



APLICAÇÃO SEQUENCIAL DE HERBICIDAS PARA CONTROLE DE SAMAMBAIA D'ÁGUA (*Salvinia molesta* D.S. Mitch.) EM CONDIÇÕES DE MICROCOSMOS

HERBICIDE SEQUENTIAL APPLICATION TO CONTROL WATER FERN (*Salvinia molesta*) UNDER MICROCOSM CONDITIONS

Isadora Beatriz Modenezi¹; Nathalia Garlich^{1,2}; Cassia Gracioli Pereira¹; Luiz Henrique Oliveira Perez¹; Claudinei da Cruz^{1*}

¹ Laboratório de Ecotoxicologia e Eficácia de Agrotóxicos, LEEA, do Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, Barretos-SP, Brasil.

² Laboratório de Química Ambiental, LQA, do Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, Barretos-SP, Brasil.

*Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, Processo 2015/16735-5, auxílio pesquisa.

Resumo:

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia do herbicida imazamox e a aplicação sequencial de glyphosate, imazapyr e triclopyr para controle de samambaia d'água (*S. molesta*) e determinar os indicadores ambientais de qualidade de água, em microcosmos. Para tanto, foi aplicado a dose de 900 g i.a. ha⁻¹ de imazamox e após 30 dias foi realizado a aplicação sequencial de 1920,0 g i.a. ha⁻¹ de triclopyr, 800,0 g i.a. ha⁻¹ de imazapyr, 2880,0 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate em delineamento em bloco inteiramente casualizado (DBC). No momento da aplicação (0 dias), 30 dias após a aplicação de imazamox e 30 dias após aplicação dos demais herbicidas foram realizadas as análises de indicadores ambientais de água e biomassa fresca e seca de *S. molesta*. A aplicação inicial de imazamox apresentou 70,0% de controle e a biomassa fresca e seca de *S. molesta* correspondeu a 23,53 e 21,84%. Em 30 dias após aplicação sequencial o imazapyr atingiu 97,0% de controle, o glyphosate 91,0% e o triclopyr manteve o controle obtido em 15 dias (63,3%) e a biomassa fresca e seca de 95,36 e 99,53%; 86,24 e 99,15% e 90,18 e 99,15%, respectivamente. A aplicação de herbicidas não alterou o padrão das variáveis de qualidade físico-química da água e da ciclagem de fósforo, exceto os processos de ciclagem de nitrogênio que foram influenciados pela morte e degradação das plantas. A estratégia de aplicação de imazamox e outros de herbicidas sequenciais pode ser uma alternativa viável para o controle de salvinia gigante. A aplicação sequencial de herbicidas não altera as variáveis de qualidade de água, com influência apenas no ciclo de nitrogênio durante os processos de degradação das plantas.

Palavras chaves: macrófitas aquáticas, manejo, controle químico.

Abstract:

This study aimed to evaluate the efficacy of the herbicide imazamox and the sequential application of glyphosate, imazapyr and triclopyr to control giant salvinia (*S. molesta* D.S. Mitch.) and to determine the environmental indicators of water quality, in microcosms. For this purpose, a dose of 900 g a.i. ha⁻¹ of imazamox was sprayed on plants, and 30 days later was sprayed the sequential application of 1920.0 g a.i. ha⁻¹ triclopyr, 800.0 g a.i. ha⁻¹ of imazapyr, and 2880.0 g a.i. ha⁻¹ of glyphosate since this experiment was performed according to a Randomized Complete Block Design (RCBD). At the application time (0 days), 30 days after imazamox, and 30 days after sequential herbicide application, it could be noted that an analysis of water environmental indicators and fresh and dry biomass of *S. molesta* were performed. The initial application of imazamox presented 70.0% of control, and the dry and fresh biomass of *S. molesta* was 23.3 and 21.84%, respectively. Thirty days after sequential application, imazapyr reached 97.0% of control, glyphosate 91.0% and triclopyr maintained the control obtained in 15 days (63.3%) and the dry and

fresh biomass was 95.36 and 99.53%, 86.24 and 99.15% and 90.18 and 99.15%, respectively. Herbicide application did not change the pattern of physicochemical water quality and phosphorus cycling variables, except for nitrogen cycling processes that were influenced by plant death and degradation. The strategy of applying imazamox and other sequential herbicides may be a viable alternative for the control of giant salvinia. The sequential application of herbicides did not change the water quality variables, however, only influenced the nitrogen cycle during the processes of plant degradation.

Keyword: aquatic macrophytes, management, chemical control.

Autor para correspondência: Profa. Dra. Nathalia Galirch. E-mail: nathalia.galirch@gmail.com

Recebido para a publicação: 26/05/2022

Aceito para publicação: 15/09/2022

Introdução

As plantas aquáticas são fundamentais para os ambientes aquáticos, pois se reproduzem rapidamente e disponibilizam biomassa vegetal para animais herbívoros, servem de abrigo para reprodução e proteção de organismos aquáticos e regulam as concentrações de íons dissolvidos na água (Chambers et al., 2007; Dhote & Dixit, 2009). No entanto, o rápido crescimento e a produção de biomassa causam impactos ecológicos e econômicos nos ecossistemas aquáticos (Sartain & Mudge, 2019), como a obstrução do fluxo de água nas turbinas em hidrelétricas, dificuldade de transporte e navegação, prejuízo das atividades de esportes aquáticos e a disponibilidade da água nos sistemas de irrigação e drenagem (Hussner et al., 2017). Além disso, as colonizações de plantas aquáticas reduzem a quantidade de espécies nativas, servem de habitat para reprodução de insetos causadores de doenças e reduzem a disponibilidade de oxigênio dissolvido na água, o que pode causar a mortalidade dos organismos aquáticos (Maria et al., 2018; Sartain & Mudge, 2019).

No Brasil, uma das plantas aquáticas que causam grandes prejuízos aos ambientes aquáticos é a samambaia d'água (*Salvinia molesta*), originária da América do Sul, mas que desde a década de 1930 se espalhou para áreas da África, Ásia, Austrália e áreas temperadas e subtropicais mais quentes dos Estados Unidos. Uma espécie flutuante livre que pertence à família Salviniaceae, pteridófito e não possui sementes, com tricomas nas folhas, que se aglomeram na parte apical da folha fazendo com que prenda bolhas de ar, ajudando na flutuação (Weaver et al., 2018). Assim como outras plantas aquáticas, a *S. molesta* se multiplica rapidamente e

forma camadas de plantas de até 1,0 metro de espessura na superfície d'água (Miranda & Schwartsburd, 2019). Suas características morfo-fisiológicas e sua capacidade de reprodução vegetativa dificultam o controle, sendo necessária a aplicação de mais de um mecanismo de ação de herbicidas para alcançar o controle adequado (Mudge et al., 2016).

Dentre os vários métodos de controle ou supressão das colonizações de plantas aquáticas, o controle químico pode ser viável pela facilidade de operação de aplicação e manuseio e custos relativamente baixos dos produtos herbicidas (Cruz et al., 2015a, 2015b). No Brasil, não há herbicidas registrados para controle de plantas aquáticas, o que limita o manejo destas plantas. Nos Estados Unidos, há um número limitado de produtos eficazes e economicamente viáveis disponíveis para gestão em grande escala destas plantas, especialmente a *S. molesta* (Sartain & Mudge, 2018).

Alguns herbicidas foram avaliados com o objetivo de controlar esta espécie de planta aquática, como o imazapyr e glyphosate (Cruz et al., 2015a, 2015b); metsulfuron, sulfometuron, clomazone, halosulfuron e bensulfuron (Sartain & Mudge 2018); as misturas de glyphosate + diquat e penoxsulam + flumioxazin em conjunto com um agente de controle biológico (*Cyrtobagous salviniae*; Coleoptera: Curculionidae) (Cozad et al., 2019); imazamox + adjuvantes (Garlich et al., 2021a).

O imazamox é um herbicida seletivo sistêmico que mata plantas por ligação e inibição da atividade da enzima acetolactato sintase (ALS) pertencente ao grupo químico das imidazolinonas, levando à redução na biossíntese de aminoácidos de cadeia ramificada (Rodgers & Black, 2012). A eficácia

de imazamox já foi relatada no controle de *Urochloa subquadrifida* (Chiarotti et al., 2018), *Eichhornia crassipes* (Garlich et al., 2019) e a própria *S. molesta* (Garlich et al., 2021a). Outro herbicida que pode ser utilizado é o imazapyr (ALS), aprovado nos Estados Unidos para o controle de plantas daninhas aquáticas desde 2003, pela eficácia de controle, baixa dosagem e toxicidade para ambiente aquático (Mozdzer et al., 2008).

O glifosato (N-fosfonometil glicina) é um herbicida não seletivo que inibe a enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS), utilizada na síntese de aminoácidos essenciais para as plantas e possui baixa toxicidade para peixes (Cruz et al., 2016). Este herbicida foi testado no controle de *S. molesta* e *S. herzogii* (Cruz et al., 2015a). O triclopyr é um herbicida mimetizador de auxina, sistêmico seletivo e pertence ao grupo de herbicidas conhecidos como hormonais e atua como as auxinas naturais nas plantas (Marchi et al., 2008), sendo utilizado no controle de pinheirinho d'água (*Myriophyllum spicatum*) e o hidrido (*M. spicatum* x *Myriophyllum sibiricum*) (Poovey et al., 2007).

As práticas de manejo de plantas aquáticas com aplicação sequencial de dois ou mais herbicidas pode melhorar o controle de plantas de manejo difícil, como a *S. molesta* (Garlich et al., 2021b), e reduzir as possibilidades de estabelecer populações de plantas resistentes aos herbicidas no ambiente aquático. Para utilização de produtos químicos no ambiente aquático são necessários estudos para conhecer os possíveis efeitos da decomposição da matéria vegetal morta. Assim, a avaliação das variáveis de qualidade de água é realizada para conhecimento dos possíveis efeitos na comunidade não alvo da aplicação e para o ambiente aquático (Garlich et al., 2021a). Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia do imazamox e a aplicação sequencial dos herbicidas glyphosate, imazapyr e triclopyr para o controle de *S. molesta* e determinar os possíveis efeitos nos indicadores ambientais de qualidade de água.

Material e Métodos

Os herbicidas utilizados foram o glyphosate (Roundup® - Monsanto, 480,0 g L⁻¹), o imazamox (Raptor 70 DG® - Basf, 700,0 g Kg⁻¹), o imazapyr (Contain® - Basf, 266,3 g L⁻¹) e o triclopyr (Garlon® - Corteva agriscience®, 667,0 g L⁻¹).

As plantas de samambaia d'água (*S. molesta*) foram cultivadas em microcosmos, com capacidade

de 250,0 L, com cerca de 15,0 cm de substrato composto por areia grossa, substrato para plantas (Carolina Soil®) e solo (latossolo vermelho) (1:1:2 vv⁻¹) de fundo.

O experimento foi conduzido nos meses de junho a agosto de 2019 em 24 microcosmos, com capacidade para 195,0 L, abastecidos por caixa tipo cisterna, em sistema lótico, adicionados 15,0 cm de substrato similar ao cultivo e adicionadas 20 plantas jovens de *S. molesta*.

Após a ocupação de 75,0% da superfície dos microcosmos pela *S. molesta* foi realizada coleta de água para a caracterização da qualidade de água, no momento da aplicação. A seguir, foi realizada a aplicação de 900,0 g i.a. ha⁻¹ de imazamox, equivalente a 1,2 L ha⁻¹, em 18 microcosmos. Os demais 6 microcosmos foram mantidos como controle (testemunha – sem aplicação). As avaliações de eficácia de controle foram realizadas aos 7, 15, 21 e 30 dias após aplicação de imazamox, conforme recomendação do PP1/152(4) da European and Mediterranean Plant Protection Organization (2012) e da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (1995).

Aos 30 dias após aplicação do imazamox foi realizada a aplicação sequencial e uma nova coleta de água. Para cada três microcosmos da primeira aplicação foi aplicado 1920,0 g i.a. ha⁻¹ de triclopyr (equivalente a 4,0 L ha⁻¹), 800,0 g i.a. ha⁻¹ de imazapyr (equivalente a 3,0 L ha⁻¹) e 2880,0 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate (equivalente a 6 L ha⁻¹), totalizando 3 tratamentos mais o controle (sem aplicação do herbicida) com três repetições cada num total de 12 microcosmos, sendo conduzido a avaliação de eficácia de controle da *S. molesta* por mais 30 dias após aplicação sequencial (Figura 1).

Neste período, antes da aplicação sequencial, também foram coletadas as plantas de 9 microcosmos (aplicação do imazamox) e 3 microcosmos do controle (sem aplicação do herbicida) e foi realizada a análise destrutiva (amostragem) para determinação de biomassa fresca (g) e massa seca (g) das plantas em estufa com circulação de ar forçado a 65,0 °C até atingirem massa constante. Ao final do período experimental este procedimento foi novamente realizado. Além das análises de biomassa e massa seca (30 e 60 dias), também foram avaliadas as variáveis ambientais de qualidade da água (0, 30 e 60 dias) (Figura 1): temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mg L⁻¹), condutividade elétrica (µS cm⁻¹) e pH com sonda

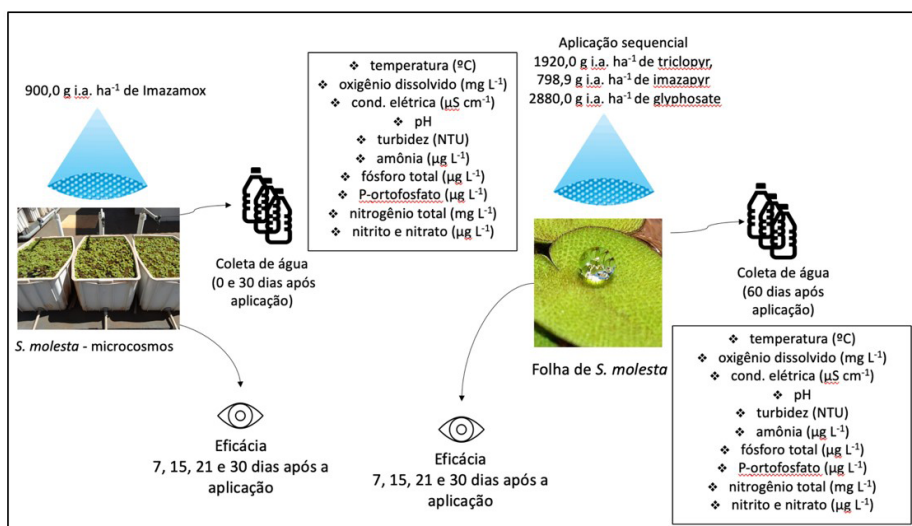


Figura 1. Esquema experimental da aplicação de imazamox e sequencial (glyphosate, imazapyr e triclopyr) e análises de indicadores ambientais de qualidade de água.

multiparâmetros YSI professional plus®, turbidez (NTU) com turbidímetro portátil Tecnopon®, amônia (μg L⁻¹) (Koroleff, 1976), fósforo total e P-ortofosfato (μg L⁻¹) (Golterman et al., 1978), nitrogênio total (mg L⁻¹), nitrito e nitrato (μg L⁻¹) (Mackereth et al., 1978).

Todas as aplicações foram realizadas com pulverizador pressurizado por CO₂ contendo uma barra com duas pontas de pulverização AD 110.02, da Magnojet® e consumo de calda de 200,0 L ha⁻¹. As condições meteorológicas no momento da primeira aplicação foram: temperatura 15,6 °C, umidade relativa do ar 66,0% e velocidade do vento 14,0 km h⁻¹. No momento aplicação a temperatura da água era de 21,0 °C, o oxigênio dissolvido 7,66 mg L⁻¹, a condutividade elétrica 90,43 μS cm⁻¹ e o pH 8,87. Na aplicação sequencial foram: temperatura 28,0 °C, umidade relativa do ar 29,0% e velocidade do vento 10,0 km h⁻¹. No momento da aplicação sequencial a temperatura da água era de 20,2 °C, o oxigênio dissolvido 7,36 mg L⁻¹, a condutividade elétrica 91,25 μS cm⁻¹ e o pH 9,05.

Os dados obtidos de variáveis de qualidade da água (temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH, fósforo total, P-ortofosfato, nitrito, nitrato, amônia e nitrogênio total) foram transformados em raiz quadrada (x+10) para obtenção da normalidade dos dados. A seguir, todos os dados de indicadores ambientais e massa seca

e fresca foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e suas médias comparadas pelo teste de Tukey (5,0%) em software AgroEstat-Sistema para análise estatística de ensaios agrônômicos (Barbosa & Maldonado Junior, 2014).

Resultados e Discussão

Na avaliação da eficácia da aplicação de 900,0 g i.a. ha⁻¹ de imazamox, entre 7 e 21 dias não ocorreu controle das plantas com controle em torno de 10% (Figura 2), com sinais de necrose e diminuição do crescimento vegetativo da samambaia d'água (*S. molesta*). A baixa eficácia de controle no período inicial está relacionada com o mecanismo de ação lento do imazamox, com a inibição da enzima acetolactato sintase (ALS), que inibe a síntese dos aminoácidos ramificados valina, leucina e isoleucina, com sinais de lesões mais acentuadas a partir de 21 dias após aplicação (Mudge & Netherland, 2014).

Em 30 dias após a aplicação do imazamox a eficácia foi considerada moderada com 70,0% de controle (Figura 2). A maioria das plantas apresentou necrose parcial ou total, queima dos tricomas das folhas e redução do crescimento, porém, ocorreu rebrotas das folhas e dos rizomas. A eficácia de controle obtida neste estudo foi similar a aplicação de 800,0 e 900,0 g i.a. ha⁻¹ de imaxamox com controle de 60,0% e 66,6% para *S. molesta*, respectivamente (Garlich et al., 2021c).

Outro herbicida do grupo dos inibidores de ALS, o metsulfuron-methyl, na dose de 42,0 g i.a ha⁻¹, apresentou 100,0% de eficácia para *S. molesta* em 84 dias após aplicação (Sartain & Mudge, 2018). A aplicação de 0,028 a 0,224 kg i.a. ha⁻¹ de carfentrazone-ethyl (Inibidor da Protox), em 28 dias, apresentou eficácia superior ao imazamox com controle 83,3% a 98,7% de *S. molesta*, com necrose foliar, poucas áreas de brotação ativas e rizomas (Glomski & Getsinger, 2006) e a aplicação de 2,24; 4,48; e 8,96 Kg e.a. ha⁻¹ de glyphosate, com volumes de calda de 935,0 e 1870 L ha⁻¹, apresentou controle de 93,3% a 99,1% da *S. molesta* (Nelson et al., 2007).

Em 30 dias após a aplicação do imazamox foi realizada aplicação sequencial com os herbicidas imazapyr, triclopyr e glyphosate. Em 7 dias após aplicação sequencial não ocorreu controle de *S. molesta* (Figura 3). Em 15 dias o imazapyr apresentou excelente eficácia para a *S. molesta* com controle de 95,0%, o glyphosate de 83,3% e o triclopyr controle de 63,0% e em 21 dias a eficácia de controle se manteve similar ao obtido em 15 dias (Figura 2). Em 30 dias após aplicação sequencial o imazapyr atingiu 97,0% de controle, o glyphosate 91,0% e o triclopyr manteve o controle obtido em 15 dias (Figura 3).

A aplicação sequencial de triclopyr não contribuiu para a evolução do controle de *S. molesta* com a eficácia em torno de 63,3% a partir de 15 dias até o final do período experimental (Figura 3).

Em 60 dias após aplicação de dose única de 4,0 L ha⁻¹ (1065,2 g i.a. ha⁻¹) de imazapyr ocorreu 90,0% de controle de *S. molesta* (Cruz et al., 2015b). Assim, a aplicação de 900,0 g i.a. ha⁻¹ de imazapyr 30 dias depois de uma aplicação de imazamox pode ser uma boa estratégia de manejo desta planta daninha aquática, pois na avaliação do experimento (60 dias) as plantas estavam necróticas, grande parte da biomassa em decomposição e não foi observado ocorrência de rebrotas.

Na aplicação sequencial de 2880,0 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate a eficácia foi inferior a obtida com a dose de 3840,0 g i.a. ha⁻¹ para *S. herzogii* e *S. molesta*, com 100,0% de controle em 45 dias após aplicação, em casa de vegetação (Cruz et al., 2015a). A redução de 960,0 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate inferiu negativamente no processo de controle da *S. molesta*, mesmo com a aplicação inicial de 900,0 g i.a. ha⁻¹ de imazamox, o que demonstra a dificuldade de manejo desta planta daninha aquática.

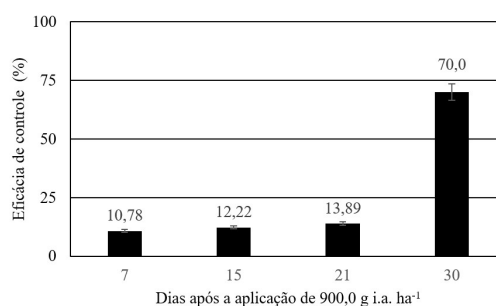


Figura 2. Eficácia de controle de *S. molesta* após aplicação de 900,0 g i.a. ha⁻¹ de imazamox.

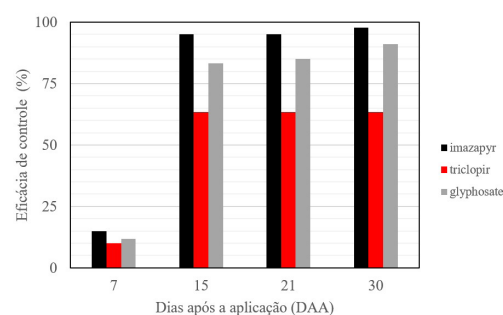


Figura 3. Eficácia (%) após aplicação sequencial do imazapyr, triclopyr e glyphosate para controle de *S. molesta*.

Em condição de mesocosmos foi aplicado 2880,0 a 3840,0 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate com eficácia de 76,0% a 85% de controle para *S. herzogii* e *S. molesta* e de 90,0% a 100,0% para *S. oblongifolia* em 21 dias. Na aplicação sequencial de 2880,0 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate novamente a eficácia evolui para 90,0% a 95,0% para *S. herzogii* e 100,0% para *S. molesta*, indicando que a aplicação sequencial é uma estratégia de manejo que deve ser avaliada em função da espécie, dose e do ingrediente ativo do herbicida aplicado (Cruz et al., 2017).

Além da aplicação sequencial, outra estratégia de manejo que pode ser utilizada para o controle de *S. molesta* é a aplicação em períodos de estresse ambiental e diminuição dos recursos disponíveis para o crescimento, como no período do outono e inverno. A aplicação de 1,1 kg i.a. ha⁻¹ de diquat, 0,2 kg i.a. ha⁻¹ de flumioxazin, 3,3 kg i.a. ha⁻¹ de glyphosate e 3,3 + 0,5 kg i.a. ha⁻¹ de glyphosate + diquat reduziram a biomassa da salvinia gigante (*S. molesta*) em 27,0%, 45,0%, 55,0% e 55,0%, respectivamente (Sartain & Mudge, 2019).

A samambaia d'água (*S. molesta*) é espécie perene que não aloca carboidratos para apêndices subterrâneos durante o outono para armazenamento no inverno, o que é comum para grandes plantas rizomatosas, enraizadas e emergentes (Mudge et al., 2016), assim esta planta não apresenta um mecanismo de transporte para translocar herbicidas com armazenamento de carboidratos e, isso sugere que pode responder diferentemente aos herbicidas durante o outono, sendo assim a condução do experimento durante o período de inverno pode ter auxiliado no controle da *S. molesta*, além da estratégia de aplicação sequencial de herbicidas.

Na avaliação destrutiva da biomassa das plantas, em 30 dias após aplicação de 900,0 g i.a ha⁻¹ imazamox não ocorreu redução significativa da massa fresca e massa seca em relação ao controle (Tabela 1). Após a aplicação sequencial de imazapyr, glyphosate e triclopyr ocorreu redução significativa da biomassa fresca e massa seca em 60 dias após aplicação (Tabela 1). Em condição de mesocosmos, ocorreu redução de 65,0% a 99,0% da massa seca de *S. molesta*, após 7 semanas da aplicação de 4205,2 g i.a ha⁻¹ de glyphosate + 0,25% de óleo vegetal e mistura de glyphosate com carfentrazone, diquat, endothall ou flumioxazin (Mudge et al., 2016). Em condição de microcosmos, a aplicação eletrostática de 900,0 g i.a. ha⁻¹ de imazamox (60 dias) causou redução significativa do peso da biomassa fresca (82,3%) e massa seca (62,7%) de *S. molesta* (Garlich et al., 2021c).

Na avaliação inicial dos indicadores de qualidade de água do ciclo do nitrogênio (amônia, nitrito, nitrato e nitrogênio total) não ocorreu diferença significativa entre os 9 microcosmos selecionados para a primeira fase do estudo, com a aplicação do imazamox e o controle (testemunha – sem herbicida) (Tabela 2). Em 30 dias após aplicação também não ocorreu diferença significativa entre o tratamento com 900,0 g i.a. ha⁻¹ de imazamox e o controle (Tabela 2). Nesta fase do estudo, a eficácia de controle do alvo foi de 70,0% de controle do alvo, ainda assim não ocorreu alteração no ciclo do nitrogênio da água. Em avaliação da aplicação eletrostática de 600,0 a 900,0 g i.a. ha⁻¹ de imazamox para o controle de *S. molesta* Garlich et al., (2021c) observaram que não ocorreu aumento significativo da demanda bioquímica de oxigênio da água (DBO_{5,20°C}) em 60 dias após a aplicação, mesmo com o controle de 60,0% da infestação.

Para as variáveis turbidez (Tabela 2), oxigênio dissolvido e condutividade elétrica da água (Tabela 3) ocorreram variações significativas em alguns blocos com aplicação de imazamox em relação ao controle, o que indica início do processo de decomposição aeróbica das plantas.

Em 30 dias após aplicação sequencial dos herbicidas imazapyr, triclopyr e glyphosate não ocorreu alterações nas variáveis de amônia, nitrito, nitrato, formas do fósforo e turbidez da água (Tabela 4). Cabe destacar que, os valores das variáveis relacionadas ao ciclo do nitrogênio

Tabela 1. Valores médios de biomassa fresca e massa seca de *S. molesta* após aplicação de imazamox e aplicação sequencial de imazapyr, triclopyr e glyphosate.

Tratamentos/ Avaliações	Biomassa fresca (g)	Redução de BM.F. (%)	Massa seca (g)	Redução de M.S. (%)
Controle 30 dias	736,66a	0,0	48,33a	0,0
Imazamox 30 dias	563,33a	23,53	37,77a	21,84
CV	16,10	-	8,25	-
F	2,11 ^{ns}	-	1,59 ^{ns}	-
DMS (5%)	10,32	-	1,53	-
Controle 60 dias sequencial	2156,66a	0,0	108,00a	0,0
Imazapyr 60 dias sequencial	100,00b	95,36	10,00b	99,53
Triclopyr 60 dias sequencial	211,66b	90,18	18,33b	99,15
Glyphosate 60 dias sequencial	296,66b	86,24	18,33b	99,15
CV	20,66	-	19,68	-
F	39,98**	-	15,78**	-
DMS (5%)	11,86	-	3,31	-

BMF = massa fresca; MS = massa seca; ^{ns}Não significativo. **Significativo a 1,0% de probabilidade; CV = coeficiente de variação; médias com a mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey (p>0,05).

Tabela 2. Valores médios das variáveis da qualidade da água relacionados a ciclagem e nutrientes no momento (0 dias) e após 30 dias da aplicação de imazamox.

*Variáveis	Amônia (NH ₃) (µg L ⁻¹)		Nitrito (NO ₂ ⁻) (µg L ⁻¹)		Nitrito (NO ₃ ⁻) (µg L ⁻¹)		Nitrogênio Total (mg L ⁻¹)		Fósforo total (µg L ⁻¹)		P-Ortofosfato (µg L ⁻¹)		Turbidez (NTU)	
	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30
Trat./ DAA														
Controle	3,62 ^a	5,28 ^a	3,41 ^a	3,55 ^a	3,68 ^a	4,65 ^a	3,23 ^a	3,23 ^a	8,56 ^a	7,78 ^a	8,50 ^a	7,67 ^a	3,29 ^a	3,78 ^b
Imazamox	4,13 ^a	4,29 ^a	3,38 ^a	3,56 ^a	3,45 ^a	5,77 ^a	3,27 ^a	3,27 ^a	8,44 ^a	4,95 ^a	8,39 ^a	4,88 ^a	3,27 ^a	4,03 ^a
	4,63 ^a	3,71 ^a	3,45 ^a	3,53 ^a	3,39 ^a	5,54 ^a	3,26 ^a	3,26 ^a	8,40 ^a	5,81 ^a	6,92 ^a	6,61 ^a	3,29 ^a	4,09 ^{ab}
	4,37 ^a	3,49 ^a	3,42 ^a	3,45 ^a	3,29 ^a	5,32 ^a	3,29 ^a	3,29 ^a	8,70 ^a	6,90 ^a	8,65 ^a	6,35 ^a	3,26 ^a	4,26 ^{ab}
CV	23,93	16,40	2,30	1,90	6,58	19,49	0,92	0,70	9,13	25,46	12,81	25,09	0,78	3,58
F	0,55 ^{ns}	4,05 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,68 ^{ns}	1,56 ^{ns}	0,65 ^{ns}	1,95 ^{ns}	3,12 ^{ns}	0,09 ^{ns}	1,75 ^{ns}	1,79 ^{ns}	1,55 ^{ns}	0,74 ^{ns}	5,74 [*]
DMS(5%)	2,62	1,80	0,20	0,17	0,59	2,71	0,07	0,06	2,03	4,23	2,72	4,18	0,06	0,37

^adados transformados em raiz quadrada (x+10); ⁹ microcosmos com aplicação de 900,0 g i.a. ha⁻¹ de imazamox; ^{ns}Não significativo. ^{*}Significativo a 5,0% de probabilidade; Médias com a mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey (p>0,05).

Tabela 3. Valores médios das variáveis físico-químicas da qualidade da água no momento (0 dias) e após 30 dias da aplicação de imazamox.

Variáveis	Temperatura (°C)		Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹)		pH		Cond. Elétrica (µS cm ⁻¹)	
	0	30	0	30	0	30	0	30
Trat./ DAA								
Controle	21,37 ^a	20,83 ^a	7,42 ^a	7,76 ^a	8,84 ^a	9,19 ^a	90,53 ^a	79,10 ^b
Imazamox	21,30 ^a	20,50 ^a	7,57 ^a	6,73 ^b	8,77 ^a	8,92 ^a	91,87 ^a	97,23 ^a
	21,33 ^a	20,47 ^a	7,47 ^a	7,51 ^{ab}	8,82 ^a	9,04 ^a	92,43 ^a	89,73 ^{ab}
	21,33 ^a	20,37 ^a	7,56 ^a	7,23 ^{ab}	8,89 ^a	9,06 ^a	90,43 ^a	93,50 ^b
CV	0,21	0,28	0,60	1,03	0,18	0,39	0,57	3,12
F	0,13 ^{ns}	4,10 [*]	0,35 ^{ns}	4,57 [*]	1,45 ^{ns}	1,64 ^{ns}	2,16 ^{ns}	4,77 [*]
DMS(5%)	0,03	0,04	0,06	0,11	0,02	0,04	0,15	0,81

^adados transformados em raiz quadrada (x+10); ⁹ microcosmos com aplicação de 900,0 g i.a. ha⁻¹ de imazamox; ^{ns}Não significativo. ^{*}Significativo a 5,0% de probabilidade; Médias com a mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey (p>0,05).

Tabela 4. Valores médios das variáveis da qualidade da água relacionados a ciclagem e nutrientes em 30 dias da aplicação de sequencial de imazapyr, triclopyr e glyphosate.

# Tratamentos	Variáveis – 30 dias após aplicação sequencial						
	Amônia (NH ₃) (µg L ⁻¹)	Nitrito (NO ₂ ⁻) (µg L ⁻¹)	Nitrato (NO ₃ ⁻) (µg L ⁻¹)	Nitrogênio Total (mg L ⁻¹)	Fósforo total (µg L ⁻¹)	P-Ortofosfato (µg L ⁻¹)	Turbidez (NTU)
Controle	3,97 ^a	3,52 ^a	5,00 ^a	3,24 ^b	7,37 ^a	7,04 ^a	3,71 ^a
Imazapyr	3,47 ^a	3,82 ^a	3,78 ^a	3,29 ^a	4,48 ^a	4,71 ^a	3,97 ^a
Triclopyr	3,37 ^a	3,70 ^a	4,29 ^a	3,24 ^b	5,82 ^a	5,86 ^a	3,89 ^a
Glyphosate	5,13 ^a	3,68 ^a	3,92 ^a	3,26 ^b	4,46 ^a	4,52 ^a	3,94 ^a
CV	46,56	3,34	12,88	0,45	22,23	19,58	3,45
F	0,57 ^{ns}	3,09 ^{ns}	2,98 ^{ns}	8,87 ^{**}	3,76 ^{ns}	3,52 ^{ns}	2,21 ^{ns}
DMS (5%)	4,85	0,32	1,43	0,03	3,22	2,82	0,35

^adados transformados em raiz quadrada (x+10); ^{ns}Não significativo. ^{**}Significativo a 1,0% de probabilidade; Médias com a mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey (p>0,05).

foram maiores nos tratamentos com os herbicidas em relação ao controle, o que indica tendência da presença do processo de nitrificação na água, pois para o nitrogênio total ocorreu aumento significativo desta variável em relação ao controle na aplicação sequencial de imazapyr (Tabela 4) e da condutividade elétrica para todos os herbicidas (Tabela 5).

Tabela 5. Valores médios das variáveis físico-químicas da qualidade da água em 30 dias após aplicação sequencial de imazapyr, triclopyr e glyphosate.

#Trat./Var.	Temperatura (°C)	Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹)	pH	Cond. Elétrica (µS cm ⁻¹)
Controle	22,37 ^a	7,49 ^a	8,96 ^a	91,57 ^b
Imazapyr	22,50 ^a	7,84 ^a	8,95 ^a	123,70 ^a
Triclopyr	22,93 ^a	7,16 ^a	9,22 ^a	111,37 ^{ab}
Glyphosate	22,77 ^a	7,69 ^a	9,26 ^a	113,70 ^{ab}
CV	0,61	1,69	0,43	3,83
F	1,22 ^{ns}	0,73 ^{ns}	2,85 ^{ns}	6,57*
DMS (5%)	0,09	0,18	0,05	1,09

^adados transformados em raiz quadrada (x+10); ^{ns}Não significativo. **Significativo a 1,0% de probabilidade; Médias com a mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey (p>0,05).

Conclusão

A estratégia de aplicação de imazamox e imazapyr, glyphosate e triclopyr sequenciais pode ser uma alternativa viável para o controle de *S. molesta*. A aplicação sequencial de herbicidas não altera as variáveis de qualidade de água, com influência apenas no ciclo de nitrogênio durante os processos de degradação das plantas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, Processo 2015/16735-5 pela infraestrutura de estudos em microcosmos na modalidade auxílio pesquisa.

Referências

Barbosa, J. C., & Maldonado Junior, W. (2014). *AgroEstat–Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos. Version 1.1. 0.711*. Jaboticabal: UNESP.

Chambers, P. A., Lacoul, P., Murphy, K. J., & Thomaz, S. M. (2007). Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. In E. V. Balian, C. Lévêque, H. Segers, K. Martens (Eds.), *Freshwater animal diversity assessment. developments in hydrobiology* (pp. 9-26). Dordrecht: Springer.

Chiarotti, L. F., Pereira, P. C., Scannavino, R. H. C. P., Castro, K. S., Cerveira Junior, W. R., & Cruz, C. (2018). Eficácia de herbicidas isolados ou em mistura no controle da planta exótica invasora *Urochloa subquadripara*. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 17(2), 596-1.

Cozad, L. A., Mudge, C. R., & Diaz, R. (2019). Integrated management of giant salvinia using

herbicides and the salvinia weevil. *Journal of Aquatic Plant Management*, 57, 62-68.

Cruz, C., Carraschi, S. P., Shiogiri, N. S., Silva, A. F., Pitelli, R. A., & Machado, M. R. F. (2016). Sensitivity, ecotoxicity and histopathological effects on neotropical fish exposed to glyphosate alone and associated to surfactant. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 8(3), 25-33.

Cruz, C., Cervoni, J. H. C., Silva, A. F., Garlich, N., & Pitelli, R. A. (2017). Aplicação sequencial de glyphosate em plantas aquáticas de difícil controle em condição de mesocosmo. *Ciência e Cultura*, 13(2), 59-63.

Cruz, C., Silva, A. F., Luna, L. V., Yamauchi, A. K. F., Garlich, N., & Pitelli, R. A. (2015a). Eficácia do glyphosate no controle de macrófitas em condição de casa de vegetação. *Planta Daninha*, 33(2), 241-247.

Cruz, C., Silva, A. F., Shiogiri, N. S., Garlich, N., & Pitelli, R. A. (2015b). Eficácia do herbicida imazapyr no controle de macrófitas flutuantes e ecotoxicologia para organismos não alvos. *Planta Daninha*, 33(1), 103-108.

Dhote, S., & Dixit, S. (2009). Water quality improvement through macrophytes: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152, 149-153.

European and Mediterranean Plant Protection Organization. (2012). Design and analysis of efficacy evaluation trials. *Bulletin OEPP/EPPO*, 42(3), 367-381.

- Garlich, N., Guarnieri, C. C. O., Freitas, R. L. G., Cervoni, J. H. C., Cruz, C., & Ferreira, M. C. (2019). Efficacy of imazamox with centrifugal energy spray nozzle on *Eichhornia crassipes* and economic analysis of control viability. *Planta Daninha*, 37, e019194898.
- Garlich, N., Garcia, G. L., Santos, K. P., Oliveira, A. C., Pitelli, R. A., Ferreira, M. C., & Cruz, C. (2021a). Control of *Salvinia molesta* with imazamox and analysis of environmental indicators in microcosms. *Journal of Environmental Science and Health. Part. B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 56(11), 941-947.
- Garlich, N., Cruz, C., Pitelli, R. A., & Ferreira, M. C. (2021b). Controle químico de *Salvinia molesta* e monitoramento ambiental de agrotóxicos em corpos hídricos. *Ciência e Cultura*, 17, e211701.
- Garlich, N., Garcia, G. L., Santos, K. P., Oliveira, A. C., Pitelli, R. A., Ferreira, M. C., & Cruz, C. (2021c). Electrostatic spraying of imazamox to control the floating aquatic plant *Salvinia molesta* and its effects on environmental indicators of water quality. *Journal of Environmental Science and Health. Part. B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 56(3), 251-258.
- Glomski, L. A., & Getsinger, K. D. (2006). Carfentrazone-ethyl for control of Giant Salvinia. *Journal of Aquatic Plant Management*, 44, 136-138.
- Golterman, H. L., Clymo, R. S., & Ohndtad, M. A. M. (1978). *Methods for physical and chemical analysis of fresh water* (2a ed., No. 8, IBP Handbook., 213 p.). Oxford: Blackwell Scientific Publication.
- Hussner, A., Stiers, I., Verhofstad, M. J. J. M., Bakker, E. S., Grutters, B. M. C., Haury, J., Valkenburg, J. L. C. H. V., Brundu, G., Newman, J., Clayton, J. S., Anderson, L. W. J., & Hofstra, D. (2017). Management and control methods of invasive alien freshwater aquatic plants: a review. *Aquatic Botany*, 136, 112-137.
- Koroleff, F. (1976). Determination of ammonia. In E. Grashoff, E. Kremling (Eds.), *Methods of seawater analysis* (pp. 126-133). German: Verlag Chemie Weinheim.
- Mackereth, F. I. F., Heron, J., & Talling, J. F. (1978). *Water analysis: some revised methods for limnologist* (121 p.). London: Freshwater Biological Association.
- Marchi, G., Marchi, E. C. S., & Guimarães, T. G. (2008). *Herbicidas: mecanismos de ação e uso* ((INFOTECA-E, 34 p.). Planaltina: Embrapa Cerrados-Documents.
- Maria, M. A., Lange, L. C., Castro, S. R., Soares, A. C., & Meyr, S. T. (2018). Evaluation of glyphosate effect concentration to control *Eichhornia crassipes* and *Salvinia* sp. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 23(5), 881-889.
- Miranda, C. V., & Schwartzburd, P. B. (2019). Salvinia (Salviniaceae) in southern and southeastern Brazil: including new taxa, new distribution records, and new morphological characters. *Brazilian Journal of Botany*, 42, 171-188.
- Mozdzer, T. J., Hutto, C. J., Clarke, P. A., & Field, D. P. (2008). Efficacy of imazapyr and glyphosate in the control of non-native *Phragmites australis*. *Restoration Ecology*, 16(2), 221-224.
- Mudge, C. R., & Netherland, M. D. (2014). Response of giant bulrush, water hyacinth, and water lettuce to foliar herbicide applications. *Journal of Aquatic Plant Management*, 52, 75-80.
- Mudge, C. R., Perret, A. J., & Winslow, J. R. (2016). Evaluation of foliar herbicide and surfactant combinations for control of giant salvinia at three application timings. *Journal of Aquatic Plant Management*, 54, 32-36.
- Nelson, L. S., Glomski, L. M., & Gladwin, D. N. (2007). Effect of glyphosate rate and spray volume on control of giant salvinia. *Journal of Aquatic Plant Management*, 45, 58-61.
- Poovey, A. G., Slade, J. G., & Netherland, M. D. (2007). Susceptibility of Eurasian watermilfoil (*Myriophyllum spicatum*) and a milfoil hybrid (*M. spicatum* x *M. sibiricum*) to triclopyr and 2, 4-D amine. *Journal of Aquatic Plant Management*, 45, 111-115.
- Rodgers, L., & Black, D. (2012). Effects of aerially-applied imazamox on southern cattail and non-target emergent vegetation in a eutrophic sawgrass marsh. *Journal of Aquatic Plant Management*, 50, 125-129.

Sartain, B. T., & Mudge, C. R. (2018). Evaluation of 12 foliar applied non-aquatic herbicides for efficacy against giant salvinia (*Salvinia molesta*). *Journal of Aquatic Plant Management*, 56, 107-112.

Sartain, B. T., & Mudge, C. R. (2019). The response of giant salvinia to foliar herbicide applications at three winter timings. *Journal of Aquatic Plant Management*, 57, 1-6.

Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas – SBCPD. (1995). *Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas* (42 p.). Londrina: SBCPD.

Weaver, M. A., Shearer, J. F., Grodowitz, M. J., & Boyette, C. D. (2018). Potential of *Myrothecium* species as bioherbicides for giant salvinia (*Salvinia molesta*). *Journal of Aquatic Plant Management*, 56, 120-122.