mera detecção de uma substância deixou de ser relevante em análises de risco. As concentrações detectadas devem ser sempre confrontadas com as concentrações em que há algum tipo de risco e que, em geral, são superiores a dezenas ou centenas de ppms.

A comparação das condições 2 e 3, com aplicação localizada ou área total, respectivamente, evidencia o quanto é relevante contar com sistemas de aplicação localizada que minimizem a aplicação em locais onde não há plantas. Por isso, a técnica de aplicação escolhida para ser avaliada experimentalmente foi a aplicação com drones, o que permite aplicar de modo direcionado a locais com ocorrência de planta previamente identificados com auxílio de imagens de satélite, aéreas ou levantamentos em campo. Mesmo com a aplicação em área total e na maior dose considerada (1.000g de i.a./ha), as máximas concentrações em água previstas na condição 3 foram da ordem de 1.000ppt ou 1ppb (que ainda é um milésimo de ppm). **Releva destacar que a segurança de uma possível aplicação de um herbicida aquático pode ser altamente influenciada pela técnica de aplicação utilizada.**

O uso de drones também se mostrou imperativo em função da presença de paliteiros e troncos submersos impossibi-

litando o deslocamento seguro ou a manutenção de velocidades minimamente estáveis em embarcações aplicadoras de uso comum no exterior, como aerobarcos.

A apresentação da TABELA 5.1 também é relevante para ilustrar a desproporcionalidade das doses de herbicidas aquáticos utilizados no controle de plantas submersas e flutuantes. Exemplificando, considerando as informações apresentadas na literatura internacional<sup>1</sup> para alcançar a concentração de 370ng/mL

(equivalente a 370ug/L ou 370ppb), que promove o controle de plantas submersas, seria necessário o uso de 11,1kg do i.a. diquat/ha para tratar um lago com 3m de profundidade e sem fluxo de água. As doses expressas em kg/ha são ainda maiores quando há fluxo de água. Segundo a mesma fonte, as doses normais de aplicação de diquat no controle de plantas flutuantes são inferiores a 4,5L de p.c./ha ou 2.000g do i.a. diquat/ha, sendo muito inferiores às necessárias para controlar plantas submersas.

Tabela 5.1 – Máximas concentrações de agentes de controle esperadas em diferentes condições de doses, vazões e porcentagens de escoamento ou liberação diária.

| Condição 1 - Aplicação Localizada                        |       |        |          | % da área com infestação |       |        |       |        |          |
|----------------------------------------------------------|-------|--------|----------|--------------------------|-------|--------|-------|--------|----------|
|                                                          | 10    | 10     | 10       | 20                       | 20    | 20     | 100   | 100    | 100      |
| Dose em g de i.a./ha                                     | 10    | 100    | 1000     | 10                       | 100   | 1000   | 10    | 100    | 1000     |
| Área tratada (ha)                                        | 10    | 10     | 10       | 10                       | 10    | 10     | 10    | 10     | 10       |
| Máximo escoamento ou liberação das plantas (% em um dia) | 10    | 10     | 10       | 10                       | 10    | 10     | 10    | 10     | 10       |
| Vazão (m³/s)                                             | 10    | 10     | 10       | 10                       | 10    | 10     | 10    | 10     | 10       |
| Concentração máxima esperada (ng/L = ug/m³ = ppt)        | 1,16  | 11,57  | 115,74   | 2,31                     | 23,15 | 231,48 | 11,57 | 115,74 | 1.157,41 |
| Condição 2 - Aplicação Localizada                        |       |        |          | % da área com infestação |       |        |       |        |          |
|                                                          | 10    | 10     | 10       | 20                       | 20    | 20     | 100   | 100    | 100      |
| Dose em g de i.a./ha                                     | 10    | 100    | 1000     | 10                       | 100   | 1000   | 10    | 100    | 1000     |
| Área tratada (ha)                                        | 10    | 10     | 10       | 10                       | 10    | 10     | 10    | 10     | 10       |
| Máximo escoamento ou liberação das plantas (% em um dia) | 10    | 10     | 10       | 10                       | 10    | 10     | 10    | 10     | 10       |
| Vazão (m³/s)                                             | 100   | 100    | 100      | 100                      | 100   | 100    | 100   | 100    | 100      |
| Concentração máxima esperada (ng/L = ug/m³ = ppt)        | 0,12  | 1,16   | 11,57    | 0,23                     | 2,31  | 23,15  | 1,16  | 11,57  | 115,74   |
| Condição 3 - Aplicação em área total                     |       |        |          | % da área com infestação |       |        |       |        |          |
|                                                          | 10    | 10     | 10       | 20                       | 20    | 20     | 100   | 100    | 100      |
| Dose em g de i.a./ha                                     | 10    | 100    | 1000     | 10                       | 100   | 1000   | 10    | 100    | 1000     |
| Área tratada (ha)                                        | 10    | 10     | 10       | 10                       | 10    | 10     | 10    | 10     | 10       |
| Máximo escoamento ou liberação das plantas (% em um dia) | 10    | 10     | 10       | 10                       | 10    | 10     | 10    | 10     | 10       |
| Vazão (m³/s)                                             | 100   | 100    | 100      | 100                      | 100   | 100    | 100   | 100    | 100      |
| Concentração máxima esperada (ng/L = ug/m³ = ppt)        | 10,53 | 105,32 | 1.053,24 | 9,49                     | 94,91 | 949,07 | 1,16  | 11,57  | 115,74   |
| Condição 4 - Aplicação Localizada                        |       |        |          | % da área com infestação |       |        |       |        |          |
|                                                          | 10    | 10     | 10       | 20                       | 20    | 20     | 100   | 100    | 100      |
| Dose em g de i.a./ha                                     | 10    | 100    | 1000     | 10                       | 100   | 1000   | 10    | 100    | 1000     |
| Área tratada (ha)                                        | 10    | 10     | 10       | 10                       | 10    | 10     | 10    | 10     | 10       |
| Máximo escoamento ou liberação das plantas (% em um dia) | 10    | 10     | 10       | 10                       | 10    | 10     | 10    | 10     | 10       |
| Vazão (m³/s)                                             | 1000  | 1000   | 1000     | 1000                     | 1000  | 1000   | 1000  | 1000   | 1000     |
| Concentração máxima esperada (ng/L = ug/m³ = ppt)        | 0,012 | 0,116  | 1,157    | 0,023                    | 0,231 | 2,315  | 0,116 | 1,157  | 11,574   |

| Condição 5 - Aplicação Localizada                        | % da área com infestação |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                          | 10                       | 10    | 10    | 20    | 20    | 20    | 100   | 100   | 100   |
| Dose em g de i.a./ha                                     | 10                       | 100   | 1000  | 10    | 100   | 1000  | 10    | 100   | 1000  |
| Área tratada (ha)                                        | 10                       | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    |
| Máximo escoamento ou liberação das plantas (% em um dia) | 10                       | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    |
| Vazão (m³/s)                                             | 10000                    | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 |
| Concentração máxima esperada (ng/L = ug/m³ = ppt)        | 0,001                    | 0,012 | 0,116 | 0,002 | 0,023 | 0,231 | 0,012 | 0,116 | 1,157 |

Tabela 5.1 – (Continuação)

Controle químico de plantas aquáticas nos EUA e no Brasil

Os Estados Unidos foram escolhidos para criar um paralelo com o Brasil em matéria de controle químico de plantas aquáticas por serem similares em termos tanto territoriais quanto de dimensões das bacias hidrográficas. Mas os países são muito distintos no que se refere a clima e a problemas com eutrofização de águas. O frio que ocorre em muitas regiões nos EUA é muito efetivo no controle de plantas aquáticas, limitando os grandes problemas com esse tipo de vegetação às regiões mais amenas do país. Já o Brasil possui clima tropical que permite o crescimento de macrófitas praticamente o ano todo, principalmente nos locais com alta disponibilidade natural de nutrientes (como na bacia amazônica) ou como resultado da eutrofização das águas, como nas bacias dos rios Tietê, Paraná, Cuiabá, São Lourenço, São Francisco e Paraíba do Sul, e no Pantanal em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

Nos EUA os produtos para uso em ambientes aquáticos são submetidos a avaliações em que são considerados os riscos associados ao controle e aos problemas relacionados à presença das plantas aquáticas caso o controle não seja feito. As decisões são fundamentadas em análises de risco e em dados técnicos e científicos. Os

principais resultados positivos associados ao controle de macrófitas têm sido a recuperação da biodiversidade e do potencial de uso dos rios e lagos para fins turísticos, transporte e pesca. O controle químico de plantas aquáticas é considerado uma atividade rotineira e segura há pelo menos quatro décadas nos EUA e o reflexo é que há um amplo número de herbicidas registrados para esse mercado, conforme levantamento atualizado em 9 de outubro de 2022 <sup>2,3</sup>. Há um total de 102 produtos comerciais e 23 ingredientes ativos ou misturas de ingredientes ativos que demonstraram ser suficientemente seguros para uso no controle de plantas aquáticas. As mesmas fontes <sup>2,3</sup> citam que 47 adjuvantes ou aditivos também estão registrados para uso em ambientes aquáticos com o objetivo de tornar os herbicidas mais seguros ou mais efetivos no controle de macrófitas.

Em contraste com o que ocorre nos EUA, no Brasil <sup>4</sup> o Fluridone é único herbicida registrado para uso em ambientes aquáticos. Mesmo estando registrado, o produto nunca teve uso comercial em nosso país. Foram feitas apenas aplicações experimentais que demonstraram a eficácia e segurança do herbicida no controle de plantas submersas.

Tabela 5.2 – Herbicidas registrados para uso em ambientes aquáticos nos EUA.

| Ingrediente Ativo            | Produto Comercial         | Nº do registro no EPA | Concentração g/L ou g/kg | Referencial       |
|------------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------|
| 2,4-D - Grânulos             | Aqua-Kleen                | 228-378-4581          | 190                      | Equivalente ácido |
| 2,4-D - Grânulos             | Navigate                  | 71368-4-8959          | 190                      | Equivalente ácido |
| 2,4-D - Grânulos             | Aquacide                  | 5080-2                | 175                      | Equivalente ácido |
| 2,4-D - Grânulos             | Sculpin G                 | 67690-49              | 165                      | Equivalente ácido |
| 2,4-D - Líquido              | 2,4-D Amine               | 5905-72               | 455                      | Equivalente ácido |
| 2,4-D - Líquido              | 2,4-D Amine 4             | 42750-19-5905         | 455                      | Equivalente ácido |
| 2,4-D - Líquido              | Alligare 2,4-D Amine      | 81927-38              | 455                      | Equivalente ácido |
| 2,4-D - Líquido              | DMA 4                     | 62719-3               | 455                      | Equivalente ácido |
| 2,4-D - Líquido              | Platoon                   | 228-145               | 455                      | Equivalente ácido |
| 2,4-D - Líquido              | Shredder Amine 4          | 1381-103              | 455                      | Equivalente ácido |
| 2,4-D - Líquido              | Weedar 64                 | 71368-1               | 455                      | Equivalente ácido |
| 2,4-D - Líquido              | WeeDestroy AM 40          | 228-145               | 455                      | Equivalente ácido |
| 2,4-D - Líquido              | Clean Amine               | 34704-120             | 448                      | Equivalente ácido |
| 2,4-D - Líquido              | Hardball                  | 5905-549              | 208                      | Ingrediente ativo |
| 2,4-D - Líquido              | Sinkerball                | 5905-549              | 196                      | Equivalente ácido |
| Bispyribac                   | Tradewind                 | 59639-165             | 80                       | Ingrediente ativo |
| Carfentrazone                | Stingray                  | 27-3279               | 228                      | Ingrediente ativo |
| Cobre Quelatizado - Grânulos | Cutrine Plus              | 8959-12               | 37                       | Elemento          |
| Cobre Quelatizado - Líquido  | Aquatrine                 | 8959-33               | 109                      | Elemento          |
| Cobre Quelatizado - Líquido  | Captain                   | 67690-9               | 109                      | Elemento          |
| Cobre Quelatizado - Líquido  | Cutrine Plus              | 8959-10               | 109                      | Elemento          |
| Cobre Quelatizado - Líquido  | Cutrine Ultra             | 228-378-4581          | 109                      | Elemento          |
| Cobre Quelatizado - Líquido  | Harpoon                   | 8959-54               | 97                       | Elemento          |
| Cobre Quelatizado - Líquido  | K-Tea                     | 67690-24              | 97                       | Elemento          |
| Cobre Quelatizado - Líquido  | Komeen                    | 67690-25              | 97                       | Elemento          |
| Cobre Quelatizado - Líquido  | Nautique                  | 67690-10              | 97                       | Elemento          |
| Cobre Quelatizado - Líquido  | Symmetry NXG              | 70506-249             | 96                       | Elemento          |
| Cobre Quelatizado - Líquido  | Algae Pro                 | 55146-42-67690        | 87                       | Elemento          |
| Cobre Quelatizado - Líquido  | Algi-cure                 | 7364-09-8959          | 61                       | Elemento          |
| Cobre Quelatizado - Líquido  | Algimycin PWF             | 7364-09-8959          | 61                       | Elemento          |
| Cobre Sulfato - Líquido      | Current                   | 70506-248             | 96                       | Elemento          |
| Cobre Sulfato - Líquido      | Formula F-30              | 27588-2               | 27                       | Elemento          |
| Diquat                       | Alligare Diquat Herbicide | 81927-35              | 447                      | Ingrediente ativo |
| Diquat                       | Diquat E-Pro 2L           | 79676-75              | 447                      | Ingrediente ativo |
| Diquat                       | Diquat SPC 2L             | 228-675               | 447                      | Ingrediente ativo |
| Diquat                       | Harvester                 | 100-1091-8959         | 447                      | Ingrediente ativo |
| Diquat                       | Helm Diquat               | 74530-25              | 447                      | Ingrediente ativo |
| Diquat                       | Knockout                  | 100-1091              | 447                      | Ingrediente ativo |
| Diquat                       | Redwing                   | 70506-270             | 447                      | Ingrediente ativo |
| Diquat                       | Reward                    | 100-1091              | 447                      | Ingrediente ativo |
| Diquat                       | Tribune                   | 100-1390              | 447                      | Ingrediente ativo |
| Diquat + Endothal            | Aquastrike                | 70506-302             | 253+132                  | Ingrediente ativo |
| Endothal - Sal de Amina      | Hydrothol 191             | 70506-175             | 240                      | Ingrediente ativo |
| Endothal - Sal de Amina      | Hydrothol 191             | 70506-174             | 112                      | Ingrediente ativo |
| Endothal - Sal de Potássio   | Aquathol Super K          | 70506-191             | 630                      | Ingrediente ativo |
| Endothal - Sal de Potássio   | Aquathol K                | 70506-176             | 447                      | Ingrediente ativo |
| Florpyrauxifen-benzyl        | ProcellaCOR SC            | 67690-79              | 300                      | Ingrediente ativo |
| Flumioxazin                  | Clipper                   | 59639-161             | 510                      | Ingrediente ativo |
| Flumioxazin                  | Schooner                  | 59639-161-91234       | 510                      | Ingrediente ativo |
| Fluridone - Líquido          | Avast                     | 67690-30              | 480                      | Ingrediente ativo |
| Fluridone - Líquido          | Sonar AS                  | 67690-4               | 480                      | Ingrediente ativo |
| Fluridone - Líquido          | WhiteCap SC               | 37429-GA-01           | 480                      | Ingrediente ativo |
| Fluridone - Pelets           | SonarOne                  | 67690-45              | 50                       | Ingrediente ativo |
| Fluridone - Pelets           | Sonar Q                   | 67690-3               | 50                       | Ingrediente ativo |

| Ingrediente Ativo                    | Produto Comercial       | Nº do registro no EPA | Concentração g/L ou g/kg | Referencial       |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------|
| Fluridone - Pelets                   | Sonar PR                | 67690-12              | 50                       | Ingrediente ativo |
| Fluridone - Pelets                   | Sonar SRP               | 67690-3               | 50                       | Ingrediente ativo |
| Glyphosate                           | Refuge                  | 100-1362              | 600                      | Equivalente ácido |
| Glyphosate                           | Accord                  | 81927-8               | 480                      | Equivalente ácido |
| Glyphosate                           | Alligare Glyphosate 5.4 | 81927-8               | 480                      | Equivalente ácido |
| Glyphosate                           | AquaMaster              | 524-343               | 480                      | Equivalente ácido |
| Glyphosate                           | AquaNeat                | 228-365               | 480                      | Equivalente ácido |
| Glyphosate                           | AquaPro                 | 62719-324-67690       | 480                      | Equivalente ácido |
| Glyphosate                           | Aqua Star               | 42750-59              | 480                      | Equivalente ácido |
| Glyphosate                           | Avocet                  | 70506-252             | 480                      | Equivalente ácido |
| Glyphosate                           | Avocet PLX              | 70506-274             | 480                      | Equivalente ácido |
| Glyphosate                           | Glyfos Aquatic          | 4787-34               | 480                      | Equivalente ácido |
| Glyphosate                           | Imitator Aquatic        | 19713-623             | 480                      | Equivalente ácido |
| Glyphosate                           | Rodeo                   | 62719-324             | 480                      | Equivalente ácido |
| Glyphosate                           | Roundup Custom          | 524-343               | 480                      | Equivalente ácido |
| Glyphosate                           | Shore-Klear             | 228-365-8959          | 480                      | Equivalente ácido |
| Glyphosate                           | Glysupreme Plus Aquatic | 80967-5               | 360                      | Equivalente ácido |
| Glyphosate                           | Touchdown Pro           | 100-1121              | 360                      | Equivalente ácido |
| Hydrogen Dioxide + Peroxyacetic Acid | GreenClean Liquid 2.0   | 70299-12              | 271+20                   | Ingrediente ativo |
| Imazamox - Grânulos                  | Clearcast 2.7G          | 241-439-67690         | 27                       | Ingrediente ativo |
| Imazamox - Líquido                   | Clearcast               | 241-437               | 120                      | Ingrediente ativo |
| Imazapyr                             | Arsenal                 | 81927-22              | 240                      | Equivalente ácido |
| Imazapyr                             | Ecomazapyr 2 SL         | 241-346               | 240                      | Equivalente ácido |
| Imazapyr                             | Gullwing                | 70506-264             | 240                      | Equivalente ácido |
| Imazapyr                             | Habitat                 | 241-426               | 240                      | Equivalente ácido |
| Imazapyr                             | Polaris                 | 228-534               | 240                      | Equivalente ácido |
| Imazapyr                             | Polaris AQ              | 241-426-228           | 240                      | Equivalente ácido |
| Metsulfuron methyl                   | Escort XP               | 352-439               | 600                      | Ingrediente ativo |
| Penoxsulam - Grânulos                | Galleon LZR             | 67690-xx              | 27                       | Ingrediente ativo |
| Penoxsulam - Líquido                 | Galleon                 | 62719-546-67690       | 240                      | Ingrediente ativo |
| Sethoxydim                           | Tigr                    | 7969-58-67690         | 180                      | Ingrediente ativo |
| Sodium Percarbonate                  | GreenCleenPRO           | 70299-15              | 850                      | Ingrediente ativo |
| Sodium Percarbonate                  | Pak 27 Algaecide        | 68660-9               | 850                      | Ingrediente ativo |
| Sodium Percarbonate                  | Phycomycin              | 68660-9-8959          | 850                      | Ingrediente ativo |
| Triclopyr - Grânulos                 | Renovate OTF            | 67690-42              | 100                      | Equivalente ácido |
| Triclopyr - Líquido                  | Element 4               | 62719-40              | 480                      | Equivalente ácido |
| Triclopyr - Líquido                  | Garlon 4                | 62719-40              | 480                      | Equivalente ácido |
| Triclopyr - Líquido                  | Garlon 4 Ultra          | 62719-527             | 480                      | Equivalente ácido |
| Triclopyr - Líquido                  | Triclopyr 4             | 81927-11              | 480                      | Equivalente ácido |
| Triclopyr - Líquido                  | Element 3A              | 62719-37              | 360                      | Equivalente ácido |
| Triclopyr - Líquido                  | Garlon 3A               | 62719-37              | 360                      | Equivalente ácido |
| Triclopyr - Líquido                  | Kraken                  | 70506-265             | 360                      | Equivalente ácido |
| Triclopyr - Líquido                  | Navitrol DPF            | 228-597-8959          | 360                      | Equivalente ácido |
| Triclopyr - Líquido                  | Renovate 3              | 62719-37-67690        | 360                      | Equivalente ácido |
| Triclopyr - Líquido                  | Trycera                 | 5905-580              | 336                      | Equivalente ácido |
| Triclopyr + 2,4-D - Grânulos         | Renovate Max G          | 67690-50              | 40+140                   | Ingrediente ativo |
| Triclopyr + 2,4-D - Líquido          | AquaSweep               | 228-3116              | 128+333                  | Ingrediente ativo |
| Topramezone                          | Oasis                   | 7969-339-67690        | 336                      | Ingrediente ativo |

Tabela 5.2 (Continuação)  
– Herbicidas registrados  
para uso em ambientes  
aquáticos nos EUA.

Fonte das informações (Seminar ao de baixo): <https://plants.ifas.ufl.edu/manage/management-plans/chemical-control-considerations/herbicides-registered-for-use-in-florida-waters/>

Fonte das informações Principal: <http://plants.ifas.ufl.edu/manage/developing-management-plans/chemical-control-considerations/herbicides-registered-for-use-in-florida-waters/>

Registros no EPA: [https://search.epa.gov/epasearch/epasearch?querytext=Gareaname=Gareaccontacts=Gareasearchurl=&typeofsearch=epaGresult\\_template=2col.ftl](https://search.epa.gov/epasearch/epasearch?querytext=Gareaname=Gareaccontacts=Gareasearchurl=&typeofsearch=epaGresult_template=2col.ftl)

Quando o projeto de pesquisa *Bio-monitoramento e Controle Integrado de macrófitas e mosquitos do gênero Mansonia (Diptera: Culicidae) em região associada a lago de Usina Hidrelétrica (UHE) no Brasil* foi iniciado, o registro do herbicida imazamox encontrava-se em andamento no Brasil. Os pesquisadores do projeto priorizaram o estudo desse herbicida para estabelecer as condições para o seu uso no controle das principais espécies de macrófitas que ocorrem no reservatório da UHE Santo Antônio. Os testes foram realizados em condições controladas utilizando a formulação de imazamox registrada para uso agrícola em nosso país. Em caso de registro definitivo do produto para uso em ambientes aquáticos, haveria a necessidade de ajustar as recomendações considerando que a formulação seria diferente da que

é usada em agricultura. Foram realizados testes de eficácia em diferentes doses e desenvolvidas as técnicas de aplicação com uso de drones. Os resultados serão sumarizados neste capítulo.

Contudo, mesmo com o longo histórico de uso seguro em ambientes aquáticos nos EUA, o processo de registro do imazamox para controle de macrófitas no Brasil foi indeferido em 2021. Portanto, seguimos sem qualquer alternativa para o controle ou redução do crescimento de plantas aquáticas flutuantes ou marginais no Brasil. Não estando registrado, o imazamox não pode ser usado sequer em locais de altíssimo fluxo de água, como no *Log Boom* próximo à UHE Santo Antônio, mesmo que as concentrações previstas em águas sejam da ordem de partes por trilhão, ou ainda menores.

---

#### **Herbicidas avaliados quanto à segurança e eficácia no controle de plantas aquáticas em condições experimentais no Brasil**

As informações disponíveis no Brasil são bastante escassas e se limitam a herbicidas que em algum momento tiveram iniciado o processo de registro para uso em ambientes aquáticos. Em muitas situações, as informações de literatura se referem a estudos realizados com formulações de uso agrícola e não às desenvolvidas especificamente para ambientes aquáticos<sup>5</sup>. São relevantes os trabalhos que tratam dos efeitos de herbicidas aquáticos em organismos não alvos, que avaliaram a toxicidade aguda para peixes<sup>5-10</sup>, já tendo sido

estudados os efeitos do diquat em *Ctenopharygodon idella*<sup>7</sup>; do paraquat em machos e fêmeas de *Cnesterodon decemmaculatus*<sup>8</sup>; do paraquat em *Oreochromis niloticus*<sup>9</sup> e do clamazone, quinclorac e metsulfuron-methyl em *Ramdhia quelen*<sup>10</sup>.

Além da intoxicação aguda, é possível que a utilização de herbicidas no ambiente aquático para o controle de macrófitas possa provocar efeitos adversos na morfologia dos peixes. Em *Oreochromis niloticus*, o glifosato causou proliferação das

células das lamelas secundárias, hiperplasia, fusão lamelar e aneurisma na brânquia, vacuolização e picnose nuclear no fígado e dilatação do espaço de Bowman's no rim <sup>11</sup>. Mas deve ser ressaltado que qualquer informação que indique a segurança ou insegurança de um herbicida deve ser obtida em condições práticas de uso. Portanto, devem ser avaliadas as concentrações e tempos de exposição utilizados nos trabalhos científicos e é útil a comparação com as informações apresentadas na **TABELA 5.1** para uma avaliação inicial se as condições experimentais podem ocorrer em condições práticas de uso.

Avaliando a toxicidade do Diquat, foi verificado <sup>5</sup> que esse herbicida apresentou baixo risco de intoxicação à tilápia nilótica e as alterações histopatológicas mais severas ocorreram somente nas concentrações mais elevadas. Nos tratamentos com 45, 50 e 55 mg L<sup>-1</sup>, ocorreram desarranjo da organização cordonal, deslocamento do núcleo para a periferia das células, desorganização da histoarquitetura do hepatopâncreas e migração dos grânulos de glicogênio para regiões próximas ao hepatopâncreas. O risco da aplicação do diquat para *Phallocerus caudimaculatus* foi estimado através da avaliação toxicidade aguda <sup>6</sup>. Para isso, alevinos de *P. caudima-*

*culatus* de 0,4 ± 0,2mg foram expostos a soluções de 0,0; 1,0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 25,0; e 30,0mg L<sup>-1</sup> de diquat. A concentração letal de 50% [CL<sub>50</sub> (50;96h)] do diquat estimada para *P. caudimaculatus* foi de 7,17mg L<sup>-1</sup>. Para *P. caudimaculatus*, a toxicidade aguda foi superior à concentração recomendada para o controle de macrófitas aquáticas submersas, indicando risco muito baixo para esse peixe.

Na **TABELA 5.3** são apresentadas as informações encontradas na literatura nacional e que se referem a estudos de eficácia de herbicidas no controle de plantas aquáticas. Conforme já destacado, muitos estudos são conduzidos em condições controladas e considerando a aplicação de formulações de uso agrícola. Praticamente todos os herbicidas testados no Brasil estão na lista dos herbicidas com uso autorizado nos EUA. Destaca-se a frequência com que os herbicidas glyphosate, imazapyr, diquat, fluridone e 2,4-D foram testados no Brasil. Ainda não há trabalhos publicados sobre a eficiência do imazamox, mas os resultados obtidos pela equipe de trabalho indicam que o herbicida é altamente eficaz e poderia ser utilizado para controle ou redução de crescimento de macrófitas conforme será apresentado neste texto.

**MANSONIA**

Tabela 5.3 Herbicidas avaliados no controle de plantas aquáticas em condições controladas no Brasil.

| Herbicida testado   | Concentração            | Grau de controle | Espécie de macrófita        | Local                     | Ano  | Referência |
|---------------------|-------------------------|------------------|-----------------------------|---------------------------|------|------------|
| Fluridone           | 20 ppb                  | eficiente        | Egeria densa                | Lagoas - Rio Tietê        | 2003 | 12         |
|                     |                         | eficiente        | Egeria najas                |                           |      |            |
|                     |                         | Não eficaz       | Ceratophyllum demersum      |                           |      |            |
| Fluridone           | 10 e 20 ppb             | eficiente        | Egeria densa                | Represa sem fluxo de água | 2002 | 13         |
|                     |                         | eficiente        | Egeria najas                |                           |      |            |
| 2,4D                | 2 L/ha                  | eficiente        | Eichhornia crassipes        | caixas d'água             | 2002 | 14         |
| Sulfentrazone       | 500 g/ha                | baixa eficácia   |                             |                           |      |            |
| Glyphosate          | 720 g/ha                | eficiente        |                             |                           |      |            |
| Diquat              | 200 g/ha                | eficiente        |                             |                           |      |            |
| Imazapyr            | 250 g/ha                | média eficiência |                             |                           |      |            |
| Metsulfuron-metil   | 6 L/ha                  | baixa eficácia   |                             |                           |      |            |
| Sulfosate           | 3 L/ha                  | baixa eficácia   |                             |                           |      |            |
| Imazapyr            | 250, 500, 1000g e.a./ha | eficiente        | Eichhornia crassipes        | caixas d'água             | 1999 | 15         |
|                     | 1500 e 2000g e.a./ha    | eficiente        | Pistia stratiotes           |                           |      |            |
|                     |                         | Não eficaz       | Salvinia molesta            |                           |      |            |
|                     |                         | eficiente        | Typha subulata              |                           |      |            |
| 2,4D                | 200g e.a./ha            | eficiente        | Eichhornia crassipes        |                           |      |            |
|                     |                         | Não eficaz       | Pistia stratiotes           |                           |      |            |
|                     |                         | eficiente        | Salvinia molesta            |                           |      |            |
|                     |                         | eficiente        | Typha subulata              |                           |      |            |
| Glyphosate          | 3360g e.a./ha           | eficiente        | Eichhornia crassipes        |                           |      |            |
|                     |                         | eficiente        | Pistia stratiotes           |                           |      |            |
|                     |                         | Não eficaz       | Salvinia molesta            |                           |      |            |
|                     |                         | eficiente        | Typha subulata              |                           |      |            |
| Diquat              | 460, 960 e 1400g/ha     | eficiente        | Eichhornia crassipes        | caixas d'água             | 2002 | 16         |
|                     |                         | eficiente        | Pistia stratiotes           |                           |      |            |
|                     |                         | eficiente        | Salvinia molesta            |                           |      |            |
| Glyphosate          | 3360g e.a./ha           | eficiente        | Eichhornia crassipes        |                           |      |            |
|                     |                         | eficiente        | Pistia stratiotes           |                           |      |            |
|                     |                         | Não eficaz       | Salvinia molesta            |                           |      |            |
| Imazapyr            | 250 g/ha                | Não eficaz       | Eichhornia crassipes        |                           |      |            |
|                     |                         | Não eficaz       | Pistia stratiotes           |                           |      |            |
|                     |                         | Não eficaz       | Salvinia molesta            |                           |      |            |
| 2,4D                | 1340 g/ha               | eficiente        | Eichhornia crassipes        |                           |      |            |
|                     |                         | Não eficaz       | Pistia stratiotes           |                           |      |            |
|                     |                         | Não eficaz       | Salvinia molesta            |                           |      |            |
| 2,4 D amina         | 2880g e.a./ha           | eficiente        | Alternanthera philoxeroides | caixas d'água             | 2005 | 17         |
|                     |                         | eficiente        | Enhydra anagallis           |                           |      |            |
|                     |                         | eficiente        | Pycnus decumbens            |                           |      |            |
| Diquat              | 480g i.a./ha            | eficiente        | Alternanthera philoxeroides |                           |      |            |
|                     |                         | eficiente        | Enhydra anagallis           |                           |      |            |
|                     |                         | Não eficaz       | Pycnus decumbens            |                           |      |            |
| Imazapyr            | 500 e 750g .a./ha       | eficiente        | Alternanthera philoxeroides |                           |      |            |
|                     |                         | baixa eficácia   | Enhydra anagallis           |                           |      |            |
|                     |                         | Não eficaz       | Pycnus decumbens            |                           |      |            |
| Glyphosate          | 3360g e.a./ha           | eficiente        | Alternanthera philoxeroides |                           |      |            |
|                     |                         | eficiente        | Enhydra anagallis           |                           |      |            |
|                     |                         | baixa eficácia   | Pycnus decumbens            |                           |      |            |
| Propanil            | 2880g i.a./ha           | baixa eficácia   | Pycnus decumbens            |                           |      |            |
| Glyphosate          | 720g e.a./ha            | eficiente        | Brachiaria subquadrifida    | caixas d'água             | 2017 | 18         |
|                     |                         | baixa eficácia   | Hedychium coronarium        |                           |      |            |
|                     |                         | baixa eficácia   | Myriophyllum aquaticum      |                           |      |            |
| 2,4 D               | 1005g e.a./ha           | eficiente        | Hedychium coronarium        |                           |      |            |
|                     |                         | eficiente        | Myriophyllum aquaticum      |                           |      |            |
| Diquat              | 600g i.a./ha            | baixa eficácia   | Brachiaria subquadrifida    |                           |      |            |
|                     |                         | baixa eficácia   | Myriophyllum aquaticum      |                           |      |            |
| Carfentrazone-ethyl | 60 g i.a./ha            | eficiente        | Eichhornia crassipes        | caixas d'água             | 2005 | 19         |
|                     |                         | média eficácia   | Salvinia auriculata         |                           |      |            |

| Herbicida testado   | Concentração             | Grau de controle | Espécie de macrófita      | Local         | Ano  | Referência |
|---------------------|--------------------------|------------------|---------------------------|---------------|------|------------|
|                     |                          | eficiente        | Pistia stratiotes         |               |      |            |
|                     |                          | baixa eficácia   | Myriophyllum aquaticum    |               |      |            |
|                     |                          | baixa eficácia   | Brachiaria arrecta        |               |      |            |
|                     |                          | baixa eficácia   | Hydrocotyle umbellata     |               |      |            |
|                     |                          | baixa eficácia   | Typha sp                  |               |      |            |
|                     |                          | baixa eficácia   | Echinochloa polystachya   |               |      |            |
| Glyphosate          | 4536g i.a./ha            | eficiente        | Eichhornia crassipes      |               |      |            |
|                     |                          | eficiente        | Salvinia auriculata       |               |      |            |
|                     |                          | eficiente        | Pistia stratiotes         |               |      |            |
|                     |                          | eficiente        | Myriophyllum aquaticum    |               |      |            |
|                     |                          | baixa eficácia   | Brachiaria arrecta        |               |      |            |
|                     |                          | eficiente        | Hydrocotyle umbellata     |               |      |            |
|                     |                          | eficiente        | Typha sp                  |               |      |            |
|                     |                          | eficiente        | Echinochloa polystachya   |               |      |            |
| 2,4 D               | 4690g i.a./ha            | eficiente        | Eichhornia crassipes      |               |      |            |
|                     |                          | baixa eficácia   | Salvinia auriculata       |               |      |            |
|                     |                          | baixa eficácia   | Pistia stratiotes         |               |      |            |
|                     |                          | eficiente        | Myriophyllum aquaticum    |               |      |            |
|                     |                          | eficiente        | Brachiaria arrecta        |               |      |            |
|                     |                          | eficiente        | Hydrocotyle umbellata     |               |      |            |
|                     |                          | eficiente        | Typha sp                  |               |      |            |
|                     |                          | baixa eficácia   | Echinochloa polystachya   |               |      |            |
| Imazapyr            | 1250g i.a./ha            | eficiente        | Eichhornia crassipes      |               |      |            |
|                     |                          | eficiente        | Salvinia auriculata       |               |      |            |
|                     |                          | eficiente        | Pistia stratiotes         |               |      |            |
|                     |                          | eficiente        | Myriophyllum aquaticum    |               |      |            |
|                     |                          | eficiente        | Brachiaria arrecta        |               |      |            |
|                     |                          | eficiente        | Hydrocotyle umbellata     |               |      |            |
|                     |                          | média eficácia   | Typha sp                  |               |      |            |
|                     |                          | média eficácia   | Echinochloa polystachya   |               |      |            |
| Glyphosate          | 3.360 e 4.320 g e.a./ ha | eficiente        | Brachiaria subquadriflora | caixas d'água | 2003 | 20         |
|                     |                          | eficiente        | Brachiaria mutica         |               |      |            |
| Imazapyr            | 750 e 1.500 g e.a./ ha   | eficiente        | Brachiaria subquadriflora |               |      |            |
|                     |                          | eficiente        | Brachiaria mutica         |               |      |            |
| Diquat              | 400 e 800 g i.a./ ha     | não eficaz       | Brachiaria subquadriflora |               |      |            |
|                     |                          |                  | Brachiaria mutica         |               |      |            |
| Imazapyr            | 62,5 e 125g e.a./ha      | eficiente        | Eichhornia crassipes      | caixas d'água | 2003 | 21         |
| Glyphosate          | 1680 e 3360g e.a./ha     | eficiente        |                           |               |      |            |
| Diquat              | 480 e 960g e.a./ha       | eficiente        |                           |               |      |            |
| 2,4 D               | 670 e 1340g e.a./ha      | eficiente        |                           |               |      |            |
| Diquat              | 204g i.a./ha             | média eficácia   | Myriophyllum aquaticum    | caixas d'água | 2003 | 22         |
| Glyphosate          | 3360g e.a./ha            | não eficaz       |                           |               |      |            |
| 2,4 D               | 670 e 1340g e.a./ha      | eficiente        |                           |               |      |            |
| Imazapyr            | 250g e.a./ha             | não eficaz       |                           |               |      |            |
| Diquat              | 0,3 e 0,4 kg /ha         | eficiente        | Eichhornia crassipes      | caixas d'água | 2011 | 23         |
|                     | aplicações diurnas       |                  |                           |               |      |            |
| Glyphosate          | 2160g e.a./ha            | eficiente        | Eichhornia crassipes      | caixas d'água | 2011 | 24         |
| Diquat              | 480g i.a./ha             | não eficaz       | Polygonum lapathifolium   | caixas d'água | 2003 | 25         |
| Glyphosate          | 2400 e 3360g e.a./ha     | eficiente        |                           |               |      |            |
| 2,4 D               | 720 e 1440g e.a./ha      | não eficaz       |                           |               |      |            |
| Imazapyr            | 250 e 500g e.a./ha       | não eficaz       |                           |               |      |            |
| Carfentrazone-ethyl | 120g i.a./ha             | eficiente        | Pistia stratiotes         | caixas d'água | 2005 | 26         |
|                     |                          | média eficácia   | Eichhornia crassipes      |               |      |            |
|                     |                          | baixa eficácia   | Salvinia auriculata       |               |      |            |
| Imazapyr            | 750 e 1.500 g e.a. ha    | baixa eficácia   | Panicum repens            | caixas d'água | 2004 | 27         |
|                     |                          | eficiente        | Paspalum repens           |               |      |            |
| Diquat              | 400 e 800 g i.a.         | baixa eficácia   | Panicum repens            |               |      |            |
|                     |                          | baixa eficácia   | Paspalum repens           |               |      |            |

Tabela 5.3 Herbicidas avaliados no controle de plantas aquáticas em condições controladas no Brasil. (Continuação)

A segurança durante a aplicação de herbicidas em lagoas e reservatórios foi avaliada com o uso de um sistema de aplicação composto por um aerobarco com casco de alumínio (4,85 x 2,42m) e acionamento por hélice acoplada a motor a gasolina de 350HP <sup>28</sup>. O equipamento de pulverização era composto por bomba de diafragma com fluxo máximo de 49,69L min<sup>-1</sup>, pressão máxima de 25kg cm<sup>-2</sup>, acionada por motor a gasolina de 4HP, e tanque de calda de 189L. A barra de pulverização de alumínio era composta de duas seções laterais de 3m, posicionadas na linha entre o encosto do banco do piloto e o início da estrutura protetora da hélice. Cada seção da barra tinha seis bicos com pontas de jato plano com indução de ar AI 100 03, espaçados de 0,5m, e uma ponta OC 20 fixada em cada extremidade. O conjunto de pontas pulverizava faixas de 6m de largura e aplicava o volume de

calda de 200L ha<sup>-1</sup>. O sistema tinha gerenciador de fluxo, controlado por central eletrônica acoplada a DGPS (com precisão submétrica) para corrigir automaticamente a vazão em função de alterações na velocidade real da embarcação. Mesmo sem uso de equipamentos de proteção, os autores classificaram como seguras as aplicações dos herbicidas glyphosate (Rodeo, 6L ha<sup>-1</sup>), 2,4-D (DMA 806 BR, 8L ha<sup>-1</sup>) e fluridone (Sonar AQ, 0,4L ha<sup>-1</sup>) para o piloto e o seu ajudante. Considerando a aplicação do diquat (Reward, 4,0L ha<sup>-1</sup>), haveria a necessidade de uso de equipamentos e procedimentos visando à redução da exposição em 65% para o piloto e de 78% para o ajudante do piloto. Nas aplicações de diquat, a restrição da jornada de trabalho e uso de equipamentos de proteção para os membros inferiores e superiores dos trabalhadores foram efetivas e deveriam ser utilizados como medidas de proteção.

---

#### **Avaliação da eficiência do Imazamox no controle de *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia molesta*, *Paspalum repens*, *Oxycarium cubense* e *Urochloa subquadrifaria***

O Imazamox é registrado para uso em ambientes aquáticos em vários países. Nos EUA é utilizado em doses de até 480g i.a./ha em aplicação foliar. Mesmo em suas maiores doses, é um composto essencialmente não tóxico para pássaros, peixes, invertebrados aquáticos e moderadamente tóxico para algas <sup>3, 29, 30</sup>. Considerando os valores de KOC, pKa e Kow do imazamox, pode-se esperar que o composto apresente, em ambientes aquáticos, baixa capacidade de sorção

em sólidos suspensos e sedimento, baixa volatilização da superfície da água e baixo potencial de bioconcentração em organismos aquáticos.

As principais informações disponíveis sobre a ação, segurança e histórico de registro e uso do imazamox <sup>31</sup> indicam que este herbicida é um ácido fraco com pKa de 2,3, tem solubilidade em água de 626g/L e Kow de 229.000 em pH 7 e é persistente em água e sedimento na au-

sência de luz, entretanto é rapidamente degradado por fotólise em água com meia-vida de 0,2 dias. Atua na enzima Acetolactato sintase (ALS) que também é denominada de Acetohidroxiácido sintase (AHAS) e que é fundamental na formação dos aminoácidos de cadeia ramificada leucina, isoleucina e valina em plantas. A LD50 para mamíferos é superior a 5.000mg/kg de peso vivo e as concentrações que causam intoxicação em organismos aquáticos são expressas em mg/L (ppm) e muito superiores às concentrações estimadas para as condições simuladas na **TABELA 5.1**. A segurança para peixes e outros animais é esperada considerando que a enzima ALS ou AHAS é encontrada apenas em plantas e microorganismos.

Os estudos conduzidos em condições controladas foram bastante detalhados e avaliaram os efeitos da aplicação de 0; 30; 60; 90; 120; 180; 140 e 480g de imazamox/ha sobre o crescimento, atividade fotossintética, teores de aminoácidos de cadeia ramificada e teores dos compostos acetobutirato e aminobutirato, indicadores de intoxicação por inibidores da ALS. Em todas as aplicações houve a adição de espalhante adesivante não iônico na concentração de 0,5% para facilitar a adesão às folhas das macrófitas. O volume de aplicação foi sempre 200L/ha. Todos os estudos foram conduzidos com quatro repetições experimentais. Os experimentos foram repetidos de duas a três vezes para maior precisão das conclusões.

As quantificações de leucina, isoleucina, valina, acetobutirato e aminobutirato foram feitas por cromatografia de íons ou por cromatografia em fase líquida associada a espectrometria de massas. Houve a necessidade de desenvolver e validar as metodologias para cada um dos compostos e esse é um produto bastante importante do projeto, pois as metodologias podem ser utilizadas na avaliação de intoxicações de plantas a diferentes doses de inibidores da ALS. Em todo o projeto, foram realizadas mais de 3.000 quantificações do imazamox e dos compostos indicadores de controle ou intoxicação. As informações se mantêm úteis cientificamente e serão divulgadas, mas o cancelamento do processo de registro do imazamox no Brasil limitou o potencial de uso das informações com a finalidade de orientar recomendações e, por isso, optou-se por apresentar apenas um sumário neste texto.

É importante ressaltar que nos Estados Unidos são utilizadas doses bastante superiores às avaliadas neste estudo em condições controladas<sup>1</sup>. As doses de imazamox utilizadas no controle de aguapé estão entre 500 e 1.000g de i.a./ha mas se referem a informações obtidas em vários anos em condições práticas de uso. Os estudos conduzidos pela equipe em condições controladas indicaram que a supressão do crescimento pode ser obtida em doses muito inferiores às necessárias para matar as plantas. A supressão ou redução do crescimen-

to pode ser bastante útil quando o controle químico é integrado ao controle mecânico para evitar a rápida reinfestação das áreas após operações mecânicas de controle.

**Resultados para o aguapé (*Eichhornia crassipes*):** supressão do crescimento e morte da maioria das plantas em doses iguais ou superiores a 30g de i.a./ha. Contudo, algumas plantas mostraram-se menos sensíveis a doses baixas do herbicida e a morte de todas as plantas só pode ser alcançada com doses iguais ou superiores a 120g de i.a./ha.

**Resultados para a alface d'água (*Pistia stratiotes*):** supressão do crescimento em doses iguais ou superiores a 30g de i.a./ha e morte completa das plantas em doses iguais ou superiores a 90g de i.a./ha. O maior desafio no caso da *Pistia stratiotes* é que suas folhas são muito hidrorrepelentes, exigindo o uso de adjuvantes. Contudo, os adjuvantes podem reduzir a flutuação das plantas que podem submergir parcialmente molhando e lavando os meristemas apicais, dificultando o controle desses pontos de crescimento das plantas. Os efeitos negativos foram menos evidentes no caso do imazamox considerando que é um herbicida sistêmico, mas foram muito importantes quando foram aplicados produtos inorgânicos de ação localizada, como sais de cobre ou de alumínio.

**Resultados para *Paspalum repens*:** supressão do crescimento em doses iguais ou su-

periores a 30g de i.a./ha e morte completa das plantas em doses iguais ou superiores a 90g de i.a./ha.

**Resultados para *Urochloa subquadrifida*:** Houve variação importante dos resultados nos diferentes experimentos conduzidos com plantas em diferentes estágios. Para plantas jovens houve forte supressão de crescimento para doses iguais ou superiores a 30g de i.a./ha e morte de algumas plantas nas doses de 240 e 480g de i.a./ha. Para plantas com 3-4 perfilhos, houve redução de crescimento e porte das plantas da ordem de 50% para as doses entre 30 e 480g de i.a./ha, mas não houve morte de plantas.

**Resultados para *Oxycarium cubense*:** houve forte supressão de crescimento para doses iguais ou superiores a 60g de i.a./ha e morte de algumas plantas nas doses de 240 e 480g de i.a./ha.

**Resultados para *Salvinia molesta*:** Essa foi a espécie de controle mais difícil com imazamox. Mesmo as doses mais altas (240 e 480g de i.a./ha) proporcionaram apenas reduções temporárias de crescimento da ordem de 50%. Além disso, é muito difícil conseguir que as gotas aplicadas efetivamente molhem as folhas da salvinia, sendo necessário adicionar surfatantes. As dificuldades encontradas são similares às discutidas para *Pistia stratiotes*, pois a adição de adjuvantes pode fazer com que partes das plantas afundem e sejam lavadas, dificultando a ação dos agentes de controle.

### **Avaliação da eficácia de extratos vegetais, compostos naturais e compostos inorgânicos no controle de macrófitas**

O objetivo dos estudos foi identificar possíveis produtos naturais ou compostos inorgânicos que pudessem ser utilizados no manejo de macrófitas. Foram avaliados compostos naturais aplicados isoladamente como L-Dopa, vários aminoácidos e ácido salicílico. No caso dos aminoácidos, a hipótese era a de que ao aplicar isoladamente um aminoácido que tem a capacidade de regular rotas de síntese de famílias de aminoácidos, como os aromáticos (tirosina, fenilalanina e triptofano) ou leucina, isoleucina e valina, a rota como um todo seria desacelerada e a falta dos demais aminoácidos da mesma família causaria a redução do crescimento das plantas. Efetivamente foram observados alguns efeitos negativos em crescimento, mas os efeitos mostraram-se pouco intensos e pouco persistentes, inviabilizando o uso em condições práticas.

Em termos de compostos naturais, o ácido salicílico foi o composto com maior potencial de uso. O ácido pode reduzir a síntese de etileno, que por sua vez é fundamental para a morte celular e a produção de aerênquima em raízes. A hipótese dos estudos conduzidos é que a aplicação do ácido salicílico pudesse reduzir a formação de aerênquima e o transporte de oxigênio para as raízes de aguapé, o que poderia reduzir a aptidão das plantas para alojar larvas de Mansônias. Esse estudo precisaria ser conduzido em condições de campo, mas não houve como

realizá-lo em função das dificuldades metodológicas e das limitações impostas pela pandemia de coronavírus. Estudos já concluídos indicam que o ácido salicílico se movimenta nas macrófitas e atinge o sistema radicular das plantas quando aplicado às folhas. Os maiores níveis de movimentação nas plantas (translocação) foram observados exatamente para *Eichhornia crassipes*, que aloja as larvas de Mansônias em seu sistema radicular.

Foram testados os extratos de vários tipos de plantas aquáticas ou nativas e extratos de madeira com o objetivo de reduzir o crescimento de macrófitas, mas nenhum extrato avaliado produziu os resultados esperados. Ao contrário, vários extratos avaliados estimularam o crescimento de plantas.

E um último conjunto de possíveis agentes de controle correspondeu a compostos inorgânicos, como fosfito, sulfato de cobre e sulfato de alumínio. Os compostos com maior potencial de uso foram o sulfato de cobre e o sulfato de alumínio, com controle eficiente de várias espécies de macrófitas, com destaque para *Pistia stratiotes* e *Eichhornia crassipes*. Também houve controle de gramíneas e *Salvinia molesta*, mas nestes casos a recuperação das plantas foi bastante rápida. Em geral, o sulfato de cobre foi mais efetivo que o sulfato de alumínio, exigindo menores doses de aplicação e apresentando efeitos mais duradouros.

Em agosto de 2020 foi proposta a avaliação experimental do sulfato de cobre e do sulfato de alumínio no controle de macrófitas presas ao *Log Bboom* próximo à UHE Santo Antônio. Foi proposto o uso dos sais em doses suficientes para alcançar as doses de 5 e 10kg/ha dos elementos, respectivamente. Nessas doses, e mesmo que a totalidade dos sais fosse aplicada sobre a água, o que não é o objetivo considerando que as plantas são o alvo da aplicação, haveria o aumento de 0,11% e 0,0035% nos teores dos elementos em água. A proposta do estudo segue em avaliação pelo órgão regulador aguardando uma possível aprovação.

Os experimentos foram bastante exitosos em termos científicos, considerando que muitos compostos e extratos foram testados. Infelizmente não houve êxito prático considerando que nenhum tratamento altamente efetivo foi desenvolvido. O sulfato de cobre e o sulfato de alumínio podem ser compostos úteis quando aplicados em doses altas e aplicações repetidas. O ácido salicílico pode ser útil na redução da transferência de oxigênio para o sistema radicular, mas esta hipótese ainda depende de validação em condições de campo.

---

#### **Desenvolvimento de técnica de aplicação de possíveis agentes químicos de controle**

Considerando a grande presença de paliteiros e troncos inteira ou parcialmente submersos nos principais igarapés infestados com macrófitas, o grande volume de biomassa de macrófitas dificultando o movimento de embarcações e a necessidade de realizar as aplicações apenas nos pontos com ocorrência das macrófitas alvo de controle, a única possibilidade de aplicação é com uso de drones. Conforme já informado, em muitas situações o objetivo não é eliminar completamente a vegetação, mas eliminar apenas uma espécie e permitir que as demais ocupem o ambiente e limitem o restabelecimento das infestações da espécie inicialmente predominante ou mais relevante para objetivo do projeto, que é o controle de populações de Mansônia. A aplicação apenas nos lo-

cais infestados tem grandes vantagens em termos de segurança, conforme indicado pelos dados apresentados na [TABELA 5.1](#) e já discutidos.

Uma observação muito relevante é que as aplicações com drones não são aplicações aéreas clássicas com aeronaves de grande porte, alta velocidade e com grande deslocamento de grandes volumes de ar. Os drones operam próximos à superfície, em baixa velocidade e movimentam pequenos volumes de ar. Efetivamente, as aplicações com drones são mais similares às aplicações terrestres do que às aplicações aéreas. Poderiam ser descritas como aplicações terrestres em que o equipamento de aplicação consegue se deslocar sobre a área aplicada.

Outro ponto importante é que o modelo de drone adquirido exige o preparo prévio de mapas das áreas, faixas ou pontos que receberão a aplicação. A aplicação pode ser feita de modo direcionado e preciso alcançando apenas áreas com macrófitas ou áreas com uma determinada espécie de macrófita. Os sistemas de controle de fluxo e navegação são extremamente precisos e, assim, a precisão das aplicações é primariamente definida pela precisão do mapeamento da infestação.

A primeira atividade desenvolvida foi a seleção de um drone que atendesse às necessidades da pesquisa. Foi selecionado o modelo Pelicano, uma aeronave não tripulada (RPAS) de plataforma modular. A eletrônica embarcada, seus sensores e sistema de controle estabilizam o equipamento permitindo um aprendizado rápido mesmo para pilotos inexperientes. Seus sensores permitem o voo estabilizado em uma posição fixa ou voo automático para posições previamente programadas, sem

intervenção do piloto. Seu voo pré-programado de alta precisão permite pulverizações automatizadas apenas nos locais com real necessidade.

#### Componentes do sistema de drone de aplicação

- 1 Drone pelicano 2020 hexacoptero tanque fixo 10 L
- 8 Baterias de 16Ah
- 1 Hub de comunicação
- 1 Carregador inteligente de bateria de lítio
- 2 Hubs de carregamento de baterias
- 1 Kit de pulverização eletrostática
- 1 Controle de comunicação.



Figura 5.1: Drone pelicano 2020 hexacóptero com pulverização eletrostática (Porto Alegre, 2020).

Figura 5.2: Controle de comandos, hub de comunicação e hub de carregamento de baterias de lítio (Porto Alegre, 2020).



Figura 5.3: Kit de baterias (Porto Alegre, 2020).





Figura 5.4: Treinamento de operação do equipamento (Porto Alegre, 2020).

Como o imazamox não obteve êxito em ser registrado para uso no controle de macrófitas no Brasil, estudos que envolvessem a aplicação do herbicida em condições de campo ficaram inviáveis. Mas foi possível estudar minimamente o sistema com o uso de corantes alimentícios substituindo o uso do herbicida. O drone também está sendo avaliado quanto ao potencial de uso na aplicação de larvicidas granulados e, para isso, foi adquirido um aplicador de grânulos também fabricado pela Skydrones.

Com o uso de corante alimentício como traçador, foi possível avaliar a cobertura e deposição de várias pontas de pulverização. O estudo foi conduzido na área experimental da Fazenda Lageado, Botucatu (SP). A aplicação foi realizada

utilizando o drone de aplicação Sky Drone Pelicano 2020, abastecido com marcador de pigmento azul brilhante. Os bicos de pulverização testados foram: cone vazio (altura de aplicação de 3 metros), cone vazio com eletrostática (altura de 3 metros), ULDMax (altura de 3 e 9 metros) e XR (altura de 3 e 6 metros). Para a análise de cobertura, deposição e diâmetro mediano volumétrico (DMV) no papel WS, foi utilizado o software Drope Scope. Já a análise de deposição no solo, foi realizada através da absorbância utilizando o equipamento INNO-M Multi-Mode reader. Em síntese, os resultados mostraram que a ponta de pulverização ULDMax possui um maior valor de DMV, proporcionando uma maior deposição sobre o alvo e uma maior cobertura, apresentando um grande potencial de uso.

**Conclusão**

O controle químico de macrófitas tem amplo uso em termos mundiais, contribuindo para a manejo seguro e sustentável de macrófitas em lagos e rios. O controle químico de macrófitas fundamentado no melhor conhecimento técnico e científico disponível tem demonstrado ser seguro e tem contribuído para a recuperação da biodiversidade e do potencial de uso dos rios e lagos para fins de turismo, trans-

porte e pesca. Também merece destaque que o controle químico com herbicidas de alta eficácia é indispensável na erradicação de espécies invasivas. O uso de drones na aplicação de agentes químicos de controle de macrófitas é muito promissor e certamente contribuirá para que essas aplicações sejam precisas, eficazes contra as espécies alvos e seguras para espécies não alvos.



XXX

## Referências

1. CENTER OF AQUATIC AND INVASIVE PLANTS (2022). Disponível em <<https://plants.ifas.ufl.edu/manage/management-plans/chemical-control-considerations/diquat-considerations/>>. Acesso em 08/10/2022.
2. CENTER OF AQUATIC AND INVASIVE PLANTS / University of Florida – IFAS (2022). Disponível em <<http://plants.ifas.ufl.edu/manage/developing-management-plans/chemical-control-considerations/herbicides-registered-for-use-in-florida-waters/>>. Acesso em 02/10/2022
3. EPA (2022). Disponível em <[https://search.epa.gov/epasearch/epasearch?querytext=&areaname=&areacounts=&areasearchurl=&typeofsearch=epa&result\\_template=2col.ftl.](https://search.epa.gov/epasearch/epasearch?querytext=&areaname=&areacounts=&areasearchurl=&typeofsearch=epa&result_template=2col.ftl.)> Acesso em 02/10/2022
4. IBAMA (2022). Registro de agrotóxicos destinados ao uso em ambientes hídricos e à proteção de florestas nativas e outros ecossistemas ([ibama.gov.br](http://ibama.gov.br)). Atualizada em 30 de setembro de 2022. Disponível em <<https://www.ibama.gov.br/registros/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/registro-de-agrotoxicos-destinados-ao-uso-em-ambientes-hidricos-e-a-protecao-de-florestas-nativas-e-outrosecosistemas#:~:text=S%C3%A3o%20considerados%20produtos%20de%20uso%20n%C3%A3o%20agr%C3%ADcola%2C%20cujo,de%20outros%20ecossistemas%20e%20tamb%C3%A9m%20de%20ambientes%20h%C3%ADdricos>>. Acesso em 02/10/2022.
5. HENARES, M.N.P.; CRUZ, C.; GOMES, G.R.; PITELLI, R.A. E MACHADO, M.R.F. Toxicidade aguda e efeitos histopatológicos do herbicida diquat na brânquia e no fígado da tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*). *Acta Sci. Biol. Sci.* Maringá, v. 30, n. 1, p. 77-82, 2008
6. HENARES, M.N.P.; REZENDE, F.R.L.; GOMES, G.R.; CRUZ, C.; PITELLI, R.A. Eficácia do diquat no controle de *Hydrilla verticillata*, *Egeria densa* e *Egeria najas* e toxicidade aguda para o guaru (*Phalolcerus caudimaculatus*), em condições de laboratório. *Planta Daninha*, v.29, n.2, p.279-285, 2011.
7. EL-DEEN, M.A.S. et al. Acute toxicity and some hematological changes in grass carp exposed to diquat. *J. Aquat. Anim. Health*, Bethesda, v. 4, n. 4, p. 277-280, 1992.
8. MARZIO, W. D. et al. Effects of paraquat (Osaquat® formulation) on survival and total cholinesterase activity in male and female adults of *Cnesterodon decemmaculatus* (Pisces, Poeciliidae). *Environ. Toxic. Water*, New York, v. 13, n. 1, p. 55-59, 1998.
9. BABATUNDE, M.M. et al. Acute toxicity of gramoxone to *Oreochromis niloticus* (Trewavas) in Nigeria. *Water Air. Soil Poll.*, Dordrecht, v. 131, p. 1-10, 2001.
10. MIRON, D. et al. Effects of the herbicides clomazone, quinclorac, and metsulfuron methyl on acetylcholinesterase activity in the silver catfish (*Rhamdia quelen*) (Heptapteridae). *Ecotox. Environ. Safe.*, San Diego, v. 61, p. 398-403, 2005.
11. JIRAUNGKOORSKUL, W. et al. Histopathological effects of Roundup, a glyphosate herbicide, on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Sci. Asia.*, New Delhi, v. 28, n. 2, p. 121-127, 2002.
12. MARCONDES, D.A.S.I.; VELINI, E.D.II; MARTINS, D.II; TANAKA, R.H.III; CARVALHO, F.T.IV; CAVENAGHI, A.L.V; BRONHARA, A.A. Eficiência de fluridone no controle de plantas aquáticas submersas no reservatório de Jupia. *Planta Daninha*, vol.21, Viçosa, 2003.
13. TANAKA, R.H., VELINI, E.D., MARTINS, D., BRONHARA, A.A., SILVA, M.A.S., CAVENAGHI, A.L. e TOMAZELA, M.S. Avaliação de herbicidas para o controle de *Egeria* em laboratório, caixa d'água e represa sem fluxo de água. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v.20, p.73-81, 2002. Edição Especial.
14. NEVES, T.; FOLONI, L.L.; PITELLI, R.A. Controle químico do aguapé (*Eichhornia crassipes*). *Planta Daninha*. Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, v. 20, n. spe, p. 89-97, 2002. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/27946>>.
15. MARTINS, D., et al. Controle químico de plantas daninhas aquáticas em condições controladas - caixa d'água. *Planta Daninha*. Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, v. 17, n. 2, p.

289-296, 1999. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/5907>.

16. MARTINS, D., et al. Controle químico de *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes* e *Salvinia molesta* em caixas d'água. **Planta Daninha**. Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, v. 20, n. spe, p. 83-88, 2002. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/5918>.
17. COSTA, N.V.; CARDOSO, L.A.; MARCHI, S.R.; DOMINGOS, V.D.; MARTINS, D. Controle químico de plantas daninhas aquáticas: *Alternanthera philoxeroides*, *Enhydra anagallis* e *Pycnus decumbens* **Planta Daninha**, vol.23, no.2, Viçosa, 2005.
18. CERVEIRA Jr, W.R. **Uso de herbicida no controle de planta aquática ancorada**. Dissertação de Mestrado, UNESP / FCAV, Jaboticabal, 2017, 44p.
19. FOLONI, L.L. & PITELLI, R.A. Avaliação da sensibilidade de diversas espécies de plantas daninhas aquáticas ao carfentrazone-ethyl, em ambiente controlado. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 23, n. 2, p. 329-334, 2005
20. CARBONARI, C.A.; MARTINS, D.; TERRA, M.A. Controle de *Brachiaria subquadrifida* e *Brachiaria mutica* através de diferentes herbicidas aplicados em pós-emergência. **Planta Daninha**, vol.21, nºs-pe. Viçosa, 2003.
21. CARDOSO L.R., MARTINS D. e TERRA, M.A. Sensibilidade a herbicidas de acessos de aguapé coletados em reservatórios do Estado de São Paulo. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.21, p.61-67, 2003. Edição Especial.
22. NEGRISOLI, E.; TOFOLI, G.R.; VELINI, E.D.; MARTINS, D.; CAVENAGHI, A.L. Uso de diferentes herbicidas no controle de *Myriophyllum aquaticum*. **Planta Daninha**, vol.21, no.spe, Viçosa, 2003.
23. PITELLI, R.A., BISIGATTO, A.T., KAWAGUCHI, I. e PITELLI, R.L.C.M. Doses e horário de aplicação do diquat no controle de *Eichhornia crassipes*. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 29, n. 2, p. 269-277, 2011.
24. SOUZA, G.S.F., CAMPOS, C.F., MARTINS, D. e PEREIRA, M.R.R. Ação da chuva sobre a eficiência de glyphosate no controle de *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 29, n. 1, p. 59-64, 2011
25. TERRA M.A.; NEGRISOLI, E.; CARBONARI C.A.; CARDOSO, L.R.; MARTINS, D. Controle químico de plantas aquáticas: *Polygonum lapathifolium*. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 21, spe, p. 59-64, 2003.
26. CARVALHO, F.T., VELINI, E.D., NEGRISOLI, E. e ROSSI, C.V.S. Eficácia do carfentrazone-ethyl no controle de plantas aquáticas latifoliadas em caixas-d'água. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 23, n. 2, p. 305-310, 2005.
27. CARBONARI, C.A.; MARTINS, D.; TERRA, M.A.; MARCHI, S.R. Controle químico de *Panicum repens* e *Paspalum repens*. **Planta Daninha**, vol.22, no.3, Viçosa July/Sept. 2004.
28. MACHADO NETO, J.G., VELINI, E.D., ANTUNIASI, U.R., BRAVIN, L.F. e NERY, M.S. Segurança das condições de aplicação de herbicidas com aerobarco em plantas daninhas aquáticas no lago da hidrelétrica de Jupia. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 24, n. 2, p. 399-405, 2006
29. NRA Pesticides Strategy (2000). Disponível em <[www.environmentdata.org/archive/ealit:3139/OBJ/20000060.pdf](http://www.environmentdata.org/archive/ealit:3139/OBJ/20000060.pdf)> Acesso em 02/10/2022.
30. BASF Report 2008. Disponível em <[https://www.basf.com/..publications/reports/2009/BASF\\_Report](https://www.basf.com/..publications/reports/2009/BASF_Report)> Arquivo PDF. Acesso em 02/10/2022.
31. PPDB: Base de Dados de Pesticidas (2022). Disponível em < PPDB - Base de Dados de Propriedades de Pesticidas (herts.ac.uk)> Acesso em 02/10/2022.



Capítulo 6

# VIGILÂNCIA E CONTROLE DE *MANSONIA*

José Ferreira Saraiva <sup>1</sup>

Nercy Virginia Rabelo Furtado

Jéssica Fernanda dos Santo Barroso

Cynara de Melo Rodovalho

Allan Kardec Ribeiro Galardo

José Bento Pereira Lima

1

XXX

*A vigilância entomológica pode ser definida como: “[...] a contínua observação e avaliação de informações originadas das características biológicas e ecológicas dos vetores, dos níveis das interações com hospedeiros humanos e animais reservatórios, sob a influência de fatores ambientais, que proporcionem o conhecimento para detecção de qualquer mudança no perfil de transmissão das doenças”<sup>1</sup>.*

*Essa ferramenta é utilizada para prever ocorrências de doenças, coletando dados de forma sistemática e avaliando informações como características morfológicas, densidade, comportamento, competência (a probabilidade do vetor se infectar a partir da alimentação em um vertebrado infectado), susceptibilidade ou resistência aos inseticidas utilizados nos programas de controle de vetores<sup>1-3</sup>.*

*Os principais objetivos da vigilância entomológica são: i) identificar as espécies de vetores e/ou populações de vetores, morfológica e biologicamente, para conhecer os hábitos e comportamentos implicados na transmissão de patógenos, ii) determinar indicadores entomológicos relacionados com níveis de transmissão de doenças, iii) detectar precocemente espécies exóticas ou invasoras, iv) identificar situações ambientais e climáticas que favoreçam a reprodução e disseminação de patógenos, v) informar a Vigilância Ambiental sobre as inter-relações homem-vetor, vi) recomendar estratégias de controle integrado, auxiliando na eliminação ou redução de vetores, vii) adequar e avaliar os indicadores entomológicos utilizados para determinar as estratégias de intervenção, e viii) avaliar o impacto das intervenções sobre vetores<sup>1</sup>.*

Estabelecer indicadores de ocorrência da transmissão biológica é fundamental para a vigilância de vetores. Por meio de dados quantitativos (números) e qualitativos (dados que permitem compreender a complexidade e os detalhes dos dados quantitativos) pode-se prever adaptações dos veto-

res e evidenciar períodos de ocorrência de epidemias<sup>2</sup>. Esses indicadores podem estar relacionados ao vetor, ao hospedeiro, ao patógeno e aos fatores climáticos, e permitem a definição de um perfil epidemiológico, contribuindo no gerenciamento de políticas públicas de saúde<sup>1,4</sup>.

Vigilância entomológica de culicídeos

A vigilância de culicídeos pode ser realizada por diferentes organizações e se dá através da sugestão de indicadores biológicos e ambientais, análise de indicadores já existentes, identificação de características consideradas de risco epidemiológico que levam à elaboração de bases técnicas para os programas de controle e prevenção<sup>3</sup>.

Para auxiliar nesse processo algumas instituições de saúde como o Mi-

nistério da Saúde (MS), a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) e a Organização Mundial da Saúde (OMS), elaboraram guias e manuais com informações biológicas, comportamentais e de vigilância de alguns vetores de patógenos que afetam o homem, dentre eles estão; *Anopheles* Meigen, *Aedes* Meigen, *Haemagogus* Williston, *Sabethes* Robineau-Desvoidy e *Culex* Linnaeus (QUADRO 1.1).

| Grupo                                            | Título                                                                            | Autor         | Link                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Aedes</i><br><i>Anopheles</i><br><i>Culex</i> | Guia de Vigilância em Saúde                                                       | Brasil, 2021  | <a href="https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_vigilancia_saude_5ed.pdf">https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_vigilancia_saude_5ed.pdf</a> , ISBN 978-65-5993-102-6        |
| <i>Aedes</i>                                     | Dengue instruções para pessoal de combate ao vetor: manual de normas técnicas. 3. | Brasil, 2001  | <a href="http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/Funasa/man_dengue.pdf">http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/Funasa/man_dengue.pdf</a>                                                   |
|                                                  | Programa nacional de controle da dengue (PNCD)                                    | Brasil, 2002  | <a href="http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/pncd_2002.pdf">http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/pncd_2002.pdf</a>                                                                   |
|                                                  | Dengue: guidelines for diagnosis, treatment, prevention, and control.             | WHO, 2009     | <a href="https://apps.who.int/iris/handle/10665/44188">https://apps.who.int/iris/handle/10665/44188</a>                                                                                           |
|                                                  | Diretrizes nacionais para a prevenção e controle de epidemias de dengue           | Brasil, 2009b | <a href="http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_nacionais_prevencao_controle_dengue">http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_nacionais_prevencao_controle_dengue</a> |

Quadro 1.1 - Principais guias e manuais de vigilância entomológica do Brasil.

| Grupo                            | Título                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Autor         | Link                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Aedes</i>                     | Levantamento Rápido de Índices para <i>Aedes aegypti</i> (LIRAA) para vigilância entomológica do <i>Aedes aegypti</i> no Brasil: metodologia para avaliação dos índices de Breteau e Predial e tipo de recipientes                                                                                                                                                         | Brasil, 2013  | <a href="http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_liraa_2013.pdf">http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_liraa_2013.pdf</a>                                                                                           |
|                                  | Orientações integradas de vigilância e atenção à saúde no âmbito da Emergência de Saúde Pública de Importância Nacional: procedimentos para o monitoramento das alterações no crescimento e desenvolvimento a partir da gestação até a primeira infância; relacionadas à infecção pelo vírus Zika e outras etiologias infecciosas dentro da capacidade operacional do SUS. | Brasil, 2017b | <a href="https://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2016/dezembro/12/orientacoes-integradas-vigilancia-atencao.pdf">https://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2016/dezembro/12/orientacoes-integradas-vigilancia-atencao.pdf</a> |
|                                  | Diretrizes nacionais para a prevenção e controle de epidemias de dengue                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Brasil, 2021  | <a href="http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_nacionais_prevencao_controle_dengue">http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_nacionais_prevencao_controle_dengue</a>                                         |
| <i>Anopheles</i>                 | Guia para gestão local do controle da malária: diagnóstico e tratamento                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Brasil, 2009a | <a href="http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_gestao_local_controle_malaria.pdf">http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_gestao_local_controle_malaria.pdf</a>                                                         |
|                                  | Guia para o Planejamento das Ações de Captura de Anofelinos pela Técnica de Atração por Humano Protegido (TAHP) e Acompanhamento dos Riscos à Saúde do Profissional Capturador                                                                                                                                                                                             | Brasil, 2019  | <a href="http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_captura_anofelinos_tahp.pdf">http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_captura_anofelinos_tahp.pdf</a> ISBN 978-85-334-2717-4                                              |
|                                  | Malaria surveillance, monitoring & evaluation: a reference manual.                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | WHO, 2018     | <a href="https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272284/9789241565578-eng.pdf">https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272284/9789241565578-eng.pdf</a>                                                                 |
|                                  | Malaria vector control and personal protection: report of a WHO study group.                                                                                                                                                                                                                                                                                               | WHO, 2006     | <a href="https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43425/WHO_TRS_936_eng.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43425/WHO_TRS_936_eng.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a>                 |
| <i>Aedes Haemagogus Sabethes</i> | Febre amarela: guia para profissionais de saúde                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Brasil, 2018  | <a href="https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/janeiro/18/Guia-febre-amarela-2018.pdf">https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/janeiro/18/Guia-febre-amarela-2018.pdf</a>                                     |
|                                  | Guia de vigilância de epizootias em primatas não humanos e entomologia aplicada à vigilância da febre amarela. 2 ed.                                                                                                                                                                                                                                                       | Brasil, 2017a | <a href="https://antigo.saude.gov.br/images/pdf/2017/marco/24/Guia_Epizootias_Febre_Amarela_2a_ed_atualizada_2017.pdf">https://antigo.saude.gov.br/images/pdf/2017/marco/24/Guia_Epizootias_Febre_Amarela_2a_ed_atualizada_2017.pdf</a>   |
|                                  | Control de fiebre amarilla: guía práctica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | WHO, 2005     | <a href="https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2013/OPS-Guia-practicafiebreamarilla-2005.pdf">https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2013/OPS-Guia-practicafiebreamarilla-2005.pdf</a>                                                         |

Os indicadores entomológicos são indispensáveis para o êxito das ações de campo<sup>5,6</sup>, sendo que os indicadores utilizados na vigilância entomológica de culicídeos estão baseados em quatro parâmetros: (I) o estágio de vida do vetor (ovo, larva, pupa e adulto), (II) a capacidade vetorial, (III) a competência vetorial, e (IV) os indicadores de fatores ambientais não-biológicos<sup>1</sup>.

Para os mosquitos adultos a escolha dos indicadores leva em consideração a composição, distribuição dos vetores, o comportamento do vetor e a resistência a inseticidas<sup>7,8</sup>.

De acordo com a composição e distribuição dos vetores, os indicadores de ocorrência, densidade e sazonalidade são utilizados. Com esses dados tem-se o conhecimento da presença ou ausência de fêmeas adultas, do número de fêmeas coletadas por unidade de tempo e método de coleta, e se ocorre mudanças na ocorrência e densidade de espécies durante determinado período de tempo<sup>7</sup>.

A partir dos dados de comportamento do vetor adulto, pode-se determinar indicadores como: o índice de picada em humanos por hora (IPHH), pico de hematofagia, atividade horária das espécies, local das picadas, se ocorre dentro ou fora das residências, indicando se o comportamento é de endofagia (dentro) ou exofagia (fora); e a densidade de repouso no interior domiciliar, ou

seja, a proporção por hora de fêmeas adultas em repouso no interior das casas amostradas<sup>7,9</sup>.

Outro indicador muito utilizado, para fêmeas adultas de *Anopheles* é a paridade, que determina a porcentagem das fêmeas que já realizaram pelo menos um ciclo gonotrófico (alimentação e oviposição)<sup>9,10</sup>. Em *Aedes aegypti* Linnaeus os índices mais utilizados são: Índice de densidade de mosquitos nas residências, o Índice de positividade de armadilhas de coleta e o Índice de densidade de mosquitos em armadilhas<sup>3,9</sup>. Sendo que as armadilhas mais utilizadas para vigilância e monitoramento do *Ae. aegypti* são: *Adultrap*, BG-Sentinel e a *MosquiTrap* (Valle et al. 2021).

Na fase imatura os indicadores utilizados podem ser: a disponibilidade de habitat larvário e a ocupação de habitat larval. O primeiro avalia a presença ou ausência e o tipo de locais propícios para o desenvolvimento do vetor, enquanto o segundo, identifica a presença de larvas e pupas nos criadouros<sup>7,9</sup>.

No caso do *Ae. aegypti* foram desenvolvidos índices específicos, como por exemplo, o Levantamento Rápido de Índices para *Aedes aegypti* (LIRAA) que ocorre em todo o país, gerando índices que fornecem dados sobre risco de ocorrência de arboviroses, sendo eles: o Índice de Infestação Predial (IIP), o Índice de Breteau (IB) e o Índice de Tipo de Recipientes (IR)<sup>3,8,11,12</sup>.

*Mansonia* spp.  
Foto: XXXXXXXXXX



O IIP fornece a taxa de casas positivas para formas imaturas, o IB o número de depósitos positivos no total de casas pesquisadas, e o IR determina os tipos de recipientes onde são encontradas as larvas, indicando o principal tipo de criadouro do local<sup>3,8,11,12</sup>.

Para a fase de ovo é utilizada a ovitrampa, que consiste em um depósito preto com uma palheta retangular de Eucatex presa por um clip de papel na armadilha, com o lado rugoso da palheta voltada para o interior do depósito, onde é colocada uma solução de água com atrativos (levedo de cerveja ou solução de feno) para as fêmeas grávidas<sup>13,14</sup>. A partir dessa armadilha podem ser gerados os Índice de Positividade de Ovo (IPO), Índice de Densidade Vetorial (IDV) e o Índice de Densidade de Ovo (IDO). O IPO indica o percentual de ovitampas positivas em relação ao total de armadilhas recolhidas, o IDV é a número de ovos dividido pelo número de ovitampas recolhidas, e o IDO informa a média de ovos por armadilha positiva<sup>15,16</sup>.

Quanto ao potencial de transmissão, este pode fornecer a classificação de áreas



Ovos de *Mansonia humeralis*

Foto: XXXXXX

de acordo com o risco de transmissão, a receptividade que mede e monitora a vulnerabilidade do local, e uma combinação entre presença de vetores, clima adequado e população humana susceptível<sup>3,9</sup>.

Todos esses indicadores requerem uma coleta de dados padronizada, com informações exatas do local e data, e dados como o número de noites e coletores, bem definidos<sup>7</sup>. Já com os dados de resistência avalia-se a susceptibilidade desses mosquitos a inseticidas, o que fornece dados da proporção de indivíduos vivos após a exposição aos produtos<sup>7</sup>.

## Vigilância de *Mansonia*

Até o momento não há publicações sobre ações de vigilância entomológica para mosquitos do gênero *Mansonia* Blanchard no Brasil. Dessa forma, faz-se necessária a utilização de índices para o seu monitora-

mento à medida que o aumento na abundância populacional desse gênero está associado ao hábito hematofágico agressivo, podendo causar problemas às populações humanas, principalmente aquelas localiza-

das em ambientes recém antropizados na região Amazônica.

Neste capítulo serão abordadas as técnicas de vigilância entomológica de *Mansonia* implementadas em um programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) com base em técnicas já utilizadas para *Anopheles*, tendo em vista algumas similaridades ecológicas e comportamentais dos dois gêneros de mosquitos. As principais técnicas de captura utilizadas: Técnica de Atração por Humano Protegido (TAHP)<sup>17</sup>, armadilhas Skeeter-Vac, BG Sentinela, CDC luminosa e *MosqTent*<sup>18</sup> serão abordadas e algumas adap-

tações dessas técnicas e seu potencial de vigilância entomológica para *Mansonia* serão discutidas. A partir dos dados obtidos com essas ferramentas poderão ser calculados os índices entomológicos, como: abundância, riqueza e sazonalidade das espécies.

Em relação à pesquisa larvária de *Mansonia*, será descrita metodologia utilizada no P&D e o seu potencial para utilização de índices entomológicos, como: quadrante positivo para larvas, pupas, pontos de coleta e associação com macrófitas, explorados como informações complementares para a vigilância entomológica.

---

### Métodos de coletas

A escolha da metodologia de coleta de mosquitos é um ponto crucial para os estudos de vigilância entomológica e seus objetivos<sup>19</sup>. Isso porque, dependendo da técnica escolhida, pode-se direcionar esforços para se obter o maior número possível de indivíduos da espécie-alvo. Por exemplo, espécies antropofílicas de mosquitos são mais bem coletadas com técnicas que utilizam a TAHP. Caso a espécie-alvo seja zoofílica, é necessária a utilização de metodologia em que é possível simular a respiração, o calor, e até mesmo o odor de animais silvestres. Feromônios sintéticos como Lurex e Octenol podem ser as melhores escolhas. Há também armadilhas que atraem diversas espécies de insetos, de maneira não seletiva, como as armadilhas luminosas<sup>20</sup>.

Portanto, antes de iniciar as coletas em campo, deve-se escolher bem as técnicas que melhor se adequem a biologia da espécie de interesse da vigilância ou monitoramento. Dessa forma, é possível elaborar coletas sistemáticas e bem delineadas as perguntas que pretendemos responder. Há de se considerar ainda na escolha do método, armadilhas que não provoquem muitos danos aos espécimes capturados. De modo geral, armadilhas de sucção automáticas ou as que ficam por longos períodos capturando mosquitos, tendem a provocar muitos danos aos insetos coletados, enquanto nas técnicas manuais, como a TAHP, a qualidade dos espécimes é bem melhor porém, demanda equipe de pessoas treinadas<sup>21</sup>.

Neste capítulo serão apresentadas as principais técnicas adotadas para a captura de mosquitos, em especial, aquelas que permitem obter mosquitos com boa qualidade para identificação, com ênfase ao gênero *Mansonia*. Também serão

abordadas metodologias de pesquisa larvária adaptada, empregada para os estudos de monitoramento entomológico de *Mansonia* durante o P&D da Santo Antônio Energia, em Porto Velho, Estado de Rondônia.

### Coleta de formas imaturas

A captura de larvas e pupas (formas imaturas) é extremamente importante para complementar a estimativa de diversidade da fauna de culicídeos em determinada área. A obtenção de formas imaturas começa com a seleção de uma área propícia ao táxon de interesse. Aedini e Culicini, especialmente as espécies urbanas, são pesquisadas principalmente em criadouros transitórios e artificiais, como: recipientes de diversas origens, ou ainda em poças, piscinas, caixa d'água, valas etc., geralmente em locais abandonados, contendo água parada, poluída ou limpa<sup>22</sup>. Para a pesquisa de Anophelini, os criadouros são, de modo geral, no solo, com água parada ou pouca corrente e sombreadas. Esses criadouros geralmente apresentam vegetação emergente ou submersa, que proporcionam abrigo e proteção contra predadores naturais das formas imaturas. O instrumento padrão para a coleta das larvas e pupas é uma concha, com cabo longo, que pode apresentar diversos tamanhos, embora as mais comumente usadas sejam aquelas com cabo de 1,5 m e recipiente de 500 ml, na cor branca, que facilita a visualização das larvas e pupas durante a triagem das amostras com uma pipeta<sup>22</sup>.



Na tribo Mansoniini (gênero *Mansonia* e *Coquillettidia* Dyar), a pesquisa larvária foi adaptada ao comportamento aquático do grupo. Dessa forma, foi estabelecido o método com delimitação de parcelas por um quadrante (dimensões 40 x 40 cm). O quadrante é colocado sobre as plantas

Larvas de *Mansonia* spp.

aquáticas e, em seguida, todas as plantas de dentro do quadrante são recolhidas em um balde. As plantas recolhidas são separadas e lavadas individualmente em um outro balde. Atenção maior deve ser dada às raízes das plantas pois são os locais onde as larvas e pupas se fixam fortemente, sendo recomendada a agitação das raízes dentro do balde com água para que elas se soltem. Uma peneira com malha de 2 mm pode ser utilizada para retirar galhos, folhas e outros pedaços maiores presentes nas amostras de água. Uma segunda filtração com uma peneira mais fina (~1 mm) pode ser realizada para a contenção dos espécimes menores presentes nas amostras. Por fim, em uma bandeja plástica branca, a água restante pode ser verificada para larvas de 1º e 2º estágio (L1 e L2), com uma pipeta. As amostras devem ser armazenadas em tubos com tampa, contendo álcool à 70%, a fim de preservá-las até a identificação taxonômica (FIGURA 1.1).

Para que se obtenha uma amostragem representativa dos criadouros, e assim, possibilitar a inferência de parâmetros entomológicos dos locais pesquisados, recomendamos três repetições em cada ponto selecionado (Quadrante 1, Quadrante 2 e Quadrante 3). Os quadrantes deverão estar equidistantes um do outro por no mínimo 10 metros e no máximo 100 metros, de acordo com o tamanho do criadouro e a presença de bancos de macrófitas. Os espécimes obtidos poderão ser transportados ao laboratório nos próprios tubos de coleta,

apenas com álcool 70%. No laboratório, as amostras são identificadas por meio de chaves dicotômicas<sup>22,23</sup> e contabilizadas por estágio de desenvolvimento (L1, L2, L3, L4 e pupa). As espécies obtidas devem ser tabuladas em fichas de identificação separadas por quadrante e o ponto amostrado.

Concomitante às pesquisas larvárias, massas de ovos de *Mansoniini* podem ser procuradas. Para isso, as folhas das macrófitas (aguapés, alface-d'água e *Salvinia*) precisam ser examinadas na sua face inferior, a parte da planta submersa na água. Os ovos, caso presentes no local, serão localizados em conjuntos de massas pontuais nas folhas. Eles podem ser recolhidos juntamente com a folha em que estiverem fixados, e colocados em tubos com tampa contendo um pouco de água do criadouro, etiquetados, e transportados ao insetário. O encontro de massas de ovos de *Mansoniini* nos criadouros também é uma informação importante para a vigilância entomológica, pois permite determinar a preferência de cada espécie de *Mansoniini* pelas plantas aquáticas presentes nestes criadouros.

Adicionalmente, podem ser coletados parâmetros físico-químicos da água dos criadouros como temperatura, turbidez, PH e taxa de oxigênio dissolvido na água com o intuito de incrementar os dados entomológicos. Esses parâmetros podem ser obtidos por meio de sensores *DataLog*, conforme a necessidade do estudo.

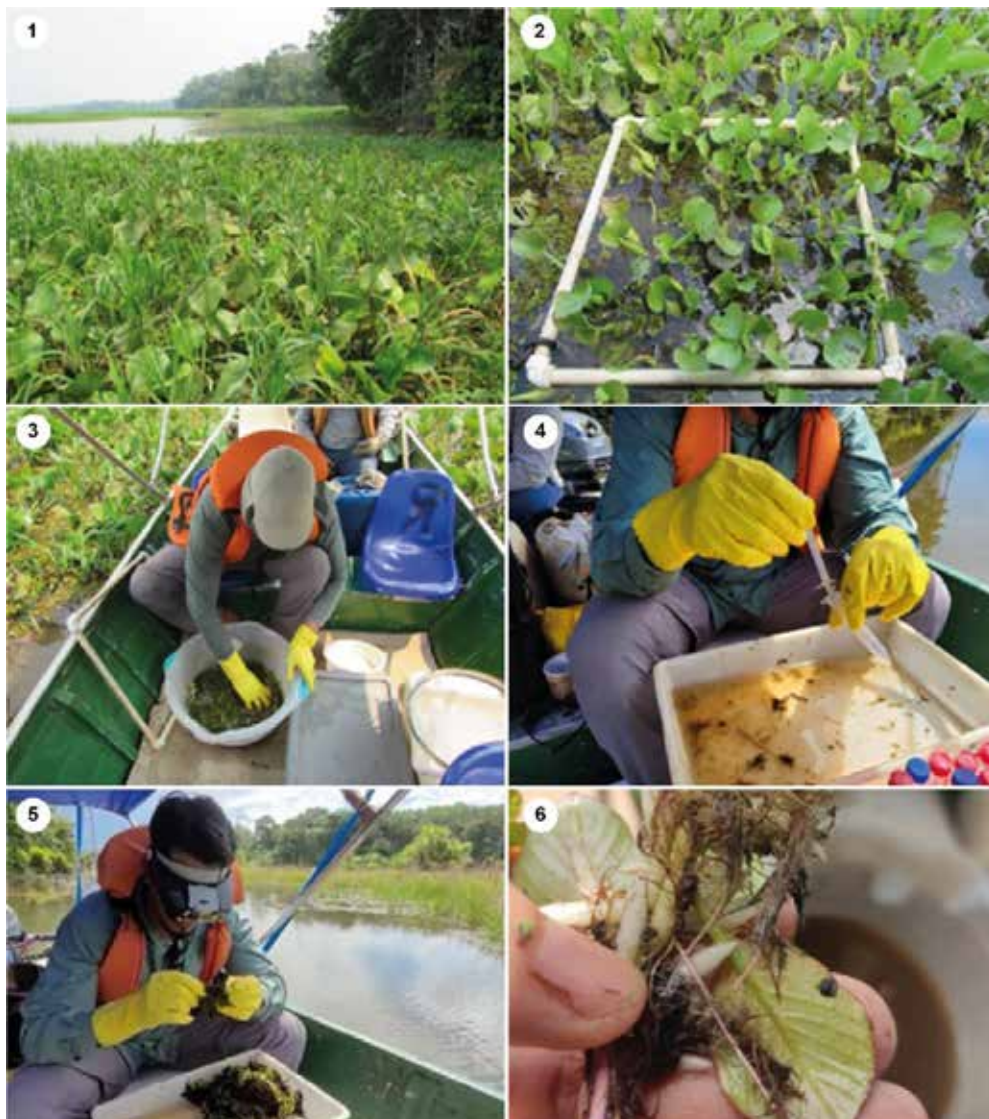
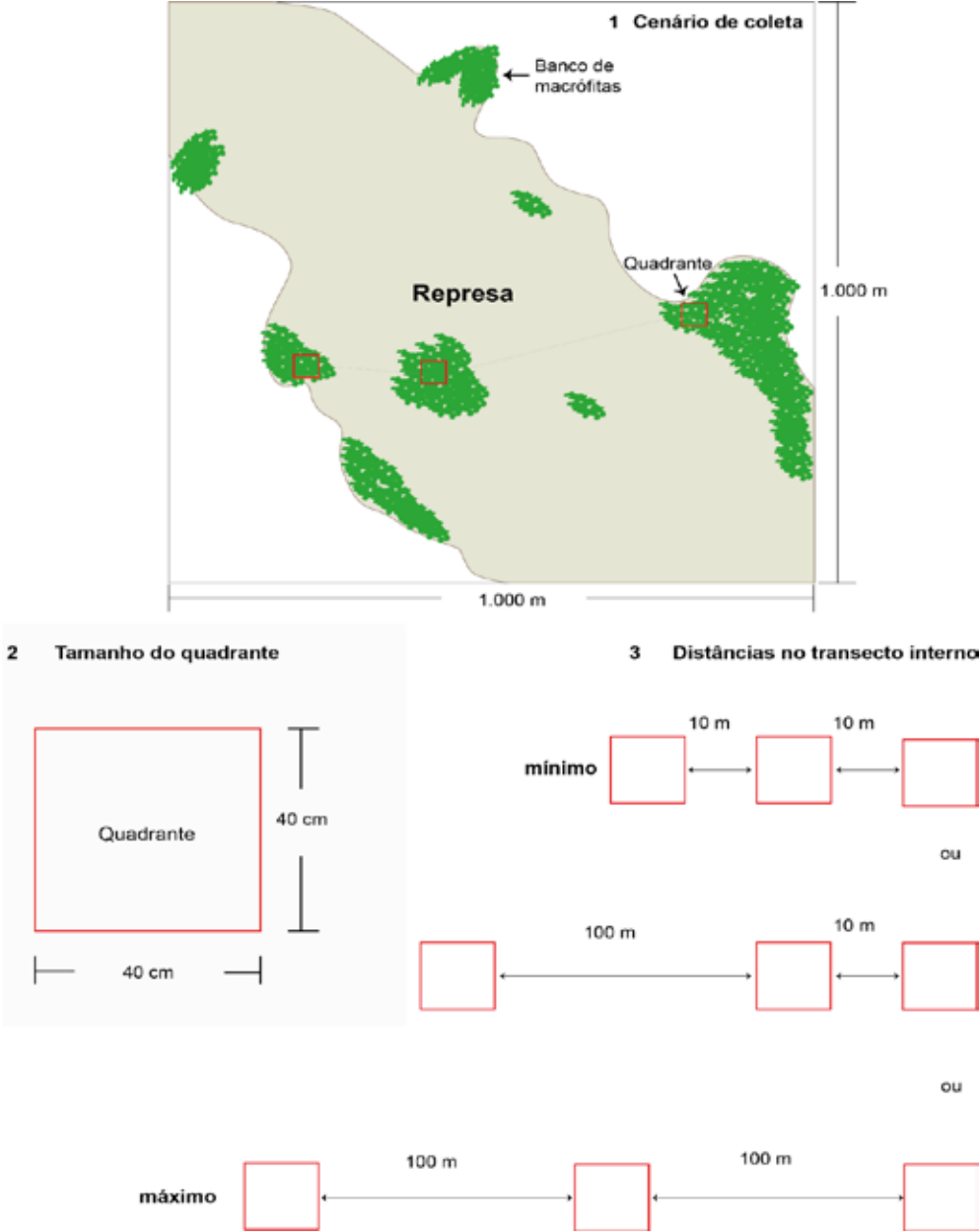


Figura 1.1 - Pesquisa larvária de *Mansonia* spp.  
 1. Seleção de ponto a ser realizada a amostragem,  
 2. Quadrante delimitando a parcela,  
 3. Lavagem das plantas,  
 4. Triagem de larvas com pipeta,  
 5. Vistoria das folhas para coleta de ovos,  
 6. Lote de ovos de *Mansonia* em macrófita aquática.  
 Fotos: XXXXXXXX

Figura 1.2 - Desenho amostral proposto para pesquisa larvária de *Mansonia* sp.

1. Cenários para seleção de pontos amostrais,  
2. Tamanho do quadrante utilizado para delimitar a amostragem, e  
3. Distância dos quadrantes dentro de transecto ou ponto de amostragem.



### Coleta de mosquitos adultos

Para a coleta de espécimes adultos de culicídeos, deve-se conhecer primeiramente o comportamento hematofágico da espécie de interesse. Os mosquitos podem ser classificados como de hábito diurno e noturno<sup>22</sup>. As coletas de espécies diurnas são realizadas com auxílio de pucá e aspiradores elétricos, com o qual os insetos podem ser capturados ainda em voo ou em repouso sobre o coletor. Armadilhas de interceptação, como armadilha de Shannon, podem ser instaladas para facilitar a obtenção de mais mosquitos em seus habitats naturais. Para os mosquitos de hábito noturno, a utilização de atrativos luminosos são comuns nas armadilhas, além de iscas atrativas

que imitam feromônios ou odores dos hospedeiros de repasto sanguíneo<sup>21</sup>.

Em *Mansoniini*, as espécies são conhecidas por serem ecléticas e picarem tanto de dia quanto de noite, nos locais onde ocorrem em alta densidade ou locais próximos aos criadouros. Em locais com baixa ou moderada abundância de *Mansoniini*, o hábito é predominantemente noturno, com picos de atividades crepusculares, com maior intensidade no peri- e extra-domicílio do que no intra-domicílio<sup>23</sup>. Portanto, para a captura de *Mansoniini* podem ser utilizadas diversas técnicas e armadilhas preexistentes que abordaremos a seguir.

---

### Técnica de Atração por Humano Protegido – TAHP

Embora a Técnica de Atração por Humano Protegido (TAHP)<sup>17</sup> não seja considerada uma armadilha propriamente dita para mosquitos, e sim uma técnica de coleta de mosquitos antropofílicos, a TAHP será apresentada primeiramente porque é considerada a mais antiga e a que melhor captura insetos hematófagos<sup>24</sup>. Além disso, proporciona uma grande quantidade de mosquitos em boas condições para testes em laboratório, identificação taxonômica ou a criação em insetário. Desse modo, a TAHP é considerada o 'padrão ouro' para se obter espécimes adultos na natureza<sup>21</sup>.

A TAHP consiste na coleta de mosquitos que pousa sobre o coletor na tentativa de picá-lo. Para uma coleta bem-sucedida o coletor terá que se manter sentado e imóvel até que os mosquitos pousem sobre a suas pernas protegidas com o meião preto. Os membros inferiores são os preferidos pelos mosquitos devido aos odores liberados pelos pés e que também guiam os mosquitos até os hospedeiros. O meião na cor preta, e espessura grossa deverá ser sobreposto a uma calça, aumentando assim a espessura de proteção contra picadas. Com auxílio de uma lanterna o coletor será capaz

Figura 1.3. Captura de espécimes adultos de *Mansonia* spp. por meio da Técnica de Atração por Humano Protegido (TAHP).



de localizar e capturar os mosquitos com o aspirador de sucção oral ou elétrico, em seguida, os mosquitos devem ser armazenados em copos telados, com etiquetas de local, data e horário<sup>17</sup>.

Com essa técnica é possível obter grande quantidade de espécimes antropofílicos e estimar parâmetros entomológicos importantes com apenas a necessidade de alguns materiais simples, como: cadeira, lanterna, capturador de sucção oral ou elétrico, copos de coleta e caixa de armazenamento dos mosquitos. A vestimenta apropriada para este tipo de coleta consiste em: bota, meião preto (grosso), calça jeans ou de tecido similar (grosso),

camisa de manga longa, luvas e chapéu com tela facial<sup>17</sup>.

O aspirador de sucção oral, utilizado na captura dos mosquitos, é um aparato formado por: um tubo transparente de acrílico ou vidro, com comprimento de ~35 cm e diâmetro de 2 cm. Uma tela fina ou filtro, fica presa em uma das extremidades para se conectar com uma mangueira de borracha e um bocal, possibilitando assim que os mosquitos entrem dentro do tubo transparente ao serem aspirados. Modelos elétricos utilizam o mesmo princípio, com a diferença que a sucção é realizada por um motor elétrico ligado a pilhas ou baterias de 6 volts<sup>17,23</sup>.

### Aspirador elétrico

O aspirador elétrico, aspirador de Nasci ou, ainda, aspirador de solo, é formado por um cilindro de PVC (diâmetro de 100 mm) revestido de alumínio, com uma ventoinha que aspira os insetos presentes na vegetação e os aprisiona em um saco coletor preso à extremidade do tubo próximo ao solo. A hélice fica fixada à um motor de 6 volts, o que permite a captura de mosquitos tanto em repouso na vegetação quanto em pleno voo<sup>25</sup>. A coleta com esse equipamento pode ser realizada em intervalos horários padronizados, com o objetivo de estimar a abundância

dos mosquitos presentes nas proximidades dos domicílios. Portanto, o aspirador pode ser utilizado tanto no espaço intra e peri-domiciliar (interior e nas laterais dos domicílios), quanto na área extradomiciliar (quintal). Pode ser empregado tanto à noite quanto de dia, possibilitando coletar mosquitos de diferentes hábitos horários.

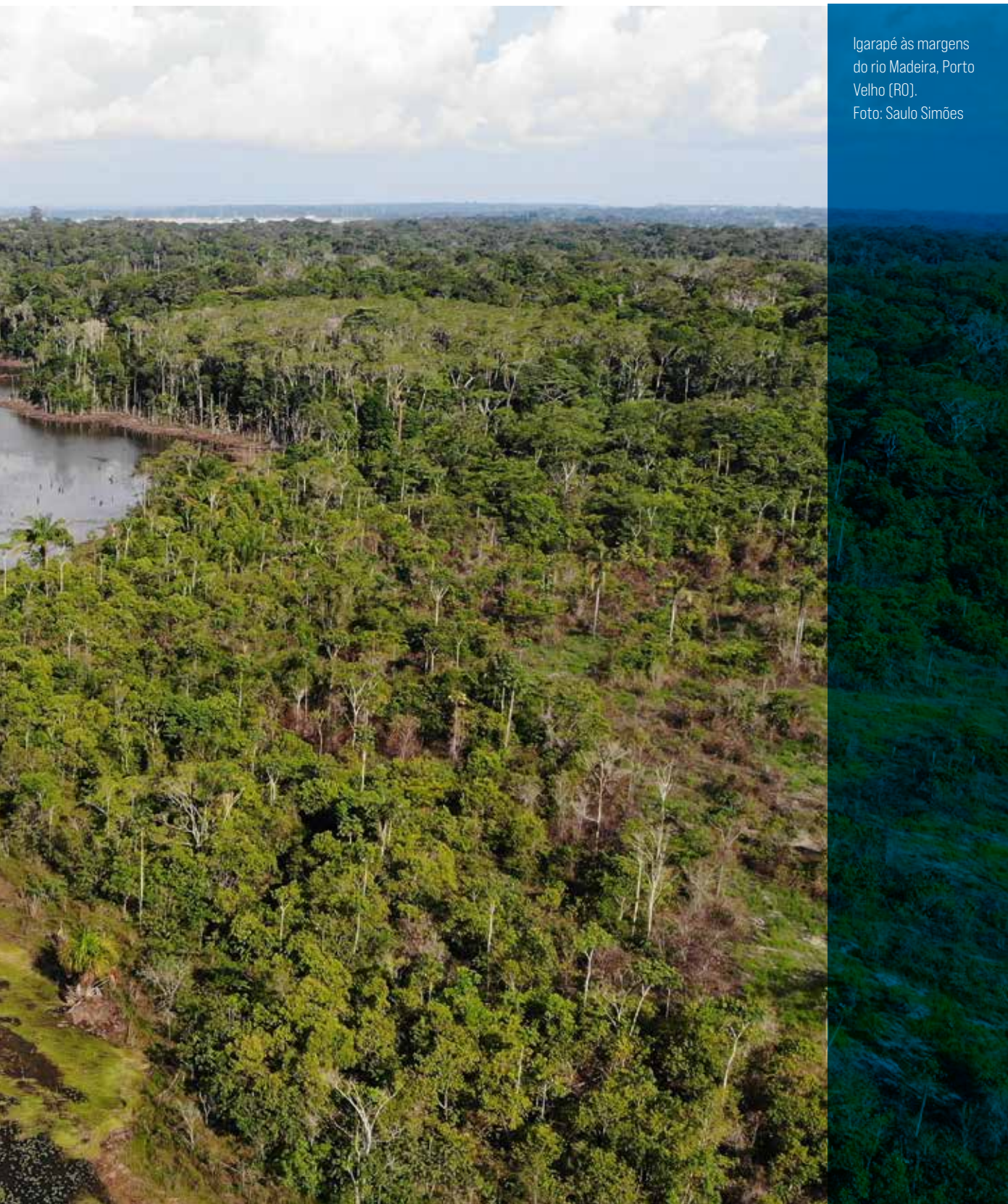
Em *Mansoniini*, o aspirador elétrico pode ser utilizado também sobre a vegetação aquática presente nos seus criadouros ou para capturar mosquitos em repouso sobre currais, galinheiros, pocilgas etc.



Figura 1.4. Aspirador elétrico de Nasci.







Igarapé às margens  
do rio Madeira, Porto  
Velho (RO).  
Foto: Saulo Simões

### Armadilha miniatura tipo CDC

A armadilha luminosa do tipo CDC (sigla das iniciais em inglês de Communicable Diseases Center, atualmente, Centers for Disease Control and Prevention), foi idealizada a partir de uma adaptação de uma armadilha luminosa mais antiga, chamada New Jersey<sup>26</sup>. O dispositivo de coleta New Jersey é alimentado por eletricidade, o que limitava a sua utilização em locais mais afastados e sem sistema de energia elétrica. Ao longo dos anos, diversos tipos de armadilhas portáteis foram projetadas<sup>27,28</sup>. Em 1962, quando surgiu a armadilha de luz em miniatura tipo CDC, adaptada para a realização de estudos de vigilância entomológica de arbovírus e outras investigações de mosquitos de curto prazo<sup>29</sup>.

A armadilha CDC atrai os mosquitos e demais insetos do entorno por meio de sua fonte luminosa, explorando o comportamento de fototropismo positivo dos insetos. Uma hélice com motor aspira os insetos atraídos pela luz para dentro de uma gaiola, onde os insetos são mantidos presos até sua retirada. A CDC é instalada geralmente às 17:00 h (5:00 PM) e é retirada no dia seguinte às 7:00 h (7:00 AM). O dispositivo é composto por: 1) uma proteção superior (bandeja), para evitar que a armadilha e os insetos coletados molhem com a chuva, 2) uma fonte de luz incandescente, UV ou LED, que atrai os insetos, 3) uma ventoinha com motor, que aspira os insetos atraídos pela luz, 4) uma bateria de 6 volts para alimentar o motor da ventoi-

Figura 1.5. Armadilha luminosa tipo CDC.



nha e a luz, e 5) uma gaiola de contenção, onde os insetos são mantidos presos.

O design geral da armadilha CDC permaneceu intacto desde 1962, com pequenas diferenças na construção. Algumas dessas modificações foram: no modo de alimentação do motor e da luz, com adaptações para pilhas e na utilização de sensores que ligam e desligam o equipamento à medida que escurece ou amanhece; um alçapão de plástico para aprisionar os insetos coletados quando a ventoinha é desligada, impedindo a fuga de espécimes já capturados, ou a CDC invertida, onde a gaiola de contenção fica localizada

na parte superior e o motor (corpo da armadilha) fica na parte inferior.

De modo geral, esta armadilha pode ser instalada à 1,5 m do solo, que permitirá a captura de uma ampla diversidade de mosquitos. Adicionalmente, pode-se utilizar atrativos, como Octenol ou dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) armazenado em cilindro ou em uma caixa térmica com gelo seco<sup>30</sup>. O CO<sub>2</sub> permite, ainda, maximizar a captura de mais mosquitos ao invés de outros insetos de famílias que não são do interesse do monitoramento, além de tornar esse método mais específico para Culicidae.

---

### Armadilha luminosa modelo de Shannon

Também conhecida como barraca de Shannon, a armadilha consiste em uma tenda de tecido branco com abas laterais. A estrutura da barraca é formada por uma tenda principal com 1,3 m x 3,0 m x 2,0 m e duas abas menores laterais de 0,6 m x 3,0 m x 1,0 m (largura x comprimento x altura)<sup>31</sup>. A barraca de Shannon deve ser montada de maneira a ficar com cerca de 20 a 30 cm afastada do solo. Uma fonte luminosa (lâmpião a gás ou a pilha) é colocada no centro da estrutura principal. À medida que escurece, a luz atrai uma grande diversidade de insetos, incluindo os mosquitos, que ficam presos nas abas laterais ou na estrutura principal. Uma pessoa equipada com capturador de sucção e copos de coleta deve realizar a

vistoria periódica da armadilha, podendo ainda estabelecer intervalos de horários para as vistorias<sup>32</sup>.

A barraca de Shannon é ideal para inventários da Culicidofauna, pois permite a captura de grande diversidade de mosquitos e pode ser mais bem aproveitada quando instalada em locais escuros, sem fontes luminosas próximas ou, ainda, na borda ou dentro de florestas, à noite. Essa armadilha também pode ser utilizada para a captura diurna de mosquitos ao substituir a fonte luminosa por vapores de CO<sub>2</sub> e ácido láctico, que são liberados naturalmente apenas com a presença do coletor dentro da armadilha.

Figura 1.6. Armadilha luminosa modelo de Shannon.



### Armadilha MosqTent

A *MosqTent* consiste em uma tenda branca individual formada por duas câmaras, na qual o coletor atrai mosquitos pelos seus próprios sinais humanos (visual, temperatura, odor, entre outros sinais – de agora em diante referidos como “atrativos humanos”) enquanto é protegido de ser picado dentro da câmara interna da armadilha. Orifícios presentes na parede da câmara externa e nos cantos das abas laterais suspensas,

permitem a passagem dos mosquitos para dentro da armadilha (câmara externa), onde eles ficam aprisionados até o momento da coleta. A armadilha apresenta as seguintes dimensões 2 m x 2 m x 2 m (altura, comprimento e largura), feita em náilon de malha 2 mm, pesando ~1 Kg. Os fios presos nas extremidades da armadilha são utilizados para fixá-la em galhos de árvores ou montada em estruturas prontas como tendas. Devido

a sua facilidade de transporte, ela pode ser instalada em uma variedade de configurações ambientais como, no peri ou extradomicílio, desde que tenha espaço suficiente para a armadilha, com condições climáticas diversas<sup>18</sup>.

Em relação à eficiência da *Mosq-Tent*, estudos conduzidos no Estado do Amapá mostraram alta eficiência na captura de *Anopheles marajoara* Galvão & Damasceno, um importante ve-

tor local de *Plasmodium* na cidade de Macapá, além de outras espécies importantes, como: *Anopheles nuneztovari* Gabaldon e *An. triannulatus* (Neiva & Pinto). A eficiência dessa armadilha para a captura de *Anopheles darlingi* Root foi somente inferior a TAHP<sup>18</sup>. Além disso, com a redução da malha do tecido, a *MosqTent* se mostrou uma boa alternativa à TAHP na captura de borrachudos (Simuliidae), que apresentam corpo muito diminuto<sup>33</sup>.



Figura 1.7. Armadilha *MosqTent*.

### Armadilha automática modelo BG-Sentinel

A BG-Sentinel também conhecida como: armadilha BG, BG-malária ou armadilha BGS (da sigla Biogents) é uma armadilha extensamente utilizada por entomologistas no mundo que estão interessados na captura de mosquitos domésticos, como: *Culex quinquefasciatus* Say, *Ae. aegypti* e *Aedes albopictus* (Skuse), uma vez que a armadilha atrai os mosquitos ao imitar correntes de convecção de odores similares àquelas criadas pelo corpo humano. Além disso, a armadilha proporciona pistas visuais, libera atrativos que imitam odores comuns liberados na pele humana

e, adicionalmente, pode ser utilizada com dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que aumenta a atração de mosquitos *Anopheles*, tornando-se uma excelente ferramenta de vigilância entomológica.

Ao serem atraídos para a armadilha BG, um sistema de sucção aprisiona os mosquitos em uma bolsa de captura, localizada dentro da armadilha. Os espécimes podem ser retirados facilmente e uma nova bolsa de captura pode ser colocada para dar continuidade a coleta quando necessário.

Figura 1.8. Armadilha BG-Sentinel.



### Armadilha automática modelo SkeeterVac

A *SkeeterVac* SV3100 consiste em uma das mais recentes armadilhas desenvolvidas para captura de mosquitos, idealizada para reduzir a quantidade de picadas de mosquitos próximo às residências, pois captura e resseca os espécimes capturados. O equipamento funciona através de um cilindro de gás propano (ou gás de cozinha) que cria sua própria energia para energizar a ventoinha de sucção, convertendo propano em eletricidade. Conforme o gás passa pelo conversor catalítico, é gerado CO<sub>2</sub> como subproduto, que, por sua vez também auxilia na atração dos mosquitos.

Quando o ventilador liga o exaustor, ele expulsa da unidade o CO<sub>2</sub> e um atrativo chamado Octenol, usado no bloco de isca. A armadilha também retém o calor e a umidade que são expelidos gradualmente. Assim, os mosquitos são atraídos pelo

CO<sub>2</sub>, Octenol, umidade e calor. Com essas diversas pistas, os mosquitos se guiam até a armadilha, achando se tratar de uma fonte de repasto sanguíneo, e logo são capturados por sucção na parte superior da armadilha.

Opcionalmente, pode-se utilizar *TacTrap* (papel contacte pegajoso) ao redor do motor SV3000 da armadilha. O padrão listrado na cor branca e preta do papel maximiza o repouso dos mosquitos sobre a superfície grudenta do papel. Pesquisas sobre mosquitos mostraram que eles são atraídos por cores escuras<sup>34</sup>. O design da *TacTrap* com o contraste branco e preto tende a fazer os mosquitos voarem em direção às porções mais largas do *TacTrap*, local que a sucção do ventilador puxa os mosquitos para dentro da gaveta de contenção, onde são desidratados até a morte.



Figura 1.9. Armadilha automática modelo *Skeetervac*.

Instalação de armadilha  
luminosa tipo CDC.  
Foto: Martha Rojas



#### Eficiência das armadilhas para captura de *Mansonia* sp.

Na tentativa de selecionar armadilhas eficientes para a captura de *Mansonia* spp. em substituição à TAHP, quatro armadilhas para mosquitos foram analisadas no P&D da Santo Antônio Energia. A diversidade de Culicidae capturados nas quatro armadilhas foi de 19 espécies. Para o gênero *Mansonia*, foram amostradas cinco espécies, sendo *Mansonia titillans* (Walker) e *Ma. humeralis* Dyar & Knab as mais representativas nas amostragens. *Ma. titillans* e *Ma. humeralis* também foram mais abundantes na TAHP, MosqTent e SkeeterVac. Nas armadilhas CDC-luminosa e BG-Sentinel, as espécies mais abundantes foram

*Ma. titillans* e *Culex* sp., com menor quantidade de espécimes coletados nas duas últimas armadilhas (FIGURA 1.10).

Na TAHP foram amostradas 14 espécies, sendo quatro delas do gênero *Mansonia*. Na MosqTent 13 espécies, sendo quatro espécies de *Mansonia*. Na SkeeterVac nove espécies, e quatro espécies de *Mansonia*. A CDC-luminosa, amostrou o menor número de espécies, apenas cinco destas, três foram de *Mansonia*. Por fim, a BG-Sentinel amostrou seis espécies, sendo apenas duas de *Mansonia* (FIGURA 1.11).

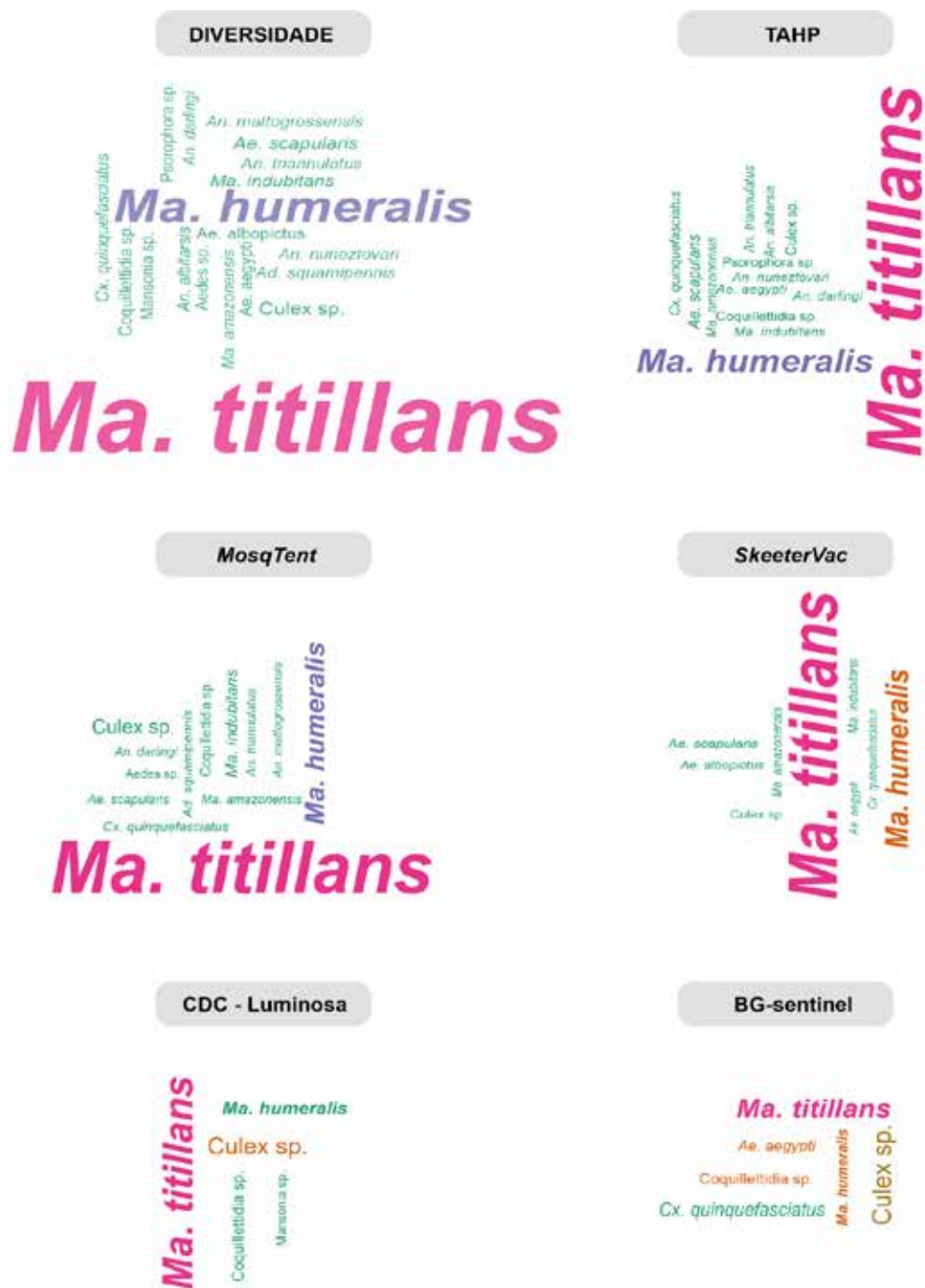


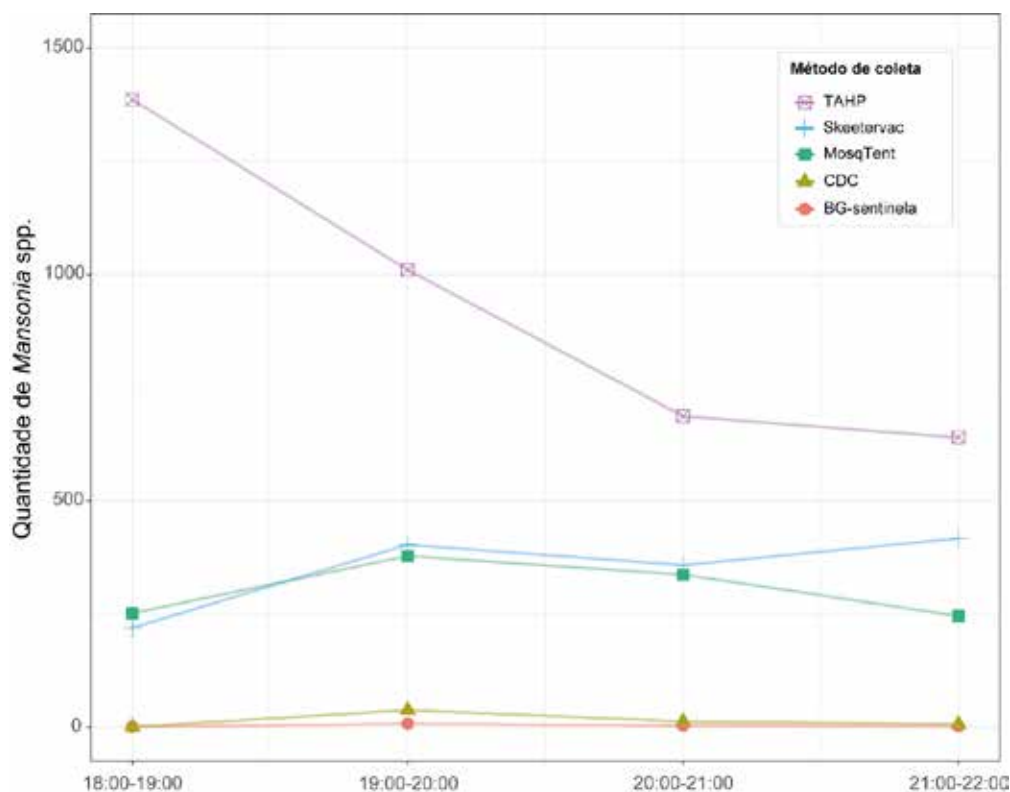
Figura 1.10. Nuvens de palavras representando diversidade e a frequência de espécies coletadas por armadilha. O tamanho das palavras representa a quantidade de espécimes amostrados por armadilha.

Quanto à atividade horária da *Mansonia*, os cinco métodos utilizados mostraram diferenças na densidade de picadas em relação à TAHP. Essa diferença foi mais significativa no primeiro horário de captura, onde a abundância de *Mansonia* foi maior para TAHP e menor nos outros métodos de capturas. A oscilação de mosquitos capturados com *MosqTent* e *SkeeterVac* foram similares, com maior quantidade de espécimes coletados na *SkeeterVac*, po-

rém com baixa qualidade dos exemplares amostrados. Para a BG-Sentinel e CDC, o número de espécimes coletados foi muito baixo (FIGURA 1.11).

Dessa forma, a armadilha alternativa como substituição da TAHP é, dentre as avaliadas, a *MosqTent*, embora para estudos de atividade horária essa armadilha não tenha apresentado o desempenho da TAHP (FIGURA 1.11).

Figura 1.11. Desempenho de quatro armadilhas em relação à Técnica de Atração por Humano Protegido (TAHP) para a captura noturna (das 18:00 às 22:00 horas) de *Mansonia* spp. na zona rural de Porto Velho, Estado de Rondônia.



### Seleção de metodologias para *Mansonia*

O **QUADRO 2** apresenta as vantagens e desvantagens das armadilhas abordadas neste capítulo. Conforme destacamos, a biologia e o comportamento das espécies em estudo devem ser consideradas para a seleção do melhor método de amostragem a ser empregado.

| Nome das armadilhas                         | Vantagens                                                                                                                                                                    | Desvantagens                                                                                                                                                                                                       | Referência                    |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| TAHP                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Boa qualidade das amostras coletadas</li> <li>Baixo custo</li> <li>Grande quantidade de mosquitos antropofílicos</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Risco de infecção dos coletores</li> </ul>                                                                                                                                  | Ministério da Saúde (2019)    |
| Aspirador elétrico ou de Nasci              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fácil manuseio</li> <li>Alta diversidade de mosquitos capturados</li> </ul>                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Baixa qualidade dos espécimes coletados</li> </ul>                                                                                                                          | Nasci (1981)                  |
| Armadilha miniatura CDC com CO <sub>2</sub> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fácil manuseio</li> <li>Captura de mosquitos antropofílicos</li> </ul>                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Custo da armadilha</li> <li>Necessário recargar CO<sub>2</sub></li> </ul>                                                                                                   | Forattini et al. (1987)       |
| Armadilha miniatura CDC com luz             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fácil manuseio</li> <li>Alta diversidade de mosquitos</li> </ul>                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Custo da armadilha</li> <li>Captura apenas mosquitos noturnos</li> <li>Captura muitos outros insetos</li> </ul>                                                             | Sudia e Chamberlain (1962)    |
| Barraca de Shannon                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alta diversidade de mosquitos capturados</li> </ul>                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Precisa de espaço para instalação</li> <li>Captura outros insetos</li> </ul>                                                                                                | Shannon (1939)                |
| <i>MosqTent</i>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alta diversidade de mosquitos capturados</li> </ul>                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Custo da armadilha</li> <li>Precisa de espaço para instalação</li> </ul>                                                                                                    | Lima et al. (2017)            |
| <i>BG-Sentinel</i>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fácil manuseio e instalação</li> <li>Captura mosquitos antropofílicos</li> </ul>                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Custo da armadilha</li> <li>Elevado custo dos atrativos utilizados</li> <li>Necessário recargar CO<sub>2</sub>.</li> </ul>                                                  | BioGents, Regensburg, Germany |
| <i>SkeeterVac</i>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fácil manuseio e instalação</li> <li>Alta diversidade de mosquitos capturados</li> <li>Capturas ininterruptas de mosquitos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Custo elevado da armadilha</li> <li>Custo elevado dos atrativos utilizados</li> <li>Recarga mensal do gás propano</li> <li>Má qualidade dos espécimes capturados</li> </ul> | BlueRhino                     |

Quadro 2. Vantagens e desvantagens das armadilhas para captura de *Mansonia* spp.

**Transporte de espécimes vivos e mortos**

Para o transporte de espécimes vivos ou mortos da fauna brasileira, primeiramente, devem ser requisitados documentos de autorização emitidos pelo ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). A emissão do documento de autorização é realizada mediante o cadastramento do estudo e a inclusão de informações adicionais no site <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/servicos/sistemas/sisbio-sistema-de-autorizacao-e-informacao-em-biodiversidade>. Somente após a emissão do parecer favorável ao estudo deve-se realizar as capturas de campo e as demais etapas do monitoramento ou inventário.

Com todas as documentações em mãos pode-se realizar a coleta, transporte e envio de materiais para especialista. Dependendo do objetivo, os espécimes podem ser mantidos vivos, para ensaios de laboratório e semicampo ou, ainda, se for para fins taxonômicos, os espécimes podem ser apropriadamente mortos e transportados ao laboratório.

Os espécimes vivos, obtidos em campo, podem ser transportados nos próprios copos de capturas ou em gaiolas de papel. Os copos ou gaiolas devem ser acondicionados em caixa de isopor, forradas com papel toalha umidificado com água limpa. Sobre a tela dos copos de captura ou gaiolas, devem ser fornecida solução açucarada de glicose à 10% usando um pedaço de algodão embebido na solução.

A caixa contendo os mosquitos devem ser transportadas de maneira a reduzir ao máximo a sua agitação durante o transporte, evitando, assim, danos provenientes por estresse dos mosquitos dentro desses compartimentos. Os mosquitos coletados podem ser mantidos vivos dessa forma até a realização dos testes, em ambientes com temperatura e umidade controlados ( $26^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$  /  $70\% \pm 15\%$ ) e livres de insetos predadores, especialmente formigas.

Caso o transporte seja de espécimes mortos, com finalidade de identificação taxonômica, os indivíduos podem ser mortos com vapores de acetato de etila ou clorofórmio. Em seguida, acondicionados em tubos ou potes plásticos com naftalina ou sílica gel para manter sua preservação. Tanto a sílica gel quanto a naftalina, devem ser colocadas no fundo dos tubos, em seguida forradas com algodão e papel filtro. Caso haja o interesse em usar as amostras para análises moleculares, deve-se usar apenas a sílica gel nos mosquitos, tendo em vista que a naftalina degrada o material genético.

Posteriormente os espécimes mortos devem ser colocados sobre o papel filtro e cobertos com uma nova camada de papel filtro e algodão. Potes com rosca precisam ser vedados com fita veda rosca ou isolante. Para envio a especialistas, os potes podem ser acondicionados dentro de uma

caixa de papelão forrada com isopor em flocos. Documentos de transporte emitidos pelo ICMBio deverão ser colocados na parte externa da caixa, presa a um saco plástico transparente para facilitar a verificação dos documentos de transporte pelo serviço de correio e/ou fiscalização.

Espécimes para análises moleculares devem ser preservados em tubos ou microtubos ésteres contendo etanol 95%, sílica gel ou soluções específicas dependendo do tipo de teste molecular pretendido. Para mais detalhes consulte os protocolos moleculares em Green e Sambrook (2012)<sup>35</sup>.

---

### Montagem e preservação de espécimes

Após obtenção dos espécimes, os mosquitos podem ser mortos com vapores de acetato de etila ou clorofórmio. Para tanto, os copos com os mosquitos devem ser colocados dentro de um saco plástico com algodão embebido em alguma dessas duas soluções, o saco deve ser fechado com os copos contendo os mosquitos. Opcionalmente, os espécimes podem ser congelados por alguns minutos. Em seguida, os indivíduos devem ser colocados sobre uma mesa forrada com papel filtro branco. Com auxílio de uma pinça de ponta fina procede-se com a triagem e a identificação taxonômica.

Com os mosquitos apropriadamente mortos ou anestesiados, pode-se: identificar, dissecar glândulas e intestinos, ou montá-los em alfinete entomológico. Para a montagem em alfinete, o mosquito deve ser colado em um triângulo de papel com cola branca ou esmalte incolor. Os espécimes devem ser montados sempre na mesma posição, pernas para o lado do alfinete e tórax para

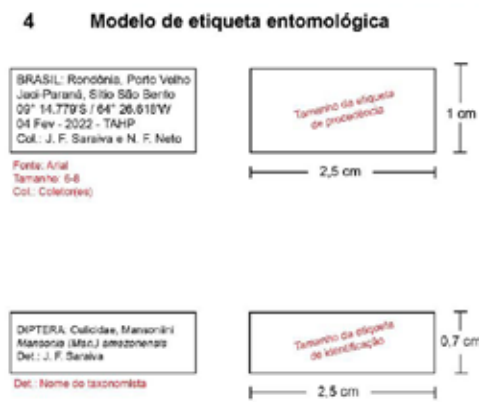
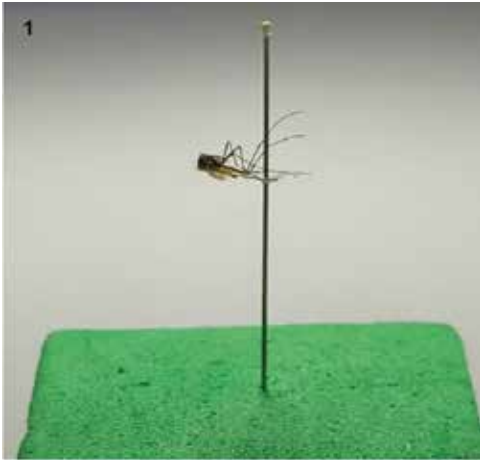
fora, lado direito do mosquito colado ao triângulo e lado esquerdo para cima, livre para exame. Bloco com espaçadores podem ser utilizados para padronizar os espaços entre a cabeça do alfinete, o triângulo, a etiqueta de procedência (local, data, coordenadas, coletor etc.) e etiqueta de identificação taxonômica (nome da espécie).

Os espécimes montados em alfinete deverão ser preservados em caixas entomológicas com naftalina para evitar o crescimento de fungos e a presença de insetos pragas de coleção. As caixas entomológicas também precisam ser armazenadas em ambiente climatizado, com umidade e iluminação controladas.

Formas imaturas e suas exúvias, quando disponíveis, podem ser preservadas em tubos ou microtubos contendo etanol 80%. Tanto as larvas quanto as pupas e exúvias podem ser montadas em lâminas com bálsamo do Canadá para exames no microscópio bacteriológico. Para mais

detalhe sobre o protocolo de montagem em lâminas com bálsamo do Canadá, re-  
comendamos o disponível em Consoli e Oliveira (1994)<sup>23</sup>.

Figura 1.12. Montagem de mosquito adulto em alfinete entomológico. 1. Posição do mosquito no alfinete, 2. Materiais necessários para a montagem, 3. Detalhe da posição do mosquito no triângulo de papel, e 3. Modelo de etiqueta entomológica.





## Referências

1. Gomes A de C. Vigilância entomológica. *Inf Epidemiológico do Sus*. 2002;11(2):79-90. doi:10.5123/s0104-16732002000200004
2. Donalísio MR, Glasser CM. Vigilância entomológica e controle de vetores do dengue. *Rev Bras Epidemiol*. 2002;5(3):259-279. doi:10.1590/s1415-790x2002000300005
3. Brasil M da S. *Guia de Vigilância Em Saúde*. 5a. Ministério da Saúde; 2021.
4. Maciel Filho AA, Góes Jr CD, Cancio JA, Oliveira ML, Costa SS da. Indicadores de Vigilância Ambiental em Saúde. *Inf Epidemiológico do Sus*. 1999;8(3):59-66. doi:10.5123/s0104-16731999000300004
5. Ibáñez Bernal S, Gómez Dantés H. Los vectores del dengue en México una revisión crítica. *Salud Publica Mex*. 1995;37(January 1995):53-63.
6. World Health Organization. A system of world-wide surveillance for vectors. Published online 1972.
7. Iniciativa de Eliminação da Malaria. *Ferramenta de Planeamento de Vigilância Entomológica (FPVE)*. (Global I para as C da S, ed.). Universidade da Califórnia; 2020.
8. Brasil M da S. *Diretrizes Nacionais Para a Prevenção e Controle de Epidemias de Dengue*; 2009. [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes\\_nacionais\\_prevencao\\_controle\\_dengue.pdf](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_nacionais_prevencao_controle_dengue.pdf)
9. Organización Panamericana de la Salud. *Métodos de Vigilancia Entomológica y Control de Los Principales Vectores En Las Américas*. (Organización Mundial de la Salud, ed.). Organización Panamericana de la Salud - OPS; 2021.
10. Brasil M da S. *Controle Da Malária Guia Para Gestão Local Do*; 2009.
11. Valle D, Aguiar R, Pimenta DN, Ferreira V. *Aedes de A a Z*. (Fiocruz, ed.). Coleção Temas em Saúde; 2021.
12. Brasil M da S. *Levantamento Rápido Para Índices de Aedes Aegypti – LIRAA, – Para Vigilância Entomológica Do Aedes Aegypti. Metodologia Para Avaliação Do Índices de Breteau e Predial e Tipo de Recipientes*. Ministério da Saúde; 2013. [www.saude.gov.br/svs%0Awww.saude.gov.br/bvs](http://www.saude.gov.br/svs%0Awww.saude.gov.br/bvs)
13. Campos KB, Martins AJ, Rodovalho C de M, et al. Assessment of the susceptibility status of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) populations to pyriproxyfen and malathion in a nation-wide monitoring of insecticide resistance performed in Brazil from 2017 to 2018. *Parasites and Vectors*. 2020;13(1):1-18. doi:10.1186/s13071-020-04406-6
14. Corrêa APS de A. Avaliação da eficiência do levedo de cerveja como atrativo para *Aedes (Stegomyia) aegypti* Linnaeus, 1762 (Diptera: Culicidae) em armadilhas do tipo ovitrampas no município de Macapá, Amapá. Published online 2013.
15. Gomes A de C. Medidas dos níveis de infestação urbana para *Aedes (stegomyia) aegypti* e *Aedes (stegomyia) albopictus* em Programa de Vigilância Entomológica. *Inf Epidemiológico do Sus*. 1998;7(3):49-57. doi:10.5123/s0104-16731998000300006
16. Avendanha JS. Monitoramento vetorial e do vírus dengue, Belo Horizonte, Minas Gerais. Published online 2006.
17. Brasil M da S. *Guia Para o Planejamento Das Ações de Captura de Anofelinos Pela Técnica de Atração Por Humano Protegido (TAHP) e Acompanhamento Dos Riscos à Saúde Do Profissional Capturador*. 1st ed. (Ministério da Saúde M, ed.). Secretaria de Vigilância em Saúde; 2019.

18. Lima, J.B.P., Galardo, A.K.R., Bastos, L.S., Lima, A.W.S., Rosa-Freitas MG. MosqTent: An individual portable protective double-chamber mosquito trap for anthropophilic mosquitoes. *PLoS Negl Trop Dis*. 2017;11(5):e0005578. doi:10.1371/journal.pntd.0005578
19. Kline DL. Traps and Trapping Techniques for Adult Mosquito Control. *J Am Mosq Control Assoc*. 2006;22(3):490-496. doi:https://doi.org/10.2987/8756-971X(2006)22
20. Muirhead-Thompson RC. *Trap Responses of Flying Insects: The Influence of Trap Design on Capture Efficiency*. USA. Academic press limited; 1991.
21. Lima JBP, Rosa-Freitas MG, Rodvalho CM, Santos F, Lourenço-de-Oliveira R. Is there an efficient trap or collection method for sampling *Anopheles darlingi* and other malaria vectors that can describe the essential parameters affecting transmission dynamics as effectively as human landing catches? - A review. *Mem Inst Oswaldo Cruz*. 2014;109(5):685-705. doi:10.1590/0074-0276140134
22. Forattini OP. *Culicidologia Médica: Identificação, Biologia, Epidemiologia*. Vol. 2. (USP, ed.). Edusp; 2002.
23. Consoli, R. A. G. B., Lourenço-de-Oliveira R. *Principais Mosquitos de Importância Sanitária No Brasil*. 1st ed. (Fiocruz, ed.). Fiocruz; 1994.
24. Buxton PA. An aspirator for catching midges. *Trans R Soc Trop Med Hyg*. 1928;22(2):179-180. doi:10.1016/S0035-9203(28)90011-5
25. Nasci RS. A lightweight battery-powered aspirator for collecting resting mosquitoes in the field. *Mosq News*. 1981;41(4):808-811.
26. Mulhern TD. New Jersey mechanical trap for mosquito surveys. *J Am Mosq Control Assoc*. 1942;1(4)(421):8.
27. Bellamy, R.E., Reeves WC. A portable mosquito bait-trap. *Mosquitoes News*. 1952;12(4):256-258.
28. Nelson, D. B., Chamberlain RW. A light trap and mechanical aspirator operating on dry cell batteries. *Mosquitoes News*. 1955;15(1):28-32.
29. Sudia, W.D., Chamberlain RW. Battery-operated light trap, an improved model. *Mosquitoes News*. 1962;22(2):126-129.
30. Forattini, O. P., Gomes, A. D. C., Natal, D., Kakitani, I., & Marucci D. Preferências alimentares de mosquitos Culicidae no Vale do Ribeira, São Paulo, Brasil. *Rev Saude Publica*. 1987;21:171-187.
31. Shannon RC. Methods for Collecting and Feeding Mosquitoes in Jungle Yellow Fever Studies1. *Am J Trop Med Hyg*. 1939;1(2):131-140.
32. SILVER JB. *Mosquito Ecology: Field Sampling Methods*. 3th ed. (Springer, ed.). Science and Business Media B.V.; 2007.
33. Nascimento-Carvalho ES do, Cesário R de A, do Vale VF, Aranda AT, Valente AC dos S, Maia-Herzog M. A new methodology for sampling blackflies for the entomological surveillance of onchocerciasis in Brazil. Diemert DJ, ed. *PLoS One*. 2017;12(7):e0179754. doi:10.1371/journal.pone.0179754
34. Bidlingmayer WL. How mosquitoes see traps: role of visual response. *J Am Mosq Control Assoc*. 1994;10(2):272-279.
35. Green, M.R., Sambrook JF. *Molecular Cloning: A Laboratory Manual*. 4th ed. Laboratory Press; 2012.





Capítulo 7

# CONTROLE DE *MANSONIA*

**Cynara de Melo Rodovalho**

**Jéssica Fernanda dos Santo Barroso**

**Nercy Virginia Rabelo Furtado**

**José Ferreira Saraiva**

**José Bento Pereira Lima**

**Allan Kardec Ribeiro Galardo**

xxx

O controle de vetores pode diminuir a transmissão do agravo por meio da redução da população do vetor, diminuição do tempo de vida e da prevenção da picada e alimentação<sup>1</sup>. Com relação aos mosquitos, o controle populacional vem evoluindo ao longo dos séculos, à medida que estudos foram intensificados e demonstraram a importância da relação entre mosquitos, hospedeiros e patógenos na dinâmica da transmissão de doenças. Não só o papel na transmissão de patógenos, mas outros fatores, como alergias, irritação e perda de sangue em animais impactaram e revolucionaram o desenvolvimento de uma infinidade de técnicas e abordagens para controle de mosquitos ao longo do tempo<sup>2</sup>.

O controle eficaz de mosquitos é baseado nos princípios do manejo integrado de pragas (IPM). Estes princípios apresentam múltiplas ferramentas que podem ser adaptadas e aplicadas aos requisitos específicos para cada situação, a fim de explorar a vulnerabilidade dos mosquitos e manter um ambiente de qualidade<sup>3</sup>.

Dados de programas de controle voltados para o combate a *Mansonia Blanchard*, 1901 são escassos na literatura, porém normalmente essas ações são baseadas no controle mecânico, a partir da retirada de macrófitas das áreas de interesse<sup>4</sup> ou no controle biológico, com aplicação de *Bacillus thuringiensis* (Berliner, 1915) ou *Lysinibacillus sphaericus* (Meyer & Neide, 1904), anteriormente conhecido como *Bacillus sphaericus* (Bs), nos criadouros para combate das formas imaturas<sup>5-9</sup>.

Aspectos importantes e mais detalhados do controle mecânico usado para *Mansonia* foram abordados no capítulo anterior. O presente capítulo traz pontos relevantes do controle químico e biológico de mosquitos vetores, com comentários e indicações de ferramentas que possam ser usadas no controle de *Mansonia*.

O controle de vetores pode diminuir a transmissão do agravo por meio da redução da população do vetor, diminuição do tempo de vida e da prevenção da picada e alimentação<sup>1</sup>. Com relação aos mosquitos, o controle populacional vem evoluindo ao longo dos séculos, à medida que estudos foram intensificados e demonstraram a importância da relação entre mosquitos, hospedeiros e patógenos na dinâmica da transmissão de doenças. Não só o papel na transmissão de patógenos, mas outros fatores, como alergias, irritação e perda de sangue em animais impactaram e revolucionaram o desenvolvimento de uma infinidade de técnicas e abordagens para controle de mosquitos ao longo do tempo<sup>2</sup>.

O controle eficaz de mosquitos é baseado nos princípios do manejo integrado

de pragas (IPM). Estes princípios apresentam múltiplas ferramentas que podem ser adaptadas e aplicadas aos requisitos específicos para cada situação, a fim de explorar a vulnerabilidade dos mosquitos e manter um ambiente de qualidade<sup>3</sup>.

Dados de programas de controle voltados para o combate a *Mansonia* Blanchard, 1901 são escassos na literatura, porém normalmente essas ações são baseadas no controle mecânico, a partir da retirada de macrófitas das áreas de interesse<sup>4</sup> ou no controle biológico, com aplicação de *Bacillus thuringiensis* (Berliner, 1915) ou *Lysinibacillus sphaericus* (Meyer & Neide, 1904), anteriormente conhecido como *Bacillus sphaericus* (Bs), nos criadouros para combate das formas imaturas<sup>5-9</sup>.

Aspectos importantes e mais detalhados do controle mecânico usado para *Mansonia* foram abordados no capítulo anterior. O presente capítulo traz pontos relevantes do controle químico e biológico de mosquitos vetores, com comentários e indicações de ferramentas que possam ser usadas no controle de *Mansonia*.

---

## Controle químico

O controle de muitas espécies de vetores de importância em saúde pública e, em consequência, de muitas doenças, é possível através de produtos químicos, co-

nhecidos como pesticidas, sendo que os compostos usados especificamente contra insetos são popularmente conhecidos como inseticidas. Apesar do controle químico

mico ser uma das estratégias mais utilizadas, diminuindo rapidamente a densidade de insetos pragas, alguns compostos podem permanecer no ambiente por longos períodos, afetar insetos não-alvo e selecionar insetos resistentes.

O uso de diferentes substâncias para combater insetos pragas, especialmente químicos naturais, está registrado na

história de diferentes países e culturas, com algumas práticas conhecidas desde 1.000 a.C. (revisão por Oberemok e colaboradores)<sup>10</sup>. Porém, foi somente na década de 1940, com a descoberta das propriedades inseticidas do Dicloro-Difenil-Tricloroetano (DDT), que esse e outros compostos passaram a ser produzidos e usados no combate a diferentes organismos<sup>11</sup>.

---

### Classificação dos inseticidas

Segundo Rezende-Teixeira e colaboradores<sup>12</sup>, os inseticidas podem ser classificados de diferentes formas, dependendo da sua origem, modo de entrada no organismo, estágio de vida em que atuam e geração de desenvolvimento.

Levando em conta sua origem, podem ser inorgânicos (compostos de origem mineral contendo arsênio ou flúor, por exemplo) ou orgânicos (compostos de origem animal, vegetal ou sintéticos orgânicos).

Quando o critério de classificação é o modo de entrada no organismo, o inseticida pode ser de contato, isto é, penetra através da cutícula; veneno estomacal, ou seja, são ingeridos e atuam no sistema digestivo; ou fumegante, substância química volátil e tóxica em temperatura ambiente que penetra pelo sistema respiratório (espiráculos, traqueia).

Quando a classificação é feita baseada no estágio de vida em que atuam os inseticidas, podem ser ovicidas, larvicidas, pupicidas ou adulticidas.

Além desses critérios, os inseticidas podem ser classificados com base nas suas gerações. Os de primeira geração são inseticidas inorgânicos ou de origem vegetal, enquanto os de segunda geração compreendem os orgânicos sintéticos. Os de terceira geração são químicos mais recentes com ação no crescimento, desenvolvimento, reprodução e metamorfose, os chamados reguladores do crescimento de insetos (IGRs). Já os de quarta geração são os compostos da "Era de Ouro" (*Golden Age*) da engenharia genética, derivados de proteínas, peptídeos isolados de bactérias, baculovírus e organismos geneticamente modificados.

### Diferentes grupos e modos de ação

Os inseticidas podem ainda ser divididos em diferentes grupos baseados na sua composição e modo de ação. Desde a Segunda Guerra Mundial, quando o DDT, primeiro inseticida com efeito residual foi descoberto e passou a ser utilizado na agricultura e para controle de doenças, os grupos mais usados em programas de controle de vetores de todo o mundo foram os organoclorados, carbamatos, organofosforados e piretróides, todos com ação em diferentes moléculas do sistema nervoso dos insetos<sup>10</sup>. Além desses, também existe o grupo dos neonicotinoides, que atuam como antagonistas dos receptores nicotínicos de acetilcolina, porém, são alvo de discussões e controvérsias pelo efeito adverso em insetos benéficos, como nas abelhas<sup>13</sup>. Mais recentemente, por volta dos anos 1990, devido à perda

de eficiência dos produtos disponíveis, ocasionada pela seleção de resistência em diversas populações de vetores do mundo, foi intensificada a busca por moléculas com mecanismos de ação mais específicos e menos agressivos tanto para o ambiente como para organismos não-alvo. Assim, o grupo dos IGRs que mimetizam hormônios (análogos de hormônio juvenil e análogos de ecdisona) ou inibem a síntese da quitina passou a ser usado, tornando-se popular<sup>12</sup>. Além desses, buscando minimizar os efeitos negativos da resistência a inseticidas e contornar os mecanismos de resistência selecionados, as empresas vêm desenvolvendo fórmulas de inseticidas que são combinações de compostos de diferentes grupos e com atuações em alvos distintos no organismo do inseto, as conhecidas misturas.

Ambiente lântico nas proximidades do rio Madeira, Porto Velho (RO)  
Foto: Saulo Simões



### ***Organoclorados***

Os inseticidas que apresentam cloro em sua molécula fazem parte desse grupo e podem ser divididos em difenil-alifáticos, hexaclorociclohexanos, ciclodienos e policloroterpenos. O grupo dos difenil-alifáticos é o mais antigo e inclui o DDT que apresenta como alvo o canal de sódio regulado por voltagem. Químicos do grupo dos hexaclorociclohexanos apresentam ação semelhante à do DDT, enquanto os ciclodienos são inibidores do receptor de ácido gama-aminobutírico (GABA), impedindo a entrada de íons de cloro nos neurônios<sup>14</sup>.

O uso de DDT e outros organoclorados revolucionou o controle da malária em diversas partes do mundo nas décadas de 1950, 1960 e 1970. Todavia, a partir dos anos 1970, esses compostos foram descontinuados e proibidos para uso agrícola em muitos países devido à longa persistência no ambiente e acúmulo em tecidos gordurosos de organismos não-alvo. Mesmo assim, o DDT ainda é usado em quantidades limitadas para controle de insetos vetores em vários locais<sup>11,14</sup>.

---

### ***Carbamatos***

Os carbamatos passaram a ser comercializados por volta dos anos 1950<sup>12,14</sup>. Esses compostos são derivados do ácido carbâmico e atuam inibindo uma enzima importante do sistema nervoso central, a acetilcolinesterase, responsável pela

degradação da acetilcolina. Agem rapidamente matando o inseto, porém, não apresentam um bom efeito residual. Como exemplo de produtos usados para controle de vetores, pode-se citar o Bendiocarb e o Propoxur.

---

### ***Organofosforados***

Os inseticidas desse grupo contêm fósforo em sua molécula e, similarmente aos carbamatos, atuam inibindo de forma irreversível a enzima acetilcolinesterase, o que leva a um acúmulo de acetilcolina nas fendas sinápticas e impede a interrupção da propagação do impulso elétrico. Esses compostos foram descobertos posteriormente aos carbamatos e apresentam vantagens para uso em saúde pública, já que são biodegradáveis e não se acumulam nos tecidos. Como desvan-

tagem, não apresentam um efeito residual prolongado devido à instabilidade química<sup>12,14</sup>. Entretanto, esse grupo ainda é um dos mais usados para controle de insetos<sup>10</sup>. Os organofosforados são divididos em três subgrupos: os alifáticos, os derivados do fenil e os heterocíclicos. Como representantes pode-se citar o Temephos – único larvicida desse grupo recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) para uso em água potável – e o Malathion.

### **Piretroides**

As piretrinas foram um dos primeiros inseticidas naturais usados desde a antiguidade, sendo obtidas a partir de preparações botânicas. Atualmente, os piretróides são o maior grupo de inseticidas neurotóxicos composto por análogos sintéticos dos ésteres de ácido crisantêmico (piretrina I) e ácido pirétrico (piretrina II) encontrados nas flores de crisântemo<sup>11</sup>. Sua popularidade deve-se à baixa toxicidade para animais de sangue quente e baixa persistência no ambiente<sup>10</sup>, sendo os principais compostos de inseticidas de uso doméstico.

Os piretróides, assim como o DDT, tem como alvo proteínas transmembranares chamadas canais de sódio regulado por voltagem (NaV) presentes nas membranas de células nervosas. Essas moléculas são responsáveis pela despolarização da membrana e propagação do impulso nervoso. Na presença do inseticida, esses canais permanecem abertos, levando a um estado de hiper excitabilidade da célula nervosa, com consequente paralisia e morte do inseto<sup>15</sup>. Os representantes desse grupo são a permetrina, deltametrina, cipermetrina, etofenprox, alphacipermetrina, entre outros.

---

### **Neonicotinoides**

Esses compostos se ligam de forma irreversível aos receptores nicotínicos da acetilcolina, levando a uma superestimulação das células nervosas até a paralisção do inseto. Apresentam ação contra um espectro grande de organismos, tanto por ingestão (forma oral), como

por contato. Dentre as vantagens para uso desse grupo de inseticidas pode-se citar a alta eficácia e características ambientais e toxicológicas favoráveis<sup>10</sup>. Exemplos de neonicotinoides são imidacloprida, thiamethoxam, clothianidina, thiaclopride e acetamiprida.

---

### **IGR**

Os reguladores do desenvolvimento de insetos interferem no sistema endócrino ou em outros aspectos do metabolismo. Em geral, os IGR apresentam altos níveis de atividade e eficácia no controle de várias espécies de insetos, em diferentes ambientes<sup>14,16</sup>.

Dentre os IGRs, as benzoil-fenil-ureias agem inibindo a síntese de quitina

(polímero de açúcar que é o principal componente do exoesqueleto e de outras estruturas do inseto), o que interfere com a formação da cutícula cada vez que o inseto inicia a muda e, por isso, são relativamente não tóxicas aos vertebrados<sup>14,16</sup>. Todavia, possuem um alto potencial para bioacumulação na cadeia alimentar e apresentam risco aos organismos aquáticos<sup>10</sup>. Como exemplos dos

compostos mais utilizados pode-se citar o Diflubenzuron e o Triflumuron.

Os análogos de hormônio juvenil, ou terpenóides, interferem no sistema endócrino dos insetos, sendo que nos

estágios imaturos conferem um caráter juvenil, inibindo a emergência dos adultos<sup>14</sup>. Entre os produtos recomendados pela OMS para controle de larvas de mosquitos tem-se o Methoprene e o Pyriproxifen.

### **Misturas**

Novos compostos estão sendo desenvolvidos e usados em saúde pública, buscando-se mitigar e contornar problemas causados pela seleção de populações de vetores resistentes a inseticidas. Nesse contexto, novas formulações foram desenvolvidas a partir da combinação de princípios ativos provenientes de classes de inseticidas distintos, com diferentes mecanismos de ação e moléculas-alvo e essas misturas são pré-qualificadas pela OMS para uso em saúde

pública<sup>17</sup>. Como exemplos pode-se citar a combinação de neonicotinoides e piretroides (clotianidina + deltametrina e imidaclopride + pralletrina); butenolidos (uma molécula sintética que atua sobre o receptor nicotínico de acetilcolina) e piretroides (flupiradifurona + transflutrina); pirroles (desacopladores de fosforilação oxidativa via interrupção do gradiente de prótons, o que impede a produção de ATP) e piretroides (clorfenapir + alfa-cipermetrina).

Poça temporária no  
entorno do reservatório da  
UHE Santo Antônio, Porto  
Velho (RO)

Foto: Saulo Simões



## Principais ferramentas para controle químico

Embora *Mansonia* tenha sido encontrada infectada com *Brugia malayi*<sup>18</sup>, *Wuchereria bancrofti*<sup>19</sup>, *Rickettsia*<sup>20</sup>, Zika<sup>21</sup>, vírus do Oeste do Nilo<sup>22</sup>, vírus da encefalite St. Louis<sup>22</sup> e outros vírus<sup>8,23-25</sup>, no Brasil não há programas de controle estruturados ou estratégias direcionadas especificamente para esse vetor. Todavia, devido à similaridade dos criadouros e dos ambientes em que as espécies se desenvolvem e estão presentes, muitas das ferramentas e produtos utilizados para controle de *Anopheles*

Meigen tornam-se opções também para *Mansonia*.

As estratégias para controle de anofelinos são baseadas, principalmente, no controle químico por meio do uso de mosquiteiros impregnados com inseticidas, especialmente os de longa duração, e borrifação residual de paredes internas das residências. Essas medidas contribuíram com a redução, respectivamente, de 68% e 10% dos casos de malária em países da África<sup>27</sup>.

---

### Mosquiteiros impregnados

Existem dois tipos de mosquiteiros impregnados: os mosquiteiros tratados com inseticidas e os mosquiteiros impregnados de longa duração. O primeiro tipo consiste em uma malha embebida com o produto químico por meio do mergulho do mosquiteiro em uma solução de água e inseticida. A malha atua como barreira física e confere proteção adicional ao repelir os insetos e/ou matá-los quando entram em contato com o mosquiteiro. O tratamento produz um efeito protetivo que dura de 6 a 12 meses, dependendo das lavagens e manuseio, necessitando de impregnações periódicas. O segundo tipo consiste em uma malha na qual o inseticida é incorporado à fibra ou ligado à trama durante sua confecção. O mosquiteiro confere proteção da mesma forma que o mosquiteiro impregnado, descrito anteriormente, mas mantém seu efei-

to biológico por pelo menos 20 lavagens (quando seguido o padrão correto de lavagem), podendo durar por três anos de uso<sup>1</sup>.

Os mosquiteiros impregnados vêm sendo globalmente distribuídos pelos fabricantes para os países em situação endêmica de malária, sendo a principal ferramenta para o controle dos vetores. Os mosquiteiros impregnados inibem a alimentação antes que a fêmea do mosquito possa inocular a pessoa com patógenos e o inseticida presente na malha confere um efeito letal ao vetor. Isso fornece tanto uma proteção pessoal quanto um “efeito em massa” na população do vetor quando há altas taxas de cobertura. Assim, mesmo que uma única casa na região apresente pessoas dormindo sob mosquiteiros tratados e os

vizinhos não façam uso da ferramenta, haverá algum grau de proteção para os indivíduos da casa<sup>28</sup>.

Dados coletados desde 2004 mostram que mais de 85% dos países que recebem

os mosquiteiros tratados se encontram na África Subsaariana, sendo que os mosquiteiros distribuídos são impregnados com piretróides e PBO (butóxido de piperonila) ou uma combinação de dois ingredientes ativos<sup>29</sup>.

---

### ***Borrifação residual de paredes***

A borrifação residual de paredes consiste na aplicação de um inseticida residual, de longa duração, em superfícies que são potenciais locais de descanso para vetores, como paredes internas, beirais e tetos de residências ou estruturas, incluindo abrigos de animais domésticos, onde os vetores podem entrar em contato com os produtos químicos.

É um método altamente efetivo quando aplicado corretamente, mas que requer capacidade, estrutura e sistemas adequados por parte dos programas de controle. É uma intervenção poderosa que reduz rapidamente a densidade e longevidade de vetores adultos e, em consequência, a transmissão de doenças, especialmente a malária<sup>28</sup>. Todavia, segundo dados da OMS, a porcentagem da população mundial sob risco de malária e que estão protegidas pela borrifação residual caiu entre 2010 e 2020<sup>30</sup>.

Assim como acontece com os mosquiteiros impregnados, essa intervenção é mais efetiva quando aplicada a vetores endofágicos, isto é, aqueles

que se alimentam dentro das casas, e endofílicos, ou seja, aqueles que descansam dentro das residências<sup>30</sup>. O sucesso dessa intervenção baseia-se no fato de que os principais vetores de malária são endofílicos, ou seja, quando estão em busca de alimentação sanguínea as fêmeas entram nas habitações humanas ou nos abrigos de animais e descansam nas paredes, tetos e outras superfícies internas antes e após de se alimentarem nos residentes. Quando o vetor entra em contato com uma superfície borrifada, ele absorve uma dose letal do inseticida, o que reduz o seu tempo de vida. Isso resulta em um declínio progressivo da densidade e longevidade do vetor, especialmente entre fêmeas mais velhas, bem como em uma redução geral da capacidade vetorial, tendo como consequência uma redução na transmissão da doença<sup>28</sup>.

De acordo com a OMS, para que operações de borrifação de paredes apresentem resultados efetivos, alguns aspectos são necessários: (i) comprometimento político e social adequados para aceitação da ferra-

menta; (ii) programa adequado e capacidade do sistema de saúde para entregar uma borrifação de alta cobertura, boa qualidade e em tempo ideal; (iii) informação adequada sobre os vetores locais, especialmente no que se refere ao *status* de suscetibilidade a inseticidas e aos comportamentos de alimentação e descanso dentro ou fora das residências; (iv) recursos humanos, financeiros e logística adequados e sustentáveis; (v) plataforma de manejo integrado de vetores, também relevante para o manejo de resistência a inseticidas, na qual os inseticidas com diferentes modos de ação podem ser rotacionados para redução da seleção de resistência<sup>28</sup>.

Diferentemente dos mosquiteiros impregnados com inseticidas, para que a borrifação residual seja efetiva e traga níveis maiores de proteção aos indivíduos de uma área, se faz necessária uma grande cobertura (> 85 %) de todas as estruturas que são potenciais locais de descanso para os vetores para que seja obtido um “efeito em massa” na população de mosquitos. Ou seja, a borrifação de somente uma casa na região trará baixa proteção aos residentes, já que as fêmeas tendem a entrar em contato com o inseticida e absorverem a dose letal após alimentação e a proteção conferida por repelência e redução do número de mosquitos que entram na casa é muito pequena<sup>28</sup>.

---

### Estratégias complementares e alternativas

Por muito tempo, o uso de ferramentas para controle químico no interior de residências se mostrou efetivo contra a maioria das espécies e populações de vetores endofágicos e endofílicos relacionados

com a transmissão da malária<sup>31</sup>. Todavia, a rápida seleção e espalhamento da resistência entre os vetores são uma ameaça ao controle e novas estratégias podem ser empregadas visando melhores resultados.

---

#### **Larvicidas**

Devido às características dos criadouros de anofelinos, *Mansonia*, entre outros culicídeos, o controle larval se torna difícil e menos utilizado. Todavia, a OMS recomenda medidas de controle larval como ações complementares aos mosquiteiros impregnados ou borrifação residual em

áreas que os criadouros são poucos, fixos e finitos<sup>1,28</sup>. Como exemplo podem ser citados canais de irrigação, barragens e tanques de piscicultura. O Temephos é um exemplo de inseticida químico indicado e que é aprovado e seguro para uso em água potável.





Comunidade ribeirinha  
do rio Madeira  
(ao fundo), Porto  
Velho, RO.  
Foto: Saulo Simões

***Borrifação espacial***

A borrifação espacial compreende o uso de um inseticida aerossol no ar. O tratamento mata insetos que estejam voando na hora da aplicação, porém, não apresenta efeito residual. A borrifa-

ção espacial é recomendada pela OMS somente em situações extremas para controle de malária, tais como epidemias em áreas urbanas ou em campos de refugiados<sup>1</sup>.

---

***Materiais tratados com inseticidas***

Materiais como roupas, tendas e cobertores tratados com inseticidas também podem funcionar como estratégia complementar e proteção individual efetiva, especialmente em emergên-

cias. O uso de piretróides para esse fim é uma medida efetiva mesmo em áreas de populações resistentes do vetor, devido ao efeito repelente causado pelo químico<sup>32</sup>.

---

***Tratamento de gado e pessoas***

O uso de animais para atrair vetores ou de animais tratados com inseticidas podem ser alternativas suplementares para eliminar doenças ou insetos em áreas que os vetores se alimentam tanto em humanos como em animais. Alguns estudos realizados em países da Ásia e África mostraram que essas estratégias podem ser uma opção para a redução da malária<sup>32</sup>.

Outra ferramenta que vem ganhando espaço é o uso da Ivermectina para

tratamento em massa de pessoas. A Ivermectina é um medicamento usado no tratamento de parasitas, mas que tem se mostrado eficiente para eliminar vetores, interferir em diferentes processos biológicos ou mesmo na capacidade vetorial desses insetos<sup>32-34</sup>. A OMS tem considerado a administração em massa da Ivermectina como ferramenta complementar para controle de mosquitos que tenham comportamento de se alimentar em ambientes externos.

### Controle químico de *Mansonia*

Não há dados disponíveis sobre programas de controle utilizando ferramentas químicas que sejam voltados para *Mansonia*. Entretanto, alguns trabalhos publicados trazem dados sobre avaliações de estratégias e intervenções baseadas no controle químico, bem como avaliações de resistência a inseticidas para diferentes vetores, com inclusão dos resultados obtidos para algumas espécies de *Mansonia*. Agossa et al.<sup>35</sup>, avaliaram o impacto da resistência na efetividade da borrifação intradomiciliar com piretróides e no uso de mosquiteiros impregnados de longa duração e observaram que os piretróides apresentam alta toxicidade para *Mansonia africana* (Theobald, 1901). Ogoma et al.<sup>36</sup> desenvolveram um emanador de baixa tecnologia, tratado com Transflutrin, e concluíram que é uma ferramenta segura, acessível, que confere uma proteção de

longa duração contra diferentes mosquitos, incluindo *Mansonia*, que atacam as pessoas em ambientes externos, quando não podem se proteger com mosquiteiros impregnados ou borrifação residual com inseticidas. Karungu et al.<sup>8</sup> publicaram uma revisão sobre os principais mosquitos vetores do Quênia e as estratégias de controle em uso ou que ainda podem ser aplicadas no país.

No Brasil, durante um programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para *Mansonia* na área da Usina Hidrelétrica (UHE) Santo Antônio, em Porto Velho, Rondônia, foram realizados ensaios em laboratório utilizando a metodologia OMS de tubos e papéis impregnados com inseticidas<sup>29</sup> (FIGURA 7.1), sendo que permetrina e cipermetrina foram considerados produtos adequados para



Figura 7.1. Teste de papéis impregnados com inseticidas para avaliação do efeito de diferentes produtos sobre fêmeas adultas de *Mansonia*.

Figura 7.2. Teste de inseticidas de ação espacial. A) Preparação do termonebulizador, B) mosquitos em gaiolas expostas às partículas do inseticida, C) termonebulização de domicílio e D) avaliação do efeito inseticida sobre os mosquitos expostos à névoa de inseticida.



serem usados em ensaios de aplicação espacial, enquanto etofenprox e deltametrina foram escolhidos para ensaios de borrifação de paredes e avaliação do efeito residual. Além disso, organofosforados, como o malathion, não são a primeira recomendação para uso espacial e residual, porém, podem ser uma alternativa, caso os produtos mais indicados não sejam mais uma opção.

Testes preliminares de aplicação espacial em residências foram realizados (FIGURA 7.2) e mostraram que a per-

metrina apresenta efeito no controle de *Mansonia*, desde que respeitadas a distância de aplicação (sete metros) e a vazão da bomba do equipamento (350 mL/min).

Com relação à avaliação do efeito residual de piretróides, foram conduzidos ensaios de cones e painéis de alvenaria e madeira impregnados com inseticidas. Apesar de se tratar de testes preliminares, os melhores resultados foram obtidos com Deltametrina borrifada em painéis de alvenaria (FIGURA 7.3).

Mais testes devem ser realizados em laboratório, bem como ensaios devem ser conduzidos em campo para confirmação dos resultados obtidos e da eficácia dessas ferramentas e dos inseticidas indicados para o controle de *Mansonia*.

É importante lembrar que estratégias de controle baseadas no controle químico só são efetivas se a população-alvo for suscetível aos compostos utilizados. Sendo assim, ações de monitoramento da resistência a inseticidas são recomendadas pela OMS<sup>29</sup>.



Figura 7.3. Teste de painéis impregnados. A) Borrifação de painéis com inseticidas residuais, B) exposição de mosquitos aos inseticidas através de cones, C) painel com mosquitos e D) copos com mosquitos após teste de painel impregnado com inseticidas.

## Controle biológico

O controle biológico consiste na redução de pragas agrícolas e insetos por meio do uso de inimigos naturais específicos, como predadores, patógenos e parasitos. No âmbito do controle de insetos vetores de patógenos, essa abordagem começou a ter destaque após aumento da resistência dos mosquitos aos inseticidas químicos utilizados e como uma alternativa menos agressiva ao meio ambiente<sup>37,38</sup>. Os predadores naturais desses insetos podem ser: vertebrados (peixes) e invertebrados (mosquitos predadores, Copépodes). Patógenos e parasitas como fungos, nematoides e bactérias visam a diminuição da população de mosquitos sem que ocorra danos severos ao meio ambiente<sup>39</sup>.

Dentre as alternativas citadas na literatura, os peixes larvófagos, *Gambusia affinis* (Baird & Girard, 1853) e *Gambusia holbrooki* Girard, 1859 destacam-se pela adaptabilidade e reprodução rápida, são predadores vorazes, que os tornam candidatos bem-sucedidos ao controle biológico de larvas de *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) e *Anopheles stephensi* Liston, 1901<sup>40,41</sup>.

Apesar de 60 países já terem introduzido esse tipo de alternativa, existem restrições quanto a introdução frequente destes, visto que são considerados uma ameaça à fauna aquática nativa, destacando a necessidade de considerar cuidadosamente o custo ecológico de introduzir

espécies predatórias destinadas a contribuir para o controle de mosquitos<sup>41</sup>.

Algumas larvas de culicídeos também são descritas na literatura e classificadas como predadoras de larvas de outras espécies de mosquitos, por exemplo, as larvas do gênero *Toxorhynchites* Theobald, 1901, popularmente conhecido como “mosquito elefante”. As diferentes espécies são predadoras e podem desempenhar um papel importante na regulação da população de larvas de *Ae. aegypti* e *Culex quinquefasciatus* Say, 1823<sup>42,43</sup>. Os adultos de *Toxorhynchites* são cosmopolitas, se alimentam de materiais ricos em açúcar, como frutas e néctar, não são hematófagos, ou seja, não se alimentam de sangue, e, quando larvas, caçam outras larvas de mosquitos menores para seu alimento, bem como outros microrganismos aquáticos<sup>44,45</sup>.

Um dos desafios no controle biológico com a utilização de larvas de *Toxorhynchites* está no custo e benefício, que envolvem meios de criação e manutenção em laboratório, qualificação de técnicos, laboratórios bem estruturados, programa de liberação e monitoramento desses mosquitos no meio ambiente, além de pesquisas mais aprofundadas sobre a potencial ameaça à fauna aquática nativa devido à introdução desses predadores<sup>45,46</sup>.

Os fungos entomopatogênicos se encontram dentro das alternativas de contro-

le biológico. São agentes promissores e têm sido utilizados com frequência no controle de pragas agrícolas, além de mosquitos vetores, como: *Cx. quinquefasciatus*, *Anopheles gambiae* Giles, 1902<sup>47,48</sup>, *Ae. aegypti* e *Aedes albopictus* Skuse, 1894<sup>49-51</sup>. Dentre os gêneros mais importantes de fungos entomopatogênicos citados na literatura, encontram-se os fungos do gênero *Metarhizium*, *Beauveria*, *Nomuraea*, *Aschersonia* e *Entomophthora*<sup>52</sup>. O modo de ação destes microrganismos ocorre por contato, por meio da produção de propágulos (geralmente conídios) que, em contato com o hospedeiro suscetível, agem como hiperparasita e penetram em seu hospedeiro através de violações naturais da cutícula ou criando brechas com enzimas, como as quitinases, podendo infec-

tar todos os estágios do inseto, de ovo até adulto. As quitinases são determinantes virulentos e são essenciais para a patogenicidade, levando o mosquito a morte em razão do desenvolvimento de micose<sup>52-54</sup>.

O desenvolvimento dos fungos no inseto pode ser dividido em três fases: 1- Adesão e germinação dos esporos na cutícula do inseto; 2- A entrada do fungo na hemocele; e 3- Desenvolvimento do fungo levando o inseto à morte<sup>55</sup>. Fatores bióticos e abióticos (como radiação solar, ultravioleta e variações de temperatura) podem afetar esses fungos, influenciando no seu desempenho em sobreviver, propagar e infectar<sup>56,57</sup>.

O spinosad, um biolarvicida bacteriano que se enquadra nas alternativas para



XXX

o controle biológico de larvas de mosquitos, é composto por metabólitos naturais de *Saccharopolyspora spinosa* produzidos sob condições de fermentação aeróbica desse actinomiceto, sendo denominadas espinosinas A e D<sup>58</sup>. A abordagem desse pesticida é promissora, pois ajuda no controle de pragas de culturas e espécies de mosquitos vetores responsáveis pela transmissão de patógenos, por exemplo, o *Ae. aegypti*<sup>59</sup>.

O modo de ação é via sistema nervoso central das larvas dos insetos. Essa toxina atua como agonista nos receptores nicotínicos de acetilcolina, ocasionando a abertura dos canais de sódio de forma frequente e, em seguida, como antagonista nos receptores de GABA, promovendo o fechamento dos canais de cloro. Por ser uma toxina diferente que se liga em ambos os receptores, esta não é reconhecida e degradada pela enzima acetilcolinesterase, permitindo a passagem constante de cátions, resultando, dessa forma, na transmissão contínua e descontrolada de impulsos nervosos e causando a morte de larvas do inseto-alvo<sup>60</sup>.

Embora este agente seja de origem biológica, existe uma ampla preocupação, devido ao impacto negativo à fauna associada, quanto à sua utilização no meio ambiente, uma vez que esse produto tenha apresentado ação tóxica, mesmo que mínima sobre insetos não-alvo, como é o caso dos artrópodes benéficos que vivem nos ecossistemas terrestres e

aquáticos (inimigos naturais e polinizadores)<sup>60</sup>. Apesar do spinosad apresentar elevado espectro de ação que inclui grande variedade de espécies de importância agrícola, médica e veterinária, há registros de seleção de resistência em várias espécies de Diptera, além de insetos de outras ordens como Lepidoptera, Thysanoptera e Hymenoptera. Assim, o manejo da resistência ao spinosad é bastante importante, considerando seu uso a longo prazo<sup>61,62</sup>.

Os bacilos entomopatogênicos atuam como alternativa na estratégia para controle biológico de populações de larvas de insetos em todo o mundo. Essas bactérias pertencem à família Bacillaceae, ordem Bacillales<sup>63</sup>. O *Bacillus thuringiensis* var. *israelenses*/H14 (*Bt*) Barjac 1978 e o *Bs*, ambos isolados de larvas mortas de mosquito, atualmente são as espécies mais estudadas e utilizadas no controle de larvas de insetos, incluindo vetores de patógenos a humanos, como dos gêneros *Mansonia*, *Culex*, *Anopheles*, *Aedes* e *Simulium* Latreille, 1802<sup>53</sup>.

Estas bactérias são esporulantes, gram-positivas e se apresentam em forma de bastonete<sup>64</sup>. A ação larvicida destes microrganismos ocorre quando as endotoxinas são ingeridas por larvas de insetos suscetíveis e, no lúmen intestinal (em pH alcalino), esses cristais são solubilizados, liberando as protoxinas que são clivadas por enzimas proteolíticas em fragmentos menores (cristais), tornando-

-se toxinas ativas. Os receptores dessas toxinas interagem especificamente com a membrana apical do intestino médio, causando sérios danos ao epitélio, resultando na morte da larva<sup>65,66</sup>.

Uma importante vantagem dos biolarvicidas é o baixo risco para a saúde humana e para o meio ambiente. As toxinas produzidas pelo *Bti* e *Bs* normalmente não persistem ou se acumulam no ambiente e não são tóxicas para vertebrados e a maioria dos organismos aquáticos não-alvo<sup>67</sup>. Outras características, como a facilidade de produção em larga escala, armazenamento, transporte e aplicação, viabilizam a utilização de formulados de bacilos entomopatogênicos em programas de controle de vetores<sup>65,67</sup>.

Quanto à eficiência dos produtos à base de bacilos entomopatogênicos, o programa de controle do vetor do agente etiológico da Oncocercose (*Simulium damnosum*) na África Ocidental cita como o marco histórico da década de 80, quando se observou a efetividade do *Bti* e a praticidade da ampla distribuição dos tratamentos nas áreas acometidas pelo vetor e doença naquela localidade<sup>68</sup>. Em Burkina Faso, região localizada também na África ocidental, foram avaliados produtos à base de *Bs* e *Bti* em duas formulações (líquida e granular) contra *Cx. quinquefasciatus* em fossas e *An. gambiae* em poças de chuvas. No ambiente de fossa, houve redução larval de 99%, durante 28 dias. No ambiente de poças de chuva para *An.*

*gambiae* houve redução de 60-97%, durante 10 dias<sup>69</sup>.

Cabe destacar que na Malásia e Flórida, onde há uma intensa atividade hematofágica de *Mansonia*, já foram realizados estudos avaliativos contra as larvas desse mosquito, utilizando formulados de bacilos entomopatogênicos à base de *Bti* e *Bs*, sendo que os resultados culminaram na redução de aproximadamente 60% da população larval, com um declínio simultâneo na população de adultos destes mosquitos<sup>5-7</sup>.

No Brasil, esse biolarvicida tem sido empregado desde 1982 no controle de simuliídeos na Serra Gaúcha, no Rio Grande do Sul<sup>69</sup>. Na região metropolitana de Recife, zona endêmica de filariose bancroftiana, foi utilizado o produto à base de *Bs* da cepa 2362 para controle populacional de larvas de *Cx. quinquefasciatus*<sup>71-73</sup>.

No Rio de Janeiro, após a população de *Ae. aegypti* apresentar resistência a Organofosforados, houve a necessidade da substituição destes para a utilização de formulados de *Bti*. Os resultados mostraram mortalidade >95 % em testes de laboratório e campo, apresentando-se como agente promissor no controle de larvas de mosquitos<sup>74-76</sup>.

A TABELA 7.1 traz um resumo sobre os principais agentes utilizados como controle biológico para mosquitos, bem como as limitações de cada método.

Tabela 7.1. Principais inimigos naturais que podem ser utilizados como ferramentas de controle biológico para mosquitos, modos de ação e a limitação de cada agente.

| Agentes de controle                                                                                                                     | Modos de ação                                                                                                             | Mosquito                                                                                                  | Limitação                                                                                                       | Autor                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>PEIXES</b><br>• <i>Gambusia affinis</i><br>• <i>Gambusia holbrooki</i><br>• <i>Trichogaster sp.</i><br>• <i>Poecilia reticulata</i>  | Alimentam-se de larvas de mosquitos de terceiro estágio                                                                   | <i>Aedes aegypti</i> e <i>Anopheles stephensi</i>                                                         | Inapropriado para controle de larvas em piscinas e criadouros temporários                                       | Singaravelu et al., 1997; Pyke, 2008; Mullen e Durden, 2009;                                                                                                                                                  |
| <b>CULICÍDEO</b><br>• <i>Toxorhynchites splendens</i> (mosquito elefante)                                                               | Alimentam-se de larvas de outros mosquitos menores                                                                        | <i>Aedes aegypti</i> e <i>Culex quinquefasciatus</i>                                                      | Ação lenta                                                                                                      | Rawlins et al, 1991; Collins e Blackwell, 2000; Adtya e Saha, 2006, Chandra, 2008                                                                                                                             |
| <b>FUNGO</b><br>• <i>Metarhizium</i> ,<br>• <i>Beauveria</i> ,<br>• <i>Nomuraea</i> ,<br>• <i>Aschersonia</i><br>• <i>Entomophthora</i> | Contato direto com a cutícula do mosquito                                                                                 | <i>Aedes aegypti</i> , <i>Aedes albopictus</i> , <i>Anopheles gambiae</i> e <i>Culex quinquefasciatus</i> | Radiação solar, variações de temperatura e ação lenta                                                           | Faria e Magalhães, 2001; Scholte, 2003; Scholte, 2007; Paula, 2008; Evans et al., 2018                                                                                                                        |
| <b>BACTÉRIA</b><br>• <i>Bacillus thuringiensis var. israelensis</i><br>• <i>Bacillus sphaericus</i>                                     | As larvas ingerem as endotoxinas e no lúmen intestinal ocorre a formação de cristais proteicos, causando a morte da larva | <i>Culex</i> , <i>Anopheles</i> , <i>Mansonia</i> , <i>Aedes</i> e <i>Simulium</i>                        | Radiação solar, baixa persistência e resistência detectada em <i>Cx. quinquefasciatus</i>                       | Goldberg e Margalit 1977; Mulla et al., 1984; Guillet et al., 1990; Chang et al., 1990; Yap et al., 1991; Mardini et al., 2000; Regis et al., 2000; Lacey, 2007; Floore et al., 2009; Lima et al., 2003; 2005 |
| <b>BACTÉRIA</b><br>• <i>Spinosad</i>                                                                                                    | Atuação no sistema nervoso central das larvas dos insetos                                                                 | <i>Aedes aegypti</i>                                                                                      | Resistência detectada em: Diptera, Lepidoptera, Thysanoptera e Hymenoptera. Ação tóxica contra insetos não-alvo | Sparks, et al., 1995; Biondi et al., 2012; Sparks, et al., 2012; Siegwart, et al., 2015                                                                                                                       |

## Controle biológico de *Mansonia*

Embora exista uma série de estudos voltados para avaliação de biolarvicidas contra mosquitos dos gêneros *Anopheles*, *Aedes* e *Culex*, vetores de patógenos que causam doenças<sup>77</sup>, no Brasil não há estudos direcionados para o controle do mosquito *Mansonia*, devido às limitações de informações relacionadas ao tipo de criadouro (ou habitat), além da falta de um programa específico para seu controle, visto que ele ainda não foi implicado como vetor de patógenos no país.

Partindo dessa premissa, houve a necessidade de estudos estratégicos para o controle de *Mansonia* com a introdução de biolarvicidas. Essas avaliações foram conduzidas em uma área de influência da UHE Santo Antônio, em Porto Velho, com Vectobac-WG e Vectoma-

x-FG, utilizando as espécies *Mansonia humeralis* Dyar & Knab, 1916 e *Mansonia titillans* (Walker, 1848) que ocorrem em Rondônia.

O mosquito do gênero *Mansonia* se desenvolve em raízes de macrófitas e, durante seu desenvolvimento, ocorre a troca de planta dependendo das condições encontradas no seu habitat natural, o que torna a criação em laboratório uma atividade complexa e muito específica.

Para realizar os ensaios de efetividade dos biolarvicidas foi necessário, primeiramente, iniciar uma criação de larvas em laboratório para, assim, obter o material necessário para realização dos testes. Para maiores informações sobre a criação de *Mansonia*, consulte o [BOX 7.1](#).

---

### Bioensaios com biolarvicidas em laboratório

As avaliações realizadas seguiram protocolo de bioensaios com larvicidas bacterianos da OMS<sup>81</sup>, em condições controladas de temperatura e umidade relativa do ar (25-27°C / 70-80%). Os bioensaios avaliaram a efetividade de dois produtos larvicidas à base de *Bti* e *Bs*, sendo um dos produtos conjugado de *Bti* e *Bs* (Vectomax-FG) e outro produto apenas *Bti* (Vectobac-WG).

Nestes bioensaios foram avaliadas larvas de primeiro estágio (L1) de *Ma. hume-*

*ralis* e *Ma. titillans*, comparando a potencial ação tóxica dos biolarvicidas contra larvas de *Ae. aegypti* do mesmo estágio, também em condições de laboratório.

Os produtos apresentaram elevada atividade larvicida contra todas as espécies de mosquitos testados. No entanto, as larvas de *Ma. humeralis* e *Ma. titillans* foram mais susceptíveis ao produto Vectobac-WG (*Bti*), quando testadas em concentrações menores no intervalo de 24 e 48h, em comparação ao tratamento com o



1. Captura com técnica de atração humana protegida, 2. Repasto sanguíneo com a técnica de alimentação por membrana artificial, 3. Gaiola com mosquitos, 4. Ovos de *Mansonia humeralis*, 5. Larvas de *Mansonia* em raízes de *Pistia stratiotes*, 6. Manutenção de larvas no insetário e 7. Bioensaio com larvicidas [*Bti* e *Bs*].

Uma das formas para iniciar uma criação de *Mansonia* sp. é realizar a coleta de adultos. Desta forma, as fêmeas devem ser coletadas com auxílio de capturador de castro, utilizando a Técnica de Atração por Humano Protegido (TAHP) [1]. Após a captura dos espécimes, é ofertada alimentação sanguínea ainda em campo por meio da técnica de membrana artificial, que consiste em um copo descartável de 50 mL, no qual o fundo da parte externa é preenchido com sangue, ofertado aos mosquitos para o ingurgitamento [2] durante 10 min<sup>79</sup>. Ao finalizar o repasto, as fêmeas devem ser mantidas em gaiolas entomológicas de PVC (medindo 10 cm x 14 cm) [3] e ser oferecido algodão embebido em sacarose a 10%.

Os mosquitos coletados devem ser encaminhados a um insetário com condições controladas de temperatura (25 - 30°C) e umidade (70 - 80%). Após 96h do repasto sanguíneo, as fêmeas devem ser anestesiadas com auxílio de um tubo mortífero contendo acetato de etila e levadas a um microscópio estereoscópico para a identificação da espécie. Após a identificação, deve ser realizada a oviposição [4]. Para isso, grupos de 15 indivíduos da mesma

espécie devem ter uma de suas asas removidas e serem colocados em recipientes plásticos com capacidade de 1 L, contendo 500 mL de água (filtrada) e lâminas de isopor (poliestireno) utilizadas como substrato alternativo para oviposição<sup>80</sup>. As fêmeas devem permanecer por 72h nesse processo, sendo retiradas e descartadas logo após. Os ovos oriundos destas fêmeas devem ser separados por número de rosetas (cinco) em diferentes recipientes, para a eclosão, que ocorre entre 72 e 96h dependendo da espécie de *Mansonia* [5].

Após a eclosão das larvas, recipientes plásticos com capacidade para 2 L devem ser preparados com 1.400 mL de água (filtrada) e uma planta da espécie *Pistia stratiotes*, devidamente limpa [6]. Para cada recipiente plástico são usadas 100 larvas. Estas devem ser alimentadas diariamente, no período da manhã e período da tarde. Quando necessário, a troca de água e plantas dos recipientes deve ser realizada. Para os ensaios de efetividade dos biolarvicidas devem ser usadas larvas L1, e a dosagem do larvicida pode ser diluída em proveta para aplicação nos recipientes de plásticos [7].

BOX 71 - Criação e manutenção de larvas de *Mansonia* em insetário

produto Vectomax (*Bti* e *Bs*), sendo necessário dobrar a concentração para se obter as mesmas taxas de mortalidade do produto Vectobac-WG.

Também foram realizados testes em laboratório a fim de avaliar a persistência

dos dois biolarvicidas (Vectobac-WG e Vectomax-FG) para *Ma. humeralis*. Após os testes, o Vectomax-FG apresentou melhor desempenho (três semanas com mortalidade acima de 80%) e, portanto, foi selecionado para os testes em condições de campo.

#### **Aplicação de biolarvicidas com atomizador costal**

A aplicação de produtos granulados para o controle de larvas de mosquitos pode ser realizada por meio de equipamento motorizado, chamado de atomizador costal. Este funciona com motor dois tempos de aproximadamente 56 cilindros. É um equipamento desenvolvido com a combinação de materiais resistentes e leves, resultando em uma máquina portátil de fácil manuseio. Devido a essas características é amplamente utilizado na aplicação de pesticidas em grandes campos e pomares, desinfecção e saneamento para prevenção de epidemias em cidades e no campo, além de ser utilizado na aplicação de formulações sólidas (granulados), como biolarvicidas para controle de larvas de mosquitos em criadouros de maior porte. Com este equipamento é possível aplicar materiais líquidos, pós e granulares, com um alcance de até 18 metros, permitindo realizar aplicações homogêneas e seguras dos inseticidas.

Para o controle de formas larvárias de mosquitos, recomenda-se a delimitação espacial da área a ser tratada para que seja calculada a quantidade de produto

necessário para o controle, conforme as recomendações de dosagem de cada inseticida. Portanto, durante a aplicação dos biolarvicidas com o atomizador deve-se seguir rigorosamente a concentração dos produtos por unidade de área tratada. Para isso, são medidos vazão – ou abertura do leque dispersor do equipamento – e a velocidade de deslocamento do operador ao longo das margens do criadouro a ser tratado.

Para *Mansonia*, testes pilotos foram realizados em dois lagos próximos a Porto Velho, Rondônia, em condições de campo. O biolarvicida Vectomax-FG (granulado), testado inicialmente em condições de laboratório, foi aplicado com um atomizador. Os dois lagos tratados foram percorridos por toda a margem com embarcação a remo, devido à baixa profundidade dos lagos e a presença de macrófitas (FIGURA 7.4). Antes do início das aplicações foi cronometrado o tempo para percorrer toda a margem do lago. Em seguida, a abertura do leque de vazão foi calibrada para o tempo de percurso de maneira que fosse utilizada a quantidade estimada para cada criadouro.

Após a aplicação do biolarvicida, os criadouros tratados apresentaram redução significativa na primeira semana (-80 %) e redução menos significativas na segunda e terceira semanas (40 % e 20 %, respectivamente). As limitações deste tipo de aplica-

ção para *Mansonia* englobam: dificuldade de acesso aos lagos por meio de embarcação ou por via terrestre devido à localização desses criadouros e a presença de macrófitas que dificultam a navegação nos criadouros durante a aplicação dos biolarvicidas.

Figura 7.4. Aplicação de bacilos Vectomax-FG (grânulos). A) Atomizador costal motorizado em embarcação para controle de *Mansonia* sp. B) Detalhe da dispersão dos grânulos sobre a água e as macrófitas aquáticas.



#### Aplicação de biolarvicidas com drone

Os drones são aeronaves remotamente pilotadas (ARP) de longa distância. Esta ferramenta, considerada de precisão, funciona por meio de tecnologia digital de ponta utilizada em diversos países, sendo empregada em qualquer cultivo para aplicação de pesticidas químicos e biológicos, desde que seja operada por um profissional registrado e habilitado para a atividade. No Brasil, os drones são regulamentados desde 2017 pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Entretanto, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) desenvolveu Instrução Normativa para regulamentar o uso das ARPs (drones) na aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizan-

tes, inoculantes, corretivos e sementes (Portaria 298/21).

As ARPs oferecem maior eficiência, praticidade e economia, quando comparados, por exemplo, com a aplicação realizada por pulverizadores costais, viabilizando aplicações mais homogêneas e rápidas. A utilização de ARP também é bem-sucedida para controle de mosquitos urbanos, como *Ae. aegypti*, possibilitando acesso para vistoria e aplicação de larvicidas em criadouros inacessíveis aos agentes de endemias, como: terrenos baldios, instalações de caixas d'água, telhados, calhas e lajes de prédios muito altas.



Aplicação de bacilos  
Vectomax-F6 (grânulos)  
para controle de  
*Mansonia* sp.  
Foto: XXXXXXXX

Para o controle de *Mansonia*, a ARP permite a vistoria de criadouros a longas distâncias. Devido a navegabilidade reduzida dos criadouros densamente cobertos por macrófitas, a ARP possibilita a aplicação de larvicidas distantes e inacessíveis por via terrestre, de maneira homogênea e rápida. Cabe ainda ressaltar que devido a essas vantagens, as ARPs tornam-se ferramentas muito mais seguras no quesito uso de produtos químicos e biológicos, pois desta forma é possível eliminar desperdício de produtos, e consequentemente, a aplicação de altas dosagens, prejudiciais ao meio ambiente.

Em Porto Velho, dois lagos próximos à cidade foram utilizados em testes com ARP para aplicação de biolarvicida (Vecto-max-FG). Tendo em vista que os grânulos deveriam ser aplicados sobre as macrófitas propícias à proliferação de larvas de *Mansonia*, como *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*, inicialmente os lagos foram mapeados com Drone Mavic Air 2. Fotos em ângulo de 90° foram obtidas, com sobreposição de 80% entre elas. Em seguida, as fotos foram agrupadas em nuvem densa de pontos para a construção de um modelo 3D (FIGURA 7.5A). Com o modelo gerado, as macrófitas do lago foram identificadas e um transecto linear sobre as macrófitas foi criado (FIGURA 7.5B). Este transecto (arquivo formato kml) foi exportado para a ARP

com dispenser de grânulos para realizar a aplicação dos biolarvicidas.

Um ARP JT-10-606 Sprayer Drone, com tanque de 10 litros de capacidade e dispersor de grânulos remoto, foi utilizado na aplicação do biolarvicida nos dois lagos, com sobrevoo à uma altura média de 12 metros (FIGURA 7.5C-E). A ARP percorreu todo o transecto gerado no modelo 2.3D, despejando de maneira contínua os grânulos do bacilo (FIGURA 7.5E).

A efetividade dos tratamentos foi avaliada semanalmente nos dois lagos tratados e em uma área controle (lago sem tratamento). Nos lagos tratados houve redução de 100 % na primeira e segunda semana de avaliação, em ambos os criadouros. Na terceira semana a redução foi de 80 % (criadouro 1) e de 60 % (criadouro 2). Por fim, na quarta semana, a redução foi de 20 % (criadouro 1) e 5 % (criadouro 2).

Ao compararmos as duas formas de aplicação de biolarvicidas (Atomizador costal e Drone), observamos que as aplicações com drone se adequam mais aos ambientes propícios às formas imaturas de *Mansonia*, geralmente lagos, remansos e reservatórios, que são densamente cobertos com macrófitas aquáticas, onde a navegabilidade é limitada.

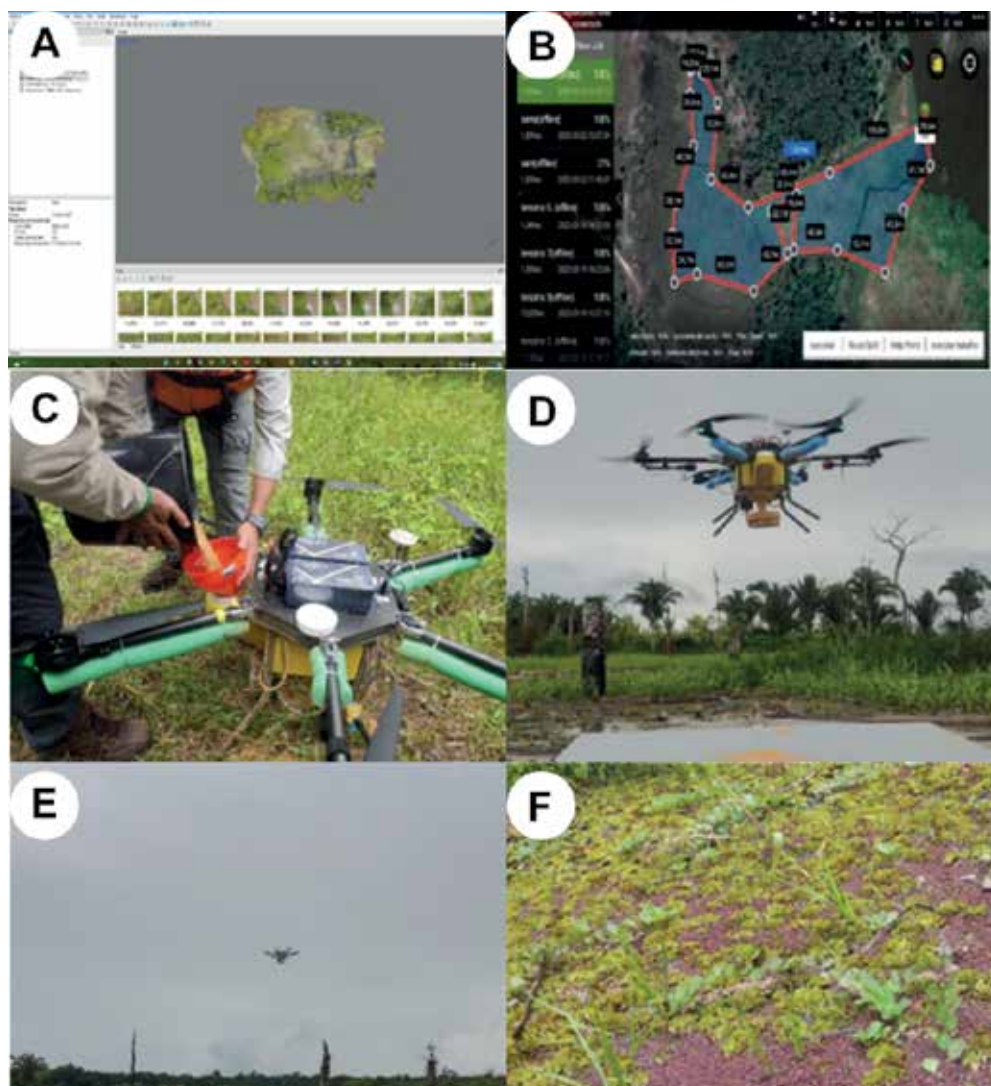


Figura 7.5. Aplicação do biolarvicida Vectomax-FG com ARP (Drone). A) Modelo 3D do criadouro, B) Transecto do arquivo kml, C) abastecimento do ARP com grânulos de bacilos, D) ARP decolando, E) ARP em operação, despejando bacilos sobre as macrófitas do criadouro 2, e F) grânulos de bacilos sobre as macrófitas.

## Referências

1. World Health Organization. *Malaria Vector Control Commodities Landscape*. (World Health Organization, 2014).
2. Dye-Braumuller, K., Fredregill, C. & Debboun, M. Mosquito control. in *Mosquitoes, Communities, and Public Health in Texas* 249–278 (Elsevier Inc., 2019). doi:10.1016/B978-0-12-814545-6.00008-0.
3. AMCA, A. M. C. A. Best practices for integrated mosquito management: A focused update. *American Mosquito Control Association* 59 [www.mosquito.org/resource/resmgr/docs/Resource\\_Center/Training\\_Certification/12.21\\_amca\\_guidelines\\_final\\_.pdf](http://www.mosquito.org/resource/resmgr/docs/Resource_Center/Training_Certification/12.21_amca_guidelines_final_.pdf) (2017).
4. Lambrecht, F. L. Entomological aspects of filariasis control in Sri Lanka. *Bull. Org. mond. Santé* 51, 133–143 (1974).
5. Chang, M. S., Ho, B. C. & Chan, K. L. Simulated field studies with three formulations of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* and *Bacillus sphaericus* against larvae of *Mansonia bonneae* (Diptera: Culicidae) in Sarawak, Malaysia. *Bull. Entomol. Res.* 80, (1990).
6. Yap, H. H., Tan, H. T., Yahaya, A. M., Baba, R. & Chong, N. L. Small-scale field trials of *Bacillus sphaericus* (strain 2362) formulations against *Mansonia* mosquitoes in Malaysia. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 7, (1991).
7. Floore, T. & Ward, R. Evaluation of *Bacillus sphaericus* against *Mansonia dyari* larvae in phosphate lakes in Polk County, Florida. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 25, 310–314 (2009).
8. Karungu, S. et al. Mosquitoes of etiological concern in Kenya and possible control strategies. *Insects* 10, 173 (2019).
9. Mahdalena, V. & Ni, T. Potensi Dan Pemanfaatan Mikroorganisme Dalam Pengendalian Penyakit Tular Nyamuk Potential and Utilization of Microorganisms in Mosquito-Borne Diseases Control. *Spirakel* 11, (2019).
10. Oberemok, V. V., Laikova, K. V., Gninenko, Y. I., Zaitsev, A. S., Nyadar, P. M., & Adeyemi, T. A. A short history of insecticides. *J. Plant Prot. Res.* 55, 221–226 (2015).
11. Davies, T. G. E., Field, L. M., Usherwood, P. N. R. & Williamson, M. S. DDT, pyrethrins, pyrethroids and insect sodium channels. *IUBMB Life* 59, 151–162 (2007).
12. Rezende-Teixeira, P., Dusi, R. G., Jimenez, P. C., Espindola, L. S. & Costa-Lotufo, L. V. What can we learn from commercial insecticides? Efficacy, toxicity, environmental impacts, and future developments. *Environ. Pollut.* 300, (2022).
13. Blacquière, T., Smagghe, G., Van Gestel, C. A. M. & Mommaerts, V. Neonicotinoids in bees: A review on concentrations, side-effects and risk assessment. *Ecotoxicology* 21, 973–992 (2012).
14. Braga, I. A. & Valle, D. *Aedes aegypti*: inseticidas, mecanismos de ação e resistência. *Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília* 16, 279–293 (2007).
15. Martins, A. J. & Valle, D. The Pyrethroid Knockdown Resistance. in *Insecticides – Basic and other applications* (eds. Larramendy, M. & Soloneski, S.) 17–38 (Intech, 2012).
16. Valle, D., Belinato, T. A. & Martins, A. de J. Controle Químico de *Aedes aegypti*, Resistência a Inseticidas e Alternativas. in *Dengue: teorias e práticas* (eds. Valle, D., Pimenta, D. & Cunha, R.) 93–126

(Fiocruz, 2015).

17. World Health Organization. *WHO guidelines for malaria*. (World Health Organization, 2022).
18. Supriyono, S. & Tan, S. DNA of *Brugia malayi* detected in several mosquito species collected from Balangan District, South Borneo Province, Indonesia. *Vet. World* 13, (2020).
19. Ridha, M. R., Rahayu, N., Hairani, B., Perwitasari, D. & Kusumaningtyas, H. Biodiversity of mosquitoes and *Mansonia uniformis* as a potential vector of *Wuchereria bancrofti* in Hulu Sungai Utara District, South Kalimantan, Indonesia. *Vet. World* 13, (2020).
20. Maina, A. N. et al. Molecular characterization of novel mosquito-borne *Rickettsia* spp. from mosquitoes collected at the Demilitarized Zone of the Republic of Korea. *PLoS One* 12, (2017).
21. Epelboin, Y., Talaga, S., Epelboin, L. & Dusfour, I. Zika virus: An updated review of competent or naturally infected mosquitoes. *PLoS Neglected Tropical Diseases* vol. 11 at <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005933> (2017).
22. Khan, S. A., Chowdhury, P., Choudhury, P. & Dutta, P. Detection of West Nile virus in six mosquito species in synchrony with seroconversion among sentinel chickens in India. *Parasites and Vectors* 10, (2017).
23. Beranek, M. D., Gallardo, R., Almirón, W. R. & Contigiani, M. S. First detection of *Mansonia titillans* (Diptera: Culicidae) infected with St. Louis encephalitis virus (Flaviviridae: Flavivirus) and Bunyamwera serogroup (Peribunyaviridae: Orthobunyavirus) in Argentina. *J. Vector Ecol.* 43, 340–343 (2018).
24. Abílio, A. P. et al. A survey of RNA viruses in mosquitoes from Mozambique reveals novel genetic lineages of flaviviruses and phenuiviruses, as well as frequent flavivirus-like viral DNA forms in *Mansonia*. *BMC Microbiology* vol. 20 at <https://doi.org/10.1186/s12866-020-01905-5> (2020).
25. da Silva, A. F. et al. Metatranscriptomic analysis identifies different viral-like sequences in two neotropical *Mansoniini* mosquito species. *Virus Res.* 301, (2021).
26. Orba, Y. et al. Diverse mosquito-specific flaviviruses in the Bolivian Amazon basin. *J. Gen. Virol.* 102, (2021).
27. Bhatt, S. et al. The effect of malaria control on *Plasmodium falciparum* in Africa between 2000 and 2015. *Nature* 526, (2015).
28. WHO, World Health Organization. *Indoor residual spraying: An operational manual for indoor residual spraying (IRS) for malaria transmission control and elimination*. (2015).
29. WHO, World Health Organization. *World malaria report 2021*. (World Health Organization, 2021).
30. Kenea, O. et al. Human-biting activities of *Anopheles* species in south-central Ethiopia. *Parasites and Vectors* 9, (2016).
31. Killeen, G. F. Characterizing, controlling and eliminating residual malaria transmission. *Malaria Journal* vol. 13 at <https://doi.org/10.1186/1475-2875-13-330> (2014).
32. Gari, T. & Lindtjørn, B. Reshaping the vector control strategy for malaria elimination in Ethiopia in the context of current evidence and new tools: Opportunities and challenges. *Malar. J.* 17, (2018).
33. Sampaio, V. S. et al. Filling gaps on ivermectin knowledge: effects on the survival and reproduction of *Anopheles aquasalis*, a Latin American malaria vector. *Malar. J.* 15, (2016).

34. Sampaio, V. D. S. et al. What does not kill it makes it weaker: Effects of sub-lethal concentrations of ivermectin on the locomotor activity of *Anopheles aquasalis*. *Parasites and Vectors* 10, (2017).
35. Agossa, F. R. et al. Impact of insecticide resistance on the effectiveness of pyrethroid-based malaria vectors control tools in Benin: Decreased toxicity and repellent effect. *PLoS One* 10, (2015).
36. Ogoma, S. B. et al. A low technology emanator treated with the volatile pyrethroid transfluthrin confers long term protection against outdoor biting vectors of lymphatic filariasis, arboviruses and malaria. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 11, (2017).
37. Brasil, M. da S. *Controle da Malária Guia para Gestão Local do. Ministério Da Saúde* (2009).
38. Brasil, M. da S. Ministério da Saúde. Dengue, Instruções para Pessoal de Combate ao Vetor, Manual de Normas Técnicas. *Dengue; Instruções para Pessoal Combat. ao Vetor, Man. Normas Técnicas* 1–75 (2001).
39. Benelli, G., Jeffries, C. & Walker, T. Biological Control of Mosquito Vectors: Past, Present, and Future. *Insects* 7, 52 (2016).
40. Singaravelu, G., Mahalingam, S. & Bharathi, K. J. Predatory efficiency of larvivorous fish, *Gambusia affinis* on the mosquito larvae of *Aedes aegypti* and *Anopheles stephensi*. *Curr. Sci.* 7, 512–514 (1997).
41. Pyke, G. H. Plague minnow or mosquito fish? A review of the biology and impacts of introduced *Gambusia* species. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 39, 171–191 (2008).
42. Aditya, G., Anirban, A. & Saha, G. K. Predatory activity of *Rhantus sikkimensis* and larvae of *Toxorhynchites splendens* on mosquito larvae in Darjeeling, India. *J. Vector Borne Dis.* 43, 66 (2006).
43. Chandra, G., Bhattacharjee, I., Chatterjee, S. N. & Ghosh, A. Mosquito control by larvivorous fish. *Indian J. Med. Res.* 127, 13 (2008).
44. Consoli, R. A. G. B. & Lourenço-de-Oliveira, R. *Principais mosquitos de importância sanitária no Brasil*. (Fiocruz, 1994).
45. Schreiber, E. T. 'Toxorhynchites'. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 23, 129–132 (2007).
46. Collins, L. E. & Blackwell, A. The biology of *Toxorhynchites* mosquitoes and their potential as bio-control agents. *Biocontrol News Inf.* 21, 105–116 (2000).
47. Scholte, E. J., Njiru, B. N., Smallegange, R. C., Takken, W. & Knols, B. G. Infection of Malaria (*Anopheles gambiae* s.s.) and filariasis (*Culex quinquefasciatus*) vectors with the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Malar. J.* 2, 1–8 (2003).
48. Scholte, E. J., Knols, B. G., Samson, R. A. & Takken, W. Entomopathogenic fungi for mosquito control: a review. *J. insect Sci.* 4, 19 (2004).
49. Scholte, E. J., Takken, W. & Knols, B. G. Infection of adult *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* mosquitoes with the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Acta Trop.* 102, 151–158 (2007).
50. de Paula, A. R., Brito, E. S., Pereira, C. R., Carrera, M. P. & Samuels, R. I. Susceptibility of adult *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) to infection by *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* : prospects for Dengue vector control. *Biocontrol Sci. Technol.* 18, 1017–1025 (2008).

51. Evans, H. C., Elliot, S. L. & Barreto, R. W. Entomopathogenic fungi and their potential for the management of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in the Americas. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 113, 206–214 (2018).
52. Alves, S. B. Fungos entomopatogênicos. *Control. microbiano insetos* 2, 289–381 (1998).
53. Lacey, L. A. et al. Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *J. Invertebr. Pathol.* 132, 1–41 (2015).
54. Faria, M. D. & Magalhães, B. P. O uso de fungos entomopatogênicos no Brasil. *Biotechnol. Ciência Desenvolv.* 22, 18–21 (2001).
55. Téllez-Jurado, A., Cruz Ramírez, M. G., Mercado Flores, Y., Asaff Torres, A. & Arana-Cuenca, A. Action and response mechanisms in relation of entomopathogenic fungi and insects. *Rev. Mex. Micol.* 30, 73–80 (2009).
56. Mora, M. A. E., Rouws, J. R. C. & Fraga, M. E. Occurrence of entomopathogenic fungi in Atlantic forest soils. *Microbiol. Discov.* 4, 7 (2016).
57. Pucheta, D. M., Flores, M. A., Rodríguez, N. S. & De La Torre, M. Mechanism of action of entomopathogenic fungi. *Interciencia* 31, 856–860 (2006).
58. Sparks, T. C. et al. Biological characteristics of the spinosyns: A new and naturally derived insect control agent. in *Proceedings of the Beltwide Cotton Conference* 903–907 (1995).
59. Díaz-Martínez, S., Rodríguez-Maciél, J. C., Lagunes-Tejeda, Á., Tejeda-Reyes, M. A. & Silva-Aguayo, G. Susceptibilidad Diferencial a Spinosad en Huevo, Instares Larvales, Pupa, y Hembra de *Aedes aegypti* (L.). *Southwest. Entomol.* 41, 1111–1120 (2016).
60. Biondi, A. et al. The non-target impact of spinosyns on beneficial arthropods. *Pest Manag. Sci.* 68, 1523–1536 (2012).
61. Sparks, T. C., Dripps, J. E., Watson, G. B. & Paroonagian, D. Resistance and cross-resistance to the spinosyns—a review and analysis. *Pestic. Biochem. Physiol.* 102, 1–10 (2012).
62. Siegwart, M. et al. Resistance to bio-insecticides or how to enhance their sustainability: a review. *Front. Plant Sci.* 6, (2015).
63. Aronson, A. I., Beckman, W. & Dunn, P. *Bacillus thuringiensis* and related insect pathogens. *Microbiol. Rev.* 50, 1–24 (1986).
64. Monnerat, R. G. & Praça, L. B. *Bacillus thuringiensis* e *Bacillus sphaericus*. in *Fundamentos para regulação de semio químicos, inimigos naturais e agentes microbiológicos de controle de pragas*. 121–155 (Embrapa Cerrados, 2006).
65. Mulla, M. S., Darwazeh, H. A., Davidson, E. W., Dulmage, H. T. & Singer, S. Larvicidal activity and field efficacy of *Bacillus sphaericus* strains against mosquito larvae and their safety to non-target organisms. *Mosq. News* 44, 336–342 (1984).
66. Gill, S. S., Cowles, E. A. & Pietrantonio, P. V. The Mode of Action of *Bacillus Thuringiensis* Endotoxins. *Annu. Rev. Entomol.* 37, 615–634 (1992).
67. Becker, N. Ice granules containing endotoxins of microbial agents for the control of mosquito larvae—a new application technique. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 19, 63–66 (2003).

68. Guillet, P., Kurtak, D. C., Philippon, B. & Meyer, R. Use of *Bacillus thuringiensis israelensis* for Onchocerciasis Control in West Africa. in *Bacterial Control of Mosquitoes & Black Flies* 187–201 (Springer Netherlands, 1990). doi:10.1007/978-94-011-5967-8\_11.
69. Skovmand, O. & Sanogo, E. Experimental Formulations of *Bacillus sphaericus* and *B. thuringiensis israelensis* Against *Culex quinquefasciatus* and *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidae) in Burkina Faso. *J. Med. Entomol.* 36, 62–67 (1999).
70. Mardini, L. B. L., Torres, M. A. N., Silveira, G. L. da & Atz, A. M. V. *Simulium* spp. control program in Rio Grande do Sul, Brazil. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 95, 211–214 (2000).
71. Regis, L. et al. Controle integrado do vetor da filariose com participação comunitária, em uma área urbana do Recife, Brasil. *Cad. Saude Publica* 12, 473–482 (1996).
72. Regis, L., Silva, S. B. da & Melo-Santos, M. A. V. The use of bacterial larvicides in mosquito and black fly control programmes in Brazil. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 95, 207–210 (2000).
73. Silva-Filha, M. H., Regis, L., Oliveira, C. M. & Furtado, A. E. Impact of a 26-month *Bacillus sphaericus* trial on the preimaginal density of *Culex quinquefasciatus* in an urban area of Recife, Brazil. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 17, 45–50 (2001).
74. Lima, J. B. P. et al. Resistance of *Aedes aegypti* to organophosphates in several municipalities in the state of Rio de Janeiro and Espírito Santo, Brazil. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 68, 329–333 (2003).
75. Lima, J. B. P., Melo, N. V. de & Valle, D. Residual effect of two *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* products assayed against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in laboratory and outdoors at Rio de Janeiro, Brazil. *Rev. Inst. Med. Trop. Sao Paulo* 47, 125–130 (2005).
76. Lima, J. B. P., Goreti Rosa-Freitas, M., Melo Rodovalho, C. & Aparecida Braga, I. Field and semi-field evaluation of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* versus Temephos® in *Aedes aegypti* control Avaliação de campo e simulado de campo de *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* versus Temephos® no c. *J. Heal. Biol. Sci.* 4, 65 (2016).
77. Lacey, L. A. *Bacillus thuringiensis* serovariety *israelensis* and *Bacillus sphaericus* for mosquito control. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 23, 133–163 (2007).
78. Metcalf, R. L. & Novak, R. J. Pest management strategies for insects affecting humans and domestic animals. in *Insect pest management* (John Wiley & Sons, Inc., 1994).
79. Siria, D. J. et al. Evaluation of a simple polytetrafluoroethylene (PTFE)-based membrane for blood-feeding of malaria and dengue fever vectors in the laboratory. *Parasit. Vectors* 11, 236 (2018).
80. Sucharit, S. U. P. A. T., Apiwathnasorn, C. H. A. M. N. A. R. N., Rukkeartsul, R. A. C. H. A. D. A. & Kerdpibule, V. Improved oviposition medium for *Mansonia* colonization. *Mosq News* 42, 357–359 (1982).
81. WHO, W. H. O. *Guidelines for laboratory and field testing of long-lasting insecticidal mosquito nets.* (WHO/CDS/WHOPES/GCDPP/2005.13, 2005).