

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**CONTROLE DE *Salvinia molesta* EM CONDIÇÃO DE
MICROCOSMO POR APLICAÇÃO ELETROSTÁTICA DE
HERBICIDA E ADJUVANTE E O EFEITO SOBRE
BIOINDICADORES AQUÁTICOS**

Nathalia Garlich

Bióloga

2020

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**CONTROLE DE *Salvinia molesta* EM CONDIÇÃO DE
MICROCOSMO POR APLICAÇÃO ELETROSTÁTICA DE
HERBICIDA E ADJUVANTE E O EFEITO SOBRE
BIOINDICADORES AQUÁTICOS**

MsC. Nathalia Garlich

Orientador: Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira

Co-Orientador: Prof. Dr. Robinson Antonio Pitelli

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutora em Agronomia (Produção Vegetal).

2020

G233c Garlich, Nathalia
Controle de salvinia molesta em condição de microcosmo por aplicação eletrostática de herbicida e adjuvante e o efeito sobre bioindicadores aquáticos / Nathalia Garlich. -- Jaboticabal, 2020
111 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Marcelo da Costa Ferreira
Coorientadora: Robinson Antonio Pitelli

1. Agronomia. 2. Herbicida. 3. Plantas aquáticas. 4. Monitoramento ambiental. 5. Pesticidas aspectos ambientais. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

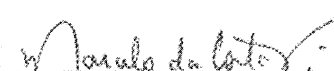
TÍTULO DA TESE: CONTROLE DE *Salvinia molesta* EM CONDIÇÃO DE MICROCOSMO POR APLICAÇÃO ELETROSTÁTICA DE HERBICIDA E ADJUVANTE E O EFEITO SOBRE BIOINDICADORES AQUÁTICOS

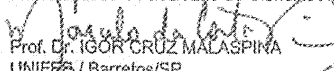
AUTORA: NATHALIA GARLICH

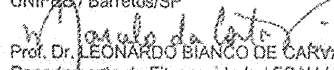
ORIENTADOR: MARCELO DA COSTA FERREIRA

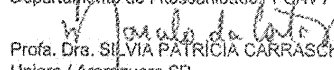
COORIENTADOR: ROBINSON ANTONIO PITELLI

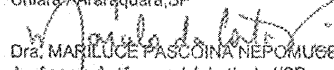
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARCELO DA COSTA FERREIRA
Fitossanidade / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. IGOR CRUZ MALASPINA
UNIFEZ / Barretos/SP


Prof. Dr. LEONARDO BIANCO DE CARVALHO
Departamento de Fitossanidade / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Profa. Dra. SILVIA PATRÍCIA CARRASCHI DE OLIVEIRA
Uniarara / Araraquara, SP


Dra. MARILUCE PASCHOINA NEPOMUCENO
Agrônoma Autônoma / Jaboticabal/SP

Jaboticabal, 24 de abril de 2020

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

NATHALIA GARLICH – Bióloga, filha de Carlos Eduardo Garlich e Rosana Schiller Beskow, nasceu em Pelotas, interior do Estado do Rio Grande do Sul, no dia 18 de junho de 1985. Coursou os Ensinos Fundamental e Médio na cidade natal. Em 2007, iniciou o curso de Licenciatura em Ciências Biológicas na Universidade Católica de Pelotas (UCPEL) Pelotas/RS, foi bolsista na Embrapa Clima Temperado (CPACT) Pelotas/RS desenvolvendo projetos na área de controle biológico de plantas invasoras e métodos alternativos para o controle de doenças de plantas. Bolsista na Fundação de Apoio a Pesquisa e Desenvolvimento Edmundo Gastal (FAPEG) Pelotas/RS no projeto Xisto Agrícola. Bolsista CNPq-AT-NS Nível Superior, categoria apoio técnico a pesquisa – nível superior 1A no Laboratório de Bacteriologia Vegetal da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) Pelotas/RS desenvolvendo projetos na área de controle biológico de doenças de plantas. Bolsista na Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais (FEPAF) Botucatu/SP no projeto CABI – Centre for Agricultural Bioscience International. Estagiou na Embrapa Recursos Genético e Biotecnologia (CENARGEM) Brasília/DF no Núcleo Temático de Controle Biológico desenvolvendo atividades com o fungo *Trichoderma* spp. Em março de 2013, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia com ênfase na área de Produção Vegetal junto a Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV), Campus de Jaboticabal. Atuou, no grupo de pesquisas do laboratório Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais em Matologia (NEPEAM) pertencente ao Departamento de Fitossanidade da FCAV. Em agosto de 2016, iniciou o curso de Doutorado em Agronomia com ênfase na área de Produção Vegetal junto a Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV), Campus de Jaboticabal. Atualmente, integra o grupo de pesquisas dos laboratórios NEDTA – Núcleo de Estudos de Estudo e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação pertencente ao departamento de Fitossanidade. Em abril de 2020, submete-se à banca examinadora para a obtenção do título de Doutora em Agronomia (Produção Vegetal).

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”

ALBERT EINSTEIN

Aos meus pais *Carlos Eduardo Garlich (in memoriam)*
e *Rosana Schiller Beskow* pelo amor, carinho;
incentivo ao estudo e ensinamentos de vida.

DEDICO

Ao *Claudinei da Cruz* pelo amor, carinho;
companheirismo, amizade, paciência;
e incentivo incondicional durante essa jornada.

OFEREÇO

Aos meus irmãos *Elizabeth Garlich* e
Jonas Eduardo Garlich pelo carinho;
amor, amizade e apoio sempre.

AGRADEÇO

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira, pela orientação, pelos ensinamentos, confiança, oportunidade de realizar esse trabalho e fazer parte da equipe do Núcleo de Estudos e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação (NEDTA);

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Robinson Antonio Pitelli, pela orientação, amizade e por sempre acreditar em mim;

Ao Laboratório de Ecotoxicologia e Eficácia dos Agrotóxicos (LEEA) e ao Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos (UNIFEB) pela estrutura concedida para a realização dos experimentos;

À equipe LEEA – Bruna, Danilo, Ana Beatriz, Taís, Victória, Klara, Wanderson, Marcus, Magdiel, Camila, Gabriel, Luiz Henrique, João Pedro, Isadora Azeredo, Tales, Vittor, Guilherme, Camilla Marques, Mayele, Isadora Modenezi, Cássia, Cecília, Marcella e Ana Júlia pela ajuda nos experimentos.

Em especial a Ana Carolina de Oliveira, Guilherme Leonardi Garcia e Karina Petri dos Santos pela efetiva participação e ajuda na condução dos experimentos;

A Isabella Alves Brunetti e ao Wilson Roberto Cerveira Júnior pela amizade, apoio e ajuda sempre que necessário e ao Alfredo Yamauchi pela ajuda nas análises estatísticas;

A toda minha família: em especial aos meus avós Octávio Storch Beskow, Lori Schiller Beskow e Vani Irle Kutter Garlich pelos ensinamentos de vida, pois a família é à base de tudo;

A Rosani Raffi Schiller (tia Nica), que sempre esteve ao meu lado, na torcida e vibrando com as minhas conquistas;

A minha grande amiga e orientadora da graduação Glaucia de Figueiredo Natchigal, que foi a primeira pessoa a acreditar que eu poderia chegar até aqui e que sempre esteve ao meu lado vibrando com todas as minhas conquistas;

As minhas amigas do coração Márcia Silva e Bruna Betemps, que sempre estiveram ao meu lado me apoiando e incentivando;

Em especial a Daiane Leal da Silva de Lima, pelas palavras de carinho, amor e incentivo nos momentos mais difíceis dessa caminhada;

A banca examinadora Profa. Dra. Silvia Patricia Carraschi de Oliveira, Dr. Mariluce Pascoina Neponuceno, Prof. Dr. Igor Cruz Malaspina e Prof. Dr. Leonardo Bianco de Carvalho, pelas contribuições importantes ao meu trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – (CAPES) – Código de Financiamento 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – (CNPq) - Processo 156212/2019-6 e Companhia Energética de São Paulo – (CESP) – PD-00061-0052/2016.

A todos que contribuíram para esta conquista.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1.1 Estrutura da Tese.....	1
1.2 Introdução e Justificativa.....	1
1.3 Revisão de Literatura	2
1.3.1 <i>Salvinia molesta</i>	2
1.3.2 Controle químico de plantas aquáticas	5
1.3.3 Tecnologia de aplicação.....	6
1.3.4 Monitoramento ambiental.....	9
1.4 Referências	11
CAPÍTULO 2 – CONTROLE DE <i>Salvinia molesta</i> COM IMAZAMOX E ANÁLISE DE INDICADORES AMBIENTAIS EM MICROCOSMO	19
Resumo	19
2.1 Introdução	20
2.2 Objetivos	21
2.3 Material e Métodos.....	21
2.4 Resultados e Discussão.....	23
2.5 Conclusões.....	32
2.6 Referências	32
CAPÍTULO 3 – APLICAÇÃO ELETROSTÁTICA DE IMAZAMOX PARA CONTROLE DE PLANTA AQUÁTICA FLUTUANTE <i>Salvinia molesta</i> E EFEITOS NOS INDICADORES AMBIENTAIS DE QUALIDADE DE ÁGUA	36
Resumo	36
3.1 Introdução	37
3.2 Objetivo	38
3.3 Material e Métodos.....	38
3.4 Resultados e Discussão.....	40
3.5 Conclusões.....	49
3.6 Referências	49
CAPÍTULO 4 – APLICAÇÃO ELETROSTÁTICA E CONVENCIONAL DE IMAZAMOX PARA DE <i>Salvinia molesta</i> E EFEITOS PARA INDICADORES AMBIENTAIS	53

Resumo	53
4.1 Introdução	54
4.2 Objetivo	55
4.3 Material e Métodos	55
4.4 Resultados e Discussão	57
4.5 Conclusões	70
4.6 Referências	70
CAPÍTULO 5 – INDICADORES AMBIENTAIS APÓS APLICAÇÃO SEQUENCIAL DE HERBICIDA E ADJUVANTE COM PULVERIZADOR ELETROSTÁTICO E CONVENCIONAL NO CONTROLE DE <i>Salvinia molesta</i>	75
Resumo	75
5.1 Introdução	76
5.2 Objetivo	77
5.3 Material e Métodos	77
5.4 Resultados e Discussão	79
5.5 Conclusões	93
5.6 Referências	93

CONTROLE DE *Salvinia molesta* EM CONDIÇÃO DE MICROCOSMO POR APLICAÇÃO ELETROSTÁTICA DE HERBICIDA E ADJUVANTE E O EFEITO SOBRE BIOINDICADORES AQUÁTICOS

RESUMO – A *Salvinia molesta* é uma planta aquática de difícil controle e tem causado prejuízos aos ambientes aquáticos. O controle químico com herbicida é uma forma de manejo destas plantas. Contudo, para aplicação de produtos químicos no ambiente aquático é necessário fazer uma avaliação do impacto desta utilização e o potencial risco ambiental. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia do herbicida imazamox e dos adjuvantes (Dash® e Veget'oil®) em aplicação eletrostática e convencional (CO₂ pressurizado) para o controle de *S. molesta* e os efeitos sobre indicadores ambientais de qualidade de água em condição de microcosmos. Para tanto, foram utilizadas doses de imazamox isolado e acrescido de adjuvantes (600 a 1000 g i.a. ha⁻¹) em aplicação eletrostática e convencional e foram realizadas avaliações de eficácia, clorofila *a* das plantas, massa fresca e seca e parâmetros químicos, físicos e biológicos de qualidade da água por um período experimental de 60 dias. O imazamox isolado foi mais eficaz no controle de *S. molesta* na dose de 900 g i.a. ha⁻¹ com 94% em aplicação convencional e 63% em aplicação eletrostática com redução de 95 e 82% de massa fresca e 92 e 62% de massa seca, respectivamente. O imazamox + Dash® foi mais eficaz na dose de 1000 g i.a. ha⁻¹ com 40% de controle em aplicação eletrostática e 25% em aplicação convencional com redução de 50 e 30% da massa fresca e seca, respectivamente. O imazamox com 900 g i.a. ha⁻¹ + 0,5% de Veget'oil® em aplicação sequencial foi mais eficaz em aplicação convencional com 60% de controle e 35% em aplicação eletrostática com redução de 67 e 55 % de massa seca, respectivamente. E ocorreu redução da clorofila *a* das plantas em todas as doses testadas em ambas tecnologias. Não ocorreram alterações significativas nos parâmetros químicos, físicos e biológicos de qualidade de água. A utilização de herbicida e adjuvante em aplicação convencional apresentou eficácia moderada a excelente e a aplicação eletrostática moderada a ausente no controle de *S. molesta*. As duas tecnologias de aplicação utilizadas não interferiram na dinâmica ambiental dos processos degradativos das plantas e de nutrientes em condição de microcosmos.

Palavras-chave: Eficácia; monitoramento ambiental; plantas aquáticas; qualidade de água; tecnologia de aplicação

CONTROL OF *Salvinia molesta* IN MICROCOSM CONDITION BY ELECTROSTATIC APPLICATION OF HERBICIDE AND ADJUVANT AND THE EFFECT ON AQUATIC BIOINDICATORS

ABSTRACT – *Salvinia molesta* is an aquatic plant difficult to control and cause damage to aquatic environments. Chemical control with herbicide is a way of management these plants. However, for the application of chemicals in the aquatic environment it is necessary to make an assessment of the impact of this use and the potential environmental risk. The objective of this study was to evaluate the efficacy of the herbicide imazamox and adjuvants (Dash® and Veget'oil®) in electrostatic and conventional (CO²-pressurized sprayer) application for the control of *S. molesta* and the effects on environmental indicators of water quality in microcosms. Therefore, doses of imazamox alone and more adjuvants (600 to 1000 g i.a. ha⁻¹) were used in electrostatic and conventional applications and the effectiveness, chlorophyll, fresh and dry biomass and chemical, physical and biological parameters of water quality were evaluated over a period 60 days. Isolated imazamox was more effective in controlling *S. molesta* at a dose of 900 g i.a. ha⁻¹ with 94% in conventional application and 63% in electrostatic application, with a reduction of 95 and 82% in fresh weight and 92 and 62% dry weight, respectively. Imazamox + Dash® was more effective at a dose of 1000 g i.a. ha⁻¹ with 40% control in electrostatic application and 25% in conventional application with a reduction of 50 and 30% in fresh and dry weight, respectively. The imazamox with 900 g i.a. ha⁻¹ + 0,5% Veget'oil® in sequential application was more effective in conventional application with control of 60 and 35% in electrostatic application with a reduction of 67 and 55% in dry weight, respectively. And there was a reduction in chlorophyll a in plants at all doses tested in both technologies. There were no significant changes in the chemical, physical and biological parameters of water quality. The use of herbicide and adjuvant in conventional application showed moderate to excellent efficacy and electrostatic application of moderate to absent in the control of *S. molesta*. The two application technologies used did not interfere in the environmental dynamics of the degradative processes of plants and nutrients under microcosm conditions.

Keywords: Efficiency; environmental monitoring; aquatic plants; water quality; application technology

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1.1 Estrutura da Tese

A tese está estruturada com um breve referencial bibliográfico sobre a interferência da macrófita *Salvinia molesta* no ambiente aquático, controle químico, tecnologia de aplicação e monitoramento ambiental de qualidade de água (Capítulo 1). Esta primeira parte direciona a leitura para o Capítulo 2, que apresenta um artigo científico sobre controle de *S. molesta* com imazamox e análise de indicadores ambientais em microcosmos. O Capítulo 3 compreende um artigo científico sobre eficácia da aplicação eletrostática de imazamox para controle de *S. molesta* e efeitos nos indicadores ambientais de qualidade de água. O Capítulo 4 compreende um artigo científico sobre aplicação eletrostática e convencional para controle químico de *S. molesta* e efeitos para indicadores ambientais. O capítulo 5 compreende um artigo científico sobre indicadores ambientais após aplicação sequencial do herbicida imazamox isolado e acrescido de adjuvantes com pulverizador eletrostático e convencional no controle de *S. molesta*.

1.2 Introdução e Justificativa

A planta aquática *S. molesta* tem causado muitos prejuízos para os usos múltiplos da água e o seu crescimento excessivo tem contribuído para a diminuição da qualidade de água nos corpos hídricos em diversas regiões do mundo. Uma maneira de conter seu crescimento é a aplicação de herbicidas que tem sido muito utilizado em vários países, como a principal técnica de controle. Diante disso, o estudo de tecnologias de aplicação, formas de manejo, eficácia e monitoramento ambiental são importantes para o controle destas plantas aquáticas.

Um dos principais questionamentos sobre a utilização de herbicida em ambientes aquáticos é o efeito da decomposição da matéria morta vegetal no interior do corpo hídrico, o que pode interferir na qualidade de água e o efeito da aplicação para organismos não alvos pelo risco de deriva da pulverização e movimento do herbicida para fora da área de aplicação. Além disso, pelo contato direto desses

organismos, uma vez que vivem no mesmo ambiente da planta a ser controlada, sendo esta a principal desvantagem da utilização de herbicidas nos ambientes aquáticos.

Contudo, a aplicação de herbicida e suas tecnologias como adjuvantes e eletrificação das gotas de pulverização em associação ou de forma sequencial, podem facilitar o controle de *S. molesta* e minimizar os impactos ambientais decorrente da decomposição da macrófita e diminuir os riscos aos organismos e locais não alvos da aplicação. Portanto, para a aplicação de produtos químicos nos ambientes aquáticos são necessários estudos de simulação ambiental em mesocosmos ou microcosmos para avaliar o impacto da utilização e o potencial risco ambiental ocorrido durante e após o processo de intervenção química.

1.3 Revisão de Literatura

1.3.1 *Salvinia molesta*

A planta aquática *Salvinia molesta* (D.S. Mitchell), conhecida como salvinia gigante, pertence à família Salviniaceae nativa do sudeste do Brasil, foi encontrada fora do seu local de origem em 1939 no Sri Lanka e se tornou um problema devido à infestação em lavouras de arroz, reduzindo o fluxo dos canais de irrigação e bloqueando a navegação nos canais de transporte (Gettys et al., 2014). É uma planta invasora agressiva e entrou na lista das 100 espécies exóticas que causam prejuízos aos ambientes aquáticos em todo o mundo, em países como Austrália, Índia, Indonésia, África do Sul, Estados Unidos, Zâmbia, Malásia, Cingapura, Papua Nova Guiné, Nova Zelândia, Fiji, Cuba, Trinidad e Tobago, Bornéu, Columbia, Guiana, Filipinas e Porto Rico entre outros (Gettys et al., 2014; Miranda e Schwartzburgd, 2019).

Esta espécie foi inicialmente vendida como planta ornamental e se propagou rapidamente por causa do seu fácil cultivo, alta taxa de crescimento e reprodução vegetativa (Mitchell 1978; Room e Thomas 1986). Forma tapetes de massa vegetativa que cobre toda a superfície dos corpos hídricos e prejudica a flora e a fauna do local e os usos múltiplos da água (Miranda e Schwartzburgd, 2019).

Seu crescimento excessivo pode causar impactos ecológicos, econômicos e de saúde pública (Brundu, 2015; Sartain e Mudge et al., 2018) e, com isso alterar a composição da comunidade de plantas aquáticas, reduzir a riqueza e abundância das espécies de micro e macro invertebrados, reduzir o oxigênio da água, impedir os fluxos dos rios, dificultar o transporte e navegação, prejudicar as atividades de esportes aquáticos, reduzir a geração de energia elétrica e a disponibilidade da água nos sistemas de irrigação e drenagem (Hussner et al., 2014; Gettys et al., 2014; Hussner et al., 2017), além de interferir nos ciclos bioquímicos de nitrogênio e fósforo com alteração na sedimentação, retenção de nutrientes e nas características físicas e químicas da água (Santos et al., 2020).

A *S. molesta* é caracterizada como uma samambaia aquática flutuante que possui tricomas (pelos) na superfície foliar juntamente com outras três espécies de salvinias: *S. auriculata*, *S. herzogii* e *S. bilboa* (McFarland et al., 2004) (Figura 1a). Estas plantas formam colônias flutuantes unidas por um caule horizontal embaixo da superfície da água. As colônias contêm três folhas, sendo duas flutuantes que possuem tricomas capazes de repelir água e auxiliar na flutuação e uma terceira folha modificada submersa dissecada que absorve os nutrientes na coluna d' água e possuem esporos entre os filamentos das folhas submersas que se desenvolvem na fase de crescimento ou condições precárias de nutrientes (Galam et al., 2015) (Figura 1b).



Figura 1. Tricomas (pelos) na superfície foliar de *S. molesta* (a). Plantas de *S. molesta* (b).

A reprodução ocorre por fragmentação quando a planta mãe se quebra e forma mais de uma planta-filha, sendo o meio principal de disseminação da espécie que

pode ser influenciada pela atividade dos animais, humanos ou ambiente com a corrente de ventos e ondas (Sartain, 2018).

A planta possui três formas de crescimento: primário, secundário e terciário. O crescimento primário ocorre com plantas isoladas ou espaçadas com folhas pequenas e ovais de 10 a 15 mm de largura e ficam planas sobre a superfície da água (Harley e Mitchell, 1981). No estágio secundário o crescimento do caule e entrenós são mais longos e mais vigorosos as folhas medem de 20 a 50 mm, começam a cobrir a superfície da água e a superfície da terceira folha modificada entra em contato com a água (MacFarland et al., 2004). No estágio terciário ocorre a formação dos tapetes de massa vegetativa na superfície da água as folhas são grandes até 60 mm, quanto mais elas crescem são direcionadas para cima formando aglomerados e duas ou mais camadas de plantas que podem chegar até um metro de espessura na coluna d'água (MacFarland et al., 2004; Sartain, 2018).

A *Salvinia molesta* tem crescimento muito rápido e sua biomassa pode dobrar em condição de estufa em 2,2 dias (Cary e Weerts, 1983) e em campo sua biomassa vegetal pode dobrar num período de 1 a 8 dias (Finlayson, 1984; Room, 1986; MacFarland et al., 2004) (Figura 2).



Figura 2. Aglomerados de plantas de *S. molesta* na superfície da água

Diante dos efeitos negativos do crescimento excessivo desta macrófita uma análise de risco foi realizada em alguns países da Europa, na Nova Zelândia e nos Estados Unidos e *S. molesta* está na lista de espécies exóticas que precisam ser controladas (Hussner et al., 2017).

1.3.2 Controle químico de plantas aquáticas

O controle químico consiste em usar produtos que causem intoxicação causando a morte da planta considerada praga (Pompeo, 2008). Os herbicidas fornecem um conjunto de opções de controle e podem ser aplicados para redução ou remoção de uma espécie alvo ou grupo de plantas alvo em corpos hídricos incluindo canais de irrigação, rios e lagoas em aplicações parciais ou totais (Getsinger et al., 2014; Netherland, 2014). A seletividade para a planta alvo depende do modo de ação do produto, concentração, tempo de exposição e método de aplicação (Haller, 2014; Hussner et al., 2017).

Os herbicidas registrados para o controle de plantas aquáticas, em diversos países são: 2,4-D, bispiribac-sódio, carfentrazona-etil, produtos a base de cobre, diclobenil, diquat, endothall, flumioxazina, fluridona, glifosato, haloxifope-metil, imazapyr, imazamox, metsulfuron-methyl, penoxsulam, terbutrina e triclopir (Hussner et al., 2017). Em geral, os herbicidas atuam na redução da biomassa das plantas nos ecossistemas aquáticos e quando utilizados de acordo com as especificações técnicas do produto podem ser mais eficientes, eficazes e mais econômicos do que o controle mecânico de plantas aquáticas (Netherland, 2014).

A utilização de herbicidas no controle de *S. molesta* tem apresentado resultados de moderados a bons (Mudge et al., 2016) e vários estudos já foram realizados com imazapyr (Martins et al., 1999; Nelson et al., 2001; Martins et al., 2002; Emerine et al., 2010; Cruz et al., 2015), imazamox (Emerine et al., 2010; Campos et al., 2012; Mudge e Netherland, 2014); penoxsulam (Wersal e Madsen, 2010; Mudge et al., 2012; Mudge et al., 2013; Mudge e Netherland, 2014); carfentrazona-ethyl (Carvalho et al., 2005; Glomski e Getsinger, 2006; Mudge et al., 2016); flumioxazina (Mudge et al., 2013; Mudge et al. 2016; Sartain e Mudge, 2019); bispiribac-sodium (Glomski e Mudge, 2014); 2,4-D (Martins et al., 1999), Diquat (Martins et al., 2002; Mudge et al., 2016; Sartain e Mudge, 2019), glyphosate (Fairchild et al., 2002; Nelson et al., 2007; Cruz et al., 2015; Mudge et al., 2016; Cruz et al., 2017; Sartain e Mudge, 2019), endothall (Mudge et al., 2016), fluridone (Mudge et al., 2012), bensulfuron, halossulfuron, metsulfuron, rimsulfuron, sulfometuron, trioxysulfuron (Sartain e Mudge, 2018).

Dentre as classes de herbicidas que podem ser utilizados para o controle de *S. molesta* estão os inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS) também conhecida como acetohidroxi ácido sintase (AHAS), enzima fundamental na síntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucinas que são amplamente utilizados na agricultura brasileira (Jursík et al., 2010) e possuem registros em outros países. Estes herbicidas possuem elevada eficácia, amplo espectro de controle de espécies e são utilizados em baixas dosagens para o controle de plantas daninhas (Tranel e Wright, 2002).

O herbicida imazamox é do grupo químico das imidazolinonas pertencente aos inibidores ALS e contém um grupo funcional metoximetil no anel piridina (Tan et al., 2005). É absorvido pela folha e translocado para o xilema e floema causando injúrias e a morte do meristema apical das plantas (Senseman, 2007). Este é eficaz para uma variedade de monocotiledôneas e eudicotiledôneas (Nelson e Renner, 1998; Tan et al., 2005). No ambiente não é tóxico para invertebrados aquáticos, abelhas, peixes, aves, mamíferos e pouco tóxico para as algas, não bioacumula, sua meia vida é de 5 a 15 dias dependendo da luminosidade e profundidade do corpo hídrico e a sua dissipação ocorre por diluição e fotólise (Sera, 2010).

No Brasil, a aprovação da resolução CONAMA nº 467 de 16 de julho de 2015 para uso de produtos químicos em corpos hídricos foi publicada no diário oficial da união nº 135 de 17 de julho de 2015, seção 1, pág. 70 a 71 que “dispõe sobre critérios para autorização de uso de produtos ou de agentes de processos físicos, químicos ou biológicos para o controle de organismos ou contaminantes em corpos hídricos superficiais e de outras providências”, assim faz-se necessário que sejam desenvolvidos estudos sobre tecnologias e moléculas herbicidas para o controle de plantas aquáticas.

1.3.3 Tecnologia de aplicação

Os herbicidas são depositados na superfície dos vegetais podendo ser absorvidos em maior ou menor quantidade para exercerem seu efeito internamente (Kissmann, 1998; Queiroz et al., 2008). Porém, a superfície dos vegetais apresenta

uma barreira física, denominada de cutícula, variável entre as espécies, o que pode dificultar a penetração de soluções aquosas (Queiroz et al., 2008).

Para vencer esta barreira são utilizados alguns itens essenciais, tais como: adjuvantes, tecnologias e a aplicação nas condições ambientais adequadas que fazem com que o produto alcance o alvo na concentração correta, com o mínimo de perda e com menor risco de contaminação ao ambiente (Matuo, 1990; Silva et al., 2014).

Assim, visando manter a efetividade do herbicida tem sido adicionado adjuvantes às caldas fitossanitárias, o que pode alterar as características físico-químicas dependendo do tipo e da composição das formulações (Iost e Raetano, 2010). Estas alterações se bem compreendidas e selecionadas, interferem positivamente no diâmetro e uniformidade das gotas, colaborando para colocação do produto no alvo e, conseqüentemente, melhora na eficiência do ingrediente ativo e possível redução de perdas por deriva (Matuo, 1990).

Os adjuvantes atuam sobre o ingrediente ativo por vários mecanismos como: redução da tensão superficial da gota, facilidade da emulsificação, dispersão, aderência e ação umectante do herbicida, alteração da disponibilidade na gota para sua mobilidade e absorção através do tecido vegetal (Devendra et al., 2004).

A adição de adjuvantes aos herbicidas vem sendo estudados no controle de *S. molesta* para melhorar o desempenho no controle desta macrófita, tais como: endothall-K + 0,5% cide-kick, endothall amine + 0,5% cide-kick, diquat + 0,5% cide-kick e glyphosate + 0,5% cide-kick (Nelson et al., 2001); glyphosate + 0,25% de LI-700®, glyphosate + 0,25% Cygnet®, glyphosate + 0,25% Kinetic®, glyphosate + 0,25% Optima® e glyphosate + 0,25% Mon 0818® (Fairchild et al., 2002); penoxsulam + 0,5% Sunwet® (Wersal e Madsen, 2010); glyphosate + 0,5% de Aterbane® (Cruz et al., 2015); glyphosate + óleo vegetal (Mudge et al., 2016); saflufenacil, flumiclorac e glufosinato + 0,25% vv⁻¹ de mistura de óleo vegetal modificado e surfactante não iônico organosiliconado (Sartain e Mudge, 2018); diquat + 0,1% vv⁻¹ de surfactante não iônico organosiliconado (Sartain e Mudge, 2019).

Para melhorar a eficiência da aplicação de herbicidas isolados ou acrescido de adjuvantes para *S. molesta* é necessário utilizar tecnologias de aplicação que

aumente a deposição do produto diretamente no alvo e que não cause a contaminação do ambiente aquático (Serra et al., 2008).

Na aplicação convencional as forças que atuam nas gotas são a gravidade e a inércia (Martin e Latheef, 2017) e mais de 90% dos pesticidas são aplicados com sistemas de bicos de pulverização hidráulicos que são mais propensos a deriva, devido a não uniformidade do tamanho das gotas e a eficiência na deposição no alvo é inferior a 30% (Sande et al., 2008). As gotas menores são perdidas pela evaporação ou deriva e as maiores devido à sedimentação gravitacional pelo solo (Patel et al., 2016).

O emprego de gotas finas proporciona melhor cobertura de alvos no controle de problemas fitossanitários, porém gotículas com pequenas massas possuem pouca energia cinética e causam efeito de deriva no processo de captura pelo alvo. Para que essas pequenas gotas sejam coletadas pelo alvo com menores impactos ambientais, podem ser acrescentadas forças externas como o aumento da velocidade de lançamento com maiores pressões de trabalho ou o aumento da velocidade terminal com cargas elétricas (Chain, 2006).

A pulverização eletrostática trata-se de uma técnica na qual ocorrem transferências de cargas elétricas para as gotas, a fim de, promover a atração com a planta, devido à diferença de potencial elétrico. Esta tecnologia pode melhorar o depósito das gotas finas na planta com menor contaminação ambiental, o que permite a redução do volume de calda e dos custos da pulverização (Zheng et al., 2002).

Na aplicação em sistema eletrostático com gotas com tamanho de 100 micrometros e eletrificadas (Chain, 2006) a calda de aplicação é carregada eletricamente formando gotas carregadas (Pan et al., 2019) e a planta alvo possui carga neutra e, quando as gotas se aproximam dela, sua carga negativa fica em direção oposta e as folhas ficam com carga positiva o que atrai as gotas para toda a superfície foliar tanto na parte abaxial como adaxial (He et al., 2011; Salcedo et al., 2020). Esta tecnologia resulta em maior cobertura dos alvos, com menor perda por deriva e, conseqüentemente, menor desperdício de produto e menor contaminação ambiental dos corpos hídricos.

Diante disso, neste estudo foi utilizado um pulverizador eletrostático, contendo um dispositivo de indução para eletrificação de gotas em bico de energia hidráulica,

desenvolvido pela empresa Magno Jet Indústria Ltda. em parceria com a Embrapa Meio Ambiente, depósito de pedido de patente procedimento nº DIRPA-PQ006, código nº FQ001. Esse dispositivo foi adaptado na barra de pulverização em pulverizador costal manual (modelo PMJ-10) equipado com um exemplar da ponta de pulverização de jato plano modelo BD 80.005 (Figura 3).



Figura 3. Pulverizador eletrostático desenvolvido pela empresa Magno Jet Indústria Ltda. em parceria com a Embrapa Meio Ambiente.

1.3.4 Monitoramento ambiental

O monitoramento ambiental é a melhor forma para compreender os efeitos da aplicação de produtos nos ambientes aquáticos. Os herbicidas aplicados nos corpos hídricos podem sofrer fotodegradação, degradação microbiana, adsorção por matéria orgânica particulada ou argilas em suspensão, diluição e meia-vida de algumas horas e/ou dias (Souza et al., 2017) e o monitoramento do comportamento destes produtos é muito importante para o conhecimento de sua ação direta ou indireta na qualidade de água e nos organismos não alvos da aplicação.

A simulação de efeitos ambientais em condição de microcosmos ou de mesocosmos (OECD, 2004) é uma ferramenta útil para avaliar potenciais riscos do efeito da exposição dos organismos não alvos após aplicação de herbicidas e estimar os efeitos nas características físico químicas da água (Guimarães et al., 2003). Esse tipo de avaliação pode exibir resultados satisfatórios em condições mais próximas do

real e estas informações podem auxiliar na tomada de decisão na utilização de herbicidas no ambiente aquático (Figura 4).



Figura 4. Simulação ambiental em condição de microcosmos

Essa análise é importante para preencher a lacuna entre os estudos laboratoriais e de campo e, assim tentar entender e prever o que pode ocorrer em um ambiente natural sujeito a risco ou na determinação da segurança de produtos químicos. Todo estudo em condição de microcosmos ou mesocosmos deve ser planejado e testar uma hipótese específica usando informações obtidas na literatura e em etapas anteriores de avaliação de risco (Campbell et al. 1999; Giddings et al., 2002).

Alguns estudos foram realizados utilizando mesocosmos para determinar os efeitos em indicadores ambientais de qualidade de água tais como: estudo com método de fluxo contínuo de água simulando situação mais próxima do real para demonstrar os possíveis riscos do uso de substâncias químicas no controle de plantas aquáticas (Guimarães et al., 2003), avaliação da eficácia do herbicida diquat no controle da macrófita aquática *Eichhornia crassipes* e os possíveis efeitos do controle sobre as características de qualidade de água (Martins e Pitelli, 2005) e a eficácia do herbicida fluridone para controle de plantas aquáticas submersas *Egeria najas* e *E. densa* em condição de microcosmo e represa de pequeno porte sem fluxo de água e os efeitos nas características da qualidade de água (Tanaka et al., 2002).

Este modelo de estudo também foi utilizado para avaliar a resposta do poliqueto marinho *Sabellaria alveolata* exposta ao cloro aquoso usado como agente antiincrustante na água de resfriamento da usina (Last et al., 2016), para determinar

o efeito do inseticida neonicotinóide tiametoxam que pode atingir áreas úmidas em agroecossistemas e os possíveis efeitos sobre comunidade fito e zooplancônica (Lobson et al., 2018), para determinar a capacidade de remoção do Cromo hexavalente IV de águas residuárias de mina de extração níquel pelas plantas *Leporonia articulata* e *Machaerina rubiginosa* (Amina et al., 2018) e para avaliação de efeito do herbicida atrazine na reprodução de sapo de críquete (*Acris blanchardi*) (Hoskins et al., 2019).

1.4 Referências

Amina R, Edraki M, Doley D, SHERIDAN C (2018) Removal of dissolved chromium from synthetic mine effluent: A mesocosm experiment. **Science of the Total Environment**. 637-638:1252-1261.

Brundu G (2015) Plant invaders in European and Mediterranean inland waters: profiles, distribution, and threats. **Hydrobiologia** 746:61–79.

Campbell PJ, Arnold DJS, Brock TCM, Grandy NC, Heger W, Heimbach F, Maund SJ, Streloke M (Eds.) (1999) **Guidance Document on Higher-tier Aquatic Risk Assessment for Pesticides (HARAP)**. A SETAC-Europe Publication.

Campos CF (2012) Influência da chuva após aplicação de imazamox sobre o controle de plantas daninhas aquáticas. **Biosci. J.** 28:413-19.

Carvalho FTD, Velini ED, Negrisoli, Rossi CVS (2005) Eficácia do carfentrazone-ethyl no controle de plantas aquáticas latifoliadas em caixas-d'água. **Planta Daninha** 23: 305-10.

Cary PR, Weerts PGJ. (1983) Growth of *Salvinia molesta* as affected by water temperature and nutrition. I. Effects of nitrogen level and nitrogen compounds. *Aquat. Bot.* 16:163-172.

CONAMA (2015) Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 465. **Dispõe sobre critérios para autorização de uso de produtos ou de agentes de processos físicos, químicos ou biológicos para o controle de organismos ou contaminantes em corpos hídricos superficiais e da outras providências**, 5p, 2015. Publicado no DOU nº135, seção 1, p. 70-71.

Chaim A (2006) Pulverização eletrostática: principais processos utilizados para eletrificação de gotas. **Embrapa Meio Ambiente**. Jaguariúna. Documento 57. 17 p.

Cruz C, Silva AF, Luna LV, Yamauchi AKF, Garlich, N, Pitelli RA (2015) Glyphosate Effectiveness in the Control of Macrophytes Under a Greenhouse Condition. **Planta Daninha** 33:24-47.

Cruz C, Silva AF, Shiogiri NS, Garlich N, Pitelli R.A (2015) Imazapyr herbicide efficacy on floating macrophytes control and ecotoxicology for non-target organisms. **Planta Daninha** 33:103-108.

Cruz C, Cervoni JHC, Silva AF, Garlich N, Pitelli RA (2017) Aplicação sequencial de glyphosate em plantas aquáticas de difícil controle em condição de microcosmos. **Ciência e Cultura** 13:59-63.

Devendra R, Umamahesh V, Praad TVR, Prasad TG, Asha ST, Ashok A (2004) Influence of surfactants on efficacy of different herbicides in control of *Cyperus rotundus* and *Oxalis latifolia*. **Current Science** 86:1148-1151.

Emerine SE, Richardson RJ, True SL, West AM, Roten RL (2010) Greenhouse Response of Six Aquatic Invasive Weeds to Imazamox. **J. Aquat. Plant Manage.** 48:105-111.

Fairchild JF, Allert AL, Riddle JS, Gladwin DR (2002) Efficacy of glyphosate and five surfactants for controlling giant salvinia. **J. Aquat. Plant Manage.** 40:53-58.

Finlayson CM (1984) Growth rates of *Salvinia molesta* in Lake Moondarra, Mount Isa, Australia. **Aquat. Bot.** 18:257-262.

Galam D, Silva J, Sanders D, Oard JH (2015). Morphological and genetic survey of Giant Salvinia populations in Louisiana and Texas. **Aquatic botany** 127:20-25.

Getsinger KD, Dibble E, Rodgers JH, Spencer D (2014) Benefits of Controlling Nuisance Aquatic Plants and Algae in the United States. **CAST Commentary**, QTA2014-1, 12 pp.

Gettys LA, Haller WT, Petty DG (2014) Biology and control of aquatic plants. A best management practices handbook: Third edition. **Aquatic ecosystem restoration foundation**, Mariett GA, p. 238.

Giddings JM, Brock TCM, Heger W, Heimbach F, Maund SJ, Norman SM, Ratte HT, Schäfers C, Streloke M (2002) **Community-level aquatic system studies-interpretation criteria**. Proceedings from the CLASSIC Workshop held at the Fraunhofer Institute, 30 May-2June, Smalenberg, Germany. SETAC PRESS. 44p.

Guimarães GL, Foloni LL, Pitelli RA, Martins AT (2003) Metodologia para avaliação de impacto ambiental de macrófitas em mesocosmos. **Planta Daninha** 21:37-42.

Glonski LAM, Getsinger KD (2006) Carfentrazone-ethyl for Control of Giant Salvinia. **J. Aquat. Plant Manage.** 44:136-38.

Glonski LM, Mudge CR (2014) Effect of subsurface and foliar applications of bispyribac-sodium on water hyacinth, water lettuce, and giant salvinia. **J. Aquat. Plant Manage.** 51:62–65.

Harley KLS, Mitchel DS. 1981. The biology of Australian weeds, 6. *Salvinia molesta* D.S. Mitchell. J. Australian Institute of Ag. Sci. 47:67-76.

Haller W (2014) Aquatic herbicide application methods. In: Gettys, L., Haller, W., Petty, D. (Eds.), Biological Control of Aquatic Plants. A Best Management Practices Handbook. third ed. **Aquatic Ecosystem Restoration Foundation**, USA, pp. 193–198.

Hoskins TD, Dellapina M, Mapoulas DM, Boone MD (2019) Effects of larval atrazine exposure in mesocosms on Blanchard'scricket frogs (*Acris blanchardi*) reared through overwintering and to reproductive age. **Chemosphere** 220:845-857.

Hussner A (2014) Long-term macrophyte mapping documents a continuously shift from native to non-native aquatic plant dominance in the thermally abnormal River Erft (North Rhine-Westphalia, Germany). **Limnologica** 48:39–45.

Hussner A, Stiers I, Verhofstad MJJM, Bakker ES, Grutters BMC, Haury J, Valkenburg JLCHV, Brundu G, Newman J, Clayton JS, Anderson LWJ, Hofstra D (2017) Management and control methods of invasive alien freshwater aquatic plants: a review. **Aquatic Botany** 136:112-137.

He X, Zeng A, Liu Y, Song J (2011) Precision orchard sprayer based on automatically infrared target detecting and electrostatic spraying techniques. **Int. J. Agric. Biol. Eng.** 4:35–40.

lost CA, Raetano CG Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de soluções aquosas com surfactantes em superfícies artificiais e naturais. **Engenharia Agrícola** 30:670-680.

Jursík M, Soukup J, Holec J (2010) Herbicide mode of actions and symptoms of plant injury by herbicides: inhibitors of acetolactate synthase (ALS inhibitors). **Listy Cukrovarnické a Řepářské**, Praha-Czech Republic 126:376-379.

Kissmann KG (1998) Adjuvantes para caldas de produtos fitossanitários. In: GUEDES, J. V. C.; DORNELLES S. H. B. (Ed.). **Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos: novas tecnologias**. Santa Maria: Departamento de Defesa. p. 95-104.

Last KS, Hendrick VJ, Beveridge CM, Roberts DA, Wilding TA (2016) Lethal and sub-lethal responses of the biogenic reef forming polychaete *Sabellaria alveolate* to aqueous chlorine and temperature. **Marine Environmental Research** 117:44-53.

Lobson C, Luong K, Seburn D, White M, HAnn B, Prosser RS, Wongb CS, Hanson ML (2018) Fate of thiamethoxam in mesocosms and response of the zooplankton community. **Science of the Total Environment** 637-638:1150-1157.

Matuo T (1990) Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas. **Jaboticabal: Funep**, 139 p.

Martin DE, Latheef MA (2017) Efficacy of electrostatically charged glyphosate on ryegrass. **Journal of Electrostatics** 90:45-53.

Martins AT, Pitelli RA (2005) Efeitos do manejo de *Eichhornia crassipes* sobre a qualidade da água em condições de mesocosmos. **Planta Daninha** 23:233-242.

Martins D, Velini ED, Cavenaghi AL, Mendonça CGD (1999) Controle químico de plantas daninhas aquáticas em condições controladas – caixa d'água. **Planta Daninha**. 17: 289-96.

Martins D, Velini ED, Negrisoli E, Tofoli GR (2002) Controle químico de *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes* E *Salvinia molesta* em caixas d'água. **Planta Daninha** 20: 83-88.

Miranda CV, Schwartzburd PB (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.

Mitchell DS (1978) Aquatic weeds in Papua New Guinea. **Sci N Guinea** 6:154–160.

Mudge CR (2013) Interactions of herbicides, surfactants, and the giant salvinia weevil (*Cyrtobagous salviniae*) for control of giant salvinia (*Salvinia molesta*). **J. Aquat. Plant Manage.** 51: 77-87.

Mudge CR, Heilman MA, Theel HJ, Getsinger KD (2012). Efficacy of subsurface and foliar penoxsulam and fluridone applications on giant salvinia. **Journal of aquatic plant management** 50:116-124.

Mudge CR, Netherland MD (2014) Response of invasive floating plants and nontarget emergent plants to foliar applications of imazamox and penoxsulam. *Journal of Aquatic Plant Management* 52:1-7.

Mudge CR, Perret AJ, Winslow JR (2016) Evaluation of foliar herbicide and surfactant combinations for control of giant salvinia at three application timings. **J Aquat Plant Manag.** 54:32-36.

McFarland DG, Nelson LS, Grodowitz MJ, Smart RM, Owens CS (2004) *Salvinia molesta* D.S. Mitchell (Giant Salvinia) in the United States: A review of species ecology and approaches to management. **U.S. Army Engineer Research and Development Center**, Environmental Laboratory. ERDC/EL SR-04-2.

Nelson KA, Renner KA (1998) Weed control in wide- and narrow-row soybean (*Glycine max*) with imazamox, imazethapyr, and CGA-277476 plus quizalofop. **Weed Technol.** 12:137-144.

Nelson LS, Skogerboe JG, Getsinger KD (2001). Herbicide evaluation against giant salvinia. **Journal of Aquatic Plant Management** 39:48-53.

Nelson LS, Glomski LM, Gladwin DN (2007) Effect of Glyphosate Rate and Spray Volume on Control of Giant Salvinia. **J. Aquat. Plant Manage.** 45:58-61.

Netherland MD (2014) Chemical control of aquatic weeds. In: Gettys, L., Haller, W., Petty, D. (Eds.), *Biological Control of Aquatic Plants. A Best Management Practices Handbook*. third ed. **Aquatic Ecosystem Restoration Foundation**, USA, pp. 71–88.

OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development. **Draft Guidance document on simulated freshwater lentic field tests (Outdoor Microcosms and Mesocosms)**. July, 2004, 26p.
<http://www.oecd.org/fr/securitechimique/essais/32612239.pdf>

Pan XL, Dong FS, Wu XH, Xu J, Liu XG, Zheng YQ (2019) Progress of the discovery, application, and control technologies of chemical pesticides in China. **Journal of Integrative Agriculture** 18:840-853.

Patel MK (2016) Technological improvements in electrostatic spraying and its impact to agriculture during the last decade and future research perspectives—A review. **Engineering in Agriculture, Environment and Food** v:92-100.

Pompeo M (2008) Monitoramento e manejo de plantas aquáticas. **Oecologia Brasiliensis** 12:406-424.

Queiroz AA, Martins JAS, Cunha JPAR (2008) Adjuvantes e qualidade da água na aplicação de agrotóxicos. **BioscienceJournal** 24:8-19.

Room PM (1986) *Salvinia molesta*-a floating weed and its biological control. pp. 164-186. In: RL Kitching, (ed). **The ecology of exotic animals and plants**. John Wiley, Brisbane, Queensland, Australia.

Room PM, Thomas PA (1986) Nitrogen, phosphorus and potassium in *Salvinia molesta* Mitchell in the field: effects of weather, insect damage, fertilizers and age. **Aquat Bot** 24:213–232

Salcedo R, Llop J, Campos J, Costas M, Gallart M, Ortega P, Gil E (2020) Evaluation of leaf deposit quality between electrostatic and conventional multi-row sprayers in a trellised vineyard. **Crop Protection** 127:104964.

Sande JCV, Huijsmans JFM, Porskamp HAJ, Michielsen JMGP, Stalinga H, Holterman HJ, Jong A (2008). Spray techniques: How to optimise spray deposition and minimize spray drift. **Environmentalist**. 28:9-17.

Santos NBC, Arruda ECP, Neto AGB, Oliveira AFM (2020) Assessing the effects of water quality on leaf morphoanatomy, ultrastructure and photosynthetic pigment content of *Salvinia auriculata* Aubl.(Salviniaceae). **Ecotoxicology and Environmental Safety** 190:110061.

Sartain BT (2018) Exploring alternative giant salvinia (*Salvinia molesta* D.S. Mitchell) management strategies. 121 f. *LSU Doctoral Dissertations*. 4542. https://digitalcommons.lsu.edu/gradschool_dissertations/4542

Sartain BT, Mudge CR (2018) Evaluation of 12 foliar applied non-aquatic herbicides for efficacy against giant salvinia (*Salvinia molesta*) **J. Aquat. Plant Manage.** 56:107-112.

Sartain BT, Mudge CR (2019) The response of giant salvinia to foliar herbicide applications at three winter timings. **Journal of Aquatic Plant Management** 57:1-6.

Senseman SA (2007) Herbicide handbook. 9th ed. **Weed Science Society of America**. Lawrence, KS. 458 p.

SERA (Syracuse Environmental Research Associates, Inc.). **Imazamox Human Health and Ecological Risk Assessment**. USDA Forest Service Contract: AG-3187-C-06-0010, Final Report, 2010. Acessado em: http://www.fs.fed.us/foresthealth/pesticide/pdfs/052-24-02a_Imazamox.pdf

Serra ME, Chaim A, Raetano CG (2008) Pontas de pulverização e eletrificação das gotas na deposição da calda em plantas de crisântemo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 43:479-485.

Silva BM, Ruas RAA, Sichocki D, Dezordi LR, Caixeta LF (2014) Deposição da calda de pulverização aplicada com pontas de jato plano em diferentes partes da planta de soja (*glycinemax*) e milho (*zeamays*). **Revista Engenharia na Agricultura** 22:17-24.

Souza ELC, Foloni, LL, Filho JT, Velini ED, Siono LM, Silva JRM (2017) Half-Life of Glyphosate on the Control of Water Hyacinths in Water Tanks. **Journal of Water Resource and Protection** 9:470-481.

Tan S, Evans RR, Dahmer ML, Singh BK, Shaner DL (2005) Imidazolinone-tolerant crops: history, current status and future. **Pest management science** 61:246-257.

Tanaka RH, Velini ED, Martins D, Bronhara AA, Silva MAS, Cavenaghi AL, Tomazela MS (2002) Avaliação de herbicidas para o controle de egéria em laboratório, caixa d'água e represa sem fluxo de água. **Planta Daninha** 20:73-81.

Tranel P, Wright TR (2002) Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: what have we learned? **Weed Science**, Lawrence, 50:700-712.

Zheng J, Zhou H, Xu Y (2002) Advances in pesticide electrostatic spraying in China. **Transaction of the ASAE** 34:1-12.

Wersal RM, Madsen JD (2010) Combinations of Penoxsulam and Diquat as Foliar Applications for Control of Waterhyacinth and Common Salvinia: Evidence of Herbicide Antagonism. **J. Aquat. Plant Manage** 48:21-25.

CAPÍTULO 2 – Controle de *Salvinia molesta* com imazamox e análise de indicadores ambientais em microcosmos

RESUMO – O objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia do imazamox no controle de *S. molesta* e os indicadores ambientais de aplicação em condição de microcosmo. As doses utilizadas foram 600, 700, 800 e 900 g i.a. ha⁻¹ com volume de calda de 50 L ha⁻¹. As avaliações de eficácia realizadas por porcentagem de sinais de intoxicação (0 a 100%), demanda bioquímica e química de oxigênio, variáveis de qualidade de água, clorofila/feofitina e massa fresca e seca das plantas foram realizadas em 0, 7, 15, 30, 45 e 60 dias após aplicação (DAA). O imazamox com 600, 700 e 800, 900 g i.a. ha⁻¹ foi 75, 63, 90 e 94% eficaz em 60 DAA, com redução da massa fresca em 56, 46, 88 e 95%, massa seca em 31, 40, 82 e 92%, respectivamente e reduziu a clorofila *a* das plantas em todas as doses. Para DBO₅ ocorreu aumento em todas as doses em 15, 30 e 45 DAA com reestabelecimento do parâmetro em 60 DAA e para DQO ocorreu aumento em 60 DAA em 700 e 900 g i.a. ha⁻¹. Os resultados de temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica não foram limitantes para a manutenção das atividades da biota aquática. O imazamox foi eficaz na dose de 900 g i.a. ha⁻¹ no controle de *S. molesta* sem causar efeitos significativos nos indicadores ambientais de qualidade de água.

Palavras-chave: Eficácia; herbicida; macrófitas; monitoramento ambiental.

2.1 Introdução

A macrófita *Salvinia molesta* é uma pteridófito flutuante da família Salviniaceae, nativa da região sudeste do Brasil, tem causado grandes prejuízos em ambientes aquáticos subtropicais, tropicais e temperadas do mundo (Owens et al., 2014). Esta planta é tolerante a ampla variação de condições ambientais, ocupa rapidamente áreas por propagação vegetativa ou esporos e pode formar massa vegetativa de 1,0 m de espessura na superfície da água (Wersal e Madsen, 2010) e duplicar sua biomassa entre 1 a 8 dias levando a danos ambientais, econômicos e de saúde pública (Sartain e Mudge, 2018).

O controle químico com produtos herbicidas pode ser utilizado para controle de macrófitas flutuantes, especialmente *S. molesta* (Sartain e Mudge, 2018). A viabilidade da utilização no Brasil ocorreu em 16 de julho de 2015 com aprovação da resolução CONAMA nº 467. Diante disso, são necessários que sejam desenvolvidos estudos sobre tecnologias de aplicação de herbicidas e segurança ambiental para o controle destas plantas nos corpos hídricos brasileiros, a fim de entender a dinâmica ambiental das moléculas nos diversos compartimentos ambientais.

O controle químico tem se destacado devido à eficácia satisfatória, boa relação benefício/custo e o sucesso histórico do uso (Cruz et al., 2015a,b; Sartain e Mudge et al., 2018). Nos Estados Unidos, o herbicida imazamox recebeu registro da Agência de Proteção Ambiental (USEPA) para o controle de plantas flutuantes, submersas e emergentes (Glomski e Mudge, 2013).

O imazamox pertence ao grupo químico das imidazolinonas inibidores de ALS (acetato lactato sintase) e contém um grupo funcional metoximetil no anel piridina (Tan et al., 2005). É absorvido rapidamente pela folha e translocado para o xilema e floema causando injúrias e a morte do meristema apical das plantas (Senseman, 2007) e com isso, dificulta a eliminação do herbicida da planta para os corpos hídricos (Campos et al., 2013). No ambiente não é tóxico para invertebrados aquáticos, abelhas, peixes, aves, mamíferos e pouco tóxico para as algas, não apresenta bioacumulação, sua meia vida é de 5 a 15 dias dependendo da luminosidade e profundidade do corpo hídrico e a sua dissipação ocorre por diluição e fotólise (Rodgers e Black, 2012; Campos et al., 2013).

Com a legislação que autoriza a utilização de produtos químicos no ambiente aquático no Brasil, são necessários estudos que demonstrem que esta utilização não contribui para contaminação dos corpos hídricos brasileiros e que não afete negativamente os organismos não alvos da aplicação (Rodgers e Black, 2012). Assim, a avaliação das variáveis de qualidade de água, análise de demanda bioquímica (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) durante a utilização do herbicida é de fundamental importância para o conhecimento dos possíveis efeitos da decomposição da matéria vegetal morta sobre a comunidade não alvo da aplicação e sobre a qualidade de água, para a tomada de decisão sobre a utilização do controle químico (Cruz et al., 2015b; Li et al., 2018; Vigiak et al., 2019).

No Brasil, ainda não foi estabelecido um programa padronizado de monitoramento ambiental e de aplicação de produtos químicos em ambientes aquáticos. Para isso, uma das ferramentas que pode ser empregada na simulação de efeitos ambientais é o estudo em condição de microcosmos (OECD, 2004).

2.2 Objetivos

Avaliar a eficácia do herbicida imazamox para controle de *S. molesta* e indicadores ambientais após aplicação em condição de microcosmos.

2.3 Material e Métodos

O cultivo de *S. molesta* foi realizado em caixas plásticas com capacidade de 250 L, preenchidas com substrato composto por areia grossa, substrato para plantas (Carolina Soil) e solo (Latosolo Vermelho) (1:1:2 vv⁻¹) e fluxo contínuo de água. O herbicida avaliado foi o imazamox com 120 g i.a. L⁻¹ (Clearcast™ NA, Basf S/A).

Os experimentos foram realizados nos meses de maio, junho e julho do ano de 2017 e foram conduzidos em 15 microcosmos com dimensões de 51 x 81 x 47,5 cm, capacidade para 195 litros, abastecidos com 170L de água por caixa tipo cisterna, com entrada e saída de água pela superfície do sistema, vazão de 1,8 L de água por hora, adicionado 41 cm³ de substrato composto por solo (Latosolo Vermelho), areia grossa e substrato para plantas (Carolina Soil) na proporção 2:1:1 vv⁻¹ e 20 plantas

jovens de *S. molesta* (grupo de plantas com 10 cm de comprimento com frondes (folhas) de 1 cm de diâmetro).

Após a ocupação de 75% da superfície do microcosmo pela planta (decorridos 30 dias) foi realizada a aplicação das doses de imazamox: 600, 700, 800 e 900 g i.a. ha⁻¹. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições mais o controle sem aplicação do herbicida.

A aplicação foi realizada com pulverizador pressurizado por CO₂ com pressão de 200 kPa, consumo de calda de 50 L ha⁻¹, com a ponta de pulverização BD 80.005 em velocidade de 1,0 m s⁻¹. As condições climáticas no momento da aplicação foram: temperatura 25 °C, umidade relativa 56% e velocidade do vento 4 km h⁻¹.

Em 7, 15, 30, 45 e 60 dias após a aplicação (DAA) foi realizada a avaliação de eficácia de controle segundo porcentagem de sinais de intoxicação das plantas em que 0 (zero) corresponde a nenhuma injúria demonstrada pela planta e 100 (cem) à morte das plantas (ALAM, 1974; SBPCPD, 1995) e determinado o teor de clorofila *a* e feofitina *a* das folhas (CETESB, 2014). Além disso, foram avaliadas as variáveis ambientais de qualidade da água (temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mg L⁻¹), condutividade elétrica (μS cm⁻¹) e pH com sonda multiparâmetro YSI professional plus, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (Caldwell e Langelier, 1948) e demanda química de oxigênio (DQO) (Adams, 1989).

Ao final do período experimental (60 DAA) no mês de julho do ano de 2017 foi avaliada a massa fresca (kg) e massa seca das plantas (g), após as plantas serem secas em estufa com circulação de ar forçado a 65 °C até atingirem massa constante.

Os resultados obtidos de eficácia e controle foram submetidos a análise de regressão linear. Os resultados de massa fresca e seca, clorofila *a*, feofitina *a*, DBO e DQO foram transformados em raiz quadrada (x+10) para obtenção da normalidade dos dados. A seguir, os dados de clorofila *a*, feofitina *a*, DBO e DQO foram submetidos a análise fatorial com 2 fatores e foram analisados os efeitos de dose, épocas de avaliação e a interação época x dose. Após todos resultados de indicadores ambientais e massa fresca e seca foram submetidos a análise variância pelo teste F (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade no programa estatístico AgroEstat-Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos (Barbosa e Maldonado, 2014).

2.4 Resultados e Discussão

Aos 7 dias após aplicação (DAA), não ocorreu controle das plantas de *S. molesta* em nenhuma das doses (Figura 1). Em 15 DAA, não ocorreu controle com 600 e 700 g i.a. ha⁻¹, em 800 e 900 g i.a. ha⁻¹ o controle foi de 15 e 20%, respectivamente, com sinais iniciais de intoxicação das plantas com clorose de borda das folhas. A baixa eficácia no período inicial de controle das plantas está relacionada com o mecanismo de ação do imazamox. Os inibidores da ALS (Acetolactato Sintase) são de ação lenta e os sinais de lesão nas plantas demoram a se desenvolver e vão evoluindo vagarosamente e os sinais mais acentuados de eficácia começam em 21 dias após aplicação (Mudge e Netherland, 2014).

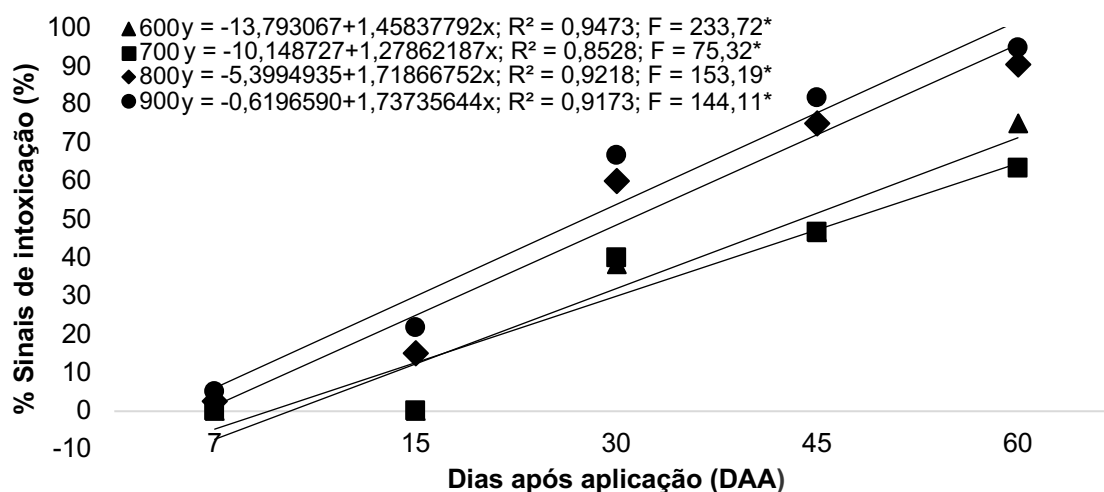


Figura 1. Porcentagem de eficácia do imazamox no controle de *S. molesta*.
 **Significativo a 5% de probabilidade. Valor de p<0,01.

Aos 30 DAA, as doses de 600 e 700 g i.a. ha⁻¹ apresentaram valores similares entre si com 40% de controle e menor eficácia em relação a 800 e 900 g i.a. ha⁻¹ com 60 e 66%, respectivamente (Figura 1). Essa diferença de eficácia está diretamente relacionada com as rebrotas que ocorreram em 600 g i.a. ha⁻¹ a partir de 30 DAA, até o final do período experimental e em 700 g i.a. ha⁻¹ aos 60 DAA. Em 28 DAA a flumioxazina com 437 g i.a. ha⁻¹ e o carfentrazone- ethyl com 28 g i.a. ha⁻¹ + 0,25% de sunwet foram mais eficazes que o imazamox com 90 e 83% de controle das plantas de *S. molesta* (Glomski e Getsinger, 2006; Richardson et al., 2008), essa diferença na

eficácia pode estar relacionada com o mecanismo de ação de inibição enzima protoporfirinogênio oxidase (protox). Apesar de esses herbicidas serem mais eficazes pouco se conhece dos possíveis efeitos da aplicação em ambiente aquático e os riscos que pode causar para os organismos não alvos da aplicação e para os parâmetros físico químicos na água.

O controle de *S. molesta* tem sido um desafio para a maior parte dos métodos utilizados, pois a planta possui estrutura foliar complexa, como um par de folhas e uma terceira folha modificada que funciona como raiz e apresentam elevada quantidade de tricomas (pêlos) na epiderme (Kissmann e Groth, 1997). Isto pode impedir a chegada das gotas de pulverização diretamente à superfície da folha comprometendo a cobertura e tendo como resultado a redução da absorção e penetração do herbicida na planta. Além disso, o crescimento rápido, pode resultar em aplicações quando a massa vegetal está bastante densa, uma vez que, *S. molesta* pode formar camadas de até 1,0 m de espessura na superfície da água que protegem as brotações dificultando a ação dos herbicidas que atingem apenas as folhas que estão mais expostas (Emerine et al., 2010; Wersal e Madsen, 2010). Estes aspectos morfo-funcionais podem ter interferido no controle, principalmente com baixas eficácias nas menores doses testadas.

Aos 60 DAA, o imazamox foi 75 e 63% eficaz nas doses de 600 e 700 g i.a. ha⁻¹ similar ao imazapyr com 70 e 60% nas doses 750 e 650 g i.a. ha⁻¹ (Cruz et al., 2015b), contudo foi utilizado volume de calda de 200 L ha⁻¹, consumo de calda quatro vezes maior do que o utilizado neste estudo, a utilização de menores volumes de calda possibilita maior segurança na aplicação de produtos químicos, principalmente no ambiente aquático.

Nas doses de 800 e 900 g i.a. ha⁻¹ ocorreu 90 e 94% de eficácia, respectivamente (Figura 1). Entretanto ocorreu surgimento de emissão do rizoma das plantas na dose de 800 g i.a. ha⁻¹. O imazamox foi mais eficaz do que o imazapyr, com mesmo mecanismo de ação e grupo químico, que controlou 70% e 90% das plantas de *S. molesta* com 875 e 1000 g i.a. ha⁻¹, utilizando o volume de aplicação de 200 L ha⁻¹ aos 60 DAA (Cruz et al., 2015b).

O imazamox foi mais eficaz com 800 e 900 g i.a. ha⁻¹ e consumo de calda 50 L ha⁻¹ em 60 DAA, do que os herbicidas ALS pertencentes a classe química das

sulfonilureias, bensulfuron com 70 g i.a. ha⁻¹ e halossulfuron 290 g i.a. ha⁻¹ com 935 L ha⁻¹ que controlaram 77% e 76% de *S. molesta* em 84 DAA (Sartain e Mudge, 2018). O metsulfuron com 42 g i.a. ha⁻¹ e o sulfometuron 315 g i.a. ha⁻¹ controlaram 100% e das plantas de *S. molesta* em 84 DAA (Sartain e Mudge, 2018) e o penoxsulam com 98,2 g i.a. ha⁻¹ + 0,5% Sunwet controlou 95% das plantas em 60 DAA (Wersal e Madsen, 2010), ambos com volume de aplicação de 935 L ha⁻¹.

Os diferentes resultados de eficácia e a quantidade de doses utilizadas dos inibidores de ALS (imidazolinonas e sulfonilureias) pode estar relacionada com a capacidade de cada tipo de molécula penetrar na cutícula da planta, ser degradado pela planta, migrar para seu local alvo e se adequar no local de ligação com o herbicida (Tan et al., 2005).

Para o controle de *S. molesta* foram utilizados altos volumes de calda de 200 a 935 L ha⁻¹ (Emerine et al., 2010; Cruz et al., 2015b; Sartain e Mudge, 2018), diferindo do utilizado neste estudo em que ocorreram eficácias similares ou maiores com a utilização de 50 L ha⁻¹. O desenvolvimento de métodos de aplicação para o fornecimento efetivo de herbicidas no manejo de plantas daninhas é fundamental para alcançar o máximo de eficácia e mitigar os impactos econômicos e ambientais, uma vez que, a utilização de volumes acima do necessário pode ocasionar deriva e escorrimento com maior risco ambiental (Barbosa et al., 2011).

Na avaliação da biomassa das plantas, o imazamox reduziu significativamente a massa fresca e seca de *S. molesta*, sem diferença entre 600 e 700 g i.a. ha⁻¹ (Tabela 1). A maior redução da massa fresca e seca ocorreu com 800 e 900 g i.a. ha⁻¹ com valores similares entre si (Tabela 1).

Tabela 1. Massa fresca (MF), Massa seca (MS) e redução da massa fresca e seca das plantas de *S. molesta* após aplicação de imazamox.

Doses (g i.a. ha ⁻¹)	Massa Fresca (g)	Redução MF (%)	Massa Seca(g)	Redução MS (%)
0	35,5 a	-	8,9 a	-
600	27,4 ab	56,3	7,7 ab	31,4
700	27,9 ab	46,2	7,2 abc	40,2
800	12,1 ab	88,3	4,6 bc	82,7
900	7,8 b	95,1	3,8 c	92,4
CV	46,2	-	20,0	-
F	3,87*	-	8,1*	-
p	0,03	-	0,01	-
DMS (5%)	27,6	-	3,5	-

*Significativo a 5% de probabilidade. Médias com a mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$).

Os herbicidas metsulfuron com 42 g i.a. ha⁻¹ e o sulfometuron 315 g i.a. ha⁻¹ e volume de aplicação de 935 L ha⁻¹ reduziram 100% da massa seca de *S. molesta* em 84 DAA (Sartain e Mudge, 2018), o penoxsulam com 49 g i.a. ha⁻¹ e a flumioxazina com 214 g i.a. ha⁻¹ com adição de 0,25% de surfactante não iônico reduziram de 98 a 100% em 42 DAA (Mudge et al., 2013), resultados mais eficazes na redução da biomassa que o imazamox, contudo utilizando volume de calda 18 vezes maior o que pode aumentar o risco para organismos não alvos da aplicação nos corpos hídricos.

A flumioxazina com 437 g i.a. ha⁻¹ e com 200 g i.a. ha⁻¹ + 0,1% de surfactante organociliconado não iônico reduziram 75 e 45%, respectivamente da massa seca de *S. molesta* (Richardson et al., 2008; Sartain e Mudge, 2019). O carfentrazone- ethyl com 28 g i.a. ha⁻¹ + 0,25% de sunwet reduziu 81% (Glomski e Getsinger, 2006).

O imazamox e imazapyr com 560 g i.a. ha⁻¹ + 0,25% de surfactante e volume de calda de 280 L ha⁻¹ em 35 DAA reduziram 33,73 e 43,96% da massa seca de *S. molesta* (Emerine et al., 2010). Para *Eichhornia crassipes* o imazamox na dose de 70,1 + 1,0% de óleo vegetal metilado com organosiliconado e volume de aplicação de 935 L ha⁻¹ em 56DAA reduziu 30% da massa seca das plantas (Mudge e Netherland, 2014b), resultados similares de redução, sendo que o volume de calda utilizado neste estudo foi de 4 a 20 vezes menor.

Para *Pistia stratiotes* o imazamox na dose de 210,2 g i.a. ha⁻¹ + 0,5% de surfactante não iônico reduziu a massa seca das plantas em 60% (Mudge e Netherland, 2014). Entretanto, para reduzir 94,69% de massa seca de *S. molesta*,

valores similares a este estudo, foi necessário 2.050 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate + 0,5% de Cidekick e volume de calde de 935 L ha⁻¹ em 28 DAA (Nelson et al., 2007). Para Sartain e Mudge (2019) foi necessário 3.300 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate + 0,1% de surfactante organociliconado não iônico para reduzir 55% da massa seca das plantas.

A eficácia do imazamox na redução da biomassa de *S. molesta* foi excelente, levando em consideração que é uma planta de difícil controle e que tem mecanismos morfofuncionais de proteção. Uma estratégia no manejo desta planta é a aplicação sequencial de herbicidas, principalmente por *S. molesta* ter apresentado rebrota das plantas após 30 dias da aplicação. Um exemplo disso, foi a aplicação sequencial de glyphosate na dose de 2.880 g i.a ha⁻¹ + 0,5% de aterbane e volume de calda de 200 L ha⁻¹, em 21 dias após a primeira aplicação a eficácia para *S. molesta* foi de 76% com o surgimento de rebrota das plantas e após a aplicação sequencial o glyphosate controlou 100% das plantas em 45 dias da segunda aplicação (Cruz et al., 2017).

A aplicação sequencial de imazamox pode ser uma estratégia no manejo de *S. molesta* pela elevada eficácia apresentada neste estudo (94%), redução da biomassa (92%), utilizando menor dose do herbicida (900 g i.a. ha⁻¹) e menor volume de calda (50 L ha⁻¹). Esses resultados são importantes na tomada de decisão sobre qual método pode ser adotado para controle destas plantas sem causar riscos e contaminação para os ambientes aquáticos.

Para consolidar a eficácia dos herbicidas no controle de plantas daninhas a análise da clorofila *a* e a feofitina *a* nas plantas é importante devido a esses pigmentos serem fundamentais para seu crescimento e adaptação ao mais diversos ambientes. A aplicação do imazamox nas plantas *S. molesta* diminui o teor ou a atividade da clorofila nas folhas e contribuiu na redução do seu crescimento e desenvolvimento. O imazamox reduziu significativamente o teor de clorofila *a* das plantas em todas as doses sem diferença entre si (Tabela 2). Para as épocas de avaliação ocorreu aumento em 30DAA (Tabela 2). Na interação entre época e dose não ocorreu diferença significativa nos teores de clorofila *a* (Tabela 2), dados não mostrados.

Tabela 2. Valores de clorofila *a* (Chl) e feofitina *a* (Feo) ($\mu\text{g g}^{-1}$) das plantas de *S. molesta* DBO₅ e DQO (mg L^{-1}) após aplicação do herbicida imazamox.

Variáveis	Chl		Feo		DBO ₅		DQO	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Época	5,7*	<0,01	3,7*	<0,01	8,0*	<0,01	8,3*	<0,01
Dose	14,0*	<0,01	3,1*	0,02	1,6 ^{ns}	0,17	4,4*	0,01
E x D	1,3 ^{ns}	0,19	1,2 ^{ns}	0,29	2,2*	<0,01	4,3*	<0,01
CV	41,1		44,8		6,5		29,8	
Efeito de época de avaliação (Dias Após Aplicação)								
0	-		-		3,2 b		5,8 bc	
7	4,9 b		16,7 a		3,2 b		4,8 c	
15	5,6 b		10,8 ab		3,5 a		6,2 bc	
30	9,2 a		9,7 b		3,5 a		7,3 ab	
45	6,2 b		15,5 ab		3,5 a		6,9 bc	
60	6,4 b		14,7 ab		3,4 ab		9,2 a	
DMS (5%)	2,7		6,2		0,2		2,1	
Efeito dose (g i.a. ha ⁻¹)								
0	10,8 a		8,7 b		3,4 a		6,0 ab	
600	7,0 b		13,7 ab		3,3 a		5,4 b	
700	5,3 b		15,6 a		3,3 a		7,7 a	
800	4,8 b		13,9 ab		3,4 a		6,8 ab	
900	4,5 b		15,4 a		3,5 a		7,6 a	
DMS (5%)	2,7		6,2		0,2		1,8	
Interação Época x Dose (Demanda Bioquímica de Oxigênio ₅)								
Dose/DAA	0	7	15	30	45	60		
0	3,1 bA	3,3 abA	3,1 bB	3,6 abA	3,8 aAB	3,2 bA		
600	3,3 aA	3,2 aA	3,4 aAB	3,5 aA	3,3 aAB	3,2 aA		
700	3,1 aA	3,1 aA	3,5 aAB	3,5 aA	3,4 aAB	3,5 aA		
800	3,3 abA	3,1 bA	3,5 abAB	3,7 aA	3,3 abB	3,5 abA		
900	3,2 cA	3,1 cA	3,9 aA	3,3 bcA	3,8 abA	3,6 abcA		
DMS (5%)	0,5							
Interação Época x Dose (Demanda Química de Oxigênio)								
Dose/DAA	0	7	15	30	45	60		
0	5,2 abA	9,2 aA	3,1 bB	3,7 bB	6,6 abA	7,6 abB		
600	6,3 aA	3,1 aB	5,7 aAB	5,7 aB	4,5 aA	7,0 aB		
700	6,2 bcA	3,1 cB	8,0 bA	13,9 aA	7,5 bcA	7,4 bcB		
800	5,2 bA	3,1 bB	6,6 abAB	7,2 abB	7,6 abA	11,1 aAB		
900	5,7 bA	5,5 bAB	7,4 bAB	5,8 bB	8,5 abA	12,7 aA		
DMS (5%)	4,6							

^{ns}Não significativo. *Significativo a 5% de probabilidade. Médias com a mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ($p>0,05$). Na interação E x D, médias com a mesma letra minúscula na linha não diferem estatística entre si para o efeito de época e médias com a mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si para o efeito de dose.

O herbicida glyphosate com 0,5 e 5,0 mg L^{-1} em 7 dias após aplicação reduziu significativamente os teores de clorofila *a* nas plantas de *Spirodela punctata* (Santos et al., 1999), similar ao imazamox que reduziu o teor de clorofila *a* das plantas em todas as doses. A clorose nas folhas de *S. molesta* após aplicação do imazamox e de herbicidas em geral é decorrente da destruição da membrana dos cloroplastos e a inibição da reação de hill na fase luminosa da fotossíntese (Santos et al., 1999) e

consequentemente a diminuição da atividade fotossintética de *S. molesta* (Taiz e Ziger, 2013).

Para feofitina *a* o efeito do período de avaliação foi significativo em todas as épocas, sendo que o maior valor ocorreu em 7 DAA (Tabela 2), período inicial de controle. O menor valor deste fotopigmento ocorreu em 30 DAA. Para o efeito de dose ocorreu diferença significativa em 700 e 900 g i.a. ha⁻¹ (Tabela 2). Na interação entre época e dose não ocorreu diferença significativa (Tabela 2), dados não mostrados.

O aumento da feofitina *a* indica que o pigmento de clorofila não estava sendo utilizado no mecanismo fotossintético, pois ocorreu uma reação de feofitinização onde dois íons de hidrogênio substituíram o íon de magnésio encontrado no anel de porfirina (Taiz e Ziger, 2013; Ylmaz e Gökmen, 2016), indicando que o imazamox foi eficaz para a inibição do funcionamento do aparato fotossintético de *S. molesta*.

A utilização de herbicidas proporciona um conjunto de opções no controle de plantas aquáticas. O estudo de simulação de efeitos ambientais em condição de microcosmo é uma ferramenta importante para avaliar as características físico-químicas da água durante o processo de controle (OCDE, 2004). Estas avaliações são importantes na tomada de decisão sobre a utilização ou não de herbicidas em ambiente aquático.

A quantidade de matéria orgânica contida nos corpos hídricos é determinada pela quantificação da DBO₅ e DQO na água, esses parâmetros vão estimar qual a extensão da oxidação química e biológica no ambiente aquático e são indicadores de poluição em água doce (Li et al., 2018).

Na avaliação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) ocorreu diferença significativa para o efeito de época e a interação época e dose (Tabela 2). Para o efeito de época ocorreu aumento da DBO₅ em 15, 30 e 45 DAA. Entretanto, em 60 DAA ocorreu diminuição da DBO₅ similar ao controle (Tabela 2). Na interação entre época e dose ocorreu aumento significativo na dose de 900 g i.a. ha⁻¹ em 15 DAA (Tabela 2).

O aumento da DBO₅ está relacionado com a quantidade de oxigênio necessário para consumir biologicamente a matéria orgânica presente na água em um determinado período de tempo (Vigiak et al., 2019) que é a fração da matéria orgânica dissolvida que é facilmente assimilável pelas bactérias e indica presença quantitativa

de matéria orgânica biodegradável que consome oxigênio dissolvido da água (Devi et al., 2017). Em altas concentrações pode reduzir o oxigênio da água e causar prejuízo a biodiversidade aquática e aos usos da água (Ferreira et al., 2017).

Neste estudo o aumento da decomposição das plantas de *S. molesta* diante do processo de controle disponibilizou mais matéria orgânica na água e o período de aumento foi entre 15 a 45 DAA. Esse aumento não prejudicou a disponibilidade de oxigênio dissolvido na água que se manteve entre 8,66 a 8,59 mg L⁻¹ em todo período do estudo (Tabela 3). Além disso, aos 60 DAA ocorreu reestabelecimento do valor de DBO₅ na água similar ao controle (Tabela 2), o que demonstra que o processo de controle das plantas não causou efeito negativo sobre a qualidade da água e nos processos de autodepuração do microcosmo.

Na demanda química de oxigênio (DQO) ocorreu diferença significativa para efeito de época, dose e na interação época e dose (Tabela 2). Para o efeito de época ocorreu aumento significativo em 60 DAA. Para o efeito de dose ocorreu aumento significativo com 700 e 900 g i.a. ha⁻¹ (Tabela 2). Na interação entre época e dose ocorreu aumento significativo em 15 e 30 DAA com 700 g i.a. ha⁻¹ e com 900 g i.a. ha⁻¹ em 60 DAA (Tabela 2).

A DQO determina a quantidade de oxigênio contida na matéria orgânica suscetível a oxidação por fortes oxidantes químicos (Li et al., 2018). Esta análise é utilizada para detectar a oxidação de materiais orgânicos e inorgânicos presentes em corpos hídricos, efluentes de esgoto de sistemas industriais e domésticos (Devi et al., 2017). Neste contexto, é um indicador de matéria orgânica presente na água juntamente com a DBO. O aumento da DQO em 60 DAA com 900 g i.a. ha⁻¹ está relacionado com aumento da eficácia do imazamox no controle de *S. molesta* sem alteração dos parâmetros físico químicos água (oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica) (Tabela 3).

As variações significativas da temperatura e oxigênio dissolvido da água em torno de 2,3 °C e 1,0 mg L⁻¹ entre os tratamentos e o controle (Tabela 3), não são limitantes para a manutenção das atividades da biota aquática sendo que o oxigênio dissolvido deve permanecer >4,0 mg (Melo Júnior et al., 2019). A condutividade elétrica e o pH não apresentaram variações significativas entre os períodos avaliados (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de variáveis físico-químicas da água temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e pH após aplicação do herbicida imazamox.

Doses (g i.a. ha ⁻¹)	Dias após a aplicação (DAA)					
	0	7	15	30	45	60
Temperatura (°C)						
0	24,3 b	23,2 e	23,7 c	23,0 c	23,8 c	24,8 a
600	24,3 bc	23,5 d	25,0 a	24,5 a	23,9 bc	24,4 b
700	24,0 cd	24,5 b	23,6 c	24,5 a	24,1 b	24,0 c
800	23,9 d	24,0 c	23,8 c	24,0 b	23,7 c	24,2 c
900	24,9 a	25,5 a	24,2 b	23,9 b	24,5 a	24,6 ab
CV	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
F	38,8*	225,5*	83,3*	83,2*	39,0*	48,7*
DMS (5%)	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2
Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹)						
0	9,2 a	8,8 a	8,9 a	9,1 a	9,5 a	8,4 a
600	8,6 ab	8,5 a	8,8 a	8,3 bc	8,9 ab	8,5 a
700	8,2 b	8,3 a	8,1 a	7,9 bc	9,0 ab	9,0 a
800	8,5 b	8,5 a	8,5 a	7,7 c	8,9 ab	8,6 a
900	8,6 ab	8,3 a	8,9 a	8,6 ab	8,3 b	8,3 a
CV	3,1	3,6	3,9	3,7	3,6	5,5
F	5,9*	1,4 ^{ns}	3,1 ^{ns}	9,5*	4,7*	1,1 ^{ns}
DMS (5%)	0,7	0,8	0,9	0,8	0,8	1,2
Condutividade Elétrica (μS cm ⁻¹)						
0	101,8 b	101,0 c	109,7 c	108,9 e	95,7 d	99,2 e
600	104,1 b	99,8 d	108,4 d	122,4 b	117,2 b	113,3 b
700	97,0 b	93,7 e	100,4 e	117,1 d	113,5 c	111,0 c
800	116,2 a	111,2 b	121,2 b	125,5 a	120,3 a	118,8 a
900	121,4 a	118,0 a	124,8 a	118,4 c	112,8 c	108,3 d
CV	2,9	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3
F	30,4*	2023,9*	2747,1*	1552,3*	3513,4*	1226,0*
DMS (5%)	8,6	1,0	0,8	0,7	0,7	0,9
pH						
0	7,5 a	7,7 a	7,7 b	7,7 b	7,8 b	7,6 c
600	7,6 a	7,7 a	7,6 c	7,6 c	7,7 d	7,7 c
700	7,6 a	7,7 a	7,6 d	7,6 c	7,7 cd	7,7 c
800	7,6 a	7,6 b	7,7 b	7,5 d	7,7 bc	7,9 b
900	7,6 a	7,5 c	7,7 a	8,9 a	7,9 a	8,4 a
CV	0,5	0,3	0,1	0,3	0,3	0,9
F	2,8 ^{ns}	52,2*	72,7*	1804,9*	35,4*	128,1*
DMS (5%)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2

^{ns}Não significativo. *Significativo a 5% de probabilidade. Médias com a mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey (p>0,05).

Para determinar a sanidade e a saúde dos corpos hídricos após a intervenção química os estudos dos fatores químicos, físicos e microbiológicos devem estar interligados (USEPA, 2005), a aplicação do imazamox em condição de microcosmos causou aumento na DBO e DQO da água devido a matéria vegetal morta pelo processo de controle das plantas. Entretanto, esse aumento não foi significativo a ponto de causar efeito nos parâmetros físico químicos da água que se mantiveram constantes em todo o período experimental (Tabela 3).

2.5 Conclusões

O imazamox foi eficaz no controle de *S. molesta* na dose de 900 g i.a. ha⁻¹ em 60 dias após aplicação e não causou efeitos significativos nos indicadores ambientais de qualidade de água. O estudo da utilização do imazamox no controle de *S.molesta* em condição de microcosmo pode ser utilizado como subsídio na tomada de decisão da utilização de herbicida em condições de campo, pois neste cenário foi possível verificar os possíveis impactos transitórios na qualidade de água decorrente da decomposição das plantas, o que gera subsídio para programas de manejo de macrófitas no Brasil.

2.6 Referências

ALAM (1974) Asociacion Latinoamerica de malezas. Recomendaciones sobre unificacion de los sistemas de evaluacion em ensayos de control de malezas. **ALAM**. 1:35-38.

Adams VD (1995) Water and Wastewater Examination Manual. Methods for the determination of organics, Chemical oxygen demand (COD). **Manual method dichromate reflux**. 1989. 168p.180.

Barbosa JC, Maldonado JRW (2014) **AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agrônomicos**. Versão 1.1.0.712. 2014.

Caldwell DH, Langelier WF (1948) Manometric measurement of the biochemical oxygen demand of sewage. **Sewage works J**. 20:202-218.

Campos CF, Vitorino HS, Souza GSF, Santana DC, Martins D (2013) Translocação dos herbicidas glyphosate e imazamox em plantas de aguapé. **Arq Inst Biol** 80:177-182.

CETESB (2014) Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Norma técnica CETESB L5.306**. Determinação de clorofila a e feofitina a: método espectrofotômetro, 3th ed. 14p.

CONAMA (2015) **Resolução nº 465**. Dispõe sobre critérios para autorização de uso de produtos ou de agentes de processos físicos, químicos ou biológicos para o controle de organismos ou contaminantes em corpos hídricos superficiais e da outras providências, 5p. 2015. Publicado no DOU nº135. seção 1. p. 70-71.

Cruz C, Silva AF, Luna LV, Yamauchi AKF, Garlich, N, Pitelli RA (2015) Glyphosate Effectiveness in the Control of Macrophytes Under a Greenhouse Condition. **Planta Daninha** 33:24-47.

Cruz C, Silva AF, Shiogiri NS, Garlich N, Pitelli R.A (2015) Imazapyr herbicide efficacy on floating macrophytes control and ecotoxicology for non-target organisms. **Planta Daninha** 33:103-108.

Cruz C, Cervoni JHC, Silva AF, Garlich N, Pitelli RA (2017) Aplicação sequencial de glyphosate em plantas aquáticas de difícil controle em condição de microcosmos. **Ciência e Cultura** 13:59-63.

Devi PA, Padmavathy P, Aanand S, Aruljothi K (2017) Review on water quality parameters in freshwater cage fish culture. **International Journal of Applied Research** 3:114-120.

Emerine SE, Richardson RJ, True SL, West AM, Roten RL (2010) Greenhouse Response of Six Aquatic Invasive Weeds to Imazamox. **J. Aquat. Plant Manage.** 48:105-111.

Ferreira ARL, Sanches LFF, Cortes RMV, Pacheco FAL (2017) Assessing anthropogenic impacts on riverine ecosystems using nested partial least square regression. **Sci. Total Environ.** 583:466–477.

Glomski LAM, Getsinger KD (2006) Carfentrazone-ethyl for control of giant salvinia. **Journal of Aquatic Plant Management** 44:136-138.

Glomski LM, Mudge CR (2013) Effect of subsurface and foliar applications of bispyribac-sodium on water hyacinth, water lettuce, and giant salvinia. **J. Aquat. Plant Manage** 51:62–65.

Li J, Luo G, He L, Xu J, Lyu J (2018) Analytical approaches for determining chemical oxygen demand in water bodies: A review. **Critical reviews in analytical chemistry** 48:47-65.

Kissmann KG, Groth D (1997) **Plantas Nocivas e Infestantes**. 2th ed. São Paulo: Basf, tomo1. 825p.

Melo JR AS, Santos GR, Silva GS, Melo RCC, Jesus TA (2019) Monitoramento da concentração de oxigênio dissolvido (OD) em lagoas de estabilização. **INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation** 7:128-146.

Mudge CR, Netherland MD (2014) Response of invasive floating plants and nontarget emergent plants to foliar applications of imazamox and penoxsulam. **Journal of Aquatic Plant Management** 52:1-7.

Mudge CR, Netherland MD (2014) Response of giant bulrush, water hyacinth, and water lettuce to foliar herbicide applications. **Journal of Aquatic Plant Management** 52:75-80.

Mudge CR (2013) Interactions of herbicides, surfactants, and the giant salvinia weevil (*Cyrtobagous salviniae*) for control of giant salvinia (*Salvinia molesta*). **J. Aquat. Plant Manage.** 51:77-87.

Nelson LS, Glomski LM, Gladwin DN (2007) Effect of Glyphosate Rate and Spray Volume on Control of Giant Salvinia. **J. Aquat. Plant Manage.** 45:58-61.

OECD (2004) **Organisation for Economic Co-operation and Development**. Draft Guidance document on simulated freshwater lentic field tests (Outdoor Microcosms and Mesocosms). July, 2004, 26p.
<http://www.oecd.org/fr/securitechimique/essais/32612239.pdf>

Owens CS, Smart RM, Dick GO (2014). Effects of salinity and pH on growth of giant salvinia (*Salvinia molesta* Mitchell). **J. Aquat. Plant Manage.** 52:93-96.

Richardson RJ, Roten RL, West AM, True SL, Gardner AP (2008) Response of selected aquatic invasive weeds to flumioxazin and carfentrazone-ethyl. **J. Aquat. Plant Manage.** 46:154-158.

Rodgers L, Black D (2012) Effects of aerially-applied imazamox on southern cattail and non-target emergent vegetation in a eutrophic sawgrass marsh. **J. of Aquat. Plant Manage.** 50:125-129.

Santos DM, Pitelli RA, Banzatto, DA (1999) Efeitos de herbicidas nos teores de clorofilas de *Spirodela punctata*. **Planta Daninha** 17:175-182.

Sartain BT, Mudge CR (2018) Evaluation of 12 foliar applied non-aquatic herbicides for efficacy against giant salvinia (*Salvinia molesta*) **J. Aquat. Plant Manage.** 56:107-112.

Senseman SA (2007) Herbicide handbook. 9th ed. **Lawrence: Weed Science Society of America.** 458p.

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

Taiz L, Zeiger E (2013) **Fisiologia Vegetal.** 5th. ed. Porto Alegre: Artmed. 918p.

Tan S, Evans RR, Dahmer ML, Singh BK, Shaner DL (2005) Imidazolinone-tolerant crops: history, current status and future. **Pest management science** 61:246-257.

USEPA (2005) **Environmental Protection Agency.** Water sentinel online water quality monitoring as an indicator of drinking water contamination. EPA817-D-05-002, U.S., Water Security Division, Washington, D.C.

Wersal RM, Madsen JD (2010) Combinations of Penoxsulam and Diquat as Foliar Applications for Control of Waterhyacinth and Common Salvinia: Evidence of Herbicide Antagonism. **J. Aquat. Plant Manage.** 48:21-25.

Yilmaz C, Gökmen V (2016) Chlorophyll. In.: Caballero B, Finglas PM, Toldra F. (Eds.) **Encyclopedia of Food and Health.** Waltham (US): Academic Press, p. 37-41.

Vigiak O, Grizzetti B, Udias-Moinelo A, Zanni M, Dorati C, Bouraoui F, Pistocchi A (2019) Predicting biochemical oxygen demand in European freshwater bodies. **Science of the Total Environment.** 666:1089-1105.

CAPÍTULO 3 – Aplicação eletrostática de imazamox para controle da planta aquática flutuante *Salvinia molesta* e efeitos nos indicadores ambientais de qualidade de água.

RESUMO – Os objetivos deste estudo foram avaliar a eficácia do herbicida imazamox para controle de *S. molesta* com aplicação eletrostática e avaliar os efeitos em indicadores ambientais em condição de microcosmos. As doses utilizadas foram 600, 700, 800 e 900 g i.a. ha⁻¹ e volume de calda 50 L ha⁻¹ em aplicação eletrostática. As avaliações de eficácia de controle foram realizadas em 7, 15, 30, 45 e 60 dias após a aplicação (DAA), por porcentagem de sinais de intoxicação das plantas de 0 a 100%, DBO, DQO e clorofila/feofitina em 0, 7, 15, 30, 45 e 60 DAA e massa fresca e seca aos 60 DAA. O imazamox controlou 63 e 30% de *S. molesta* com 900 e 800 g i.a. ha⁻¹ em 45 e 30 DAA e reduziu massa fresca em 82,3 e 17,5% e a seca em 62,6 e 9,3% aos 60 DAA. A aplicação do imazamox reduziu a clorofila *a* em todas as doses e aumentou a DBO em 45 DAA com 900 g i.a. ha⁻¹ e a DQO em todas as épocas de avaliação, entretanto para temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e pH não ocorreu efeito significativo após aplicação. O imazamox controlou moderadamente as plantas de *S. molesta* com 900 g i.a. ha⁻¹, sem causar efeitos significativos nos indicadores ambientais de qualidade de água. A aplicação eletrostática de herbicida pode ser empregada em estratégias de manejo de plantas aquáticas, para reduzir a densidade de plantas nos corpos hídricos e manter a colonização em um nível que não seja prejudicial para a biota aquática.

Palavras-chave: Herbicida; monitoramento ambiental; pulverização eletrostática; *Salvinia molesta*; tecnologia de aplicação

3.1 Introdução

O crescimento excessivo de plantas aquáticas pode causar impactos ecológicos, econômicos e de saúde pública no ambiente aquático (Brundu, 2015; Sartain e Mudge et al., 2018). Neste contexto, a macrófita *Salvinia molesta*, uma pteridófito flutuante da família Salviniaceae, nativa da região sudeste do Brasil, tem causado grandes prejuízos em regiões subtropicais, tropicais e temperadas do mundo, devido a adaptação em várias condições ambientais (Owens et al., 2014).

O controle químico com a utilização de herbicidas é uma estratégia de manejo destas plantas pela redução ou remoção da espécie em canais de irrigação, rios, lagoas e aplicações parciais ou inteira de corpos hídricos (Netherland, 2014), e a eficiência no controle está associada com a modo de ação do herbicida, dosagem utilizada, tempo de exposição, método de aplicação do produto, características da planta alvo e do corpo hídrico (Getsinger et al., 2008; Haller, 2014).

Vários ativos vem sendo utilizados em vários países no manejo de plantas aquáticas tais como: 2,4-D, bispiribac-sódio, carfentrazone-etil, a base de cobre, diclobenil, diquat, endothall, flumioxazina, fluridona, glifosato, haloxifope-R-metil, imazapyr, imazamox, metossulfon metil, penoxsulam, terbutrina e triclopir (Hussner et al., 2017), que atuam na inibição ou morte das plantas e na decomposição da biomassa no ecossistema aquático. Tais ativos quando utilizados conforme especificação do produto, causam menor impacto ambiental do que o controle mecânico e são mais eficazes e econômicos do que outras técnicas de controle (Netherland, 2014). Dentre os produtos citados, o herbicida imazamox pode ser utilizado pela sua eficácia e por não ser pouco tóxico para os organismos da biota aquática (Rodgers e Black, 2012).

Entretanto, para melhorar a eficiência da aplicação do imazamox em corpos hídricos, a pulverização eletrostática é uma estratégia inovadora, pois as gotas formadas pela calda herbicida são carregadas eletricamente, o que faz com que se direcionam a várias partes da planta alvo, devido a força conjunta do campo eletrostático e forças gravitacionais, o que pode melhorar a distribuição nas partes abaxial e adaxial das folhas com volume de aplicação reduzido (Appah et al., 2019). Esta tecnologia, se bem utilizada, resulta em maior cobertura dos alvos, com menores

perdas por deriva e, conseqüentemente, menor desperdício de produto e menor contaminação ambiental dos corpos hídricos. Isto em conjunto permite reduzir o volume de aplicação, com redução nos custos da pulverização (Martin e Latheef, 2017; Appah et al., 2019), além de reduzir os impactos sobre os organismos não alvos (Pan et al., 2019).

Para que a aplicação eletrostática de herbicida seja segura são necessários estudos de simulação de condições ambientais naturais. A avaliação em microcosmos pode determinar se a aplicação pode causar efeitos nas variáveis físico-químicas de qualidade de água e exibir resultados satisfatórios em condições próximas do real e essas informações podem auxiliar na tomada de decisão do uso de produtos químicos no ambiente aquático (Guimarães et al., 2003).

Assim, é importante estabelecer uma padronização de aplicação e monitoramento ambiental de produtos químicos em corpos hídricos, para que sejam eficientes no controle das plantas alvos e seguros aos organismos não-alvo e na qualidade de água. Diante disso, não há trabalhos que relacionem a aplicação eletrostática de caldas herbicidas para o controle de plantas aquáticas e os impactos que podem ocasionar, sendo de fundamental importância esta avaliação.

3.2 Objetivos

Avaliar a eficácia do herbicida imazamox para controle de *S. molesta* com aplicação eletrostática e avaliar os efeitos em indicadores ambientais em condição de microcosmos.

3.3 Material e Métodos

O cultivo de *S. molesta* foi realizado em caixas plásticas com capacidade de 250 L, preenchidas com substrato composto por areia grossa, substrato para plantas (Carolina Soil®) e solo (Latosolo Vermelho) (1:1:2 vv⁻¹) e fluxo contínuo de água. O herbicida avaliado foi o imazamox com 120 g i.a. L⁻¹ (Clearcast™ NA Basf/SA).

Os experimentos foram realizados nos meses de outubro, novembro e dezembro do ano de 2017 e foram conduzidos em 15 microcosmos com dimensões

de 51x81x47,5 cm, capacidade para 195 litros, abastecidos com 170L de água por caixa tipo cisterna, com entrada e saída de água pela superfície do sistema, vazão de 1,8 L de água por hora, adicionado 41,0 cm³ de substrato similar ao do cultivo e 20 plantas jovens de *S. molesta* (grupo de plantas com 10 cm de comprimento com frondes (folhas) de 1 cm de diâmetro).

Após a ocupação de 75% da superfície do microcosmo pela planta (decorridos 30 dias) foi realizada a aplicação dos tratamentos experimentais, contendo as doses de imazamox: 600, 700, 800 e 900 g i.a. ha⁻¹. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições mais o controle (sem aplicação do herbicida).

A aplicação foi realizada com pulverizador eletrostático, contendo um dispositivo de indução para eletrificação de jatos de gotas de bicos hidráulicos adaptado em pulverizador costal manual equipado com barra para pulverização e um bico tipo leque BD80.005 desenvolvido pela empresa Magnojet/Embrapa Meio Ambiente, com pressão de 200 KPa, taxa de aplicação de 50 L ha⁻¹ em velocidade de 1,0 m s⁻¹. As condições climáticas no momento da aplicação foram: temperatura 31 °C, umidade relativa 40% e velocidade do vento 6 km h⁻¹.

Em 7, 15, 30, 45 e 60 dias após a aplicação (DAA) foi realizada a avaliação de eficácia de controle segundo porcentagem de sinais de intoxicação das plantas em que 0 (zero) corresponde a nenhuma injúria demonstrada pela planta e 100 (cem) à morte das plantas (ALAM, 1974; SBPCPD, 1995) e determinado o teor de clorofila *a* e feofitina *a* das nas folhas (CETESB, 2014). Além disso, foram avaliadas as variáveis ambientais de qualidade da água (temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mg L⁻¹), condutividade elétrica (μS cm⁻¹) e pH com sonda multiparâmetro YSI professional plus, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (Caldwell e Langelier, 1948) e demanda química de oxigênio (DQO) (Adams, 1989).

Ao final do período experimental (60 DAA), foi avaliada a massa fresca e seca das plantas (g), após as plantas serem secas em estufa com circulação de ar forçado a 65 °C até atingirem massa constante.

Os resultados obtidos de eficácia foram submetidos a análise de regressão polinomial. Os resultados de massa fresca e seca, clorofila *a*, Feofitina *a*, DBO e DQO foram transformados em raiz quadrada (x+10) para obtenção da normalidade dos

dados. Após os dados de clorofila *a*, Feofitina *a*, DBO e DQO foram submetidos a análise fatorial e foram analisados os efeitos de dose, épocas de avaliação e a interação época e dose. Todos os resultados de indicadores ambientais e massa fresca e seca foram submetidos a análise variância pelo teste de F (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade no programa estatístico AgroEstat-Sistema para análise estatística de ensaios agrônômicos (Barbosa e Maldonado, 2014).

3.4 Resultados e Discussões

O imazamox nas doses de 600, 700 e 800 g i.a. ha⁻¹ não resultou em controle das plantas de *S. molesta*, respectivamente com 10, 20 e 30% de eficácia até o final do período experimental (60 DAA - Figura 1). A ausência de eficácia nestas doses está relacionada ao início de emissão de rizomas nas plantas em 15 DAA, rebrota em 30 DAA e a partir de 45 DAA crescimento vegetativo intenso com surgimento de plantas novas. Os herbicidas imazamox e imazapyr com 560 g i.a. ha⁻¹ + 0,25% surfactante não iônico controlaram 18 e 39% das plantas de *S. molesta* com rebrota das plantas em 35 DAA (Emerine et al., 2010) concordando com os resultados para as doses de 700 e 800 g i.a. ha⁻¹, avaliadas neste estudo.

Para o herbicida glufosinato com 882 g i.a. ha⁻¹, saflufenacil com 150 g i.a. ha⁻¹ e flumiclorac com 60 g i.a. ha⁻¹ + 0,25% de óleo vegetal com organociliconado não iônico, verificou-se clorose e necrose nas plantas no período inicial de controle 7 DAA e a partir de 14 DAA ocorreu rebrota e recuperação das plantas (Sartain e Mudge, 2018), com comportamento similar ao imazamox na dose de 800 g i.a. ha⁻¹ neste experimento, com rebrota das plantas a partir de 15 DAA.

A baixa eficácia dos herbicidas para a *S. molesta* pode estar relacionada com a quantidade de plantas na lâmina d'água no momento da aplicação. As plantas que estão mais expostas na coluna d'água são mais atingidas pelo herbicida e as partes que ficam submersas podem não ter contato com a calda pulverizada, recolonizando os corpos hídricos após a morte das plantas mais expostas (Wersal e Madsen, 2010).

Na dose de 900 g i.a. ha⁻¹ em 7 DAA, não ocorreu controle das plantas (Figura 1), em 15 e 30 DAA o controle foi insatisfatório com 46 e 56% com sinais iniciais de

clorose nas bordas das folhas e clorose parcial das folhas. A partir de 45 DAA o controle foi moderado com 63% até o final do período experimental (60 DAA) (Figura 1) e ocorreu clorose parcial e necrose total em algumas folhas. Entretanto, a partir de 30 DAA as plantas começaram a emitir rizoma e rebrotar, com menos intensidade do que nas menores doses testadas.

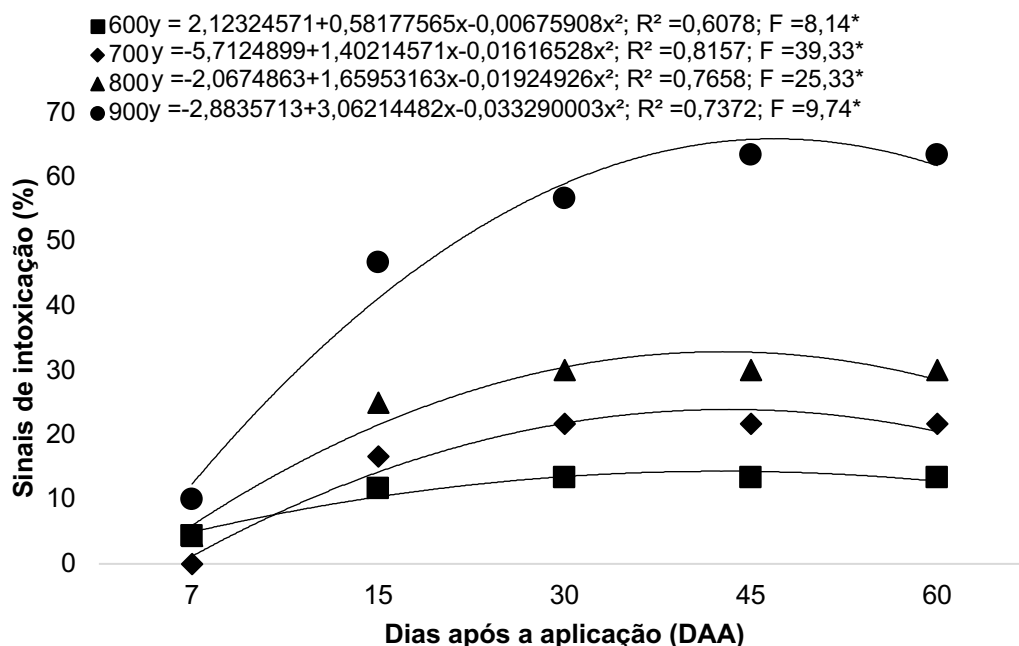


Figura 1. Porcentagem de eficácia da pulverização eletrostática de doses de imazamox para controle de *S. molesta*. *Significativo a 5% de probabilidade. Valor de $p < 0,05$

Alguns herbicidas também apresentaram 60% de eficácia no controle de *S. molesta* como a flumioxazina com 34 g i.a. ha^{-1} + 0,5% de adjuvante (Induce) em 28 DAA (Richardson et al., 2008), o imazapyr com 625 g i.a. ha^{-1} em 30 DAA (Cruz et al., 2015), o glyphosate com 1440 g i.a. ha^{-1} + 0,5% de adjuvante (Aterbane) em 21 DAA (Cruz et al., 2015b) e o penoxsulam com 49,1 g i.a. ha^{-1} + 0,5% de adjuvante (Sunwet) em 28 DAA (Wersal e Madsen, 2010) com rebrota a partir de 30 DAA, similar ao que ocorreu neste estudo.

A moderada eficácia dos herbicidas ALS é devido ao lento desenvolvimento das lesões e velocidade de controle das plantas. O imazamox e o penoxsulam exibem sintomas mínimos de lesão em 7 DAA e lesões mais acentuadas a partir de 21 DAA. O desenvolvimento lento de lesões também foi observado para as plantas aquáticas

flutuantes *Echhornia crassipes* e *Pistia stratiotes* (Mudge e Netherland, 2014; Wersal e Madsen, 2010). Isso faz com que as plantas iniciem a rebrota, processo que funciona como um mecanismo de defesa das plantas para que não ocorra a mortalidade. A aplicação de flumioxazina herbicida com mecanismo de ação protox também causa a rebrota das plantas, principalmente quando a camada de plantas na coluna da d'água for muito espessa (Sartain e Mudge, 2018).

A dificuldade no controle de *S. molesta* também está relacionada à sua alta taxa de crescimento, por formar camadas densas e extensas de plantas na superfície d'água que podem chegar a 1,0 metro de espessura e possuir meios eficazes de dispersão vegetativa (Glomski e Mudge, 2013), em associação com sua estrutura foliar complexa que possui elevada quantidade de tricomas na epiderme (Miranda e Schawartsburd, 2019), o que pode dificultar a penetração/absorção do herbicida na planta. E ainda ser uma planta tolerante a uma ampla variação de condições ambientais (Wersal e Madsen, 2010).

A pulverização eletrostática neste estudo proporcionou melhor eficiência no controle de *S. molesta* do que estudos com pulverizador pressurizado por CO₂ citados. A eficácia no controle foi similar neste estudo, entretanto, utilizando volume de aplicação de 50 L ha⁻¹ em comparação a 200, 280 e 935 L ha⁻¹ (Emerine et al., 2010; Wersal e Madsen, 2010; Cruz et al., 2015) o que proporciona maior desempenho operacional à aplicação. A eletrificação das gotas no bico de pulverização pode melhorar a cobertura e uniformidade do depósito do produto na planta e evitar problemas associados a pulverização como deriva, desvio das gotas serem direcionadas ao alvo suportando os efeitos adversos de temperaturas altas e de vento (Appah et al., 2019; Pan et al., 2019), uma vez que as gotas ao se aproximarem dos alvos são mais velozes e se direcionam às plantas devido ao campo elétrico (Matthews et al., 2014). O aumento da velocidade das gotas normalmente resulta em menores perdas por deriva e evaporação durante a pulverização, por reduzir o tempo de trajetória das gotas entre a máquina e o alvo (Miller et al., 2008). Esses resultados são muito importantes para aplicação de herbicidas no ambiente aquático, visando manter a sanidade dos corpos hídricos com o mínimo efeito possível para a biota aquática.

A utilização de tecnologias adequadas para aplicação de produtos em ambiente aquático podem resultar em eficácia e maior segurança na aplicação de herbicidas. Um exemplo disso foi a utilização de bico rotativo para controle da macrófita aquática *Eichhornia crassipes* que controlou 95% das plantas com 200 g i.a. ha⁻¹ de imazamox e volume de aplicação de 50 L ha⁻¹ (Garlich et al., 2019).

O imazamox na dose de 900 g i.a. ha⁻¹ em aplicação eletrostática reduziu significativamente a massa fresca e seca de *S. molesta* (Tabela 1). Nas demais doses os valores foram similares entre si, resultando em redução pouco importante de biomassa seca e fresca, refletindo os resultados observados na avaliação de controle. Isto indica que o controle de *S. molesta* conforme realizado neste trabalho só será eficiente em dosagens semelhantes à 900 g i.a. ha⁻¹. As dosagens avaliadas entre 600 e 800 g i.a. ha⁻¹ não apresentaram resultados satisfatórios.

Tabela 1. Massa fresca (MF), Massa seca (MS) e redução da massa fresca e seca das plantas de *S. molesta* após aplicação eletrostática de imazamox.

Doses (g i.a. ha ⁻¹)	Massa Fresca (kg)	Redução MF (%)	Massa Seca (g)	Redução MS (%)
0	50,3 a	-	11,6 a	-
600	49,7 a	0,66	12,0 a	0,00
700	42,8 a	26,9	10,6 ab	16,0
800	45,4 a	17,5	11,0 a	9,3
900	18,5 b	82,3	7,4 b	62,7
CV	19,4	-	12,4	-
F	8,0*	-	5,8*	-
p	<0,01	-	0,01	-
DMS (5%)	21,5	-	3,5	-

*Significativo a 5% de probabilidade. Médias com a mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey (p>0,05).

Resultados semelhantes foram observados para os herbicidas imazamox e imazapyr, na dose de 560 g i.a. ha⁻¹ + 0,25% surfactante não iônico, que reduziram 33 e 43% da massa seca de *S. molesta*, para *E. crassipes* 61 e 39% e para *Pistia stratiotes* 87 e 52% em 70 DAA (Emerine et al., 2010). O herbicida à base de flumioxazina com 34 g i.a. ha⁻¹ + 0,5% de adjuvante (Induce) reduziu 21% da massa seca de *S. molesta* aos 28 DAA (Richardson et al., 2008). O glufosinato com 882 g i.a. ha⁻¹, o saflufenacil com 150 g i.a. ha⁻¹ e o flumiclorac com 60 g i.a. ha⁻¹ + 0,25% de óleo vegetal com organociliconado não iônico reduziram 18, 35 e zero por cento da matéria seca das plantas de *S. molesta*, aos 84 DAA, respectivamente (Sartain e Mudge, 2018). O penoxsulam com 49,1 g i.a. ha⁻¹ + 0,5% de adjuvante (Sunwet)

reduziu 60% da massa seca de *S. molesta* (Wersal e Madsen, 2010). Para *P. stratiotes* e *E. crassipes* o imazamox com 210,2 + 0,5% de surfactante não iônico reduziu 61 e 76% da massa seca das plantas (Mudge e Netherland, 2014).

Em comparação aos estudos citados o imazamox apresentou melhor redução da biomassa seca de *S. molesta* do que os herbicidas imazapyr, glufosinato saflufenacil, flumiclorac e penoxsulam e apresentou resultados similares para *E. crassipes* (61%) e menor redução em relação à *P. stratiotes* (87%). Os herbicidas imazamox e penoxsulam são considerados eficientes para aplicação em corpos hídricos em que coexistem populações mistas de outras plantas aquáticas flutuantes como *E. crassipes* e *P. stratiotes* (Mudge e Netherland, 2014).

O controle químico com a redução de 62% da biomassa seca das plantas de *S. molesta* se torna uma opção viável e pode ser utilizado em conjunto com o controle mecânico em um plano de manejo de plantas aquáticas. Atualmente, o controle mecânico utilizado nos corpos hídricos apresenta alguns problemas pela produção de fragmentos de plantas após o corte o que pode facilitar a dispersão e formação de novos aglomerados. Além de ser mais oneroso pode causar maiores impactos para a biota aquática e seu descarte é difícil pela quantidade de massa vegetal que é retirada à cada operação de controle (Hussner et al., 2017).

Outra maneira de avaliar a eficácia de herbicida é mensurar o teor de clorofila *a* e a feofitina *a* que são pigmentos abundantes nas plantas e estão nos tecidos vegetais e cloroplastos das folhas. A redução destes pigmentos pode mostrar a diminuição da atividade fotossintética das plantas. O imazamox em aplicação eletrostática reduziu significativamente o teor de clorofila *a* das plantas com 600 e 700 g i.a. ha⁻¹ e nas doses de 800 e 900 g i.a. ha⁻¹ ocorreu redução, mas os valores foram similares ao tratamento controle (Tabela 2). Para as épocas de avaliação e na interação entre época e dose não ocorreu diferença significativa nos teores de clorofila *a* (Tabela 2), dados não mostrados.

Tabela 2. Valores de clorofila *a* (Chl) e feofitina *a* (Feo) ($\mu\text{g g}^{-1}$) das plantas de *S. molesta* DBO₅ e DQO (mg L^{-1}) após aplicação do imazamox com pulverizador eletrostático.

Variáveis	Chl		Feo		DBO ₅		DQO		
	F	p	F	p	F	p	F	p	
Época	1,2 ^{ns}	0,32	3,8*		4,9*	<0,01	53,2*		
Dose	5,6*	<0,01	12,7*	<0,01	1,9 ^{ns}	0,10	10,2*	<0,01	
E x D	1,4 ^{ns}	0,16	2,8*		2,5*	<0,01	11,6*		
CV	20,15		22,77		6,48		12,00		
Efeito de época de avaliação (Dias Após Aplicação)									
0	-		-		3,30 bc		3,7 d		
7	4,7 a		13,1 ab		3,26 c		5,7 b		
15	4,7 a		13,8 ab		3,42 abc		5,2 bc		
30	4,6 a		12,0 b		3,52 ab		5,8 b		
45	4,5 a		14,0 ab		3,56 a		4,5 c		
60	5,2 a		16,3 a		2,51 ab		7,3 a		
DMS (5%)	0,9		3,2		0,2		0,6		
Efeito de dose (g i.a. ha ⁻¹)									
0	5,6 a		18,5 a		3,3 a		5,2 bc		
600	4,0 b		12,1 bc		3,3 a		5,2 bc		
700	4,5 b		13,1 bc		3,3 a		4,8 c		
800	4,8 ab		14,6 b		3,4 a		5,5 b		
900	4,8 ab		11,0 c		3,5 a		6,1 a		
DMS (5%)	0,9		3,2		0,2		0,6		
Interação Época x Dose (Feofitina a)									
Dose/DAA	7		15		30		45		60
0	20,1 abA		23,4 aA		16,6 abA		15,7 bA		16,5 abA
600	12,1 abB		10,2 bBC		8,7 bB		10,9 bA		18,5 aA
700	11,6 abcB		8,6 cC		10,3 bcAB		17,5 abA		17,6 aA
800	11,2 aB		16,5 aAB		12,9 aAB		14,6 aA		17,9 aA
900	10,4 aB		10,5 aBC		11,5 aAB		11,2 aA		11,2 aA
DMS (5%)					7,3				
Interação Época x Dose (Demanda Bioquímica de Oxigênio)									
Dose/DAA	0	7	15	30	45	60			
0	3,1 aA	3,5 aA	3,1 aB	3,5 aAB	3,6 aA	3,2 aB			
600	3,4 aA	3,2 aA	3,3 aB	3,4 aB	3,5 aA	3,3 aB			
700	3,1 aA	3,1 aA	3,4 aAB	3,3 aB	3,5 aA	3,5 aAB			
800	3,4 abA	3,1 bA	3,4 bAB	3,9 aA	3,4 abA	3,5 abAB			
900	3,2 bA	3,1 bA	3,8 abA	3,4 abB	3,5 abA	3,9 aA			
DMS (5%)					0,5				
Interação Época x Dose (Demanda Química de Oxigênio)									
Dose/DAA	0	7	15	30	45	60			
0	3,1 dB	5,4 bcAB	5,9 bAB	4,8 bcBC	4,2 cdB	8,0 aB			
600	5,5 abA	4,2 bB	6,9 aA	4,6 bC	4,3 bB	5,7 abC			
700	3,5 bB	6,1 aA	3,5 bD	5,6 aBC	3,7 bB	6,5 aC			
800	3,1 dB	6,2 bA	5,2 bcBC	7,9 aA	3,9 cdB	6,3 bC			
900	3,2 cB	6,7 bA	4,3 cCD	6,3 bB	6,5 bA	9,8 aA			
DMS (5%)					1,5				

^{ns}Não significativo. *Significativo a 5% de probabilidade. Médias com a mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ($p>0,05$). Na interação E x D, médias com a mesma letra minúscula na linha não diferem estatística entre si para o efeito de época e médias com a mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si para o efeito de dose.

O dicromato de potássio com 1,5 e 2,0 mg L^{-1} em 10 dias após aplicação reduziu significativamente os teores de clorofila *a* nas plantas de *Salvinia auriculata* (Pereira et al., 2012), similar ao imazamox que reduziu o teor de clorofila *a* das plantas

em todas as doses. A redução da clorofila *a* pode estar relacionada com a redução na eficiência das enzimas que fazem parte da biossíntese de clorofila na planta e a destruição do cloroplasto ou desestruturação dos tilacóides (Pereira et al., 2012), o que causa a diminuição da atividade fotossintética de *S. molesta* (Taiz e Ziger, 2013).

Para feofitina *a* o efeito do período de avaliação foi significativo em 60 DAA com maior valor (Tabela 2), e o menor valor deste fotopigmento ocorreu em 30 DAA (Tabela 2). Em todas as dosagens ocorreu diminuição significativa similares entre si (Tabela 2). Na interação entre época e dose ocorreu diminuição significativa em 7 DAA em todas as dosagens, em 15 DAA com 800 g i.a. ha⁻¹ e em 30 DAA com 600 g i.a. ha⁻¹ (Tabela 2).

A diminuição nos teores de feofitina *a* nas doses mostra que não ocorreu a rota de degradação das clorofilas por feofitinização direta ou indireta para a feofitina (Streit et al., 2005), a reação de feofitinização ocorreu somente em 60 DAA.

Na avaliação dos possíveis efeitos ambientais da aplicação do herbicida a demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) apresentou diferença significativa para o efeito de época e a interação época e dose. Para o efeito de época ocorreu aumento da DBO₅ em 45 DAA (Tabela 2). Na interação entre época e dose ocorreu aumento significativo com 900 g i.a. ha⁻¹ em 60 DAA. O ciclo de decomposição das plantas iniciou-se em 15 dias após aplicação momento em começou a aparecer sinais de intoxicação do herbicida, principalmente na dose de 900 g i.a. ha⁻¹ (Tabela 2), com os maiores valores de DBO₅ em 45 DAA, pois os ciclos iniciais de degradação da matéria orgânica nos ambientes aquáticos é invariavelmente aeróbico (Vigiak et al., 2019). A maior atividade e disponibilidade de material biológico para degradação ocorreu em 45 e 60 DAA, devido aos maiores valores de demanda biológica de oxigênio mensurados (Tabela 2).

Os valores de DBO₅ estimam a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica disponível em águas subterrâneas e superficiais e de acordo com a OMS (Organização Mundial da Saúde) o padrão para água potável é de 6 mg L⁻¹ (Gupta et al, 2017), valor maior do que 3,9 mg L⁻¹ encontrado na água após a aplicação do imazamox o que mostra que não ocorreu alteração nos padrões de qualidade de água.

Na demanda química de oxigênio (DQO) ocorreu aumento significativo em todas as épocas de avaliação. Para o efeito de dose ocorreu aumento significativo com 900 g i.a. ha⁻¹ e na interação entre época e dose ocorreu aumento significativo em 30, 45 e 60 DAA com 900 g i.a. ha⁻¹ (Tabela 2).

A DQO determina a quantidade de oxigênio necessária para oxidar um composto orgânico. A elevada oxidação de compostos orgânicos na água pode reduzir os níveis de oxigênio dissolvido da água o que pode levar uma condição anaeróbica que é prejudicial para a vida aquática (Abba et al., 2017). Observa-se nos resultados deste estudo que as alterações significativas da DQO são decorrentes do processo de degradação das plantas similar ao que ocorreu na análise de DBO₅ e que essas alterações não são prejudiciais a biota aquática pois o oxigênio dissolvido na água não reduziu e manteve-se durante todo o período experimental maior que 4,0 mg L⁻¹ (Tabela 3).

Embora verifiquem-se variações significativas da temperatura e oxigênio dissolvido da água em torno de 1,0 °C e 1,0 mg L⁻¹ entre os tratamentos e o controle (Tabela 3), não são limitantes para a manutenção das atividades da biota aquática sendo que o oxigênio dissolvido deve permanecer >4,0 mg (Gupta et al., 2017; Melo Júnior et al., 2019). A pequena diminuição do oxigênio dissolvido na água na dose de 900 g i.a. ha⁻¹ em 45 e 60 DAA está relacionada com a decomposição das plantas e com o aumento da DBO₅ e DQO, em que ocorreu efeito transitório nestas variáveis de qualidade de água. Este efeito é devido ao processo de controle das plantas pois é necessário maior consumo de oxigênio para degradar e oxidar a matéria orgânica disponível.

A condutividade elétrica não apresentou variações significativas entre os períodos avaliados (Tabela 3), enquanto que para o pH ocorreu pequenas variações significativas em todos os períodos avaliados com valores próximos do neutro. Estes valores não interferem na vida aquática e estão dentro dos padrões de qualidade de água para o OMS com valores entre 6,5 a 9,0 (Gupta et al, 2017).

Tabela 3. Valores de variáveis físico-químicas da água temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e pH após aplicação do herbicida imazamox.

Dosagens (g i.a. ha ⁻¹)	Dias após a aplicação (DAA)					
	0	7	15	30	45	60
Temperatura (°C)						
0	31,3 a	26,4 a	23,1 a	24,4 ab	25,8 ab	26,6 a
600	30,7 a	26,7 a	23,4 a	24,8 a	25,6 ab	26,2 a
700	30,9 a	26,8 a	23,2 a	24,6 ab	25,8 a	26,3 a
800	30,5 a	26,4 a	22,5 a	24,0 ab	25,7 ab	26,1 a
900	30,8 a	26,2 a	22,7 a	23,6 b	25,2 b	24,1 b
CV	1,7	1,1	1,8	1,7	0,9	1,0
F	0,8 ^{ns}	2,1 ^{ns}	2,3 ^{ns}	3,6*	3,7*	37,9*
DMS (5%)	1,4	0,7	1,1	1,1	0,6	0,7
Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹)						
0	7,2 a	5,5 a	5,7 a	5,7 a	6,0 a	6,4 a
600	4,7 a	4,0 a	5,7 a	5,8 a	6,3 a	6,3 a
700	4,0 a	4,6 a	5,7 a	5,2 a	5,8 ab	6,4 a
800	4,8 a	4,7 a	6,0 a	5,7 a	5,8 ab	6,1 a
900	6,9 a	6,3 a	7,0 a	4,7 a	4,8 b	5,2 b
CV	21,4	20,2	13,0	12,1	7,6	2,9
F	4,3*	2,3 ^{ns}	1,5 ^{ns}	1,5 ^{ns}	5,0*	20,6*
DMS (5%)	3,2	2,7	2,1	1,7	1,1	0,4
Condutividade Elétrica (μS cm ⁻¹)						
0	165,1 a	151,4 a	133,3 a	136,8 a	114,0 a	129,9 a
600	155,5 a	142,5 a	124,7 a	107,1 b	83,9 b	86,4 a
700	155,0 a	149,4 a	131,7 a	114,2 ab	83,3 b	75,5 a
800	154,2 a	147,2 a	138,4 a	115,4 ab	113,7 a	114,7 a
900	154,0 a	147,8 a	153,2 a	118,2 ab	91,5 ab	98,6 a
CV	5,0	3,5	9,8	9,0	11,2	22,8
F	1,0 ^{ns}	1,2 ^{ns}	1,8 ^{ns}	3,1 ^{ns}	5,8*	2,6 ^{ns}
DMS (5%)	21,2	14,1	36,2	28,9	29,5	62,1
pH						
0	9,0 a	8,0 ab	7,9 b	7,7 a	8,0 a	7,7 a
600	7,8 ab	7,4 b	7,7 b	7,7 a	7,8 b	7,6 ab
700	7,0 b	7,4 b	7,8 b	7,6 a	7,7 b	7,5 ab
800	7,4 b	7,4 b	7,9 b	7,8 a	7,6 b	7,6 ab
900	8,1 ab	8,5 a	8,9 a	7,8 a	7,7 b	7,4 b
CV	6,6	3,6	2,5	1,0	0,9	1,4
F	5,8*	9,6*	15,7*	2,2 ^{ns}	15,8*	3,5*
DMS (5%)	1,4	0,7	0,5	0,2	0,1	0,2

^{ns}Não significativo. *Significativo a 5% de probabilidade. Médias com a mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey (p>0,05).

Para a utilização de herbicidas no controle de plantas aquáticas é necessário um plano de gerenciamento da qualidade de água de corpos hídricos superficiais e garantir uma concentração mínima de oxigênio dissolvido para a manutenção da vida aquática e dentre as principais variáveis para detectar a poluição da água estão compreendidos neste estudo como temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, demanda química e bioquímica de oxigênio (Gupta et al., 2017).

Diante disso, as variáveis adotadas neste estudo simulando a condição real para o controle de *S. molesta* em condição de microcosmo possibilita representar efeitos da utilização do imazamox na qualidade de água e na eficácia em aplicação eletrostática.

3.5 Conclusões

O imazamox controlou moderadamente as plantas de *S. molesta* na dose de 900 g i.a. ha⁻¹, sem causar efeitos significativos nos indicadores ambientais de qualidade de água. A aplicação eletrostática de herbicida pode ser empregada em estratégias de manejo de plantas aquáticas, para reduzir a densidade de plantas nos corpos hídricos e manter a colonização das plantas em um nível que não seja prejudicial para a biota aquática.

3.6 Referências

ALAM (1974) Asociacion Latinoamerica de malezas. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluacion em ensayos de control de malezas. **ALAM.** 1:35-38.

Abba SI, Elkiran G (2017). Effluent prediction of chemical oxygen demand from the wastewater treatment plant using artificial neural network application. **Procedia computer science** 120:156-163.

Appah S, Wang P, Ou M, Gong C, Jia W (2019). Review of electrostatic system parameters, charged droplets characteristics and substrate impact behavior from pesticides spraying. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering** 12:1-9.

Adams VD (1995) Water and Wastewater Examination Manual. Methods for the determination of organics, Chemical oxygen demand (COD). **Manual method dichromate reflux** 1989. 168p.180.

Barbosa JC, Maldonado JRW (2014) AgroEstat - **Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agrônomicos**. Versão 1.1.0.712. 2014.

Brundu G (2015) Plant invaders in European and Mediterranean inland waters: profiles, distribution, and threats. **Hydrobiologia** 746:61–79.

Caldwell DH, Langelier WF (1948) Manometric measurement of the biochemical oxygen demand of sewage. **Sewage works J.** 20:202-218.

CETESB (2014) Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Norma técnica CETESB L5.306**. Determinação de clorofila a e feofitina a: método espectrofotômetro, 3th ed. 14p.

Cruz C, Silva AF, Shiogiri NS, Garlich N, Pitelli R.A (2015) Imazapyr herbicide efficacy on floating macrophytes control and ecotoxicology for non-target organisms. **Planta Daninha** 33:103-108.

Cruz C, Silva AF, Luna LV, Yamauchi AKF, Garlich, N, Pitelli RA (2015) Glyphosate Effectiveness in the Control of Macrophytes Under a Greenhouse Condition. **Planta Daninha** 33:24-47.

Emerine SE, Richardson RJ, True SL, West AM, Roten RL (2010) Greenhouse Response of Six Aquatic Invasive Weeds to Imazamox. **J. Aquat. Plant Manage.** 48:105-111.

Garlich N, Guarnieri C, Freitas R, Cervoni JH, Cruz C, Ferreira MC (2019). Efficacy of Imazamox with Centrifugal Energy Spray Nozzle on Eichhornia crassipes and Economic Analysis of Control Viability. **Planta Daninha** 37:e019194898.

Getsinger KD, Netherland MD, Grue CE, Koschnick TJ (2008) Improvements in the use of aquatic herbicides and establishment of future research directions. **J. Aquat. Plant. Manage** 46:32–41.

Guimarães GL, Foloni LL, Pitelli RA, Martins AT (2003) Metodologia para avaliação de impacto ambiental de macrófitas em mesocosmos. **Planta daninha** 21:37-42.

Gupta N, Pandey P, Hussain J (2017) Effect of physicochemical and biological parameters on the quality of river water of Narmada, Madhya Pradesh, India. **Water Science** 31:11-23.

Glomski LM, Mudge CR (2013) Effect of subsurface and foliar applications of bispyribac-sodium on water hyacinth, water lettuce, and giant salvinia. **J. Aquat. Plant Manage** 51:62–65.

Haller W (2014) Aquatic herbicide application methods. In: Gettys L, Haller W, Petty D (Eds.) **Biological Control of Aquatic Plants. A Best Management Practices Handbook**. third ed. USA: Aquatic Ecosystem Restoration Foundation, p. 193–198.

Hussner A, Stiers I, Verhofstad MJJM, Bakker ES, Grutters BMC, Haury J, Valkenburg JLCHV, Brundu G, Newman J, Clayton JS, Anderson LWJ, Hofstra D (2017) Management and control methods of invasive alien freshwater aquatic plants: a review. **Aquatic Botany** 136:112-137.

Matthews GA, Bateman R, Miller P (Eds) (2014) **Pesticide application methods**. 4^a ed. Hoboken. pp. 536.

Martin DE, Latheef MA (2017) Efficacy of electrostatically charged glyphosate on ryegrass. **Journal of Electrostatics** 90:45-53.

Mello Jr AS, Santos GR, Silva GS, Melo RCC, Jesus TA (2019) Monitoramento da concentração de oxigênio dissolvido (OD) em lagoas de estabilização. **INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation** 7:128-146.

Miller PCH, Tuck CR, Murphy S, Ferreira MC (2008) Measurements of the droplet velocities in sprays produced by different designs of agricultural spray nozzle. In.: **22nd European Conference on Liquid Atomization and Spray Systems**, Como Lake, Italy. Anais do 22nd European Conference on Liquid Atomization and Spray Systems.

Miranda CV, Schwartsburd PB (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.

Mudge CR, Netherland MD (2014) Response of invasive floating plants and nontarget emergent plants to foliar applications of imazamox and penoxsulam. **Journal of Aquatic Plant Management** 52:1-7.

Netherland MD (2014) Chemical control of aquatic weeds. In: Gettys L, Haller W, Petty D (Eds.) **Biological Control of Aquatic Plants. A Best Management Practices Handbook**. third ed. Aquatic Ecosystem Restoration Foundation, USA, p. 71–88

Owens CS, Smart RM, Dick GO (2014). Effects of salinity and pH on growth of giant salvinia (*Salvinia molesta* Mitchell). **J. Aquat. Plant Manage** 52:93-96.

Pan XL, Dong FS, Wu XH, Xu J, Liu XG, Zheng YQ (2019) Progress of the discovery, application, and control technologies of chemical pesticides in China. **Journal of Integrative Agriculture** 18:840-853.

Pereira, P. F., Peixoto, P. H. P., Ribeiro, C., Resende, C. F., Antunes, F., & Braga, V. F. (2012). Pigmentos lipossolúveis e hidrossolúveis em plantas de salvinia sob toxicidade por cromo. **Planta Daninha** 30:397-703.

Richardson RJ, Roten RL, West AM, True SL, Gardner AP (2008) Response of selected aquatic invasive weeds to flumioxazin and carfentrazone-ethyl. **J. Aquat. Plant Manage.** 46:154-158.

Rodgers L, Black D (2012) Effects of aerially-applied imazamox on southern cattail and non-target emergent vegetation in a eutrophic sawgrass marsh. **J. of Aquat. Plant Manage.** 50:125-129.

Sartain BT, Mudge CR (2018) Evaluation of 12 foliar applied non-aquatic herbicides for efficacy against giant salvinia (*Salvinia molesta*). **J. Aquat. Plant Manage.** 56:107-112.

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

Streit NM, Canterle LP, Canto MW, Hecktheuer LHH (2005) As clorofilas. **Ciência Rural** 35:748-755.

Taiz L, Zeiger E (2013) **Fisiologia Vegetal**. 5th. ed. Porto Alegre: Artmed. 918p.

Wersal RM, Madsen JD (2010) Combinations of Penoxsulam and Diquat as Foliar Applications for Control of Waterhyacinth and Common Salvinia: Evidence of Herbicide Antagonism. **J. Aquat. Plant Manage.** 48:21-25.

Vigiak O, Grizzetti B, Udias-Moinelo A, Zanni M, Dorati C, Bouraoui F, Pistocchi A (2019) Predicting biochemical oxygen demand in European freshwater bodies. **Science of the Total Environment**. 666:1089-1105.

CAPÍTULO 4 – Aplicação eletrostática e convencional de imazamox para controle de *Salvinia molesta* e efeitos para indicadores ambientais.

RESUMO – O objetivo deste estudo foi avaliar o controle químico de *S. molesta* em aplicação eletrostática e convencional e os efeitos sobre o ambiente aquático. As doses utilizadas foram 800, 900 e 1000 g i.a. ha⁻¹ e volume de calda 50 L ha⁻¹. As avaliações de eficácia foram realizadas em 7, 15, 30, 45 e 60 dias após as aplicações (DAA), por porcentagem de sinais de intoxicação das plantas e foram amostrados DBO, DQO e clorofila/feofitina em 0, 7, 15, 30, 45 e 60 DAA e massa fresca e seca em 60 DAA. O imazamox foi mais eficaz para *S. molesta* em 1000 g i.a. ha⁻¹ com 40% de controle em aplicação eletrostática aos 30 DAA. Em aplicação convencional a maior eficácia foi de 25% em 900 e 1000 g i.a. ha⁻¹ aos 30 DAA. Após ocorreu rebrota das plantas até o final do período experimental (60 DAA) nas tecnologias avaliadas. Tanto para massa fresca e seca ocorreu redução de 50% em aplicação eletrostática e 30% em aplicação convencional nas doses de 900 e 1000 g i.a. ha⁻¹. A maior redução da clorofila *a* ocorreu com 800 e 900 g i.a. ha⁻¹ em aplicação convencional e eletrostática, respectivamente. Contudo, ocorreu redução da clorofila *a* das plantas em todas as doses em 7, 15, 30 e 45 DAA em ambas tecnologias. Na DBO₅ da água ocorreu aumento em 45 DAA e na DQO ocorreu aumento em 30 DAA em todas as doses, em ambas tecnologias. Para os demais indicadores de qualidade de água não ocorreu efeito significativo da aplicação convencional e eletrostática do imazamox nas duas tecnologias. A aplicação eletrostática de imazamox neste estudo foi mais eficiente no controle de *S. molesta* do que a aplicação convencional na dose de 1000 g i.a. ha⁻¹. As tecnologias de aplicação utilizadas não causaram efeitos significativos nos indicadores ambientais de qualidade de água.

Palavras-chave: Ambiente aquático; CO₂ pressurizado; imazamox; monitoramento ambiental; tecnologia de aplicação

4.1 Introdução

As plantas aquáticas tem causado impactos ecológicos, econômicos e de saúde pública nos corpos hídricos (Brundu, 2015; Sartain e Mudge et al., 2018), com a alteração da composição da comunidade de plantas aquáticas, abundância de algumas espécies, redução da biodiversidade e do oxigênio dissolvido da água, do fluxo dos rios, da geração de energia elétrica, da disponibilidade de água nos sistemas de irrigação e drenagem e prejuízo das atividades de esportes aquáticos, transporte e navegação (Gettys et al., 2014; Hussner et al., 2017).

O controle químico com herbicidas é uma forma de manejo destas plantas utilizado em diversas partes do mundo (Hussner et al., 2017; Sartain e Mudge et al., 2018). Com isso, pesquisas de tecnologias para aplicação de herbicidas são muito importantes principalmente por serem áreas não agrícolas e um ambiente sensível.

Uma possibilidade é o desenvolvimento de tecnologias próprias a este ambiente, com a eficiência operacional, eficácia de controle e de menor risco de contaminação ambiental, associados ao controle químico, são os pulverizadores eletrostáticos. Nesta modalidade de pulverização as gotas aplicadas são carregadas eletricamente (Pan et al., 2019), formando um campo elétrico com a superfície do alvo que, por estar em água que é um corpo condutor de eletricidade, encontra-se em equilíbrio de cargas. Quando as gotas se aproximam da planta, as cargas de mesmo sinal das gotas são repelidas e as de sinal oposto são atraídas, promovendo um fluxo superficial que resulta na atração mútua entre gotas e superfície foliar (He et al., 2011; Salcedo et al., 2020).

Em comparação a aplicação convencional a eletrostática, pode melhorar a uniformidade da deposição em 36% na parte adaxial e 10 vezes mais na parte abaxial das folhas (Shen et al., 2010), com redução de volume de aplicação, distribuição homogênea e redução de deriva (Patel et al., 2016; Pan et al., 2019; Appah et al., 2019a). No caso da aplicação sobre plantas daninhas aquáticas, as gotas aplicadas em pulverização convencional podem destinar-se à água diretamente, causando impactos maiores que o tolerado. Com a aplicação eletrostática, devido à atração das gotas pelas plantas, a quantidade de gotas que atingem a massa d'água deve ser reduzida, tornando a aplicação mais segura quando comparada com a convencional.

Para a avaliação dos efeitos diretos ou indiretos da utilização de produtos químicos no ambiente aquático são necessários estudos de monitoramento ambiental. Com o monitoramento é possível avaliar índices do equilíbrio da fauna e flora. Para isto, são necessários estudos em condição de microcosmo ou mesocosmos (OECD, 2004), que determinem os potenciais riscos nos indicadores ambientais e nas características físico-químicas da água.

Ainda pouco se conhece sobre os efeitos dos herbicidas sobre o ambiente aquático e sobre os efeitos dessa técnica de controle aplicada com pulverizadores eletrostáticos.

4.2 Objetivos

Avaliar o controle químico de *S. molesta* com imazamox em aplicação eletrostática e convencional e seus efeitos sobre indicadores ambientais de qualidade de água.

4.3 Material e Métodos

A *S. molesta* foi cultivada, inicialmente em caixas plásticas com capacidade de 250 L, com cerca de 15 cm de substrato composto por areia grossa, substrato para plantas (Carolina Soil®) e solo (Latossolo Vermelho) (1:1:2 vv⁻¹), ao fundo, e completada com água, em fluxo contínuo.

O herbicida avaliado foi o imazamox com 120 g i.a. L⁻¹ (Clearcast™ NA Basf/SA) e o adjuvante mistura de ésteres metílicos hidrocarboneto aromático e ácido graxo insaturado e tensoativo com 933,0 g i.a. L⁻¹ (Dash® HC Basf/SA).

Os experimentos foram realizados nos meses de fevereiro, março e abril do ano de 2018 e foram conduzidos em 21 microcosmos com dimensões de 51x81x47,5 cm de área abastecidos com 170L de água por caixa tipo cisterna, com entrada e saída de água pela superfície do sistema, vazão de 2,0 L de água por hora, adicionado 41,0 cm³ de substrato similar ao do cultivo e 20 plantas de *S. molesta* com 10 cm de comprimento com frondes (folhas) de 1 cm de diâmetro.

Após a ocupação de 75% da superfície do microcosmo pela planta (decorridos 30 dias) foi realizada a aplicação de imazamox nas doses de: 800, 900 e 1000 g i.a. ha⁻¹ adicionado 0,5% vv⁻¹ do adjuvante Dash®. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente ao acaso, com três repetições e o controle (sem aplicação do herbicida).

As aplicações foram realizadas com pulverizador eletrostático, contendo um dispositivo de indução para eletrificação de gotas em bico de energia hidráulica, desenvolvido pela empresa Magnojet/Embrapa Meio Ambiente, adaptado em pulverizador costal manual equipado com barra para pulverização e com pulverizador pressurizado por CO₂ (convencional). Para ambos foi utilizada a ponta de pulverização de jato plano modelo BD 11.001 (Magno Jet Industria Ltda.), sendo um exemplar para o pulverizador eletrostático e uma barra com dois bicos para o pulverizador convencional. Nos dois equipamentos foram utilizadas as mesmas doses e pressão de 200 kPa, volume de aplicação de 50 L ha⁻¹ em velocidade de 1,0 m s⁻¹. As condições climáticas no momento da aplicação foram: temperatura de 37 °C, umidade relativa de 37% e velocidade do vento de 8 km h⁻¹.

Aos 7, 15, 30, 45 e 60 dias após a aplicação (DAA) foi realizada a avaliação de eficácia de controle segundo porcentagem de sinais de intoxicação das plantas em que 0 (zero) corresponde a nenhuma injúria demonstrada pela planta e 100 (cem) à morte das plantas (ALAM, 1974; SBPCPD, 1995) e determinado o teor de clorofila *a* e feofitina *a* nas folhas (CETESB, 2014). Também, foram avaliadas as variáveis ambientais de qualidade da água (temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mg L⁻¹), condutividade elétrica (µS cm⁻¹) e pH com sonda multiparâmetro YSI professional plus, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (Caldwell e Langelier, 1948) e demanda química de oxigênio (DQO) (Adams, 1989).

Ao final do período experimental (60 DAA) foi avaliada a massa fresca (kg) e massa seca (g) das plantas, após secagem em estufa com circulação de ar forçado a 65 °C até atingirem massa constante.

Os resultados de massa fresca e seca, clorofila *a*, Feofitina *a*, DBO e DQO foram transformados em raiz quadrada (x+10) para obtenção da normalidade dos dados. Após os dados de eficácia, massa fresca e seca foram submetidos a ANOVA fatorial (2x3) com 2 tecnologias de aplicação, 3 doses de avaliação e avaliado os

efeitos das interações entre tecnologia de aplicação e dose. Para os dados de clorofila *a*, Feofitina *a* foi realizada análise fatorial (2x4x5) com 2 tecnologias, 4 tratamentos e 5 épocas de avaliação. Para os dados de DBO e DQO o fatorial foi de (2x4x6), 2 tecnologias, 4 tratamentos e 6 épocas para avaliar os efeitos de tecnologia e época, tecnologia e dose e dose e época. Os resultados de temperatura, oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica e do fatorial foram submetidos a análise variância pelo teste F (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade no programa estatístico AgroEstat-Sistema para análise estatística de ensaios agrônômicos (Barbosa e Maldonado, 2014).

4.4 Resultados e Discussão

Para a avaliação de eficácia ocorreu diferença significativa de controle entre a aplicação eletrostática e convencional e entre tecnologia e dose (Tabela 1). A aplicação eletrostática foi, respectivamente, 4, 7 e 18% mais eficaz do que a aplicação convencional em 7, 15 e 30 dias após aplicação (DAA). A partir dessa avaliação e até 60 DAA não ocorreu diferença de eficácia entre as doses e tecnologias (Tabela 1). Para o azevém (*Lolium multiflorum*) a aplicação de 3,3 g e.a. ha⁻¹ equivalente a 4,4 g i.a ha⁻¹ de glifosato + 0,25% de surfactante não iônico com costal eletrostático foi 4, 13 e 12% mais eficaz em do que a aplicação sem eletrificação das gotas em 7, 15 e 30 DAA (Martin e Latheef et al., 2017), resultados similares ao que ocorreram nesse estudo.

Neste contexto, o desenvolvimento de métodos de aplicação é muito importante para que os herbicidas alcancem a eficácia esperada, com a mínima contaminação (Martin e Latheef et al., 2017; Salcedo et al., 2020) do ambiente aquático. O controle maior das plantas daninhas permite inferir a uma chegada do herbicida em quantidade maior e com melhor qualidade. Assim, a aplicação eletrostática pode reduzir perdas pelo desvio de gotas, tanto na parte superior como inferior das folhas (Appah et al., 2019a), em comparação a pulverização convencional, que é até 30% mais propensos a deriva (Sande et al., 2008).

Tabela 1. Média dos valores de eficácia do imazamox segundo porcentagem de intoxicação das plantas no controle de *S. molesta* após aplicação eletrostática e convencional.

Efeito da tecnologia de aplicação no controle					
Tec./DAA	7	15	30	45	60
Convencional	9A	15B	22B	22B	22B
Eletrostática	13A	22A	40A	40A	40A
F	7,6*				
Efeito da interação tecnologia de aplicação x dose					
Tec./Dose	800		900		1000
Convencional	5bB		24aB		25aB
Eletrostática	26bA		28bA		38aA
F	21,9*				
Efeito da dose no controle					
Dose/DAA	7	15	30	45	60
800	8A	13B	19C	19C	19C
900	12A	21A	32B	32B	32B
1000	14A	21A	41A	41A	41A
F	4,1*				
CV	20,8				

*Significativo a 5% de probabilidade. Médias com a mesma letra minúscula na linha e médias com a mesma letra maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$).

Quanto ao efeito de doses, a aplicação eletrostática foi significativamente mais eficaz do que a aplicação convencional. A dose mais eficaz foi 1000 g i.a. ha⁻¹ com 38% de controle (Tabela 1). A aplicação eletrostática foi 4 a 21% mais eficaz do que a aplicação convencional.

A melhora na eficácia com aplicação eletrostática em comparação com a aplicação convencional pode estar relacionada com a adição de adjuvante a calda de pulverização que auxilia na aderência e translocação do herbicida nas folhas em comparação a aplicação da calda contendo o herbicida isolado (Nair e Foster, 2019) e em conjunto com a aplicação eletrostática melhora a cobertura pelas gotas pulverizadas devido às serem cargas elétricas que resultem em atração à planta (Appah et al., 2019b), o que pode melhorar quantitativa e qualitativamente a deposição da calda herbicida nas superfície das folhas mais expostas, durante a pulverização (Appah et al., 2020).

A aplicação eletrostática do imazamox acrescido de adjuvante deve ter resultado em maior quantidade de calda depositada no alvo e com uma melhor distribuição das gotas entre folhas e sobre a epiderme foliar de *S. molesta*. Dado que as cargas elétricas promovem atração e aproveitamento principalmente das gotas

menores (Appah et al., 2019a), estas tendem a se depositar também em estruturas filamentosas e menores como os tricomas.

Sendo assim, tanto as gotas maiores que chegam diretamente à superfície do limbo, quanto as menores que ficam nos tricomas, podem colaborar para a ação de controle das plantas alvo pelas caldas herbicidas. Além disso, a soma dos volumes de gotas maiores e menores coalescendo sobre as estruturas e superfície foliar, devem significar um acréscimo da cobertura do alvo, resultando também em maior probabilidade de absorção tanto em quantidade, quanto por uma maior área foliar das plantas. Estes resultados de maior e melhor aproveitamento da calda aplicada, que resultaram em melhor controle, já indicam, portanto, que deverá ter sido menor a quantidade de calda que não atingiu o alvo, tornando a aplicação mais segura.

No efeito de dose, em 7 dias após aplicação (DAA) a dose de 1000 g i.a. ha⁻¹ foi mais eficaz (Tabela 1) e ocorreu paralisia no crescimento das plantas com as duas tecnologias e na aplicação eletrostática as plantas apresentaram sinais de necrose nas folhas jovens.

Neste estudo, verificou-se eficácia do imazamox, maior do que a observada em outros estudos para o glyphosate na dose de 960 g i.a. ha⁻¹ + 0,5% de aterbane que não controlou as plantas de *S. molesta* em 7 DAA (Cruz et al., 2015), e similar a aplicação de 70,1 g i.a. ha⁻¹ de imazamox e 35 g i.a. ha⁻¹ de penoxsulam acrescidos de 1,0% de óleo vegetal metilado com organociliconado com 10% de controle e paralisia do crescimento das plantas aquáticas flutuantes *Eichhornia crassipes* e *Pistia estratiotes* em 2 e 10 dias após aplicação (Mudge e Netherland, 2014).

Em 15 DAA ocorreu valores similares de controle nas doses de 900 e 1000 g i.a. ha⁻¹ (Tabela 1). As plantas apresentaram necrose na borda das folhas e início do crescimento do rizoma das plantas nas duas técnicas de aplicação. Valores similares de controle foram encontrados quando utilizado o glyphosate na dose de 2240 g i.a. ha⁻¹ + 0,5% de surfactante não iônico que controlou 21 e 18% das plantas de *S. molesta* com altas taxas de aplicação 935 e 1.870 L ha⁻¹ em 7 DAA (Nelson et al., 2007). Na dose de 800 g i.a. ha⁻¹ a eficácia foi de 13% e ocorreu rebrota e emissão de rizoma das plantas com as duas tecnologias utilizadas (Tabela 1). O imazapyr na dose de 1680 g i.a. ha⁻¹ acrescido de 2,34 L ha⁻¹ de sunwet e taxa de aplicação de 1870 L

ha⁻¹ também controlou 13% de *S. molesta* e apresentou sinais de necrose e encarquilhamento foliar com rebrota das plantas em 42 DAA (Nelson et al., 2001).

As tecnologias de aplicação (eletrostática e convencional) utilizadas neste estudo foram mais eficientes no controle de *S. molesta* em 60 DAA, apresentaram resultados melhores ou similares aos trabalhos citados com dosagem do herbicida de 800, 900 e 1000 g i.a. ha⁻¹ e volume de aplicação de 50 L ha⁻¹ o que pode proporcionar maior segurança na aplicação nos ambientes aquáticos, ganhos no desempenho operacional e redução de custos pelo uso de menores volume de aplicação e doses. Nelson et al. (2007) afirma que a aplicação de menores dosagens e volumes de aplicação é uma prática mais viável e econômica com aumento da eficiência na pulverização e diminuição de produtos químicos no ambiente.

Em 30 DAA, com 900 e 1000 g i.a. ha⁻¹ ocorreu necrose parcial e total das folhas maduras com diminuição da densidade de plantas nas unidades experimentais e a dose de 1000 g i.a. ha⁻¹ apresentou eficácia de 40% no controle de *S. molesta* nas duas tecnologias (Tabela 1), entretanto, ocorreu crescimento de plantas jovens nos dois tratamentos.

A dose de 800 g i.a. ha⁻¹ foi a menos eficaz no controle de *S. molesta* (Tabela 1) e na aplicação convencional ocorreu aumento das rebrotas e crescimento de plantas jovens. Na aplicação eletrostática ocorreu sinais de necrose de borda, parcial e total das folhas maduras com diminuição da densidade das plantas nas unidades experimentais, entretanto, ocorreu elevada quantidade de rebrota das plantas.

Os herbicidas imazamox e imazapyr nas doses de 560 g i.a. ha⁻¹ + 0,25% tenso ativo não iônico, apresentaram valores similares de eficácia às doses de 800 e 1000 g i.a. ha⁻¹ com 18 e 39% em 35 DAA com 100% rebrota e crescimento das plantas nas unidades experimentais (Emerine et al., 2010). Entretanto, a massa vegetal foi menos densa no tratado em relação ao tratamento controle (Emerine et al., 2010), comportamento também observado neste estudo.

Em 45 e 60 DAA não ocorreu evolução visual na eficácia do imazamox, tanto na aplicação eletrostática como na convencional (Tabela 1). Isso se deu pela rebrota em todas as doses testadas e maior intensidade na dose de 800 g i.a. ha⁻¹ e reestabelecimento do crescimento vegetativo de *S. molesta*, o que indica que

estratégias de manejo complementares são importantes para obter sucesso no seu controle populacional.

A rebrota também foi verificada com a aplicação de 960 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate + 0,5% de aterbane, onde as plantas de *S. molesta* apresentaram rebrotas e crescimento semelhante ao do tratamento controle em 45 DAA (Cruz et al., 2015) e com 1344 g i.a. ha⁻¹ de glifosato + 0,25% de surfactante não iônico a base de silicone em aplicação convencional e volume de aplicação de 630 L ha⁻¹ aos 42 DAA, devido ao crescimento de plantas isoladas e fragmentação das folhas (Fairchild et al., 2002).

O controle desta planta pode ser influenciado pela reprodução e estrutura da planta que forma colônias flutuantes unidas por um caule horizontal embaixo da superfície da água. As colônias contem três folhas, sendo duas flutuantes que possuem tricomas capazes de repelir água e auxiliam na flutuação e uma terceira folha modificada submersa dissecada que absorve os nutrientes na coluna d'água e possuem esporos entre os filamentos das folhas submersas que se desenvolvem na fase de crescimento ou condições precárias de nutrientes (Galam et al., 2015). A reprodução ocorre por fragmentação quando a planta mãe se quebra e forma mais de uma planta-filha, sendo o meio principal de disseminação da espécie que pode ser influenciado pela atividade de animais, humanos ou ambiente com a corrente de ventos e ondas (Sartain, 2018), o que faz com que ocorra formação de densa massa vegetativa na superfície da água de até 1 metro de espessura (Mudge et al., 2012).

A infestação de *S. molesta* requer múltiplas aplicações de herbicidas, visando atingir todas as plantas. O resultado das aplicações foliares geralmente são de moderados a bons, devido a formação de grande massa vegetativa (Nelson et al., 2007). As plantas não atingidas pelo herbicida aplicado, se reproduzem rapidamente, aproveitando os nutrientes liberados pelas plantas senescentes (Mudge et al., 2012). Essas características morfo-funcionais de *S. molesta* podem ter facilitado a rebrota das plantas nas duas tecnologias de aplicação utilizadas neste estudo.

Na análise de massa fresca das plantas de *S. molesta* ocorreu diferença para tecnologia de aplicação, para dose e para a interação entre tecnologia e dose. A aplicação eletrostática apresentou maior redução da massa fresca de *S. molesta* (Tabela 2).

Para a interação entre tecnologia e dose, a aplicação eletrostática resultou em 20 a 30% mais eficiência em redução da massa fresca do que a aplicação convencional. As doses que apresentaram maiores reduções foram 900 e 1000 g i.a. ha⁻¹, similares entre si, e a menor redução ocorreu com 800 g i.a. ha⁻¹ (Tabela 2).

O glyphosate com 1344 g i.a. ha⁻¹ + 0,25% de surfactante não iônico a base de silicone em aplicação em pulverização com CO₂ pressurizado e taxa de aplicação de 630 L ha⁻¹ em 42 DAA reduziu 52% da massa fresca de *S. molesta*, similar a este estudo (Fairchild et al., 2002).

Para a massa seca ocorreu diferença significativa nos efeitos tecnologia de aplicação e dose. Na interação tecnologia e dose não ocorreu diferença significativa de redução (Tabela 2). As diferenças nos resultados da interação tecnologia e dose na massa fresca e seca está relacionada com a decomposição gradual e retenção de água nas plantas (Fairchild et al., 2002).

Tabela 2. Média dos valores de massa fresca, massa seca e redução (Red.) da massa fresca e seca das plantas de *S. molesta* após aplicação eletrostática e convencional de imazamox.

Massa fresca (kg)							
Efeito tecnologia	Convencional				Eletrostática		
	53,4a				46,1b		
F	28,4*						
Efeito dose	0	800	% Red.	900	% Red.	1000	% Red.
	57,5a	53,7a	11	44,0b	41	43,8b	41
F	26,0*						
Efeito da interação tecnologia de aplicação x dose							
Tec./Dose	0	800	% Red.	900	% Red.	1000	% Red.
Convencional	57,5aA	60,2aA	0	47,3bA	32	48,5bA	28
Eletrostática		47,2bB	32	40,6bcB	50	39,1cB	53
F	4,0*						
CV	6,6						
Massa seca (g)							
Efeito tecnologia	Convencional				Eletrostática		
	11,4a				10,5b		
F	7,62*						
Efeito dose	0	800	% Red.	900	% Red.	1000	% Red.
	12,6a	11,7a	13	9,84b	41	9,80b	42
F	17,2*						
Efeito da interação tecnologia de aplicação x dose							
Tec./Dose	0	800	% Red.	900	% Red.	1000	% Red.
Convencional	12,6aA	12,8aA	0	10,2bA	36	10,2bA	36
Eletrostática		10,7abB	30	9,4bA	46	9,3bA	48
F	1,70 ^{ns}						
CV	7,5						

^{ns}Não significativo. *Significativo a 5% de probabilidade. Médias com a mesma letra minúscula na linha e médias com a mesma letra maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey (p>0,05).

No efeito da tecnologia a aplicação eletrostática apresentou maior redução da massa seca de *S. molesta* (Tabela 2). No efeito dose ocorreu maior redução com 900 e 1000 g i.a. ha⁻¹ similares entre si (Tabela 2). O imazamox e o penoxsulam com 70,1 e 35 g i.a. ha⁻¹ acrescido de 1,0% de óleo vegetal metilado com organociliconado reduziram 40% da massa seca de *E. crassipes* similar aos resultados encontrados para *S. molesta*. Para o *P. stratiotes*, o imazamox reduziu 25% e o penoxsulam 42% em aplicação convencional e volume de aplicação de 935 L ha⁻¹ (Mudge e Netherland, 2014).

A pulverização de 4205 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate acrescido de 0,25% de óleo vegetal metilado com CO₂ pressurizado e taxa de aplicação de 935 L ha⁻¹ em 105 DAA reduziu 47% da massa seca de *S. molesta* (Mudge e Sartain, 2018), similar a

aplicação eletrostática com 900 e 1000 g i.a. ha⁻¹ de imazamox, observada neste estudo.

Para Sartain e Mudge (2019) foi necessário a adição de dois adjuvantes (organosiliconado não iônico a 0,1% e surfactante não iônico 0,25%) na calda herbicida de glyphosate na dose de 3300 g i.a. ha⁻¹ para reduzir 56% da massa seca de *S. molesta* em aplicação convencional com volume de aplicação de 935 L ha⁻¹ em 84 DAA, valores similares na redução da massa seca utilizando 900 e 1000 g i.a. ha⁻¹ e volume de calda de 50 L ha⁻¹ neste estudo.

Na aplicação eletrostática foi utilizada cerca de 5 a 10 vezes menos volume de aplicação (50 L ha⁻¹) para reduzir a mesma quantidade de massa fresca e seca nos estudos citados com pulverizadores convencionais (Fairchild et al., 2002; Mudge e Netherland, 2014; Sartain e Mudge, 2019). A utilização de tecnologias adequadas a cada situação pode melhorar a eficiência e reduzir o impacto da pulverização sobre os organismos não alvos da aplicação (Pan et al., 2019), resultados importantes para manter a estabilidade e sanidade dos corpos hídricos.

A porcentagem de controle, massa fresca, massa seca e perda de pigmentos das plantas são indicadores de que ocorreu mortalidade e eficácia do herbicida para controle de *S. molesta* (Fairchild et al., 2002). Diante disso, na quantificação do teor de clorofila *a* das plantas ocorreu diferença significativa no efeito tecnologia e época, tecnologia e dose e na interação época e dose (Tabela 3).

No efeito tecnologia e época ocorreu diminuição significativa da clorofila *a* em 45 DAA com aplicação eletrostática e em 15 DAA com aplicação convencional (Tabela 3). No efeito tecnologia e dose ocorreu redução em todos os tratamentos nas duas tecnologias e a maior redução ocorreu em 900 g i.a. ha⁻¹ com aplicação eletrostática e em 800 g i.a. ha⁻¹ em aplicação convencional (Tabela 3).

Na interação época e dose ocorreu redução significativa da clorofila *a* em 7, 15, 30 e 45 DAA (Tabela 3). A maior redução foi 80% com 800 e 900 g i.a. ha⁻¹ e de 77% com 1000 g i.a. ha⁻¹ nas duas tecnologias em 30 DAA. Resultados similares foram observados na aplicação convencional de imazapyr nas doses de 500 e 750 g i.a. ha⁻¹ acrescido de 0,5% de aterbane e volume de aplicação de 200 L ha⁻¹ com redução de 86% (0,66 mg dm⁻²) e 77% (1,09 mg dm⁻²) da clorofila total das plantas de *Typha subulata* aos 31 DAA (Silva e Martins, 2004).

Tabela 3. Médias dos valores de clorofila *a* (Chl) e feofitina *a* (Feo) ($\mu\text{g g}^{-1}$) das plantas de *S. molesta* após aplicação de imazamox em aplicação eletrostática (Elet.) e convencional (Conv.).

Efeito da interação tecnologia de aplicação x época						
Variável	Tec./DAA	7	15	30	45	60
Clorofila <i>a</i>	Conv.	5,5abA	6,2abB	6,4aA	6,0abA	4,9bA
	Elet.	5,1bA	7,7aA	6,8aA	5,0bB	4,6bA
Feofitina <i>a</i>	Conv.	13,1bA	13,5bA	19,0aA	17,4abA	15,6abA
	Elet.	12,7abA	14,3abA	17,4aA	14,0abB	12,4bA
Valor F	Chl	4,09*				
	Feo	1,11 ^{ns}				
Efeito da interação tecnologia de aplicação x dose						
Variável	Tec./Dose	0	800	900	1000	
Clorofila <i>a</i>	Conv.	8,11aA	4,7bB	5,4bA	5,1bA	
	Elet.		5,9bA	4,5cB	4,8bcA	
Feofitina <i>a</i>	Conv.	15,1abA	14,1bA	18,3aA	15,3abA	
	Elet.		12,7aA	15,2aA	13,3aA	
Valor F	Chl	4,15*				
	Feo	0,61 ^{ns}				
Efeito da interação época x dose						
Variável	Dose/DAA	7	15	30	45	60
Clorofila <i>a</i>	0	7,1cA	9,3abA	10,6aA	7,6bcA	5,7cA
	800	4,7bB	7,3aB	4,8bB	5,3bB	4,5bA
	900	4,4bB	6,3aBC	5,3abB	4,0bB	4,6abA
	1000	4,8aB	4,9aC	5,7aB	5,1aB	4,2aA
Feofitina <i>a</i>	0	14,8abA	9,3bB	17,8aAB	15,7abA	17,7aA
	800	12,4aA	13,3aB	13,1aB	15,7aA	12,4aAB
	900	11,4cA	20,0abA	23,0aA	15,1bcA	14,9bcAB
	1000	12,9abA	13,0abB	18,8aAB	16,1abA	10,9bB
Valor F	Chl	3,71*				
	Feo	3,13*				
CV	Chl	19,94				
	Feo	27,99				

^{ns}Não significativo. *Significativo a 5% de probabilidade. Médias com a mesma letra minúscula na linha e médias com a mesma letra maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$).

Para os teores de feofitina *a* ocorreu diferença significativa na interação época e dose, com aumento na dose de 900 g i.a. ha⁻¹ em 15 e 30 DAA (Tabela 3), nas demais interações não ocorreu diferença significativa nos resultados (Tabela 3).

Os herbicidas aplicados no ambiente aquático podem sofrer fotodegradação, degradação microbiana, adsorção por matéria orgânica particulada, argilas em suspensão, diluição e meia-vida de algumas horas e/ou dias (Souza et al., 2017) e o monitoramento do comportamento destes produtos nos corpos hídricos é importante para o conhecimento de sua ação e efeito direto ou indireto para os organismos não alvo e na qualidade de água nos ambientes aquáticos (Souza et al., 2020).

Nesse sentido, na demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) ocorreu diferença significativa na interação tecnologia e época (Tabela 4). Nas demais interações não ocorreram diferença significativa dos resultados (Tabela 4). A aplicação convencional e eletrostática aumentou significativamente a DBO₅ da água em 45 DAA e na comparação entre as duas tecnologias ocorreu redução significativa em 7 DAA em aplicação eletrostática (Tabela 4).

O aumento da DBO₅ na água após as aplicações está relacionado com a quantidade de matéria orgânica liberada nos microcosmos e com a quantidade de oxigênio dissolvido na água. Quanto maior for o valor da DBO₅ menor será a quantidade de oxigênio dissolvido na água, o que não ocorreu neste estudo em que os valores de oxigênio dissolvido se mantiveram em torno de 5,0 mg L⁻¹ (Tabela 5) e acima do limite (>4,0 mg L⁻¹) para a sobrevivência da comunidade biológica nos sistemas aquáticos (Melo Júnior et al., 2019).

A autodepuração do sistema e a diluição da matéria orgânica na água podem ser ter sido responsáveis pelas altas taxas de oxigênio dissolvido durante todo o período experimental (Chatanga et al., 2019), mesmo com a degradação das plantas após aplicação do herbicida, o que demonstra a capacidade de resiliência dos corpos hídricos durante a possível aplicação de herbicidas para o manejo de plantas aquáticas flutuantes.

Tabela 4. Médias dos valores de demanda biológica (DBO₅) e química (DQO) de oxigênio (mg L⁻¹) da água após aplicação do imazamox em aplicação eletrostática (Elet.) e convencional (Conv.).

		Efeito da interação tecnologia de aplicação x época					
Variável	Tec./DAA	0	7	15	30	45	60
DBO ₅	Conv.	3,1bB	3,5abA	3,2bA	3,2bA	4,0aA	3,4bB
	Elet.	3,4bcA	3,2cA	3,2cA	3,2cA	3,8aA	3,7abA
DQO	Conv.	6,0bA	3,3cA	3,1cA	8,0aA	4,6bcA	4,8bcA
	Elet.	6,3aA	3,9bcBA	3,6cA	5,5abB	4,3bcA	5,6abA
Valor F	DBO ₅					2,2*	
	DQO					3,4*	
Efeito da interação tecnologia de aplicação x dose							
Variável	Tec./Dose	0	800	900	1000		
DBO ₅	Conv.	3,5aA	3,3aA	3,3aA	3,3aA		
	Elet.		3,5aA	3,4aA	3,5aA		
DQO	Conv.	4,2bA	5,0aA	5,3aA	5,4aA		
	Elet.		4,7abA	4,6abA	6,0aA		
Valor F	DBO ₅					0,2 ^{ns}	
	DQO					0,9 ^{ns}	
Efeito da interação época x dose							
Variável	Dose/DAA	0	7	15	30	45	60
DQO	0	5,9aA	3,1bA	3,1bA	4,1abC	4,9abA	4,1abA
	800	5,8abA	3,9bcA	3,1cA	6,9aB	3,7bcA	5,8abA
	900	7,0aA	3,4bA	3,5bA	6,7aB	4,4abA	4,5abA
	1000	6,0bA	4,0bA	3,7bA	9,4aA	4,7bA	6,2bA
Valor F	DBO ₅					1,2 ^{ns}	
	DQO					2,0*	
CV	DBO ₅					10,0	
	DQO					32,0	

^{ns}Não significativo. *Significativo a 5% de probabilidade. Médias com a mesma letra minúscula na linha e médias com a mesma letra maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey (p>0,05).

Na avaliação da demanda Química de oxigênio (DQO) ocorreu diferença significativa no efeito tecnologia e época e na interação época e dose (Tabela 4). No efeito tecnologia e dose não ocorreu diferença significativa dos resultados (Tabela 4).

Em 30 DAA ocorreu aumento significativo da DQO em aplicação convencional e redução em aplicação eletrostática (Tabela 4). Na interação época e dose ocorreu aumento significativo em 30 DAA em todas as doses testadas (Tabela 4).

O aumento da DQO da água em todas as doses em 30 DAA está relacionado com o ciclo de degradação das plantas pela eficácia do herbicida, nesta avaliação ocorreu maior controle das plantas proporcionada pelo herbicida.

Os diferentes resultados encontrados na análise de DQO em relação a DBO₅ é explicado pela utilização de oxidantes fortes para oxidar a matéria orgânica que os microrganismos não oxidaram ou oxidaram parcialmente na análise de DBO₅. A

avaliação simultânea destes parâmetros é importante para mensurar a degradabilidade das substâncias orgânicas e inorgânicas na água (Dhanjai et al., 2018; Hu e Grasso, 2005).

A aplicação eletrostática do imazamox se mostrou mais eficaz do que a aplicação convencional. O melhor resultado da aplicação eletrostática está associado a tecnologia de eletrificação das gotas que faz com que a calda herbicida seja diretamente direcionada para a planta evitando alcançar organismos fora do alvo de aplicação, poluição ambiental e os riscos a saúde humana (Patel et al., 2016; Salcedo et al., 2020).

Para temperatura e oxigênio dissolvido na água ocorreu uma pequena variação significativa de 0,5 °C e 0,5 mg L⁻¹ durante o período experimental (Tabela 5). Essa variação não é limitante para a biota aquática pois os valores de oxigênio dissolvido na água se mantiveram acima de 5,5 mg L⁻¹ durante todo o período experimental (Tabela 5), visto que a quantidade de oxigênio necessária para manter a estabilidade dos corpos hídricos é acima de (>4,0 mg L⁻¹) (Melo Júnior et al., 2019).

Para a condutividade elétrica não ocorreu diferença significativa em todo período experimental (Tabela 5). Para o pH ocorreu uma pequena variação significativa de 0,1 a 0,3 (Tabela 5) que não é limitante para a biota aquática.

Tabela 5. Médias dos valores de temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e pH da água após aplicação convencional e eletrostática do imazamox.

Temperatura (°C)									
Tecnologia	controle	Convencional				Eletrostático			
DAA ¹ /Dose ²		800	900	1000	F	800	900	1000	F
0	26,4a	26,1a	26,1a	26,1a	3,6 ^{ns}	26,3b	26,4ab	26,8a	6,3*
7	28,2a	28,3a	28,4a	28,3a	0,1 ^{ns}	28,2a	28,3a	28,3a	0,04 ^{ns}
15	27,2a	26,9ab	26,6b	27,0ab	5,4*	26,7a	26,9a	26,9a	0,9 ^{ns}
30	27,1a	26,9a	26,7a	26,9a	2,6 ^{ns}	26,5b	26,5b	26,6ab	5,9*
45	27,5a	27,3a	26,9a	27,2a	1,6 ^{ns}	27,1a	27,0a	27,2a	0,4 ^{ns}
60	25,6a	25,3a	24,8a	25,1a	2,6 ^{ns}	23,9a	25,1a	25,2a	0,8 ^{ns}
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)									
Tecnologia	controle	Convencional				Eletrostático			
DAA/Dose		800	900	1000	F	800	900	1000	F
0	6,1a	6,3a	6,2a	6,1a	0,9 ^{ns}	6,3a	6,1a	6,1a	3,4 ^{ns}
7	6,2a	6,1a	6,1a	6,2a	0,04 ^{ns}	6,3a	6,2a	6,2a	1,2 ^{ns}
15	5,9b	6,1b	6,5a	6,1b	14,7*	6,4a	6,1b	6,4a	23,4*
30	5,9ab	6,3a	6,0ab	5,7b	5,5*	6,0a	5,9a	5,9a	0,3 ^{ns}
45	5,6a	5,5a	5,7a	5,5a	0,6 ^{ns}	5,6a	5,5a	5,5a	0,1 ^{ns}
60	6,8a	6,7a	6,6a	6,5a	3,3 ^{ns}	6,3b	6,3b	6,5b	11,5*
Condutividade elétrica (µS cm ⁻¹)									
Tecnologia	controle	Convencional				Eletrostático			
DAA/Dose		800	900	1000	F	800	900	1000	F
0	133,2a	130,3a	129,3a	125,5a	2,8 ^{ns}	124,8a	125,8a	130,2a	0,5 ^{ns}
7	134,0a	130,7a	131,8a	134,0a	0,8 ^{ns}	128,8a	132,3a	134,9a	0,2 ^{ns}
15	132,7a	119,1a	124,7a	125,0a	1,4 ^{ns}	125,1a	128,5a	131,5a	0,2 ^{ns}
30	128,8a	124,3a	125,0a	126,7a	1,5 ^{ns}	123,2a	126,8a	129,1a	1,2 ^{ns}
45	121,8ab	117,4a	120,2a	119,8a	1,4 ^{ns}	117,4b	120,3ab	127,0a	4,5*
60	107,9a	104,4a	107,9a	195,3a	1,1 ^{ns}	101,5a	111,7a	111,7a	3,9 ^{ns}
pH									
Tecnologia	controle	Convencional				Eletrostático			
DAA/Dose		800	900	1000	F	800	900	1000	F
0	8,2a	8,2a	8,1a	8,1a	4,0*	8,1b	8,1b	8,1b	16,5*
7	8,2a	8,3a	8,3a	8,3a	1,8 ^{ns}	8,2a	8,3a	8,3a	0,3 ^{ns}
15	8,6a	8,3b	8,4ab	8,3b	4,9*	8,3ab	8,3b	8,3b	5,3*
30	8,1a	8,1a	8,1ab	8,0b	5,7*	8,1a	8,1a	8,1a	10,1*
45	8,3a	8,1b	8,1b	8,1b	19,5*	8,1b	8,1b	8,1b	16,8*
60	8,1a	8,1a	8,1a	8,1a	1,9 ^{ns}	8,4a	8,2ab	8,2ab	4,3*

¹Dias após a aplicação. ²Doses (g i.a. ha⁻¹) em todas as doses foi adicionado 0,5% de adjuvante Dash®. ^{ns}Não significativo. *Significativo a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey (p>0,05). Letras minúsculas iguais na linha não diferem estatisticamente entre si.

Diante disso, alguns estudos foram realizados tais como: aplicação sequencial de herbicida para controle de plantas aquáticas de difícil controle em condição de mesocosmos (Cruz et al., 2017), aplicação de herbicida acrescido de adjuvantes e diferentes pontas de pulverização para controle de *P. stratiotes* (Silva et al., 2018), utilização de bico de pulverização de energia centrífuga para controle de *E. crassipes* (Garlich et al., 2019) e controle de *E. crassipes* com herbicida e seu impacto na qualidade de água (Souza et al., 2020).

4.5 Conclusões

A aplicação eletrostática de imazamox neste estudo foi mais eficiente do que a aplicação convencional no controle de *S. molesta* na dose de 1000 g i.a. ha⁻¹. As tecnologias de aplicação utilizadas não causaram efeitos significativos nos indicadores ambientais de qualidade de água. A aplicação eletrostática é uma opção no manejo de plantas aquáticas em corpos hídricos públicos ou privados devido à tecnologia proporcionar maior cobertura do alvo e menos perdas por deriva com maior segurança do ambiente e dos organismos não alvos da aplicação.

4.6 Referências

ALAM (1974) Asociacion Latinoamerica de malezas. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluacion em ensayos de control de malezas. **ALAM**. 1:35-38.

Adams VD (1995) Water and Wastewater Examination Manual. Methods for the determination of organics, Chemical oxygen demand (COD). **Manual method dichromate reflux**. 1989. 168p.180.

Appah S, Wang P, Ou M, Gong C, Jia W (2019). Review of electrostatic system parameters, charged droplets characteristics and substrate impact behavior from pesticides spraying. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering** 12:1-9.

Appah S, Zhou H, Wang P, Ou M, Jia W (2019). Charged monosized droplet behaviour and wetting ability on hydrophobic leaf surfaces depending on surfactant-pesticide concentrate formulation. **Journal of Electrostatics** 100:103356.

Appah S, Jia W, Ou M, Wang P, Asante EA (2020) Analysis of potential impaction and phytotoxicity of surfactant-plant surface interaction in pesticide application. **Crop Protection** 127:104961

Barbosa JC, Maldonado JRW (2014) AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos. Versão 1.1.0.712. 2014.

Brundu G (2015) Plant invaders in European and Mediterranean inland waters: profiles, distribution, and threats. **Hydrobiologia** 746:61–79.

Caldwell DH, Langelier WF (1948) Manometric measurement of the biochemical oxygen demand of sewage. **Sewage works J.** 20:202-218.

CETESB (2014) Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Norma técnica CETESB L5.306**. Determinação de clorofila a e feofitina a: método espectrofotômetro, 3th ed. 14p.

Cruz C, Silva AF, Luna LV, Yamauchi AKF, Garlich, N, Pitelli RA (2015) Glyphosate Effectiveness in the Control of Macrophytes Under a Greenhouse Condition. **Planta Daninha** 33:24-47.

Cruz C, Silva AF, Shiogiri NS, Garlich N, Pitelli R.A (2015) Imazapyr herbicide efficacy on floating macrophytes control and ecotoxicology for non-target organisms. **Planta Daninha** 33:103-108.

Cruz C, Cervoni JHC, Silva AF, Garlich N, Pitelli RA (2017) Aplicação sequencial de glyphosate em plantas aquáticas de difícil controle em condição de microcosmos. **Ciência e Cultura** 13:59-63.

Chatanga P, Ntuli V, Mugomeri E, Keketsi T, Chikowore NV (2019) Situational analysis of physico-chemical, biochemical and microbiological quality of water along Mohokare River, Lesotho. **The Egyptian Journal of Aquatic Research** 45:45-51.

Dhanjai, SA, Zhao H, Chen J, Mugo SM (2018). Determination of Chemical Oxygen Demand: An Analytical Approach. **Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering**. Encyclopedia of Analytical Science. 3rd Edition. 14p. doi:10.1016/b978-0-12-409547-2.14517-2

Emerine SE, Richardson RJ, True SL, West AM, Roten RL (2010) Greenhouse Response of Six Aquatic Invasive Weeds to Imazamox. **J. Aquat. Plant Manage.** 48:105-111.

Fairchild JF, Allert AL, Riddle JS, Gladwin DR (2002) Efficacy of glyphosate and five surfactants for controlling giant salvinia. **J. Aquat. Plant Manage.** 40:53-58.

Galam D, Silva J, Sanders D, Oard JH (2015). Morphological and genetic survey of Giant Salvinia populations in Louisiana and Texas. **Aquatic botany** 127:20-25.

Garlich N, Guarnieri C, Freitas R, Cervoni J, Cruz C, Ferreira M (2019) Efficacy of Imazamox with Centrifugal Energy Spray Nozzle on *Eichhornia crassipes* and Economic Analysis of Control Viability. **Planta Daninha** 37:e019194898.

Gettys LA, Haller WT, Petty DG (2014) Biology and control of aquatic plants. A best management practices handbook: Third edition. **Aquatic ecosystem restoration foundation**, Mariett GA, p. 238.

He X, Zeng A, Liu Y, Song J (2011) Precision orchard sprayer based on automatically infrared target detecting and electrostatic spraying techniques. **Int. J. Agric. Biol. Eng.** 4:35–40.

Hu Z, Grasso D (2005) Water analysis. Chemical Oxygen Demand. **Encyclopedia of Analytical Science** pp.325–330

Hussner A, Stiers I, Verhofstad MJJM, Bakker ES, Grutters BMC, Haury J, Valkenburg JLCHV, Brundu G, Newman J, Clayton JS, Anderson LWJ, Hofstra D (2017) Management and control methods of invasive alien freshwater aquatic plants: a review. **Aquatic Botany** 136:112-137.

Martin DE, Latheef MA (2017) Efficacy of electrostatically charged glyphosate on ryegrass. **Journal of Electrostatics** 90:45-53.

Melo JR AS, Santos GR, Silva GS, Melo RCC, Jesus TA (2019) Monitoramento da concentração de oxigênio dissolvido (OD) em lagoas de estabilização. **INOVAE- Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation** 7:128-146.

Mudge CR, Heilman MA, Theel HJ, Getsinger KD (2012). Efficacy of subsurface and foliar penoxsulam and fluridone applications on giant salvinia. **Journal of aquatic plant management** 50:116-124.

Mudge CR, Netherland MD (2014) Response of invasive floating plants and nontarget emergent plants to foliar applications of imazamox and penoxsulam. **Journal of Aquatic Plant Management** 52:1-7.

Mudge, CR, Sartain BT (2018). Influence of winter on herbicide efficacy for control of giant salvinia (*Salvinia molesta*). **J Aquat Plant Manag.** 56:68-71.

Nairn JJ, Forster WA (2019) Due diligence required to quantify and visualise agrichemical spray deposits using dye tracers. **Crop Protect.** 115:92–98.

Nelson LS, Skogerboe JG, Getsinger KD (2001). Herbicide evaluation against giant salvinia. **Journal of Aquatic Plant Management** 39:48-53.

Nelson LS, Glomski LM, Gladwin DN (2007) Effect of Glyphosate Rate and Spray Volume on Control of Giant Salvinia. **J. Aquat. Plant Manage.** 45:58-61.

OECD (2004) **Organisation for Economic Co-operation and Development**. Draft Guidance document on simulated freshwater lentic field tests (Outdoor Microcosms and Mesocosms). July, 2004, 26p. <http://www.oecd.org/fr/securitechimique/essais/32612239.pdf>

Pan XL, Dong FS, Wu XH, Xu J, Liu XG, Zheng YQ (2019) Progress of the discovery, application, and control technologies of chemical pesticides in China. **Journal of Integrative Agriculture** 18:840-853.

Patel MK (2016) Technological improvements in electrostatic spraying and its impact to agriculture during the last decade and future research perspectives—A review. **Engineering in Agriculture, Environment and Food** v:92-100.

Salcedo R, Llop J, Campos J, Costas M, Gallart M, Ortega P, Gil E (2020) Evaluation of leaf deposit quality between electrostatic and conventional multi-row sprayers in a trellised vineyard. **Crop Protection** 127:104964.

Sande JCV, Huijsmans JFM, Porskamp HAJ, Michielsen JMGP, Stalinga H, Holterman HJ, Jong A (2008). Spray techniques: How to optimise spray deposition and minimize spray drift. **Environmentalist.** 28:9-17.

Sartain BT (2018) Exploring alternative giant salvinia (*Salvinia molesta* D.S. Mitchell) management strategies. 121 f. LSU Doctoral Dissertations. 4542. https://digitalcommons.lsu.edu/gradschool_dissertations/4542

Sartain BT, Mudge CR (2018) Evaluation of 12 foliar applied non-aquatic herbicides for efficacy against giant salvinia (*Salvinia molesta*) J. Aquat. Plant Manage 56:107-112.

Sartain BT, Mudge CR (2019) The response of giant salvinia to foliar herbicide applications at three winter timings. **Journal of Aquatic Plant Management**. 57:1-6.

Silva JRV, Martins D (2004) Controle químico de *Typha subulata* em dois estádios de desenvolvimento. **Planta Daninha** 22:437-443.

Souza ELC, Foloni, LL, Filho JT, Velini ED, Siono LM, Silva JRM (2017) Half-Life of Glyphosate on the Control of Water Hyacinths in Water Tanks. **Journal of Water Resource and Protection** 9:470-481.

Souza EL, Filho JT, Velini ED, Silva JR, Tonello KC, Foloni LL, Gonzalez GDD, Barbosa AC, Freato TA (2020). Efficacy of Glyphosate in Water Management and the Effects on Water Quality. **Journal of Water Resource and Protection** 12:50-59.

Shen C, Jia S, Tang Z, Zhou Y, Meng X, Yuan L (2010) Research actuality and application prospects of pesticide electrostatic spraying. **Journal of Agricultural Mechanization Research** 4:16–19.

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

CAPÍTULO 5 – Indicadores Ambientais após aplicação sequencial de herbicida e adjuvantes com pulverizador eletrostático e convencional no controle de *Salvinia molesta*

RESUMO – O objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia da aplicação sequencial do imazamox acrescido de adjuvantes em aplicação eletrostática e convencional e os impactos nas características físico-químicas e biológicas da água. Os tratamentos foram imazamox isolado na dose de 900 g i.a. ha⁻¹, imazamox 900 g i.a. ha⁻¹ + 0,5% de Dash® e imazamox 900 g i.a. ha⁻¹ + 0,5% de Veget'oil® e volume de calda 50 L ha⁻¹. As avaliações de eficácia foram realizadas em 7, 15, 30 dias após a primeira aplicação (DAPA) e segunda aplicação (DASA), por porcentagem de sinais de intoxicação das plantas e massa seca em 60 DAA (após as duas aplicações). Em 0 (antes da aplicação), 30 DAPA e 30 DASA foi avaliado indicadores ambientais de qualidade de água. O imazamox + Veget'oil® foi mais eficaz no controle de *S. molesta* em aplicação convencional com 53% de controle em 30 DAPA e 60% em 30 DASA com redução de 67% da massa seca das plantas. O imazamox isolado foi mais eficaz em pulverização eletrostática com 20% em 30 DAPA e 10% em 30 DASA, com redução de 40% da massa seca das plantas. Nos indicadores ambientais ocorreu aumento do nitrogênio total, clorofila *a* e turbidez da água em 30 DAPA e temperatura, condutividade elétrica, fósforo total, amônia e nitrito em 30 DASA. O imazamox acrescido de Veget'oil® em aplicação convencional foi mais eficaz no controle de *S. molesta* em aplicação sequencial. A utilização de herbicida para o controle de *S. molesta* não interferiu na dinâmica ambiental dos processos degradativos das plantas e de nutrientes em condição de microcosmos.

Palavras-chave: Controle químico; monitoramento ambiental; plantas aquáticas; tecnologia de aplicação

5.1 Introdução

As plantas aquáticas são componentes dos ciclos bioquímicos de nitrogênio e fósforo nos ambientes aquáticos que influenciam na sedimentação, retenção de nutrientes e nas características físicas e químicas da água (Santos et al., 2020). Em corpos hídricos devido às ações antrópicas podem ocorrer alterações com maior disponibilidade de nutrientes e formação de colonizações de espécies monoespecíficas e pouco diversificadas destas plantas (Souza et al., 2020). O que pode prejudicar a riqueza das espécies, o oxigênio da água, o fluxo dos rios, transporte e navegação, atividades de esportes aquáticos, geração de energia elétrica e disponibilidade da água nos sistemas de irrigação, drenagem e para consumo humano e animal (Gettys et al., 2014; Hussner et al., 2017).

Uma análise de risco da infestação de plantas aquáticas foi realizada em alguns países da Europa, na Nova Zelândia e nos Estados Unidos e a macrófita *Salvinia molesta* está na lista de espécies que causam grandes prejuízos aos ambientes aquáticos e precisam de manejo e controle (Hussner et al., 2017).

O controle químico de *S. molesta* e demais plantas aquáticas têm sido realizado com aplicações foliares de herbicidas (Hussner et al., 2017) e tem apresentado resultados moderados a bons, no controle desta planta. Assim, as infestações de *S. molesta* necessitam de várias aplicações de herbicidas para atingir eficácia de controle (Nelson et al., 2007; Cruz et al., 2017; Mudge et al., 2016).

O que pode melhorar a eficiência dos herbicidas é o emprego de tecnologias de aplicação mais adequadas, como a adição de adjuvantes na calda de aplicação, que auxilia na deposição, retenção, dispersão e aderência do herbicida nas superfícies foliares (Appah et al., 2019; Appah et al., 2020) bem como, tecnologias associadas a pulverizadores como a utilização de sistema eletrostático que pode proporcionar tamanho de gotas ideais, cobertura e distribuição desejáveis com redução de deriva e menor perda em locais não alvos da aplicação (Appah et al., 2019b).

Após o processo de controle ocorre a degradação das plantas e a caracterização físico-química e biológica da água é muito importante para identificar e quantificar elementos dissolvidos na água e os impactos que podem ocasionar em

organismos aquáticos. Essa caracterização permite avaliar em que nível a aplicação de herbicidas podem influenciar na dinâmica dos ecossistemas aquáticos (Santos et al., 2020).

Vários ingredientes ativos são registrados e utilizados no controle e manejo das infestações de plantas aquáticas (Hussner et al., 2017). Entretanto, poucos estudos de impacto ambiental, formas de manejo e tecnologias de aplicação foram realizados, sendo muito importante saber tanto a eficácia dos herbicidas quanto a interação e melhor forma de aplicação nos ambientes aquáticos (Souza et al., 2017). Pesquisas simulando a condição real em condição de mesocosmos e/ou microcosmos são importantes para conhecer o comportamento destas moléculas na água e contribuir para formação de planos de manejo no controle de plantas aquáticas nos corpos hídricos (Guimarães et al., 2003).

5.2 Objetivos

Avaliar a eficácia da aplicação sequencial do imazamox acrescido de adjuvantes em pulverização eletrostática e convencional para controle de *S. molesta* e os impactos destas aplicações nas características físico-químicas e biológicas da água.

5.3 Material e Métodos

A *Salvinia molesta* foi cultivada em caixas plásticas com capacidade de 250 L, com cerca de 15 cm de substrato composto por areia grossa, substrato para plantas (Carolina Soil®) e solo (Latosolo Vermelho) (1:1:2 vv⁻¹), ao fundo, e completada com água, em fluxo contínuo. O herbicida avaliado foi o imazamox com 120 g i.a. L⁻¹ (Clearcast™ NA Basf/SA) e os adjuvantes mistura de ésteres metílicos hidrocarboneto aromático e ácido graxo insaturado e tensoativo com 933,0 g i.a. L⁻¹ (Dash® HC Basf/SA) e o ésteres de ácidos graxos de origem vegetal (óleo vegetal) com 930 g i.a. L⁻¹ (Veget'Oil® Oxiquímica Agrociência Ltda.).

Os experimentos foram realizados nos meses de janeiro, fevereiro e março do ano de 2019 e foram conduzidos em 21 microcosmos com dimensões de 51x81x47,5

cm, com capacidade para 195 litros, abastecidos com 170L de água por caixa tipo cisterna, com entrada e saída de água pela superfície do sistema, vazão de 1,7 L de água por hora, adicionado 15 cm de substrato similar ao do cultivo e 20 plantas de *S. molesta* com 10 cm de comprimento com frondes (folhas) de 1 cm de diâmetro.

Após a ocupação de 75% da área de superfície do microcosmo pela planta (decorridos 30 dias) foi realizada a aplicação dos tratamentos experimentais, constituídos de 900 g i.a. ha⁻¹ de imazamox isolado, 900 g i.a. ha⁻¹ de imazamox acrescido de 0,5% vv⁻¹ de Dash® e 900 g i.a. ha⁻¹ de imazamox acrescido de 0,5% vv⁻¹ de Veget'oil®. Aos 31 dias após a primeira aplicação foi realizada uma aplicação sequencial, da mesma maneira que a primeira aplicação. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente ao acaso (DIC), com três repetições e o controle (sem aplicação do herbicida).

As aplicações foram realizadas com pulverizador pressurizado por CO₂ (convencional) e com pulverizador eletrostático, contendo um dispositivo de indução para eletrificação de gotas em bico de energia hidráulica, desenvolvido pela empresa Magnojet em parceria com a Embrapa Meio Ambiente, adaptado na barra para pulverização em pulverizador costal manual equipado com barra para pulverização. Para ambos foi utilizada a ponta de pulverização de jato plano modelo BD 80.005 (*Magno Jet* Indústria Ltda.), sendo um exemplar para o pulverizador eletrostático e uma barra com dois exemplares para o pulverizador convencional. Nos dois equipamentos foram utilizadas as mesmas doses e pressão (200 kPa), volume de aplicação (50 L ha⁻¹) em velocidade de aplicação (1,0 m s⁻¹).

As condições meteorológicas no momento da primeira aplicação foram de temperatura de 23 °C, umidade relativa de 60% e velocidade do vento de 6,5 km h⁻¹ e a precipitação durante o experimento (30 dias) foi de 269 mm. Na segunda aplicação foram de temperatura de 28 °C, umidade relativa de 65%, velocidade do vento de 10 km h⁻¹ e a precipitação (30 dias seguintes) foi de 121 mm.

As avaliações foram realizadas aos 7, 15 e 30 dias após a primeira aplicação (DAPA) e aos 7, 15 e 30 dias após segunda aplicação (DASA), considerando a eficácia de controle segundo sinais de intoxicação, em que 0% (zero por cento) corresponde a nenhuma injúria demonstrada pela planta e 100% (cem por cento) à morte das plantas (ALAM, 1974; SBCPD, 1995).

Além disso, foram avaliadas as variáveis ambientais de qualidade da água em 0 (antes das aplicações), 30 dias após a primeira aplicação (DAPA) e 30 dias após segunda aplicação (DASA) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxigênio dissolvido (OD) (mg L^{-1}), condutividade elétrica em $\mu\text{S cm}^{-1}$ (CE) e pH com sonda multiparâmetro YSI professional plus, turbidez em NTU (TB) com turbidímetro portátil TecnoPON® TB1000-P, clorofila *a* da água em $\mu\text{g L}^{-1}$ (CLA) (CETESB, 2014), demanda bioquímica de oxigênio (DBO - mg L^{-1}) (Caldwell e Langelier, 1948), demanda química de oxigênio (DQO - mg L^{-1}) (Adams, 1989), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$ - PT) (Golterman et al., 1978), amônia ($\mu\text{g L}^{-1}$ - NH_3) (Koroleff, 1976) e nitrito em ($\mu\text{g L}^{-1}$ - NO_2), nitrato ($\mu\text{g L}^{-1}$ - NO_3) e nitrogênio total (mg L^{-1} - NT) (Mackereth et al., 1978).

Ao final do período experimental (60 dias após as duas aplicações), foi avaliada a massa seca das plantas (g), após as plantas serem secas em estufa com circulação de ar forçado a 65°C até atingirem massa constante.

Os resultados de eficácia foram submetidos a análise de regressão linear e de massa seca transformados em raiz quadrada ($x+10$) para obtenção da normalidade dos dados. A seguir, os dados de massa seca foram submetidos a ANOVA fatorial (2×3) com duas tecnologias de aplicação e três tratamentos e as suas médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade no programa estatístico AgroEstat-Sistema para análise estatística de ensaios agrônômicos (Barbosa e Maldonado, 2014).

Os resultados de DBO, DQO, clorofila *a*, turbidez, temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, fósforo total, nitrogênio total, amônia, nitrito e nitrato foram submetidos a análise de componentes principais (ACP) no programa Statística 7 (Statsoft, 2004).

5.4 Resultados e Discussão

Em 7 dias após a primeira aplicação (DAPA) a média de controle de *S. molesta* foi em torno de 10%, sendo o imazamox + Veget'oil® em aplicação eletrostática mais eficaz com 15% de controle em ambas tecnologias (Figura 1), com necroses pontuais nas folhas nas duas formas de aplicação. A aplicação de $720 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ glyphosate +

0,5% de Veget'oil® também apresentou ausência de controle (10%) de *Pistia stratiotes* aos 7 DAA (Silva et al., 2019).

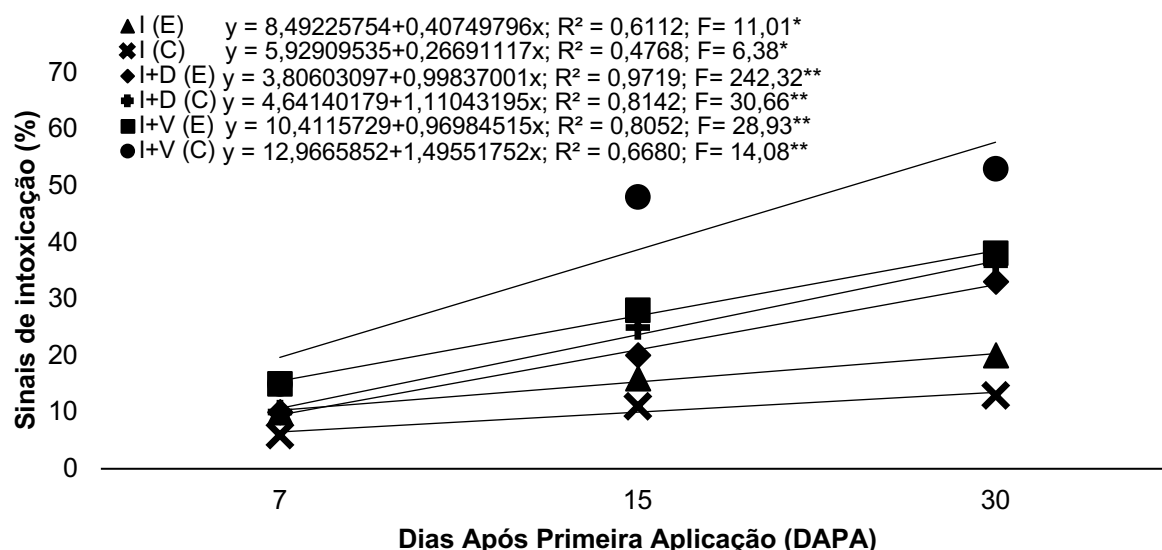


Figura 1. Eficácia segundo porcentagem de sinais de intoxicação das plantas dias após primeira aplicação (DAPA) do imazamox isolado (I) e acrescido dos adjuvantes Dash® (I+D) e Veget'oil® (I+V) em pulverização eletrostática (E) e convencional (C) para controle de *S. molesta*. **Significativo a 5% de probabilidade. Valor de $p < 0,01$.

Em 15 DAPA, a menor eficácia ocorreu com imazamox isolado com 16% em aplicação eletrostática com necrose parcial das folhas maduras e 11% em aplicação convencional. Com imazamox + Dash® a eficácia foi de 20% em aplicação eletrostática e ocorreu algumas necroses pontuais nas folhas. Na aplicação convencional a eficácia foi de 25% (Figura 1) com sinais de necrose pontual e total de folhas maduras. Nas duas tecnologias ocorreu rebrota e crescimento do rizoma das plantas.

Os herbicidas inibidores da PPO (Protox) saflufenacil com 150 g i.a. ha⁻¹ e flumiclorac 60 i.a. ha⁻¹ e inibidores da glutamina glufosinato com 882 g i.a. ha⁻¹ acrescidos de 0,25% vv⁻¹ de mistura de óleo vegetal modificado e surfactante não iônico organossiliconado também apresentaram lesões rápidas de necrose em *S. molesta* aos 7 DAA e rebrota das plantas a partir de 15 DAA (Sartain e Mudge, 2018). Aos 60 DAA, o imazamox foi 75 e 63% eficaz nas doses de 600 e 700 g i.a. ha⁻¹ similar ao imazapyr com 70 e 60% nas doses 750 e 650 g i.a. ha⁻¹ (Cruz et al., 2015b),

contudo foi utilizado volume de calda de 200 L ha⁻¹, consumo de calda quatro vezes maior do que o utilizado neste estudo, a utilização de menores volumes de calda possibilita maior segurança para o ambiente na aplicação de produtos químicos, principalmente no ambiente aquático.

A maior eficácia em 15 DAPA, foi 48% de controle com imazamox + Veget'oil® na aplicação convencional com necrose total das folhas maduras, diminuição da densidade das plantas nas unidades experimentais, porém ocorreu crescimento de folhas novas. A aplicação eletrostática resultou em controle de 28% das plantas (Figura 1) e ocorreu algumas necroses pontuais. A adição de adjuvante a calda de pulverização auxilia na aderência e translocação do herbicida nas folhas em comparação a aplicação da calda contendo o herbicida isolado (Nair e Foster, 2019) isso explica a maior eficácia dos tratamentos acrescidos com adjuvante em aplicação convencional.

Em 30 DAPA, ocorreu eficácia de 53% de controle com imazamox + Veget'oil® em aplicação convencional com diminuição da densidade de plantas nas unidades experimentais em comparação a 38% em aplicação eletrostática (Figura 1). Nas duas tecnologias ocorreu necrose total de folhas maduras e crescimento de plantas novas.

A eficiência do sistema eletrostático é dependente das características da calda pulverizada como a tensão superficial e viscosidade, ou seja, a adição de adjuvantes as caldas pode alterar as propriedades do líquido o que pode aumentar ou reduzir a eficiência do sistema (Zheng et al., 2002; Maski e Durairaj, 2010) o que foi evidenciado neste estudo que a eficácia do herbicida imazamox acrescido dos adjuvantes foi melhor, sendo que a tecnologia aplicação convencional foi melhor do que a eletrostática. Esses resultados concordam com a avaliação em laboratório em que as propriedades físicas e parâmetros técnicos de várias caldas contendo adjuvantes, inclusive óleo vegetal, em aplicação eletrostática com a adição de adjuvante melhora a eficiência desta tecnologia (Sasaki et al., 2015).

Com imazamox + Dash® ocorreu 35% de controle das plantas de *S. molesta* nas duas formas de aplicação em 30 DAPA (Figura 1) com necrose das folhas maduras e crescimento de plantas novas na aplicação convencional e necrose de borda de folhas novas, necrose de folhas maduras e crescimento de plantas jovens e adultas na aplicação eletrostática.

A melhora na eficácia com a utilização de óleo vegetal acrescido ao imazamox pode ser atribuído as suas características como adjuvante que melhora a penetração e adesão dos produtos fitossanitários nas folhas e redução da lavagem dos depósitos sobre a planta alvo (Raetano e Chechetto, 2019).

Na aplicação com imazamox isolado a eficácia foi de 20% em aplicação eletrostática e 13% em aplicação convencional (Figura 1) com crescimento vegetativo de plantas jovens e adultas. A tecnologia com eletrificação das gotas foi mais eficiente que a pulverização convencional quando utilizado o imazamox isolado, isso se deve a formação do campo elétrico com a superfície alvo o que faz com que as gotas sejam atraídas a superfície foliar o que melhora a deposição e distribuição do herbicida na superfície das folhas mais expostas (Appah et al., 2019b).

O imazapyr foi mais eficaz no controle de *S. molesta* com 80% de controle das plantas aos 30 DAA em aplicação convencional do que o imazamox neste estudo nas duas tecnologias utilizadas (Cruz et al., 2015).

Após 30 dias da primeira aplicação foi realizada a aplicação sequencial de todos os tratamentos, em 7 dias após a segunda aplicação (DASA) ocorreu maior eficácia com imazamox + Dash® de 23% em aplicação eletrostática e 11% em aplicação convencional (Figura 2) e nas duas formas de aplicação os tricomas ficaram brancos com perda da fluabilidade das plantas. Na aplicação convencional ocorreu necrose das plantas adultas e na aplicação eletrostática ocorreu necrose de borda e necrose pontual nas folhas que rebrotaram após a primeira aplicação.

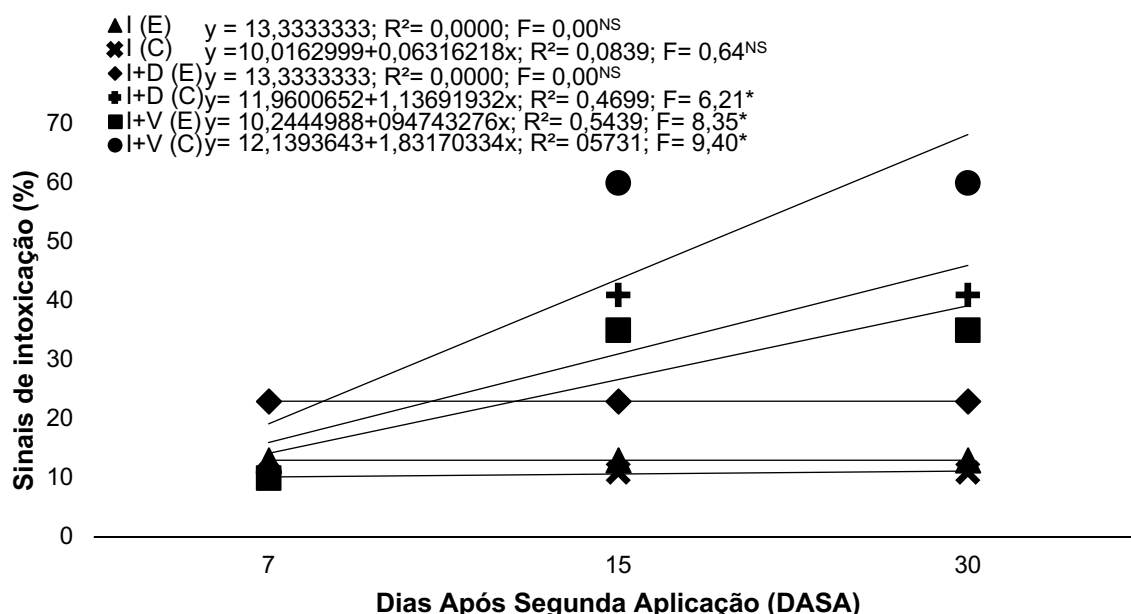


Figura 2. Eficácia segundo porcentagem de sinais de intoxicação das plantas após segunda aplicação (DASA) do imazamox isolado (I) e acrescido dos adjuvantes Dash® (I+D) e Veget'oil® (I+V) em pulverização eletrostática (E) e convencional (C) para controle de *S. molesta*. ^{ns}Não significativo. *Significativo a 5% de probabilidade. Valor de $p < 0,05$.

O glyphosate 2240 g i.a. ha⁻¹ + 0,5% de surfactante não iônico e volume de aplicação de 935 L ha⁻¹ controlou 21% das plantas de *S. molesta* em 7 DAA e apresentou sinais de injúrias nas plantas (Nelson et al., 2007). Esta aplicação foi mais efetiva do que a aplicação sequencial do imazamox até este período de avaliação.

Com imazamox isolado e imazamox + Veget'oil® a eficácia foi similar (Figura 2) com necrose de plantas adultas e necrose de borda nas plantas que rebrotaram após a primeira aplicação e os tricomas nas folhas também ficaram esbranquiçados com perda de sustentação. Os sinais observados após aplicação destes tratamentos foram menos intensos do que a aplicação com imazamox + Dash®.

Estes baixos valores de eficácia após a segunda aplicação, principalmente nas plantas que rebrotaram da primeira aplicação é devido ao mecanismo de ação de inibição do ALS do imazamox, ser lento e começar a exibir pequenos sinais de lesão nas plantas em 7 dias após aplicação e os sinais mais severos de controle começam a ocorrer em 21 dias após aplicação (Wersal e Madsen, 2010) esse comportamento também foi observado na aplicação de penoxsulam que apresentou 20% de eficácia em 7 DAA para *Eichhornia crassipes* (Mudge e Netherland, 2014).

Em 15 DASA o imazamox + Veget'oil® foi mais eficaz no controle de *S. molesta* com 60% em aplicação convencional do que em aplicação eletrostática com 35% (Figura 2) seguido pelo imazamox + Dash® com 41% em aplicação convencional e 23% em aplicação eletrostática (Figura 1). Nesta avaliação ocorreu necrose pontual e parcial nas plantas que rebrotaram da primeira aplicação, degradação das plantas adultas, diminuição da densidade de plantas nas unidades experimentais e surgimento de rebrota e crescimento do rizoma das plantas. O glyphosate com 2240 g i.a. ha⁻¹ + 0,5% de surfactante não iônico e volume de aplicação de 935 L ha⁻¹ controlou 65% das plantas de *S. molesta* em 14 DAA e causou lesões em 50% das plantas (Nelson et al., 2007). Apesar da eficácia similar ao imazamox + Veget'oil® com glyphosate foi realizada somente uma aplicação em *S. molesta*.

Com imazamox isolado a eficácia foi em torno de 12% (Figura 2) com algumas necroses de plantas adultas e necrose de borda nas folhas das plantas que rebrotaram na primeira aplicação e rebrota. E ocorreu crescimento do rizoma das plantas de *S. molesta* nas duas tecnologias utilizadas.

Em 30 DASA não ocorreu evolução na eficácia de *S. molesta* com valores similares a 15 DASA (Figura 2) devido a rebrota e reestabelecimento do crescimento das plantas. Nas unidades experimentais em que foi aplicado o imazamox isolado nas duas tecnologias ocorreu crescimento das plantas.

Na aplicação do imazamox + Dash® ocorreu necrose total e decomposição das plantas adultas e crescimento de plantas jovens. Com imazamox + Veget'oil® ocorreu degradação e necrose de plantas adultas, diminuição da densidade e plantas e crescimento das plantas jovens.

Sartain e Mudge (2018) descrevem que a necrose gradual das folhas maduras, perda de fluidez e decomposição das plantas é um sinal típico da aplicação de herbicidas com mecanismo de ação ALS no controle de *S. molesta*. Esses sinais ocorreram após aplicação de penoxsulam outro inibidor da ALS em *S. molesta* (Mudge et al., 2012) similar ao que ocorreu neste estudo.

O aporte de nutrientes na água por causa da degradação das plantas após a primeira aplicação dos tratamentos pode ter contribuído para o crescimento de plantas jovens e das rebrotas. Na segunda aplicação os tratamentos não foram eficientes no controle das plantas, devido as lesões prévias causadas nas folhas na primeira

aplicação, além da estrutura morfológica em formato de colônias de plantas contendo duas folhas flutuantes e uma terceira folha modificada e submersa na água que absorve os nutrientes para seu crescimento (Mudge et al., 2012).

A aplicação sequencial do imazamox isolado e acrescido de adjuvantes não promoveu melhora na eficácia de controle de *S. molesta* diferente da aplicação sequencial de glyphosate na dose de 2880 g i.a. ha⁻¹ que alcançou 76% de controle das plantas em 21 dias após a primeira aplicação e 100% de controle das plantas em 45 dias após a segunda aplicação (Cruz et al., 2017), entretanto, a aplicação sequencial é necessária para que ocorra melhor eficácia no controle de *S. molesta*, conforme relatado por Nelson et al. (2007); Cruz et al. (2017); Mudge et al. (2016), além da mistura de herbicidas (Glomski e Mudge, 2013).

Na avaliação de massa seca das plantas não ocorreu diferença significativa entre as tecnologias de aplicação (Tabela 1). Para o efeito de tratamento, o imazamox + Veget'oil® e o imazamox + Dash® proporcionaram maiores redução da massa seca com 61% e 56% (Tabela 1). O penoxsulam com 49,1 g i.a. ha⁻¹ + 0,5% de adjuvante (Sunwet) reduziu 60% da massa seca de *S. molesta* (Wersal e Madsen, 2010). Para *P. stratiotes* o imazamox com 210,2 + 0,5% de surfactante não iônico reduziu 61% da massa seca das plantas (Mudge e Netherland, 2014) similar ao imazamox + Veget'oil® nesse estudo.

A menor redução da massa seca (33%) ocorreu com imazamox isolado (Tabela 1) similar ao saflufenacil (150 g i.a. ha⁻¹), flumiclorac (60 g i.a. ha⁻¹) e glufosinato (882 g i.a. ha⁻¹) acrescidos de 0,25% vv⁻¹ de mistura de óleo vegetal modificado e surfactante não iônico organosiliconado que reduziram de 31 a 35% a massa seca de *S. molesta* (Sartain e Mudge, 2018).

Tabela 1. Média dos valores de massa seca e redução (Red.) da massa seca das plantas de *S. molesta* após aplicação de imazamox isolado (I), imazamox acrescido de 0,5% Dash® (I+D) e imazamox acrescido de 0,5% Veget'oil® (I+V) com aplicação eletrostática e convencional, após aplicações sequenciais.

Massa seca (g)							
Efeito tecnologia	Convencional				Eletrostático		
	11,0a				11,1a		
F	0,10 ^{ns}						
Efeito tratamento	0	I	% Red.	I+D	% Red.	I+V	% Red.
	14,0a	11,5b	33	9,8c	56	8,9c	61
F	39,3*						
Efeito da interação tecnologia de aplicação x tratamento							
Tec./Trat.	0	I	% Red.	I+D	% Red.	I+V	% Red.
Convencional	14,0aA	12,3aA	23	9,4bA	57	8,3bA	67
Eletrostático		10,7bB	42	10,2bA	49	9,6bA	55
F	3,06 ^{ns}						
CV	7,79						

^{ns}Não significativo. *Significativo a 5% de probabilidade. Médias com a mesma letra minúscula na linha e médias com a mesma letra maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$).

Para a interação tecnologia e tratamento não ocorreu diferença significativa dos resultados, entretanto, o imazamox isolado em aplicação eletrostática reduziu 20% mais a massa seca de *S. molesta* do que a convencional (Tabela 1).

Contudo, mesmo com a maior eficácia com imazamox isolado, independente da tecnologia utilizada, a aplicação eletrostática reduziu a massa seca de 42 a 55% em todos os tratamentos (Tabela 1) similares a aplicação convencional de 200 g i.a. ha⁻¹ de flumioxazin, 3300 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate e 3300+500 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate + diquat acrescidos de 0,1% vv⁻¹ de surfactante não iônico organosiliconado ou de 0,25% vv⁻¹ de surfactante não iônico com 45 a 55% de redução da massa seca de *S. molesta* em aplicação convencional com 935 L ha⁻¹ de volume de calda (Sartain e Mudge, 2019).

A adição de adjuvantes na calda de imazamox em aplicação convencional foi mais eficiente na redução da biomassa de *S. molesta*. O imazamox acrescido de Veget'oil® reduziu 67% massa seca (Tabela 1) similar ao clomazone 1393 g i.a. ha⁻¹ acrescidos de 0,25% vv⁻¹ de mistura de óleo vegetal modificado e surfactante não iônico organosiliconado que reduziu 69% da massa seca de *S. molesta* em 35DAA em pulverização convencional com 935 L ha⁻¹ (Sartain e Mudge, 2018) e ao glyphosate 720 g i.a. ha⁻¹ + 0,5% de veget'oil que reduziu 70% das plantas de *P.*

stratiotes aos 15 DAA (Silva et al., 2019), porém menor que o glyphosate 2240 g i.a. ha^{-1} + 0,5% de surfactante não iônico que reduziu 94% da massa seca desta planta (Nelson et al., 2007).

Para estimar os efeitos da aplicação sequencial do imazamox isolado em pulverização eletrostática e convencional foi realizada a análise de componentes principais e coeficientes de correlação com resultados de 13 variáveis ambientais de qualidade de água que resumiu 57,63% da variabilidade total dos dados nos dois fatores, onde o Fator 1 explicou 31,97% do total da variância encontrada e o Fator 2 explicou 25,46% (Figura 3A e B).

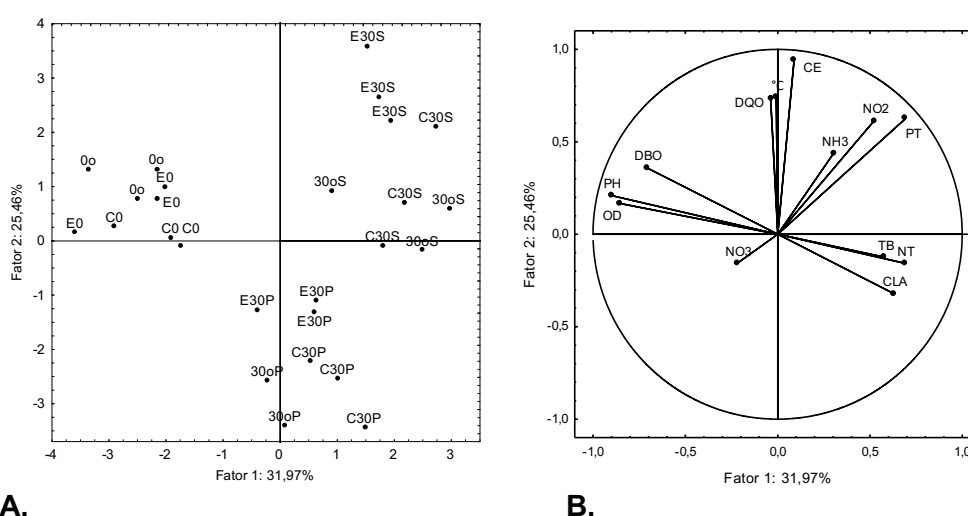


Figura 3. (A) Análise de componentes principais das variáveis de qualidade de água no controle antes da aplicação do imazamox (0o), no controle convencional antes da aplicação (C0), no controle eletrostático antes da aplicação (E0), no controle em 30 dias após primeira aplicação (30oP), na aplicação convencional em 30 dias após primeira aplicação (C30P), na aplicação eletrostática em 30 dias após primeira aplicação (E30P), no controle em 30 dias após segunda aplicação (30oS), na aplicação convencional em 30 dias após segunda aplicação (C30S) e na aplicação eletrostática em 30 dias após segunda aplicação (E30S). (B) Coeficiente de correlação das variáveis ambientais pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e química de oxigênio (DQO), temperatura (°C), condutividade elétrica (CE), turbidez (TB), clorofila *a* (CLA), fósforo total (PT), amônia (NH₃), nitrito (NO₂), nitrato (NO₃) e nitrogênio total (NT).

Os tratamentos controle antes da aplicação do imazamox (0o, E0 e C0) foram semelhantes entre si (Figura 3A) e as variáveis mais influenciadas por estes tratamentos foram pH (-0,90), OD (-0,85), DBO (-0,71) e NO₃ (-0,22) que apresentam correlação negativa ao fator 1 (Figura 3B).

Em 30 dias após a primeira aplicação os tratamentos controle, aplicação convencional e aplicação eletrostático (30oP, C30P e E30P) foram semelhantes entre si (Figura 3A) e as variáveis mais influenciadas por estes tratamentos foram nitrogênio total (0,68), clorofila *a* (0,62) e turbidez (0,57) que apresentaram correlação positiva ao fator 1 (Figura 3B) e estas variáveis indicam o estabelecimento dos processos iniciais de degradação das plantas independente da utilização do herbicida, como a liberação ou não assimilação de nutrientes e disponibilidade para a atividade fotossintética das algas unicelulares ou perifíticas, conforme demonstrado em um ensaio de competição por nutrientes entre a planta aquática *Stuckenia pectinata* e algas perifíticas (Périllon e Hilt, 2019).

Em 30 dias após segunda aplicação todos os tratamentos (30oS, C30S e E30S) foram semelhantes entre si (Figura 3A) e as variáveis mais influenciadas por estes tratamentos foram CE (0,94), temperatura (0,74), DQO (0,73), PT (0,62), NO₂ (0,61) e NH₃ (0,43) que apresentaram correlação positiva ao fator 2 (Figura 3B), estas variáveis estão relacionadas com as fases secundárias dos processos bióticos e abióticos da degradação, especialmente demonstrado pela demanda química de oxigênio.

A análise de componentes principais e coeficientes de correlação dos indicadores ambientais após aplicação sequencial do imazamox + Dash[®] em pulverização convencional e eletrostática resumiu 51,90% da variabilidade total dos dados nos dois fatores, onde o Fator 1 explicou 28,45% do total da variância encontrada e o Fator 2 explicou 23,45% (Figura 4A e B).

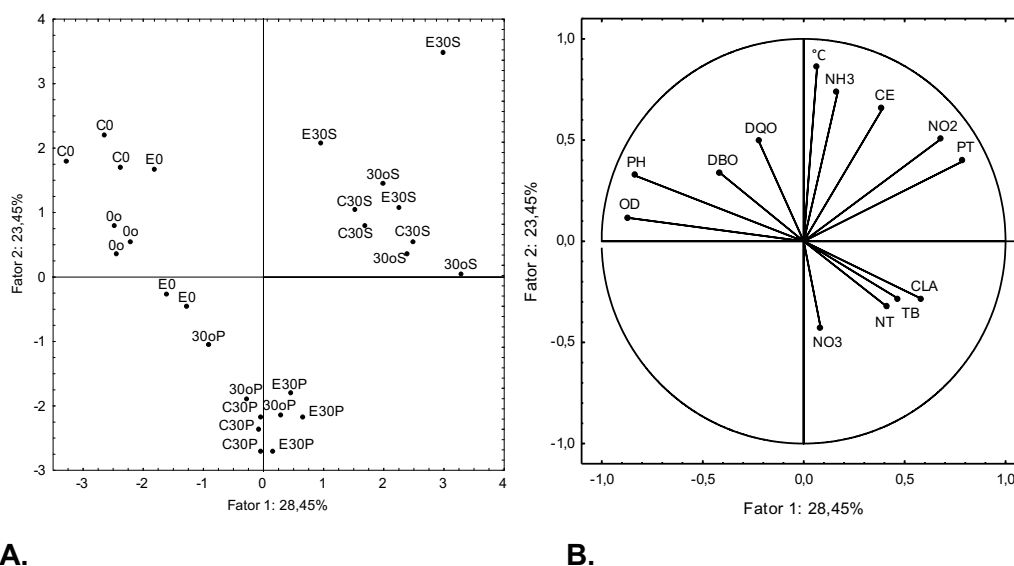


Figura 4. (A) Análise de componentes principais das variáveis de qualidade de água no controle antes da aplicação do imazamox acrescido de dash (0o), no controle convencional antes da aplicação (C0), no controle eletrostática antes da aplicação (E0), no controle em 30 dias após primeira aplicação (30oP), na aplicação convencional em 30 dias após primeira aplicação (C30P), na aplicação eletrostática em 30 dias após primeira aplicação (E30P), no controle em 30 dias após segunda aplicação (30oS), na aplicação convencional em 30 dias após segunda aplicação (C30S) e na aplicação eletrostática em 30 dias após segunda aplicação (E30S). (B) Coeficiente de correlação das variáveis ambientais pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e química de oxigênio (DQO), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), condutividade elétrica (CE), turbidez (TB), clorofila *a* (CLA), fósforo total (PT), amônia (NH_3), nitrito (NO_2), nitrato (NO_3) e nitrogênio total (NT).

Os tratamentos controle antes da aplicação do imazamox acrescido de Dash (0o, E0 e C0) foram semelhantes entre si (Figura 4A) e as variáveis mais influenciadas por estes tratamentos foram OD (-0,86), pH (-0,83) e DBO (-0,41) que apresentam correlação negativa ao fator 1 (Figura 4B).

Em 30 dias após a primeira aplicação os tratamentos controle, aplicação convencional e aplicação eletrostático (30oP, C30P e E30P) foram semelhantes entre si (Figura 4A) e as variáveis mais influenciadas por estes tratamentos foram fósforo total (0,79), clorofila *a* (0,58), turbidez (0,47) e nitrogênio total (0,41) que apresentaram correlação positiva ao fator 1 e o nitrato (-0,42) que apresentou correlação negativa ao fator 2 (Figura 4B).

Em 30 dias após segunda aplicação todos os tratamentos (30oS, C30S e E30S) foram semelhantes entre si (Figura 4A) e as variáveis mais influenciadas por estes tratamentos foram temperatura (0,85), NH_3 (0,73), CE (0,65), NO_2 (0,50) e DQO

(0,49) que apresentaram correlação positiva ao fator 2 e o PT (0,79) que apresentou correlação positiva ao fator 1 (Figura 4B).

Na análise de componentes principais e coeficientes de correlação dos indicadores ambientais após aplicação sequencial do imazamox + Veget'oil em pulverização convencional e eletrostática resumiu 58,39% da variabilidade total dos dados nos dois fatores, onde o Fator 1 explicou 33,28% do total da variância encontrada e o Fator 2 explicou 25,11% (Figura 5A e B).

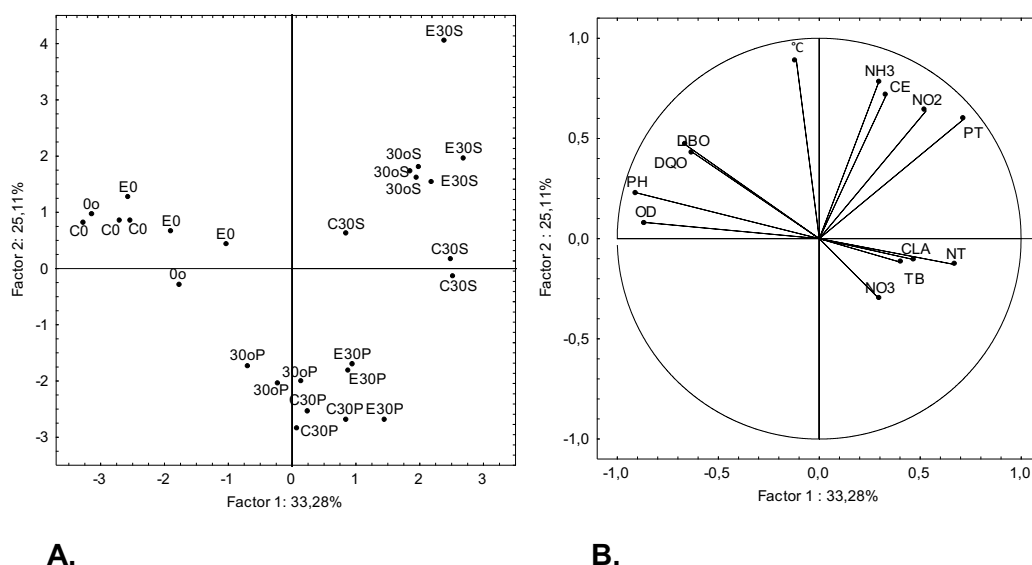


Figura 5. (A) Análise de componentes principais das variáveis de qualidade de água no controle antes da aplicação do imazamox acrescido de veget'oil (0o), no controle convencional antes da aplicação (C0), no controle eletrostática antes da aplicação (E0), no controle em 30 dias após primeira aplicação (30oP), na aplicação convencional em 30 dias após primeira aplicação (C30P), na aplicação eletrostática em 30 dias após primeira aplicação (E30P), no controle em 30 dias após segunda aplicação (30oS), na aplicação convencional em 30 dias após segunda aplicação (C30S) e na aplicação eletrostática em 30 dias após segunda aplicação (E30S). (B) Coeficiente de correlação das variáveis ambientais pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e química de oxigênio (DQO), temperatura (°C), condutividade elétrica (CE), turbidez (TB), clorofila a (CLA), fósforo total (PT), amônia (NH3), nitrito (NO2), nitrato (NO3) e nitrogênio total (NT).

Os tratamentos controle antes da aplicação do imazamox + Veget'oil® (0o, E0 e C0) foram semelhantes entre si (Figura 5A) e as variáveis mais influenciadas por estes tratamentos foram pH (-0,90), OD (-0,86), DQO (-0,65) e DBO (-0,62) que apresentam correlação negativa ao fator 1 (Figura 5B).

Em 30 dias após a primeira aplicação os tratamentos controle, aplicação convencional e aplicação eletrostático (30oP, C30P e E30P) foram semelhantes entre

si (Figura 5A) e as variáveis mais influenciadas por estes tratamentos foram nitrogênio total (0,66), clorofila *a* (0,47), turbidez (0,40) e NO₃ (0,29) que apresentaram correlação positiva ao fator 1 (Figura 5B).

Em 30 dias após segunda aplicação todos os tratamentos (30oS, C30S e E30S) foram semelhantes entre si (Figura 5A) e as variáveis mais influenciadas por estes tratamentos foram temperatura (0,88), NH₃ (0,78), CE (0,71), e NO₂ (0,63) que apresentaram correlação positiva ao fator 2 (Figura 3B) e o PT (0,71) que apresentou correlação positiva ao fator 1 (Figura 5B).

Na aplicação sequencial do imazamox isolado e acrescido de adjuvantes em pulverização eletrostática e convencional ocorreram resultados similares nos indicadores de qualidade de água, conforme o tempo ocorreu um gradiente de aumento das variáveis nas épocas de avaliação. Antes da aplicação nos tratamentos controle (zero, eletrostático e convencional) (Figura 3A, 4A e 5A) ocorreu aumento nas variáveis pH, oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) na água (Figura 3B, 4B e 5B).

Em 30 dias após a primeira aplicação em todos os tratamentos (imazamox isolado e acrescido de Dash e Veget'oil) nas duas formas de aplicação inclusive no controle (Figura 3A, 4A e 5A) ocorreu aumento do nitrogênio total, clorofila *a* e turbidez na água (Figura 3B, 4B e 5B).

A decomposição da matéria orgânica decorrente do processo de controle das plantas favoreceu o aumento da concentração de nitrogênio total na água e com isso, proporcionou o aumento da turbidez por causa dos detritos orgânicos. A elevada concentração do nutriente tanto dos processos naturais das plantas e de ações antrópicas (aplicação do herbicida) favorece o desenvolvimento de algas com o aumento da concentração de clorofila *a* na água como descrito por Buzelli e Cunha-Santino, (2013) e Périllon e Hilt (2019).

Com a decomposição da matéria orgânica e aumento de nitrogênio total em 30 dias após primeira aplicação ocorreu conversões biológicas do nitrogênio na água em 30 dias após segunda aplicação resultando em aumento da temperatura, amônia e nitrito na água em todos os tratamentos inclusive no controle. A amônia foi produzida pela decomposição de compostos nitrogenados orgânicos e posteriormente oxidada a nitrito pela atividade de bactérias nitrificantes (Zoppas et al., 2016). Este processo é

chamado de nitrificação, que em condições aeróbicas, a amônia é oxidada em duas fases: em nitrito pelas bactérias oxidadoras de amônia e após o nitrito é consumido pelas bactérias oxidadoras de nitrito produzindo nitrato (Chang et al., 2011).

A formação de nitrato é convertida a óxido nitroso e nitrogênio gasoso que novamente é liberado para atmosfera (Metcalf et al., 2003) ficando disponível e podendo ser utilizado pelos organismos aquáticos para seu crescimento e reprodução. A oxidação do nitrito a nitrato não pode ser observada neste estudo por que as avaliações ambientais foram encerradas aos 60 dias após a primeira aplicação, um cenário curto para o estabelecimento deste processo.

Em 30 dias após a segunda aplicação também ocorreu aumento da condutividade elétrica na água em todos os tratamentos que está relacionado com a presença de íons, partículas carregadas eletricamente, dissolvidas na água que indica grau de decomposição elevado na água (Tavares, 2013; Buzelli e Cunha-Santino, 2013) isso ocorre pela liberação de nutrientes na água durante o processo de decomposição das plantas (Martins e Pitelli, 2005).

Outro processo importante na ciclagem de nutrientes foi o aumento da concentração de fósforo total na água, que é um nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento para plantas aquáticas e algas (Vidal e Neto, 2014) e pode ser proveniente de fontes naturais como decomposição de organismos de origem alóctone e artificiais como esgotos e fertilizantes agrícolas (Lyra et al., 2020) ou pela decomposição da própria *S. molesta*.

A maior quantidade de nutrientes na água pode ter influenciado a rebrota e o reestabelecimento do crescimento das plantas de *S. molesta* em todos tratamentos no final do período experimental. Para Mudge et al. (2012) as plantas de *S. molesta* que não foram totalmente atingidas pelos herbicidas aproveitam os nutrientes provenientes da decomposição de plantas senescentes para seu crescimento e desenvolvimento, essencialmente nitrogênio e fósforo, essenciais para o crescimento de macrófitas (Vidal e Neto, 2014), conforme observado nas Figuras 3, 4 e 5.

Estudo realizado por Velini et al. (2005) caracterizou a qualidade da água na Usina Hidroelétrica de Americana devido a ocorrência de plantas aquáticas e destacou que ocorreu redução da qualidade de água do reservatório por causa de *Salvinia auriculata*, *Pistia stratiotes* e *Eichhonnica crassipes* presentes no ambiente, isso

aconteceu por causa da descarga de efluentes industriais, domésticos e erosão da camada fértil do solo, o que causou aumento de nutrientes na água como o fósforo total, nitrito, nitrato e amônia.

As grandes infestações de plantas aquáticas nos corpos hídricos causam modificações nos parâmetros físicos químicos da água similar a aplicação do imazamox e adjuvantes neste estudo. Estudos de avaliações dos nutrientes da água após aplicação de herbicidas devem ser realizados com maior período experimental de 90 a 120 dias após aplicação para poder mensurar o tempo necessário para autodepuração e a resiliência dos ambientes aquáticos após controle químico de plantas aquáticas.

5.5 Conclusões

O imzamox acrescido de Veget'oil em aplicação convencional e sequencial foi mais eficaz no controle de *S. molesta*. Em aplicação eletrostática e sequencial o imazamox isolado foi mais eficaz no controle de *S. molesta*. A utilização de herbicida e adjuvante para o controle de *S. molesta* não interferiu na dinâmica ambiental dos processos degradativos das plantas e de nutrientes, em condição de microcosmos, mesmo com interferências pontuais no aumento ou diminuição de alguma variável, o padrão de resposta foi similar à dinâmica do controle.

5.6 Referências

ALAM (1974) Asociacion Latinoamerica de malezas. Recomendaciones sobre unificacion de los sistemas de evaluacion em ensayos de control de malezas. **ALAM**. 1:35-38.

Adams VD (1995) Water and Wastewater Examination Manual. Methods for the determination of organics, Chemical oxygen demand (COD). Manual method dichromate reflux. 1989. 168p.180.

Appah S, Wang P, Ou M, Gong C, Jia W (2019). Review of electrostatic system parameters, charged droplets characteristics and substrate impact behavior from pesticides spraying. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering** 12:1-9.

Appah S, Zhou H, Wang P, Ou M, Jia W (2019). Charged monosized droplet behaviour and wetting ability on hydrophobic leaf surfaces depending on surfactant-pesticide concentrate formulation. **Journal of Electrostatics** 100:103356.

Appah S, Jia W, Ou M, Wang P, Asante EA (2020) Analysis of potential impact and phytotoxicity of surfactant-plant surface interaction in pesticide application. **Crop Protection** 127:104961

Barbosa JC, Maldonado JRW (2014) **AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agrônômicos**. Versão 1.1.0.712. 2014.

Buzelli GM, Cunha-Santino, MBD (2013) Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água** 8: 186-205.

Caldwell DH, Langelier WF (1948) Manometric measurement of the biochemical oxygen demand of sewage. *Sewage works J.* 20:202-218.

CETESB (2014) Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Norma técnica CETESB L5.306**. Determinação de clorofila a e feofitina a: método espectrofotômetro, 3th ed. 14p.

Chang CY, Tanong K, Xu J, Shon H (2011) Microbial community analysis of an aerobic nitrifying - denitrifying MBR treating ABS resin wastewater. **Bioresource Technology** 102:5337-5344.

Cruz C, Silva AF, Luna LV, Yamauchi AKF, Garlich, N, Pitelli RA (2015) Glyphosate Effectiveness in the Control of Macrophytes Under a Greenhouse Condition. **Planta Daninha** 33:24-47.

Cruz C, Silva AF, Shiogiri NS, Garlich N, Pitelli R.A (2015) Imazapyr herbicide efficacy on floating macrophytes control and ecotoxicology for non-target organisms. **Planta Daninha** 33:103-108.

Cruz C, Cervoni JHC, Silva AF, Garlich N, Pitelli RA (2017) Aplicação sequencial de glyphosate em plantas aquáticas de difícil controle em condição de microcosmos. **Ciência e Cultura** 13:59-63.

Gettys LA, Haller WT, Petty DG (2014) Biology and control of aquatic plants. A best management practices handbook: Third edition. **Aquatic ecosystem restoration foundation**, Mariett GA, p. 238.

Golterman HL, Clymo RS, Ohndtad MAM (1978) **Methods for physical and chemical analysis of fresh water**. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publication. IBP Handbook. no. 8. 213 p.

Glomski LM, Mudge CR (2013) Effect of subsurface and foliar applications of bispyribac-sodium on water hyacinth, water lettuce, and giant salvinia. **J. Aquat. Plant Manage** 51:62–65.

Hussner A, Stiers I, Verhofstad MJJM, Bakker ES, Grutters BMC, Haury J, Valkenburg JLCHV, Brundu G, Newman J, Clayton JS, Anderson LWJ, 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 Grashoff E, Kremling E (eds.) **Methods of seawater analysis**. German: Verlag Chemie Weinheim. p. 126-133.

LYRA GC, Yabuki LNM, Queluz JGT, Garcia ML (2020) Avaliação da qualidade da água da lagoa de Marapendi–Rio de Janeiro, RJ. **Holos Environment** 20:73-87.

Mackereth FIF, Heron J, Talling JF (1978) Water analysis: some revised methods for limnologist. **Freshwater Biological Association**, London: 121p.

Martins AT, Pitelli RA (2005) Efeitos do manejo de Eichhornia crassipes sobre a qualidade da água em condições de mesocosmos. **Planta daninha** 23:233-242.

Maski D, Durairaj D (2010) Effects of electrode voltage, liquid flow rate, and liquid properties on spray chargeability of an air-assisted electrostatic-induction spray-charging system. **Journal of Electrostatics** 68:152-158.

Metcalf L, Eddy HP, Burton FL, Stensel HD, Tchobanoglous G (2003) **Wastewater engineering: treatment and reuse**. Boston: McGraw-Hill.

Mudge CR, Heilman MA, Theel HJ, Getsinger KD (2012). Efficacy of subsurface and foliar penoxsulam and fluridone applications on giant salvinia. **Journal of aquatic plant management** 50:116-124.

Mudge CR, Netherland MD (2014) Response of invasive floating plants and nontarget emergent plants to foliar applications of imazamox and penoxsulam. *Journal of Aquatic Plant Management* 52:1-7.

Mudge CR, Perret AJ, Winslow JR (2016) Evaluation of foliar herbicide and surfactant combinations for control of giant salvinia at three application timings. **J Aquat Plant Manag.** 54:32-36.

Nairn JJ, Forster WA (2019) Due diligence required to quantify and visualise agrichemical spray deposits using dye tracers. **Crop Protect.** 115:92–98.

Nelson LS, Glomski LM, Gladwin DN (2007) Effect of Glyphosate Rate and Spray Volume on Control of Giant Salvinia. *J. Aquat. Plant Manage* 45:58-61.

Périllon C, Hilt S (2019) Groundwater discharge gives periphyton a competitive advantage over macrophytes. **Aquatic botany** 154:72-80.

Raetano CG, Chechetto RG (2019) Adjuvantes e Formulações. In: Antuniassi UR, Boller W. **Tecnologia de Aplicação para culturas Anuais**. 2ed ver. ampl. Passo Fundo Aldeia Norte Editora. Botucatu:FEPAF, 373p.

Santos NBC, Arruda ECP, Neto AGB, Oliveira AFM (2020) Assessing the effects of water quality on leaf morphoanatomy, ultrastructure and photosynthetic pigment content of *Salvinia auriculata* Aubl.(Salviniaceae). **Ecotoxicology and Environmental Safety** 190:110061.

Sasaki RS, Teixeira MM, Santiago H, Madureira RP, Maciel CFS, Fernandes HC (2015) Adjuvantes nas propriedades físicas da calda, espectro e eficiência de eletrificação das gotas utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural** 45:274-279.

Sartain BT, Mudge CR (2018) Evaluation of 12 foliar applied non-aquatic herbicides for efficacy against giant salvinia (*Salvinia molesta*) **J. Aquat. Plant Manage.** 56:107-112.

Sartain BT, Mudge CR (2019) The response of giant salvinia to foliar herbicide applications at three winter timings. **Journal of Aquatic Plant Management** 57:1-6.

Silva AF, Cerveira Jr WR, Ferreira MC, Cruz C (2019) Floating Macrophyte Control with Glyphosate According to Adjuvants and Spray Nozzles. **Planta Daninha** 36: e018168125.

Souza ELC, Foloni, LL, Filho JT, Velini ED, Siono LM, Silva JRM (2017) Half-Life of Glyphosate on the Control of Water Hyacinths in Water Tanks. **Journal of Water Resource and Protection** 9:470-481.

Souza EL, Filho JT, Velini ED, Silva JR, Tonello KC, Foloni LL, Gonzalez GDD, Barbosa AC, Freato TA (2020). Efficacy of Glyphosate in Water Management and the Effects on Water Quality. **Journal of Water Resource and Protection** 12:50-59.

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

Statsoft Inc. (2004) **Statistica Application (data analysis software system)**. version 7.0.61.0. www.statsoft.com

Tavares LHS (2013) Uso racional da água em aquicultura. Jaboticabal: **Maria de Lourdes Brandel – ME**. 190p.

Velini ED, Negrisoni E, Cavenaghi AL, Corrêa MR, Bravin LFN, De Marchi SR, Trindade MLB, Arruda DP, Padilha FS (2005) Caracterização da qualidade de água e sedimento na UHE Americana relacionados à ocorrência de plantas aquáticas. **Planta daninha** 23:215-223.

Vidal TF, Neto JC (2014) Dinâmica de nitrogênio e fósforo em reservatório na região semiárida utilizando balanço de massa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi** 18:402-407.

Zheng J, Zhou H, Xu Y (2002) Advances in pesticide electrostatic spraying in China. **Transaction of the ASAE** 34:1-12.

Zoppas FM, Bernardes AM, Meneguzzi A (2016) Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação

simultânea. **Engenharia sanitária e ambiental: órgão oficial de informação técnica da ABES** 21:29-42.

Wersal RM, Madsen JD (2010) Combinations of Penoxsulam and Diquat as Foliar Applications for Control of Waterhyacinth and Common Salvinia: Evidence of Herbicide Antagonism. **J. Aquat. Plant Manage** 48:21-25.