

EFEITO DO TEMPO DE EXPOSIÇÃO AO DIQUAT PARA CONTROLE DE PLANTAS AQUÁTICAS SUBMERSAS E DESENVOLVIMENTO DE NOVA TABELA DE AVALIAÇÃO DE EFICÁCIA

EFFECT OF EXPOSURE TIME TO DIQUAT FOR CONTROL OF SUBMERSED AQUATIC PLANTS AND DEVELOPMENT OF A NEW EFFECTIVE EVALUATION TABLE

Bruna Santos Esteves^a, Claudinei da Cruz^{a*}, Nathalia Garlich^a, Jéssica de Campos Moraes^a, Pâmela Castro Pereira^a^aLaboratório de Ecotoxicologia e Eficácia dos Agrotóxicos, Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, São Paulo, Brasil.

*Autor correspondente: claudineicruz@gmail.com.

INFORMAÇÕES DO ARTIGO**Histórico do artigo:**

Recebido: 13 Março 2020.

Aceito: 27 Outubro 2020.

Publicado: 10 Dezembro 2020.

Palavras-chave/Keywords:

Macrófitas/ Macrophytes.

Controle químico/ Chemical Management.

Eficácia/ Efficiency.

Herbicida/ Herbicide

Toxicidade/ Toxicity.

Financiamento:

Fundação Educacional de Barretos.

Direito Autoral: Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença Creative Commons, que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor e a fonte originais sejam creditados.**Citação deste artigo:**ESTEVES, B. S.; CRUZ, C.; GARLICH, C.; MORAES, J. C.; PEREIRA, P. C. Efeito do tempo de exposição ao diquat para controle de plantas aquáticas submersas e desenvolvimento de nova tabela de avaliação de eficácia. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 19, n. 3. 2020.**RESUMO**

O objetivo deste estudo foi avaliar o tempo de exposição ao diquat no controle de *Egeria najas*, *Egeria densa* (Planchon) e *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle e utilização de nova tabela de avaliação para análise de eficácia em plantas aquáticas submersas. Para tanto, foram utilizadas as concentrações 0,2; 0,8 e 1,6 mg L⁻¹ de diquat e um controle (sem aplicação do herbicida). Os fragmentos apicais de 10 cm permaneceram expostos por 5, 15, 30, 60, 240, 480, 720 e 1440 minutos. Em seguida, foram transferidos para recipientes plásticos com 1,0 L de água com 200 g de areia por 56 dias. A eficácia foi avaliada por sinais de toxicidade em 7, 15, 21, 28, 35, 42, 49 e 56 dias após aplicação (DAA), em nova tabela de avaliação para plantas aquáticas submersas. A *E. densa* apresentou maior sensibilidade ao diquat com 100% de controle nas três concentrações, sendo em 0,2 mg L⁻¹ a partir de 240 minutos e em 0,8 e 1,6 mg L⁻¹, em todos os tempos de exposição. Para *H. verticillata* ocorreu 100% de controle nas três concentrações, sendo 0,2 mg L⁻¹ com 720 e 1440 minutos em 49 e 56 DAA, em 0,8 mg L⁻¹ ocorreu 100% de controle a partir de 240 minutos e em 1,6 mg L⁻¹ a partir de 30 minutos. Para *E. najas* ocorreu 100% de controle em 0,8 mg L⁻¹ e 240 minutos e em 1,6 mg L⁻¹ em 15, 480 e 1440 minutos, em 56 DAA. O tempo de exposição 240 minutos e a concentração 0,8 mg L⁻¹ do diquat apresentaram excelente controle das três plantas aquáticas submersas. A tabela de sinais de toxicidade desenvolvida para avaliação de controle foi fundamental para a padronização dos resultados obtidos.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the time of exposure to diquat in the control of *Egeria najas*, *E. densa* (Planchon) and *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle, and use of a new evaluation table to analyze the effectiveness of submerged aquatic plants. For this, concentrations were used 0.2; 0.8 and 1.6 mg L⁻¹ of diquat and a control (without herbicide application). The 10 cm plants remained exposed for 5, 15, 30, 60, 240, 480, 720 e 1440 minutes. They were then transferred to plastic containers with 1,0 L of water and 200g of sand for 56 days. Efficacy was assessed by signs of toxicity at 7, 15, 21, 28, 35, 42, 49, and 56 days post application (AAD) in new assessment table for submerged aquatic plants. The *E. densa* showed greater sensitivity to diquat with 100% control in the three concentrations, being in 0.2 mg L⁻¹ from 240 minutes and in 0.8 and 1.6 mg L⁻¹ at all times exposure. For *H. verticillata* 100% control occurred at the three concentrations, at 0.2 mg L⁻¹ at 720 and 1440 minutes at 49 and 56 AAD respectively. In 0.8 mg L⁻¹, 100% control occurred after 240 minutes and in 1.6 mg L⁻¹ after 30 minutes. For *E. najas*, 100% control was achieved in 0.8 mg L⁻¹ and 240 minutes and in 1.6 mg L⁻¹ in 15 minutes, 8 and 24 hours in 56 AAD. The exposure time of 240 minutes and the concentration of 0.8 mg L⁻¹ of diquat showed excellent control of the three submerged aquatic plants. The table of signs of toxicity developed for control evaluation was essential for the standardization of the results obtained.

1. Introdução

As espécies invasoras são plantas não nativas que podem afetar adversamente a ecologia de habitats nativos e pode ter efeitos no bem-estar econômico (HORSCH; LEWIS, 2009). Os custos estimados de espécies invasoras em todo o mundo totalizaram mais de US \$ 1,4 trilhão (5% da economia global) e somente nos EUA, os prejuízos econômicos estimados (bem-estar e perdas de produção) e os custos de controle associados às espécies invasoras foram de aproximadamente US\$ 120 bilhões anuais (PIMENTEL; ZUNIGA; MORRISON, 2005). No Brasil esse custo chegou a superar 50 mil dólares ao mês em reservatório de 276 hectares (GARLICH et al., 2019) e 51 mil reais por hectare em um braço de reservatório com 22 hectares (SCHEER; LISBOA; BURDA, 2016).

As plantas aquáticas apresentam valor ecológico, pois são a base da cadeia alimentar e promovem heterogeneidade espacial e temporal dos ambientes e valor econômico para o consumo humano (ex. algas marinhas entre 5 e 6 bilhões de dólares/ano) e uso ornamental (LEWIS; TRURSBY, 2018). Em contraste com os benefícios, o crescimento excessivo destas plantas endêmicas ou invasoras causam impacto negativo a saúde humana, irrigação, pesca, vida selvagem, recreação e navegação (GETTYS; HALLER; PETTY, 2014; GARLICH et al., 2019).

Dentre as plantas aquáticas, as submersas são caracterizadas como as mais problemáticas, por reduzirem o fluxo da água, interferir na dinâmica dos gases oxigênio e carbônico e são rápidas na invasão de novas áreas e de difícil controle (GETSINGER, et al., 2008). Dentre as Hydrocharitaceas, a *Hydrilla verticillata* é uma planta exótica invasora no Brasil, nativa da Ásia e Austrália introduzida em vários países pela aquarofilia com elevado poder de crescimento multiplicação por fragmentos do caule e sobrevivência por tubérculos é considerada a principal planta daninha aquática submersa do mundo (NAWROCKI; RICHARDSON; HOYLE, 2016).

As plantas nativas *Egeria densa* e *E. najas* são angiospermas dioicas submersas enraizadas, sua dispersão é por fragmentos vegetativos e são encontradas de 1 a 2 metros de profundidade, causando grandes problemas em regiões tropicais e subtropicais do mundo (GETTYS; HALLER; PETTY, 2014). Essas três plantas submersas têm causado muitos problemas nos corpos hídricos e, estima-se que as agências estaduais da Florida, USA tem o custo de \$250 milhões nos últimos 30 anos para o manejo de *H. verticillata* (MADSEN; WERSAL, 2017). O controle de crescimento de plantas invasoras nos USA chegou a \$100 milhões de dólares/ano (PIMENTEL; ZUNIGA; MORRISON, 2005) e especialmente a geração de energia elétrica.

Para minimizar os prejuízos causados pelas plantas aquáticas é necessário o uso de medidas de controle e entre as opções disponíveis o controle químico tem sido avaliado devido à elevada eficácia, a boa relação custo/benefício e o sucesso histórico do uso em outros países (MUDGE; GETSINGER; GRAY, 2015). Diante disso, em 16 de julho de 2015 foi publicada a resolução nº 467 que dispõe sobre o

controle da utilização de produtos ou processos para recuperação de ambientes hídricos (CONAMA, 2015), permitindo assim, o estudo e o uso do controle químico.

Para a utilização de herbicidas no ambiente aquático, especialmente para plantas submersas, é fundamental a determinação do tempo mínimo de exposição das plantas para obtenção do controle e dinâmica ambiental. Dentre os herbicidas com potencial para uso em ambiente aquático está o diquat. O diquat é um herbicida de contato e atua na inibição do fotossistema II das plantas. É recomendado para controle de macrófitas submersas e flutuantes em lagos, lagoas e canais de irrigação na América do Norte, Europa, Austrália e Japão em concentração igual ou inferior a 1,0 mg L⁻¹, por apresentar degradação fotoquímica (GARLICH et al., 2016).

O diquat promoveu controle de *Myriophyllum spicatum*, *E. densa* e *Stuckenia pectinata* com tempo de exposição de 2,5 horas (SKOGERBOE; GETSINGER; GLOMSKI, 2006), de *H. verticillata* e *M. spicatum* com 6 a 48 horas (GETSINGER et al., 2011) e de *Ceratophyllum demersum* (GARLICH et al., 2016), porém, ainda são encontradas poucas informações sobre o tempo de exposição e a forma de avaliação no controle de plantas submersas.

Diante disso, são necessários estudos de eficácia de controle e determinação de tempos de exposição em conjunto com um método de avaliação que caracterize os sinais de toxicidade dos herbicidas para plantas submersas e assim, poder determinar a dinâmica ambiental de controle de herbicidas nos corpos hídricos. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o tempo de exposição das plantas submersas *Egeria najas*, *E. densa* e *Hydrilla verticillata* ao herbicida diquat e avaliar a eficácia de controle destas plantas por uma nova tabela de avaliação específica para plantas aquáticas submersas.

2. Material e Métodos

O herbicida utilizado neste estudo foi o diquat com 200 g L⁻¹ na formulação Reglone® da Syngenta. As plantas de *E. najas*, *E. densa* e *H. verticillata* foram cultivadas em caixas plásticas com capacidade de 1000 L com substrato de latossolo vermelho, matéria orgânica e areia (1:1:1; vv⁻¹) em casa de vegetação. Após o cultivo foram coletados 288 fragmentos apicais em bom estado nutricional (sem clorose/necrose de folhas e caule) de cada planta.

A seguir, fragmentos apicais de 10 cm de comprimento foram dispostos em quatro recipientes de vidro com capacidade de 4,0 L contendo as seguintes concentrações de diquat 0,2; 0,8 e 1,6 mg L⁻¹ e um controle (sem aplicação) e permaneceram expostos ao herbicida por um período de 5, 15, 30, 60, 240, 480, 720 e 1440 minutos.

Após a exposição, três fragmentos apicais de cada planta foram adicionados em frascos plásticos transparentes com capacidade para 1,0 L de água contendo 200 g de areia fina e lavada. O experimento foi conduzido no período de 01 de março a 30 de maio de 2017 em sala de bioensaio, com temperatura entre 25 a 27 °C, iluminação de 1000 lux e fotoperíodo de 12 horas em delineamento inteiramente

casualizado com 3 repetições para cada concentração e tempo de exposição mais um controle.

As avaliações visuais de eficácia foram realizadas aos 7, 15, 21, 28, 35, 42, 49 e 56 dias após a aplicação (DAA) e ao final do período experimental os fragmentos apicais foram avaliados quanto ao comprimento (cm), biomassa fresca e massa seca (g) em balança semi-analítica de precisão (Marte® modelo AS2000C).

As avaliações de eficácia foram realizadas por escala de 0 a 10 com base nas observações visuais de injúria das plantas expostas ao herbicida, em comparação ao controle, onde 0 (zero) corresponde a nenhuma lesão causada pelo herbicida nas plantas e 10 (dez) a morte da planta. Para cada número da escala foi dada uma porcentagem de controle e assim, o controle foi classificado como inexistente, insatisfatório, razoável, bom e/ou satisfatório e excelente (Tabela 1).

Tabela 1. Sinais de toxicidade para avaliação de controle de macrófitas submersas.

Escala	Sinais de toxicidade	Porcentagem de Efeitos	Classificação
0	Sem sinal toxicidade	0 - 9	Sem controle
1	Perda de pigmentação das folhas e/ou caule	10 - 19	Controle inexistente
2	Clorose de borda de folha	20 - 29	
3	Clorose parcial da folha	30 - 39	Controle insatisfatório
4	Clorose total da folha	40 - 49	
5	Necrose de borda da folha	50 - 59	Controle razoável
6	Necrose parcial da folha	60 - 69	
7	Necrose total da folha	70 - 79	Controle bom e/ou satisfatório
8	Perda das folhas	80 - 89	
9	Perda da capacidade de sustentação e/ou necrose parcial do caule	90 - 99	Controle excelente
10	Necrose total da planta/morte	100	

Os resultados obtidos de comprimento (cm) dos fragmentos apicais de todos os tratamentos foram submetidos a equação proposta por Henderson e Tilton (1955) para determinar o efeito de controle do diquat sobre o crescimento das plantas. Logo após, foram analisados em esquema fatorial 3x8, sendo três concentrações e oito tempos de exposição e submetidos a análise de variância pelo teste F (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. O software utilizado foi o AgroEstat® (BARBOSA; MALDONADO JR, 2014). Os resultados de biomassa fresca e massa seca (g) foram submetidos a porcentagem de redução de acordo com a equação proposta por Abbott (1925).

3. Resultados e Discussão

Eficácia de controle para *Egeria najas*

Aos 7 dias após aplicação (DAA), o controle foi satisfatório em 0,2 mg L⁻¹ e 1440 minutos de exposição, com sinais de toxicidade de necrose total das folhas e 70% de eficácia (Tabela 1). Resultado inferior ao encontrado por Martins et al. (2008) em que 0,15 mg L⁻¹ de diquat e exposição de 30 minutos foi obtido 100% de controle de *E. najas*. Em 0,8 e 1,6 mg L⁻¹ e 1440 minutos de exposição ocorreu controle excelente de *E. najas*, com perda da capacidade de sustentação do caule e necrose parcial com 90% de eficácia (Tabela 1).

Aos 21 e 28 DAA, o controle foi excelente em 0,8 mg L⁻¹ com 480 e 1440 minutos de exposição e com 1,6 mg L⁻¹ e 15, 240, 480 e 720 minutos com perda da capacidade de sustentação do caule e 90% de eficácia. Em

1440 minutos ocorreu 97% de eficácia com perda da sustentação e necrose parcial do caule (Tabela 1). Aos 42 DAA com 0,8 mg L⁻¹ ocorreu controle excelente em 30, 240, 480 e 1440 minutos de exposição com 90% de eficácia e perda da sustentação do caule (Tabela 1). Com 1,6 mg L⁻¹ o controle foi excelente em 15, 60, 240, 480, 720 e 1440 minutos de exposição com 90 a 97% de eficácia e perda da sustentação e necrose parcial do caule (Tabela 1).

Em 49 DAA ocorreu controle satisfatório com necrose total e perda das folhas das folhas de *E. najas* em 0,2 mg L⁻¹ com 30, 240 e 1440 minutos de exposição e 80% de eficácia (Tabela 1). Nos demais tratamentos e tempos de exposição ocorreu controle excelente com 90% de eficácia e perda da sustentação do caule (Tabela 1), esses resultados foram menos efetivos do que o diquat em 0,09 mg L⁻¹ em 21 dias após a aplicação e 12 horas de exposição ao herbicida, com controle de 96 a 100% para *Elodea canadensis* (GLOMSKI; SKOGERBOE; GETSINGER, 2005) e 0,2 mg L⁻¹ de diquat que controlou 100% de plantas de *C. demersum* em 45 DAA (GARLICH et al., 2016). A tabela de sinais de toxicidade utilizada na avaliação do controle de *E. najas* foi fundamental para a padronização do resultado obtido. Na determinação da toxicidade aguda ou crônica de herbicidas para as plantas aquáticas submersas é necessário o estabelecimento de vários *end points* para subsidiar os resultados globais de efeito em *Elodea canadense*, *E. nuttallii*, *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton crispus* e *Ranunculus circinatus* (ARTS et al., 2008).

Aos 56 DAA o controle de *E. najas* foi excelente em todas as concentrações e tempos de exposição testados, similar a concentração de 0,5 mg L⁻¹ de endothall e tempo de exposição de 72 horas em 56 dias após a aplicação com controle de 96% de *E. canadenses* (MUDGE, 2013). Na concentração de 1,6 mg L⁻¹ e tempos de exposição de 15,

480 e 1440 minutos ocorreu necrose total das plantas e 100% de eficácia (Tabela 1).

Na porcentagem de redução do crescimento dos ponteiros de *E. najas* não ocorreu diferença significativa entre as concentrações do diquat testadas 0,2; 0,8 e 1,6 mg L⁻¹ e tempos de exposição de 5, 720 e 1440 minutos

(Tabela 2). Em 0,8 mg L⁻¹ ocorreu diferença significativa em 240 minutos com 100% de redução do crescimento em relação a 0,2 e 1,6 mg L⁻¹ que apresentaram 51 e 55% (Tabela 2). Em 1,6 mg L⁻¹ houve diferença em 15, 30, 60 e 480 minutos, com 100% de redução do comprimento em 15 e 480 minutos de exposição (Tabela 2).

Tabela 2. Média ± desvio padrão da porcentagem de redução do crescimento dos ponteiros de *E. najas* em 56 dias após a aplicação do diquat.

Tempo Exposição (min)	Concentração (mg L ⁻¹)			F Tratamentos
	0,2	0,8	1,6	
5	36,3 ± 25,9 aBC	25,3 ± 22,7 aC	23,9 ± 21,9 aC	0,55*
15	50,3 ± 13,6 bABC	42,5 ± 31,6 bBC	100,0 ± 0,0 aA	11,56**
30	27,0 ± 23,6 bC	35,4 ± 23,6 bBC	72,6 ± 38,2 aAB	6,99**
60	21,2 ± 25,4 bC	42,8 ± 36,9 bBC	93,5 ± 12,9 aAB	16,05**
240	51,8 ± 42,2 bABC	100,0 ± 0,0 aA	55,7 ± 34,4 bBC	8,50**
480	40,6 ± 32,5 bBC	68,8 ± 32,0 bAB	100,0 ± 0,0 aA	10,77**
720	71,2 ± 27,1 aAB	90,1 ± 18,5 aA	88,8 ± 15,9 aAB	1,33*
1440	82,5 ± 28,0 aA	74,3 ± 36,8 aAB	100,0 ± 0,0 aA	2,04*
F Trat.	5,25**	8,67**	8,91**	-

**Significativo a 0,1% de probabilidade. *Significativo a 0,5% de probabilidade. Médias com a mesma letra minúscula na linha não apresentam diferença entre as concentrações. Letras maiúsculas diferentes na coluna indicam diferença entre os tempos.

Entre os tempos de exposição ocorreu diferença significativa em 0,2 mg L⁻¹ em 1440 minutos com 82,51% de redução das plantas de *E. najas* (Tabela 2). Em 0,8 mg L⁻¹ ocorreu diferença significativa a partir de 240 minutos de exposição com 68,81 a 100% de redução no comprimento das plantas (Tabela 2). Em 1,6 mg L⁻¹ houve diferença significativa em 5 e 15 minutos de exposição com a menor redução dos ponteiros 23,9 e 55,7%. Nos demais tempos de exposição ocorreu redução de 72,6 a 100% (Tabela 2).

Em relação a massa seca e fresca das plantas de *E. najas* nas concentrações de 0,2 e 0,8 mg L⁻¹ ocorreu maior redução da biomassa a partir de 240 minutos de exposição ao diquat, sendo a maior redução em 1440 minutos de exposição com 88% de redução da massa fresca e 91,8% da massa seca com 0,2 mg L⁻¹ (Tabela 3). Em 0,8 mg L⁻¹ a maior redução ocorreu em 240 min com 100% de redução da massa fresca e seca (Tabela 3), e ocorreu redução excelente de 85 a 94,7% a partir de 480 minutos de exposição (Tabela 3).

Tabela 3. Porcentagem de redução da biomassa fresca e massa seca (g) da *E. najas* exposta ao diquat.

Tempo Exposição (min)	Concentração (mg L ⁻¹)					
	0,2		0,8		1,6	
	MF (%)	MS (%)	MF (%)	MS (%)	MF (%)	MS (%)
5	4,3	- 63,4	37,5	46,3	48,1	61,5
15	27,6	- 39,0	54,7	73,2	100,0	100,0
30	13,2	- 37,0	56,9	41,1	76,4	73,3
60	- 09,7	30,6	35,1	59,7	90,3	94,0
240	35,2	53,8	100,0	100,0	73,3	67,6
480	64,6	58,5	85,0	86,7	100,0	100,0
720	53,1	62,6	91,3	94,7	94,5	98,9
1440	88,0	91,8	89,1	88,0	100,0	100,0

MF: biomassa fresca; MS: massa seca.

Em 1,6 mg L⁻¹ ocorreu excelente redução da massa fresca e seca a partir de 15 minutos de exposição (Tabela 3). A maior redução ocorreu com 15, 480 e 1440 minutos de exposição com 100% de redução da massa fresca e seca de *E. najas* (Tabela 3).

Os resultados encontrados neste estudo foram mais efetivos que o flumioxazim na concentração de 3,28 mg L⁻¹

que reduziu 50% da massa seca de *E. najas* com 30 dias de exposição (MUDGE; HALLER, 2010) e o diquat com 100 µg ia L⁻¹ e 8 horas de exposição em que reduziu 59% da massa seca de *Potamogeton nodosus* após 8 semanas da aplicação (MUDGE, 2013).

No controle de *E. najas* o diquat na concentração de 0,2 mg L⁻¹ causou melhor eficácia em 720 e 1440 minutos

de exposição em que reduziu de 71,20 a 82,51% do comprimento das plantas (Tabela 2), 53,1 a 88,0% da massa fresca e 62,6 a 91,8% da massa seca das plantas (Tabela 3). Em 0,8 mg L⁻¹ a melhor eficácia foi a partir de 240 minutos de exposição em que reduziu de 68 a 100% do comprimento das plantas (Tabela 2), 85 a 100% da massa fresca e 86,7 a 100% massa seca (Tabela 3). Em 1,6 mg L⁻¹ a melhor eficácia ocorreu a partir de 15 minutos de exposição em que reduziu de 55 a 100% o comprimento das plantas (Tabela 2), 73,3 a 100% massa fresca e 67,6 a 100% massa seca (Tabela 3).

Eficácia de controle para *Egeria densa*

Aos 7 DAA ocorreu controle satisfatório das plantas de *E. densa* com sinais de necrose total das folhas em todas as concentrações em 480, 720 e 1440 minutos de exposição e eficácia de 70% (Tabela 1). Em 21 DAA em 0,8 e 1,6 mg L⁻¹ o controle foi excelente com necrose parcial e total do caule (Tabela 1), e eficácia de 90 a 100% em todos os tempos de exposição. O diquat proporcionou melhor controle do que o endothall na concentração 2,0 e 3,0 mg L⁻¹ em 12 horas de exposição com 97% de controle para *E. canadensis* em 180 dias após aplicação no lago Montana (MUDGE; GETSINGER; GRAY, 2015).

Na concentração de 0,2 mg L⁻¹ o controle foi excelente com necrose parcial do caule e total das plantas com eficácia de 90 a 100% (Tabela 1), a partir de 15 minutos de exposição, esse resultado foi mais efetivo que 0,18 mg L⁻¹ de diquat com 2,5 horas de exposição com controle de 42% para *E. densa* em 21 dias após aplicação (SKOGERBOE; GETSINGER; GLOMSKI, 2006).

A partir de 28 DAA o controle foi excelente com 90 a 100% de eficácia e apresentou necrose parcial e total das plantas em todas as concentrações e tempos de exposição (Tabela 1), similar ao descrito por Skogerboe, Getsinger e Glomski (2006) em que o diquat com 0,18 e mg L⁻¹ controlou de 90 a 100% de *E. densa* com 4,5 horas de exposição e 0,37 mg L⁻¹ com 2,5 e 4,5 horas de exposição.

De acordo com Dollerup, Riis e Clayton (2013) *E. densa* tem melhor estabelecimento em águas mais profundas e com baixa intensidade luminosa, isso pode limitar o potencial do diquat (ROBB et al., 2014), que segundo Langeland et al. (1994) não tem distribuição uniforme. Entretanto, quando utilizada concentração de 0,2 mg L⁻¹ a partir de 240 minutos de exposição o diquat controlou 100% das plantas de *E. densa* isso demonstra que o tempo em que a planta fica exposta ao herbicida influencia na eficácia de controle.

Para o efeito do diquat na redução do crescimento das plantas de *E. densa* a concentração de 0,2 mg L⁻¹ não apresentou diferença significativa nos tempos de exposição 5, 15, 30 e 60 minutos com 47 a 66% de redução. Entretanto, apresentou diferença significativa entre os tempos de exposição 240, 480, 720 e 1440 minutos que apresentaram 100% de redução do crescimento das plantas e foram similares entre si (Tabela 4). Esses dados diferem do encontrado por Martins et al. (2008) que com 0,075 mg L⁻¹ de diquat em 30 minutos de exposição causou 100% de controle para *E. densa* em 21 DAA (MARTINS et al., 2008) porém é similar a 0,185 mg L⁻¹ de diquat com exposição de 4,5 horas e 0,37 mg L⁻¹ com exposição de 2,5 e 4,5 horas com 90% de controle para *E. densa* (SKOGERBOE; GETSINGER; GLOMSKI, 2006).

Tabela 4. Média ± desvio padrão da porcentagem de redução do crescimento dos ponteiros de *E. densa* em 56 dias após a aplicação do diquat.

Tempo Exposição (min)	Concentrações (mg L ⁻¹)			F Tratamentos
	0,2	0,8	1,6	
5	60,9±42,2 bB	100,0±0,0 aA	100,0±0,0 aA	14,38**
15	66,0±37,2 bB	100,0±0,0 aA	100,0±0,0 aA	10,85**
30	54,1±49,6 bB	100,0±0,0 aA	100,0±0,0 aA	19,80**
60	47,7±34,0 bB	100,0±0,0 aA	100,0±0,0 aA	25,65**
240	100,0±0,0 aA	100,0±0,0 aA	100,0±0,0 aA	-
480	100,0±0,0 aA	100,0±0,0 aA	100,0±0,0 aA	-
720	100,0±0,0 aA	100,0±0,0 aA	100,0±0,0 aA	-
1440	100,0±0,0 aA	100,0±0,0 aA	100,0±0,0 aA	-
F tratamentos	15,53**	-	-	-

**Significativo a 0,1% de probabilidade. *Significativo a 0,5% de probabilidade. Médias com a mesma letra minúscula na linha não apresentam diferença entre as concentrações. Letras maiúsculas diferentes na coluna indicam diferença entre os tempos.

Em 0,8 e 1,6 mg L⁻¹ não ocorreu diferença significativa em todos os tempos de exposição, pois ocorreu 100% de redução no comprimento das plantas (Tabela 4). A *E. densa* é mais sensível ao diquat do que *E. canadensis* ao endothall com a utilização de 4,0 mg L⁻¹ e 24 horas de exposição com redução de 42% da biomassa (SKOGERBOE; GETSINGER, 2002).

Nos tempos de exposição 5, 15, 30 e 60 minutos

ocorreu diferença significativa em 0,2 mg L⁻¹ com 47 a 66% de redução de comprimento de *E. densa* em relação a 0,8 e 1,6 mg L⁻¹ que apresentaram 100% de redução do comprimento (Tabela 4). O *C. demersum* foi mais sensível ao diquat com 0,15 mg L⁻¹ em 30 minutos de exposição com 100% de controle em 14 DAA (MARTINS et al., 2008) do que *E. densa*, no presente trabalho.

Nos tempos de exposição 240, 480, 720 e 1440

minutos não ocorreu diferença significativa entre as concentrações testadas com 100% de controle das plantas (Tabela 4), similar ao diquat com 0,8 e 1,2 mg L⁻¹ com 100% de mortalidade de *C. demersum*, aos 45 DAA (GARLICH et al., 2016).

O diquat reduziu a biomassa fresca e massa seca das plantas de *E. densa* em todas as concentrações testadas,

sendo de 100% em 0,2 mg L⁻¹, a partir de 240 minutos e em 0,8 e 1,6 mg L⁻¹ em todos os tempos de exposição (Tabela 5). Os menores tempos de exposição 5, 15, 30 e 60 minutos em 0,2 mg L⁻¹ foram mais eficazes para controle de *E. densa* do que 0,2; 0,4; 0,8 e 1,6 mg L⁻¹ em 14 dias após aplicação, com redução de 42,7 a 52,5% da biomassa fresca de *E. densa* (HENARES et al., 2011).

Tabela 5. Porcentagem de redução da biomassa fresca e massa seca (g) da *E. densa* exposta ao diquat.

Tempo Exposição (min)	Concentração (mg L ⁻¹)					
	0,2		0,8		1,6	
	MF (%)	MS(%)	MF(%)	MS(%)	MF(%)	MS(%)
5	82,7	85,4	100,0	100,0	100,0	100,0
15	84,7	79,7	100,0	100,0	100,0	100,0
30	67,5	17,2	100,0	100,0	100,0	100,0
60	72,9	67,0	100,0	100,0	100,0	100,0
240	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
480	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
720	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1440	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

MF: massa fresca; MS: massa seca; (%): porcentagem.

Para Martins et al. (2008) o diquat reduziu de 46,3 a 52,3% das plantas de *E. densa* com 0,15 mg L⁻¹ do herbicida nos tempos de exposição 30 minutos, 1, 2, 4, 8 e 16 horas e 60,8 e 57,9% com 0,6 e 1,2 mg L⁻¹, a diferença de 50% de redução entre os dois estudos deve estar relacionada com a metodologia adotada no estudo, Martins et al. (2008) utilizou meio nutritivo solução de Hoagland 5% o que pode ter influenciado no resultado.

A *E. densa* foi mais sensível ao diquat do que a *E. najas* em que as concentrações de 0,8 e 1,6 mg L⁻¹ a partir de 240 minutos de exposição foram suficientes para proporcionar 100% de mortalidade das plantas (Tabela 4 e 5).

Eficácia de controle para *Hidrilla verticillata*

Em 7 DAA ocorreu controle excelente das plantas de *H. verticillata* com sinais de perda de capacidade de sustentação das plantas e 90% de eficácia (Tabela 1), na concentração 1,6 mg L⁻¹ a partir de 240 minutos de exposição (Tabela 1), diferindo de 0,25 mg L⁻¹ de diquat com controle de 62 a 91% para *H. verticillata* (LANGELAND et al., 2002). Em 15 e 21 DAA com 0,8 e 1,6 mg L⁻¹ ocorreu controle excelente a partir de 240 minutos de exposição (Tabela 1), mais efetivo que 1,2 mg L⁻¹ de diquat com controle de 100% para *C. demersum* em 30 e 45 DAA (GARLICH et al., 2016).

Em 28 e 35 DAA todas as concentrações apresentaram controle excelente de 90 a 100% com perda de sustentação a necrose total das plantas a partir de 480 minutos de exposição (Tabela 1), para Glomski, Skogerboe e Getsinger (2005) conforme maior o tempo de exposição

melhor o controle para *H. verticillata*.

Em 42, 49 e 56 DAA todas as concentrações e tempos de exposição apresentaram controle excelente de 90 a 100% de eficácia com perda de sustentação a necrose total das plantas (Tabela 1), exceto em 0,2 mg L⁻¹ e 15 minutos que o controle foi satisfatório com 80% de eficácia que ocorreu perda de folhas dos ponteiros (Tabela 1), mais efetivo que 2,0 mg L⁻¹ de diquat em 12 horas de exposição com 81% de controle para *H. verticillata* (VAN; STEWARD; CONANT, 1987).

Para o efeito do diquat na porcentagem de redução do crescimento dos ponteiros de *H. verticillata* não ocorreu diferença significativa entre as concentrações 0,2; 0,8 e 1,6 mg L⁻¹ e os tempos de exposição 15, 60, 480, 720 e 1440 minutos (Tabela 6). Nos tempos de exposição 5, 30 e 240 minutos ocorreu diferença significativa entre 0,2, 0,8 e 1,6 mg L⁻¹ que reduziram de 58,5 a 68%, 42 a 100% e 100% do comprimento de *H. verticillata*, respectivamente (Tabela 6).

Nos tempos de exposição 15, 60, 240, 480, 720 e 1440 minutos ocorreu diferença significativa em 0,8 mg L⁻¹ com redução de 55,67 a 100% de *H. verticillata* (Tabela 6). Em 1,6 mg L⁻¹ não ocorreu diferença significativa entre os tempos de exposição com 100% de morte das plantas (Tabela 6), mais efetivo que 0,010; 0,020; 0,050 e 0,0150 mg L⁻¹ de fluridone que causou clorose e necrose dos ponteiros de *H. verticillata* em 150 dias após aplicação (HOFSTRA; CLAYTON, 2001) e similar ao diquat (0,09 mg L⁻¹) com 4 horas de exposição e controle de 96 a 100% para *E. canadensis* (GLOMSKI; SKOGERBOE; GETSINGER, 2005).

Tabela 6. Média ± desvio padrão da porcentagem de redução do crescimento dos ponteiros de *H. verticillata* em 56 dias após a aplicação do diquat.

Tempo Exposição (min)	Concentração (mg L ⁻¹)			F Tratamentos
	0,2	0,8	1,6	
5	68,6 ± 43,3aAB	7,3 ± 9,0 bC	100,0±0,0 aA	21,11**
15	53,0 ± 51,9 aB	55,6±48,9 aAB	64,8±46,5 aA	0,37*
30	0,0 ± 0,0 cC	42,1 ± 46,4 bBC	100,0±0,0 aA	23,95**
60	100,0 ± 0,0 aA	71,7 ± 44,0 aAB	100,0±0,0 aA	2,52*
240	58,5 ± 42,9bAB	100,0±0,0 aA	100,0±0,0 aA	5,45**
480	100,0 ± 0,0 aA	100,0±0,0 aA	100,0±0,0 aA	-
720	100,0 ± 0,0 aA	100,0±0,0 aA	100,0±0,0 aA	-
1440	100,0 ± 0,0 aA	100,0±0,0 aA	100,0±0,0 aA	-
F Tratamentos	12,04**	11,57**	1,47*	-

**Significativo a 0,1% de probabilidade. *Significativo a 0,5% de probabilidade. Médias com a mesma letra minúscula na linha não apresentam diferença entre as concentrações. Letras maiúsculas diferentes na coluna indicam diferença entre os tempos.

Para o efeito do diquat na biomassa de *H. verticillata*, em 0,2 mg L⁻¹ a partir de 60 minutos ocorreu 100% de redução de biomassa fresca e massa seca das plantas (Tabela 7), melhor resultado que 0,37 mg L⁻¹ de diquat que reduziu 87% da biomassa de *H. verticillata* em 28 dias após

aplicação (TURNAGE; MADSEN; WERSAL, 2015) e com 0,18 mg L⁻¹ de diquat com 2,5 e 4,5 horas de exposição não ocorreu redução da massa seca de *H. verticillata* (SKOGERBOE; GETSINGER; GLOMSKI, 2006).

Tabela 7. Porcentagem de redução da biomassa fresca e massa seca (g) da *H. verticillata* exposta ao diquat.

Tempo Exposição (min)	Concentrações (mg L ⁻¹)					
	0,2		0,8		1,6	
	MF (%)	MS(%)	MF(%)	MS(%)	MF(%)	MS(%)
5	69,8	73,0	0,0	0,0	100,0	100,0
15	0,0	0,0	57,2	73,1	49,9	52,2
30	0,0	0,0	73,3	16,9	100,0	100,0
60	100,0	100,0	0,0	0,0	100,0	100,0
240	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
480	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
720	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1440	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

MF: biomassa fresca; MS: massa seca; (%): porcentagem.

Em 0,8 mg L⁻¹ ocorreu 100% de redução da biomassa fresca e massa seca a partir de 240 minutos (Tabela 7), mais efetivo que o endothall que não reduziu biomassa das plantas de *E. canadensis* com 0,5 mg L⁻¹ em 6, 8 e 12 horas de exposição e 1,0 mg L⁻¹ em 6 e 8 horas de exposição após 6 semanas da aplicação do herbicida (MUDGE; GETSINGER; GRAY, 2015).

Em 1,6 mg L⁻¹ em todos os tempos de exposição a redução foi de 100% da massa seca e fresca, exceto em 15 minutos que a redução foi de 50% (Tabela 7), mais efetivo que 6; 12 e 48 µg L⁻¹ de fluridone com redução da biomassa de 87 a 94% para *H. verticillata* aos 70 dias após aplicação (NETHERLAND, 2015).

A redução da massa fresca das plantas de *H. verticillata* foi maior neste estudo do que 0,2; 0,4; 0,8 e 1,6 mg L⁻¹ de diquat em que reduziu de 71,2 a 78,6% da massa fresca de *H. verticillata* em 14 DAA (HENARES et al., 2011). A *H. verticillata* foi sensível ao diquat em 0,2 mg L⁻¹ a partir de 60 minutos de exposição; em 0,8 mg L⁻¹ a partir de 240 minutos de exposição e em 1,6 mg L⁻¹ a partir

de 30 minutos de exposição que foram suficientes para causar 100% de mortalidade das plantas (Tabela 6 e 7).

De maneira geral o diquat apresentou excelente controle para as três macrófitas submersas, sendo que *E. densa* demonstrou maior sensibilidade ao diquat em comparação com *E. najas* e *H. verticillata*, essa variabilidade de controle é atribuída as diferenças morfológicas (HOFSTRA; CLAYTON, 2012) e aos seus mecanismos de resposta de proteção e detoxificação das plantas. Para estes autores a *E. densa* geralmente tem habilidade de produzir mais brotos que *E. canadensis* e *H. verticillata* após aplicação de herbicida.

4. Conclusão

O diquat apresentou excelente eficácia na concentração de 0,8 mg L⁻¹ e tempo de exposição de 240 minutos no controle das três macrófitas submersas, sendo a *E. densa* mais sensível ao herbicida. O tempo de exposição e

a concentração do herbicida na água são fatores importantes para o controle de plantas aquáticas submersas e devem ser estabelecidos para obtenção de eficácia satisfatória. A tabela de sinais de toxicidade desenvolvida na avaliação do controle foi fundamental para a padronização dos resultados obtidos, pois a avaliação visual da eficácia em plantas aquáticas submersas em alguns casos pode ser subjetiva.

Referências

- Arts, G. H. P.; Belgers, D. M. J.; Hoekzema, C. H.; Thissen, J. T. N. M. Sensitivity of submersed freshwater macrophytes and endpoints in laboratory toxicity tests. **Environmental Pollution**, v. 153, p. 199-206, 2008.
- Abbott, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of economic entomology**, v. 18, p. 265-267, 1925.
- Barbosa, J. C.; Maldonado JR. W. **Software AgroEstat**: Sistema de análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, Brasil, 2014.
- Conama - 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 dá outras providências**, 5 p, 2015. Publicado no DOU nº 135, seção 1, p. 70-71, 2015.
- Dollerup, K.; Riis, T.; Clayton, J. S. Do patterns of establishment support invasive status of five aquatic plants in New Zealand?. **Journal of Aquatic Plant Management**, v.51, p.1-6, 2013.
- Garlich, N.; Cruz, C.; Silva, A. F.; Malaspina, I. C.; Ferreira, R. G.; Tedesque, M. G.; Pitelli, R. A.; Bianco, S. Effectiveness of Diquat, Copper Hydroxide, Copper Oxychloride and their Association in Control of Submerged Macrophytes *Ceratophyllum demersum*. **Planta Daninha**, v. 34, n. 1, p. 117-123, 2016.
- Garlich, N.; Guarnieri, C. C. O.; Freitas, R. L. G.; Cervoni, J. H. C.; Cruz, C.; Ferreira, M. C. Efficacy of Imazamox with Centrifugal Energy Spray Nozzle on Eichhornia crassipes and Economic Analysis of Control Viability. **Planta Daninha**, v. 37: e019194898, 2019.
- Getsinger, K. D.; Netherland, M. D.; Grue, C. E.; Koschnick, T. J. Improvements in the use of aquatic herbicides and establishment of future research directions. **Journal of Aquatic Plant Management**, v.46, p.32-41, 2008.
- Getsinger, K. d.; Poovey, A. G.; Glomski, L. A.; Slade, J. G.; Richardson, R. J. **Utilization of herbicide concentration/exposure time relationships for controlling submersed invasive plants on Lake Gaston, Virginia/North Carolina**. U.S. Army Corps of Engineers Washington, DC 20314-1000, ERDC/EL TR-11-5. 2011, 85 p.
- Gettys, L. A.; Haller, W. T.; Petty, D. G. Editors. **Biology and control of aquatic plants. A best management practices handbook**. 3rd. ed. Mariett GA: Aquatic Ecosystem Restoration Foundation; 2014.
- Glomski, L. A. M.; Skogerboe, J. G.; Getsinger, K. D. Comparative efficacy of diquat to two members of the Hydrocharitaceae Family: Elodea and hydrilla. **Journal of Aquatic Plant Management**, v. 43, p. 103-105, 2005.
- Henderson, C. F.; Tilton, E. W. Tests with acaricides against the brow wheat mite. **Journal of economic entomology**, v. 48, n. 1, p. 157-161, 1955.
- Henares, M. N. P. Rezende, F. R. L.; Gomes, G. R.; Cruz, C.; Pitelli, R. A. Eficácia do diquat no controle de *Hydrilla verticillata*, *Egeria densa* e *Egeria najas* e toxicidade aguda para o guaru (*Phallocerus caudimaculatus*), em condições de laboratório. **Planta Daninha**, v. 29, n. 2, p. 279-285, 2011.
- Hofstra, D. E.; Clayton, J. S. Control of Dioecious New Zealand Hydrilla using Fluridone in Mesocosms. **Journal of Aquatic Plant Management**, v.39; p.125-128, 2001.
- Hofstra, D. E.; Clayton, J. S. Assessment of benthic barrier products for submerged aquatic weed control. **Journal of Aquatic Plant Management**, v. 50, p. 101-105, 2012.
- Horsch, E. J.; Lewis, D. J. The effects of aquatic invasive species on property values: Evidence from a quasi-experiment. **Land Economics**, v. 85, n. 3, p. 391-409, 2009.
- Langeland, K. A.; Fox, A. M.; Laroche, F. B.; Martin, B. B.; Martin, D. F.; Norris, C. D.; Wang, C. Diquat distribution in water after application to submersed weeds. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 60, p. 93-97, 1994.
- Langeland, K. A.; Hill, O. N.; Koschnick, T. J.; Haller, W. T. Evaluation of a new formulation of reward landscape and aquatic herbicide for control of duckweed, waterhyacinth, waterlettuce, and hydrilla. **Journal of Aquatic Plant Management**, v. 40, n. 1, p. 51-53, 2002.
- Lewis, M.; Thursby, G. Aquatic plants: Test species sensitivity and minimum data requirement evaluations for chemical risk assessments and aquatic life criteria development for the USA. **Environmental Pollution**, v. 238, p. 270-280, 2018.
- Madsen, J. D.; Wersal, R. M. A review of aquatic plant monitoring and assessment methods. **Journal of Aquatic Plant Management**, v. 55, p. 1-12, 2017.

- Martins, D.; Costa, N. V.; Domingos, V. D.; Rodrigues, A. C. P.; Carvalho, F. T. Efeito do período de exposição a concentrações de diquat no controle de plantas de *Egeria densa*, *Egeria najas* e *Ceratophyllum demersum*. **Planta Daninha**, v. 26, n. 4, p. 865-874, 2008.
- Mudge, C. R.; Haller, W. T. Effect of pH on submersed aquatic plant response to flumioxazin. **Journal of Aquatic Plant Management**, v. 48, p. 30-34, 2010.
- Mudge, C. R. Impact of aquatic herbicide combinations on nontarget submersed plants. **Journal of Aquatic Plant Management**, v. 51, p. 39-44, 2013.
- Mudge, C. R.; Getsinger, K. D.; Gray, C. J. Endothall (dimethylalkylamine) concentration exposure time evaluation against two populations of *Elodea Canadensis*. **Journal of Aquatic Plant Management**, v. 53, p. 130-133, 2015.
- Netherland, M. D. Laboratory and greenhouse response of monoecious hydrilla to fluridone. **Journal of Aquatic Plant Management**, v. 53, p. 178-184, 2015.
- Nawrocki, J. J.; Richardson, R. J.; Hoyle, S. T. Monoecious hydrilla tuber dynamic following various management regimes on four North Carolina reservoirs. **Journal of Aquatic Plant Management**, v. 54, p. 12-19, 2016.
- Pimentel, D.; Zuniga, R.; Morrison, D. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. **Ecological economics**, v. 52; p. 273-288, 2005.
- Robb, C. S. Eitzer, B. D.; Gibbons, J. A.; June-Wells, M.; Bugbee, G. J. Persistence and movement of diquat and the effectiveness of limnobarriers after curlyleaf pondweed treatment in Crystal Lake, Connecticut. **Journal of Aquatic Plant Management**, v. 52, p. 39-46, 2014.
- Scheer, M. B.; Lisboa, A. M.; Burda, T. M. Rendimentos operacionais de barco removedor e escavadeira de braço longo no controle de infestações de plantas aquáticas no reservatório Piraquara II, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 21, n. 2, p. 328-337, 2016.
- Skogerboe, J. G.; Getsinger, K. D. Endothall species selectivity evaluation: northern latitude aquatic plant community. **Journal of Aquatic Plant Management**, v. 40, p. 1-5, 2002.
- Skogerboe, J. G.; Getsinger, K. D.; Glomski, L. A. M. Efficacy of Diquat on submersed plants treated under simulated flowing water conditions. **Journal of Aquatic Plant Management**, v. 44, p. 122-125, 2006.
- Turnage, G.; Madsen, J. D.; Wersal, R. M. Comparative efficacy of chelated copper formulations alone and in combination with diquat against hydrilla and subsequent sensitivity of American lotus. **Journal of Aquatic Plant Management**, v. 53, p. 138-140, 2015.
- Van, T. K.; Steward, K. K.; Conant, R. D. Responses of monoecious and dioecious hydrilla (*Hydrilla verticillata*) to various concentrations and exposures of diquat. **Weed Science**, v. 35, n. 2, p. 247-252, 1987.