

## Artigo Técnico

# Avaliação da concentração de efeito do glifosato para controle de *Eichhornia crassipes* e *Salvinia* sp.

*Evaluation of glyphosate effect concentration to control *Eichhornia crassipes* and *Salvinia* sp.*

Marina Andrada Maria<sup>1</sup>, Liséte Celina Lange<sup>2</sup>, Samuel Rodrigues Castro<sup>3</sup>,  
Aylton Carlos Soares<sup>1</sup>, Sylvia Therese Meyer<sup>1</sup>

## RESUMO

A possibilidade do uso de herbicidas em ecossistema aquático para controle de macrófitas quando em condições de desequilíbrio levou à necessidade de estudos que avaliam a concentração de efeito que seja eficiente e ecologicamente equilibrada, sem causar maiores impactos aos organismos não alvo e ao ecossistema aquático. O glifosato é o princípio ativo de alguns herbicidas e é conhecido pela sua eficácia, amplo espectro de ação e baixa toxicidade. Neste trabalho foi investigada a menor concentração de efeito para controle da *Eichhornia crassipes* e da *Salvinia* sp em experimentos realizados em triplicata e observados pelo período de 20 dias após aplicações de glifosato nas concentrações de 6,25; 12,5; 25,0; 50,0 e 100 L.ha<sup>-1</sup>. Como resultado, verificou-se que apenas a concentração de 100 L.ha<sup>-1</sup> apresentou diferença significativa de efeito comparada ao controle. O efeito ao final do vigésimo dia foi superior a 90%, tornando-se aparente a partir do décimo dia. Existiu uma pequena diferença na sensibilidade entre as espécies, no entanto, a concentração de efeito foi semelhante. A dose de 100 L.ha<sup>-1</sup> impediu a ocorrência de rebrota, no prazo de 30 dias, e causou efeito residual pobre em espécies vegetais inseridas no ambiente após a aplicação do herbicida.

**Palavras-chave:** herbicida; macrófita; dose efetiva; corpo hídrico.

## ABSTRACT

The possibility of using herbicides in an aquatic ecosystem, to macrophytes control in unbalanced conditions, led to the need for studies that evaluate the concentration of effect that is effective and ecologically balanced, without causing major impacts to the non-target organisms in the aquatic ecosystem. The glyphosate is the active ingredient of some herbicides and it is known for its efficacy due its broad-spectrum and non-selectivity. This study investigated the minor concentration of effect to control *Eichhornia crassipes* and *Salvinia* sp., in experiments conducted in triplicate and observed during a period of 20 days after glyphosate application in the concentrations: 6.25, 12.5, 25.0, 50.0 e 100 L.ha<sup>-1</sup>. It was verified that only the concentration of 100 L.ha<sup>-1</sup> had significant difference of effect when compared to the control. The effect at the end of the twentieth day it was superior to 90%, becoming apparent from the tenth day on. It was observed a small difference in sensibility between the evaluated species; however, the concentration of effect was similar. The dose of 100 L.ha<sup>-1</sup> prevented the occurrence of regrowth during thirty days, and caused a residual effect in vegetal species inserted in the environment after the herbicide application.

**Keywords:** herbicide; macrophyte; effective dose; water body.

## INTRODUÇÃO

Macrófitas aquáticas são vegetais que vivem em corpos de água, podendo ser submersas ou flutuantes, muitas vezes de rápida proliferação, apresentando grande capacidade de adaptação ecológica. Esse fato possibilita que a mesma espécie colonize os mais diferentes tipos de ambientes, o que facilita a sua ampla distribuição geográfica, sendo considerada, de modo geral, cosmopolita (TRINDADE *et al.*, 2010).

Em condição controlada as macrófitas são importantes abrigos ecológicos, contribuindo para a diversidade do habitat. No entanto, seu crescimento excessivo gera inúmeros problemas, entre eles, destacam-se: impedimento da

navegação, prejuízos aos esportes náuticos, obstrução ou redução do fluxo de entrada de água nas turbinas de hidrelétricas, entre outros (ESTEVES, 1998).

O controle de macrófitas em reservatórios é de grande relevância econômica, em relação aos inúmeros prejuízos à geração de energia em várias usinas hidroelétricas, especialmente em países tropicais. No Brasil, a forma mais comum de controle é a retirada manual e mecanizada, uma vez que o controle químico e biológico teve sua autorização recente (em 2015). No entanto, o controle mecânico tem elevado custo, com resultados nem sempre satisfatórios, por permitir rebrota e recolonização a partir de fragmentos que permanecem no ambiente.

<sup>1</sup>Centro de Inovação e Tecnologia do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais - Belo Horizonte (MG), Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte (MG), Brasil.

<sup>3</sup>Universidade Federal de Juiz de Fora - Juiz de Fora (MG), Brasil.

Recebido: 11/04/2017 - Aceito: 09/10/2017 - Reg. ABES: 178366

Três métodos de controle têm sido amplamente adotados: mecânicos, químicos e biológicos (PIETERSE & MURPHY, 1990). Os métodos químicos são os menos aceitos pela sociedade por utilizarem substâncias, tais como agrotóxicos, cuja toxicidade a diferentes espécies e ao próprio homem nem sempre é inteiramente conhecida (THOMAZ, 2002).

Os agrotóxicos são rigorosamente controlados quanto ao seu uso no solo, buscando sempre a minimização dos riscos de contaminação de cursos de água subterrânea ou superficial, considerando a potencial toxicidade que podem causar a esses ambientes.

Ainda que o uso de agrotóxicos específicos para ambientes aquáticos seja permitido em países como os Estados Unidos da América, sua aplicação é motivo de controvérsias em vários países europeus e no Brasil. Ainda não foi irrefutavelmente comprovada que a exposição em longo prazo a alguns herbicidas, como o utilizado no combate à *E. crassipes*, seja inofensiva para o ambiente e a saúde humana (THOMAZ & BINI, 2003). No Brasil, o glifosato tem sido o mais utilizado e está entre os preferidos pela sua baixa toxicidade.

Herbicidas são um grupo de agrotóxicos, produtos químicos utilizados para o controle de ervas, normalmente utilizados na agricultura. A descrição do produto é importante pelo fato de, hoje, haver uma ampla gama de herbicidas com diferentes princípios ativos e formas de ação. Nos rótulos existem dados relativos à proteção do meio ambiente, incluindo a recomendação de não contaminar a água com esse produto ou com a sua embalagem, assim como não aplicar em terrenos agrícolas adjacentes às águas superficiais, relatando a possibilidade de toxicidade para organismos aquáticos.

O glifosato é um fosfonato, uma classe de compostos estruturalmente similares aos organofosforados. É eliminado sem ser metabolizado, não é residual e não há evidências de que bioacumule em tecidos animais (BAIRD & CANN, 2011).

Segundo Dimitrakopoulos *et al.* (2010), estudos de destino e comportamento no ambiente revelaram que o produto de degradação do glifosato é o ácido aminometil fosfônico (AMPA), que também é biologicamente degradável, mas com uma taxa mais lenta do que o composto original.

O glifosato possui efeito inibitório do processo de fotossíntese em plantas terrestres e aquáticas. Algumas formulações comerciais possuem, além do glifosato, surfactantes, como o chamado polioxietileno amine (POEA), que pode ser a principal causa da toxicidade aquática das formulações à base de glifosato (TSUI; WANG; CHU, 2005). Em caso de atingir reservatórios de água destinados ao consumo humano, o glifosato é rapidamente degradado durante os processos de cloração em plantas de abastecimento público de água, onde geralmente uma grande razão molar cloro/glifosato é usada (DIMITRAKOPOULOS *et al.*, 2010).

Um dos problemas da utilização de herbicidas para controlar macrófitas é o efeito na qualidade da água. Os grupos de herbicidas agem de forma diferente, especificamente na água, variando de acordo com a

sua composição molecular (SHIOGIRI *et al.*, 2010). O glifosato pode se translocar e acumular nas regiões de meristema, incluindo raízes e nódulos, e o que se acumula nas raízes de plantas suscetíveis é eventualmente liberado na rizosfera (MEANS; KREMER; RAMSIER, 2007).

Segundo Cruz *et al.* (2015b), desde 2003 seu uso está autorizado nos Estados Unidos para controle de erva daninha aquática, sendo, para isso, necessário o conhecimento da dinâmica de toxicidade para os organismos não alvo, da dose segura ambientalmente e das condições de degradação em regiões neotropicais.

Nos últimos anos, no Brasil, têm ocorrido debates acerca da sua utilização em cursos de água. Sabe-se que há uma prática em uso, contudo, sem critérios estabelecidos, fato que gera a necessidade de regulamentação para minimização dos riscos.

O combate de macrófitas deve ocorrer para espécies alóctones (exóticas), uma vez que sua erradicação é desejável, com fins de se evitar prejuízos maiores aos usos dos recursos hídricos, à conservação da biodiversidade e ao meio ambiente (BRASIL, 2015).

Ao se fazer controle químico, é sempre de grande importância buscar pela menor dose que atenda aos objetivos propostos, uma vez que essas substâncias podem levar ao desencadeamento de efeitos e impactos aos organismos não alvo e ao ecossistema. A aplicação do herbicida deve ser feita por aspersão e, assim como no solo, a quantidade deve se dar em função da área de expansão, uma vez que se torna complexa a quantificação do volume de água e da massa de macrófitas.

Diante do exposto e da necessidade de estudos acerca da suscetibilidade das macrófitas ao controle por herbicidas, o presente trabalho teve por objetivo determinar a menor dose de efeito no estabelecimento de referências para a elaboração do plano de aplicação de glifosato para o controle de plantas aquáticas.

## METODOLOGIA

Foram avaliados indivíduos da espécie *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (1883) e *Salvinia* sp, macrófitas flutuantes de rápida proliferação e grande ocorrência no Brasil (THOMAZ, 2002). Essas espécies, com destaque para *E. crassipes*, são as de maior ocorrência em reservatórios, acarretando problemas e gastos excessivos destinados à remoção constante.

Os experimentos foram conduzidos em escala laboratorial, em condições controladas e isoladas, evitando-se a contaminação de ambientes naturais.

## Obtenção e adaptação das macrófitas

As matrizes das duas espécies foram cedidas pelo Jardim Botânico da Fundação Zoo-Botânica de Belo Horizonte, Minas Gerais, e dispostas em caixas de água de 500 L (altura de 0,72 m e diâmetro de 1,22 m) para estabilização e reprodução em ambiente externo e temperatura

ambiente. Para compor o sedimento e fornecer nutrientes para as macrófitas, as caixas foram forradas com aproximadamente 20 kg de massa seca de terra vegetal, comercialmente encontrada, que garantiu uma camada de cerca de 10 cm de sedimento no fundo dos reservatórios, posteriormente preenchidos com água tratada. Para impedir a proliferação de larvas de insetos, as caixas foram tampadas com tela e cultivadas com aproximadamente 20 peixes por caixa, do gênero *Poecilia*, que são de pequeno porte, com comprimento comum de 2,8 cm e máximo de 6 cm e peso médio de 2 g.

### Exposição das macrófitas ao glifosato

Após a etapa de reprodução, alguns indivíduos foram selecionados, considerando-se o aspecto visual saudável de folhas e raízes. Em laboratório, com umidade aproximada de 50% e temperatura média de 23°C, os exemplares de macrófitas, com o auxílio de peneiras, foram lavados, removeu-se o excesso de água com auxílio de papel toalha e avaliou-se a massa fresca inicial em balança analítica, procurando manter uma massa aproximada entre as replicatas. Para *Salvinia* sp, utilizou-se uma

massa aproximada de 60 g em um número indiscriminado de indivíduos, transferidos para cristaleiras com área superficial de 0,0471 m<sup>2</sup>. Para *E. crassipes*, utilizou-se um indivíduo (massa aproximada igual a 100 g) por recipiente, com área superficial de 0,0154 m<sup>2</sup> (Figura 1).

Em cada um dos recipientes foram adicionados 2 L de solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), com um quarto da força iônica original e pH entre 6,0 e 6,5 (Tabela 1). Os experimentos foram acondicionados em estante metálica, com quatro prateleiras de largura aproximada de 1,5 m e altura de 2,0 m, em sala de crescimento com temperatura e luminosidade controladas (24±2°C), sob luminosidade média de 3.000 lux com fotoperíodo de 16 horas de claro e 8 horas de escuro, com 10 lâmpadas fluorescentes tubulares de 10 W por prateleira. A *Salvinia* sp foi submetida por três dias às condições experimentais antes da aplicação do herbicida, enquanto a *E. crassipes* estabilizou-se durante seis dias devido ao maior estresse causado pelo envelhecimento de raiz.

Utilizou-se solução nutriente e condições controladas para garantir que todo o efeito negativo fosse em decorrência da ação do herbicida,



Figura 1 - Recipientes teste, *Salvinia* sp (A) e *E. crassipes* (B).

Tabela 1 - Composição da solução nutritiva de Hoagland e Arnon original.

Reagentes	Solução estoque (g.L <sup>-1</sup> )	Solução nutritiva original (mL a pipetar por L)
Dihidrogenofosfato de potássio - KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136,1	1
Nitrato de potássio - KNO <sub>3</sub>	101,1	5
Nitrato de cálcio - Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	236,2	5
Sulfato de magnésio - MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	246,5	2
Ácido etilenodiamino tetra-acético férrico - Fe-EDTA	5% de Fe	1
Ácido bórico - H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2,86	1
Cloreto de manganês - MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	1,81	1
Sulfato de zinco - ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,22	1
Sulfato de cobre - CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0,08	1
Ácido molibdico - H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	0,02	1

minimizando-se, assim, a possibilidade de potencialização do efeito por decorrência de infecções paralelas.

Após o período de adaptação, os indivíduos selecionados para o experimento foram divididos aleatoriamente em parcelas da seguinte forma: grupo controle (experimento I) e mais cinco grupos (experimentos II, III, IV, V e VI), todos em triplicata para cada uma das espécies estudadas (Tabela 2).

Realizou-se aplicação única da formulação comercial Roundup Original®, utilizando-se aspersor manual, em concentrações determinadas pela área superficial. A formulação testada possuía concentração de 36% (m.v<sup>-1</sup>) de glifosato.”

Os experimentos foram mantidos e monitorados por 20 dias. Completou-se o volume dos recipientes com água deionizada a cada dois dias, a fim de compensar a perda de volume de água por absorção, transpiração e evaporação.

### Avaliação do efeito do glifosato sobre as macrófitas

A cada cinco dias, a suscetibilidade das plantas ao herbicida foi avaliada, ou seja, a sua eficácia, de forma visual e qualitativa, adotando-se a escala ALAM, criada pela Associação Latino-Americana de Malezas (ALAM, 1974). Realizaram-se registros fotográficos e análise dos sintomas tóxicos (Tabela 3).

Com os resultados de massa fresca obtidos no início e no final dos experimentos, foi calculada a porcentagem de ganho ou de perda de massa, para cada réplica, e apresentada a média por experimento. Com a Equação 1 foi calculado o coeficiente de massa, para o qual os resultados variaram de zero a cem, apresentando valores positivos para ganho de massa e, conseqüentemente, baixo efeito de ação do herbicida e valores negativos para perda de massa, que reflete o maior efeito de ação do herbicida.

$$C = \left( \frac{MF}{MI} + 100 \right) - 100 \tag{1}$$

Em que:

C = coeficiente de massa (%);

MF = massa final (g);

MI = massa inicial (g).

Calculou-se, ainda, o índice de tolerância (IT), proposto por Nautiyal, Rachaputi e Joshi (2002), para comparar o desempenho dos experimentos com o controle, utilizando-se a massa fresca obtida ao final do experimento (Equação 2). O resultado encontra-se na faixa de zero a um, ou seja, quanto maior o índice, menor a eficiência do tratamento, evidenciada por perdas de massa.

$$IT = \frac{\text{massa fresca do experimento}}{\text{massa fresca do controle}} \tag{2}$$

Para interpretação dos resultados qualitativos e semiquantitativos e identificação da concentração de melhor efeito, foram realizados testes estatísticos para a avaliação da significância entre grupos independentes. Utilizou-se o Kruskal-Wallis, teste não paramétrico, devido ao reduzido número amostral de cada grupo comparado. Foram testadas as diferenças de efeito após os 20 dias de exposição e a diferença da

**Tabela 3 - Escala ALAM, utilizada para avaliação da eficácia de controle de plantas daninhas.**

Classe de porcentagem (%)	Nota e conceito de controle
0 a 40	1 - Nenhum a pobre
41 a 60	2 - Regular
61 a 70	3 - Suficiente
71 a 80	4 - Bom
81 a 90	5 - Muito bom
91 a 100	6 - Excelente

**Tabela 2 - Experimentos realizados com cada uma das espécies estudadas.**

Espécies	Experimentos (L.ha <sup>-1</sup> )	Área superficial (m <sup>2</sup> )	Formulação comercial (mL)	Glifosato (mg)
<i>Eichhornia crassipes</i>	II=6,25	0,0154	II=0,009	II=3,46
	III=12,5		III=0,019	III=6,93
	IV=25,0		IV=0,039	IV=13,86
	V=50,0		V=0,077	V=27,72
	VI=100,0		VI=0,154	VI=55,44
<i>Salvinia sp</i>	II=6,25	0,0471	II=0,029	II=10,60
	III=12,5		III=0,058	III=21,20
	IV=25,0		IV=0,118	IV=42,39
	V=50,0		V=0,236	V=84,78
	VI=100,0		VI=0,471	VI=169,56

massa final entre os 6 experimentos realizados com diferentes concentrações. O teste de Mann-Whitney foi utilizado para comparação entre dois grupos independentes, massa fresca inicial e final.

### Avaliação de rebrota e efeito residual do glifosato sobre as macrófitas

Em última etapa, realizou-se outro experimento montando 4 aquários de vidro com capacidade de 50 L e área superficial de 0,18 m<sup>2</sup>. Dois deles receberam *E. crassipes* e os outros dois, *Salvinia* sp. Um aquário de cada espécie recebeu a aplicação de Roundup Original® em concentração de 100 L.ha<sup>-1</sup>, enquanto o outro serviu de controle. Os experimentos ficaram sob observação por 20 dias e a partir de então iniciou-se a avaliação de rebrota e do efeito residual do glifosato sobre as macrófitas. As plantas foram trocadas entre os aquários: as plantas dos experimentos onde ocorreu aplicação do glifosato foram transferidas para os aquários controle e as plantas dos aquários controle foram transferidas para os aquários teste. Com isso, foi possível observar simultaneamente a possibilidade de rebrota das plantas afetadas após transferência para o aquário com água sem herbicida e o efeito do resíduo de glifosato dos aquários teste sobre as plantas controle.

Os aquários passaram por avaliação visual e fotográfica a cada 5 dias durante o período total de 30 dias.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A única concentração testada com efeito satisfatório para as duas espécies avaliadas foi a de 100 L.ha<sup>-1</sup>, sendo elevada, quando comparada com outros trabalhos publicados.

Os resultados encontrados na literatura são variáveis, com concentrações de aplicação variando entre 8 e 10 L.ha<sup>-1</sup> e período de exposição de 7 a 45 dias, para diferentes formulações comerciais do glifosato. A mesma concentração de 8 L.ha<sup>-1</sup>, para *E. crassipes*, chega a ser apresentada como sem efeito por Luna *et al.* (2010) e com efeito total por

Olaleye e Akinjemiju (1996). Cruz *et al.* (2015a) observaram 100% de efeito após 45 dias de observação para a concentração de 10 L.ha<sup>-1</sup>. Foloni e Pitelli (2005) e Cruz *et al.* (2012) relatam dificuldade de ação sobre a *Salvinia* sp, chegando a apresentar efeito a partir de 10 L.ha<sup>-1</sup> em maior período de observação, iniciando efeito em 21 até 45 dias.

Autores como Daam, Van den Brink e Nogueira (2009) relatam que temperaturas elevadas têm acelerado a decomposição de herbicidas, assim como altos níveis de nutrientes. Dessa forma, os autores consideram que condições tropicais tendem a elevar a dose de resposta, sendo assim, as condições abióticas dos testes são fundamentais para o efeito resposta. Os experimentos de Cruz *et al.* (2012; 2015A; 2015B) ocorreram em temperatura de aproximadamente 25°C, no entanto tiveram maior tempo de duração.

Neste experimento, a concentração de efeito para *Salvinia* sp foi considerada superior a “bom” a partir do décimo quinto dia, na concentração de 100 L.ha<sup>-1</sup>, e ao vigésimo dia na concentração de 50 L.ha<sup>-1</sup>, e apenas a maior concentração estudada apresentou efeito classificado como “excelente” (Figura 2). Para tal espécie, a análise estatística dos resultados evidenciou diferença significativa apenas entre as condições de concentração igual a 100 L.ha<sup>-1</sup> e o experimento controle. No entanto, essa diferença tornou-se evidente no décimo dia, atingindo um valor *p* igual a 0,009 ao vigésimo dia de experimentação (Figura 3).

Para *E. crassipes*, apenas a concentração de 100 L.ha<sup>-1</sup> foi superior a “bom”, chegando à classificação “excelente” no vigésimo dia (Figura 2). Nesse caso, a análise estatística dos resultados de efeito também apresentou diferença significativa entre o controle e o teste com concentração de 100 L.ha<sup>-1</sup> no vigésimo dia de exposição, com *p*=0,015 (Figura 3).

Dessa forma, ao comparar o efeito da concentração 100 L.ha<sup>-1</sup> para as duas espécies, é possível observar efeito mais rápido em *Salvinia* sp, porém há semelhança no padrão de efeito, o que permite a padronização da mesma concentração para as duas espécies.

De modo geral, os efeitos observados ao longo dos 20 dias de experimento foram a interrupção do crescimento em todas as concentrações

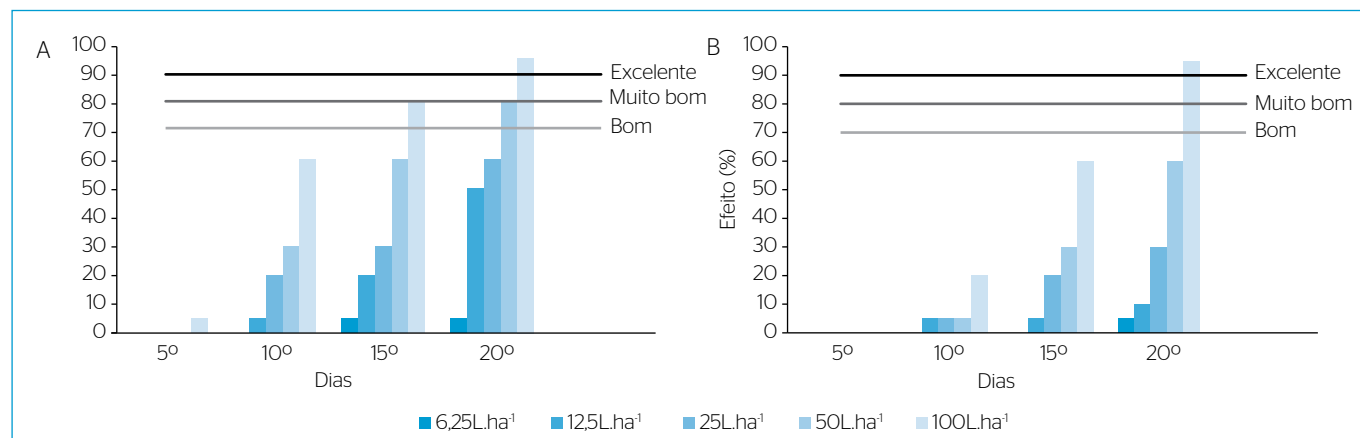


Figura 2 - Avaliação do efeito de glifosato em *Salvinia* sp (A) e *E. crassipes* (B) ao longo de 20 dias.



teste, seguida de clorose, necrose e degeneração tecidual para as duas espécies avaliadas (Figura 4).

Os cálculos do coeficiente de massa (C) e do IT foram realizados para a avaliação semiquantitativa do efeito de aplicação do herbicida sobre as macrófitas. Os resultados obtidos encontram-se na Figura 5.

De modo geral, os resultados de C evidenciam a redução de massa final dos experimentos, quando comparados com a condição inicial nos experimentos com concentrações de 50 e 100 L.ha<sup>-1</sup>, fato mais evidente para indivíduos de *Salvinia* sp. Os resultados de IT corroboram tais observações, uma vez que, em tais condições, os experimentos apresentaram menores massas, comparados aos experimentos controle.

Testes estatísticos de Mann-Whitney, utilizados para comparar a massa fresca inicial e a final, apresentaram resultados de valor p superiores a 0,05 para todas as condições experimentais em que as duas espécies foram submetidas, indicativo de que não existem diferenças

significativas entre tais grupos. Ao comparar dados de massa fresca final obtidos entre os diferentes experimentos, partindo do pressuposto que a massa inicial de todos era muito similar, evidenciou-se, para *Salvinia* sp e *E. crassipes*, diferenças significativas apenas entre o controle e a condição de concentração igual a 100 L.ha<sup>-1</sup>, sendo obtidos valores p iguais a 0,23 e 0,33, respectivamente (Figura 6).

A perda de massa é minimizada em *E. crassipes*, provavelmente devido à predominância de aerênquima e tecido fibroso, que sofrem menos perda de massa. Mesmo para *Salvinia* sp, observou-se redução de massa não expressiva, inferior a 50%, devido ao tempo de exposição e à finalização dos experimentos, já que o efeito foi classificado como “bom” após o décimo quinto dia e até a finalização do experimento não houve tempo suficiente para a decomposição do tecido vegetal.

Nos experimentos para avaliação de rebrota e efeito residual, após os 20 dias de exposição foi observado efeito superior em

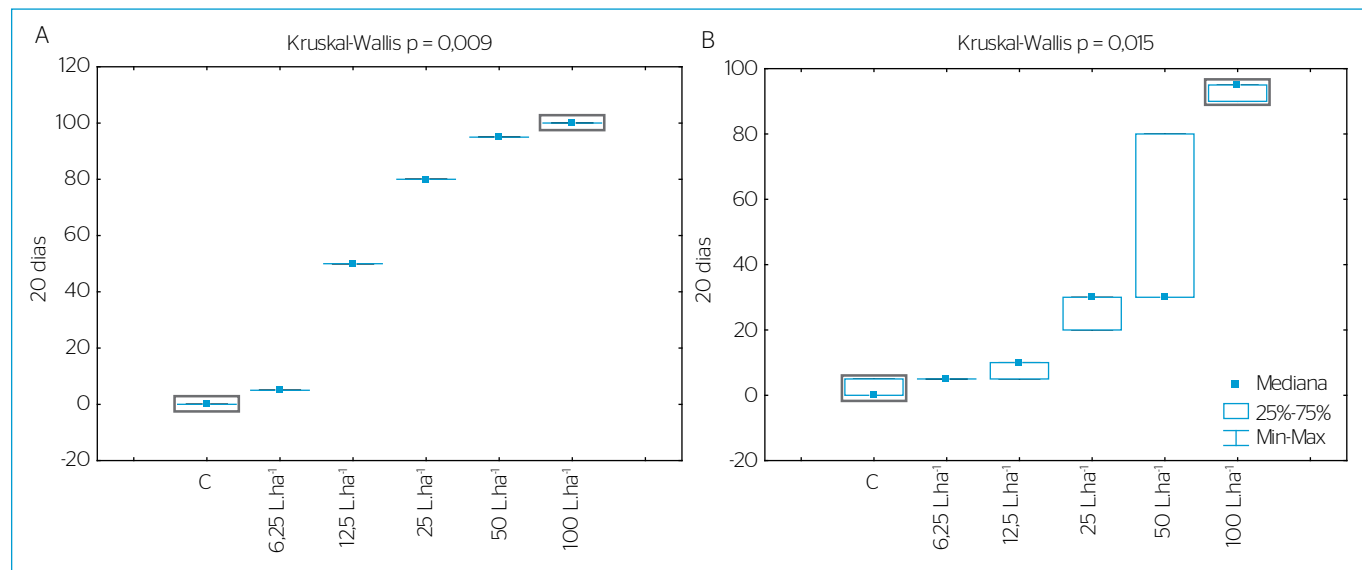


Figura 3 - Boxplot e Kruskal-Wallis comparando o efeito no vigésimo dia de exposição para *Salvinia* sp (A) e *E. crassipes* (B).

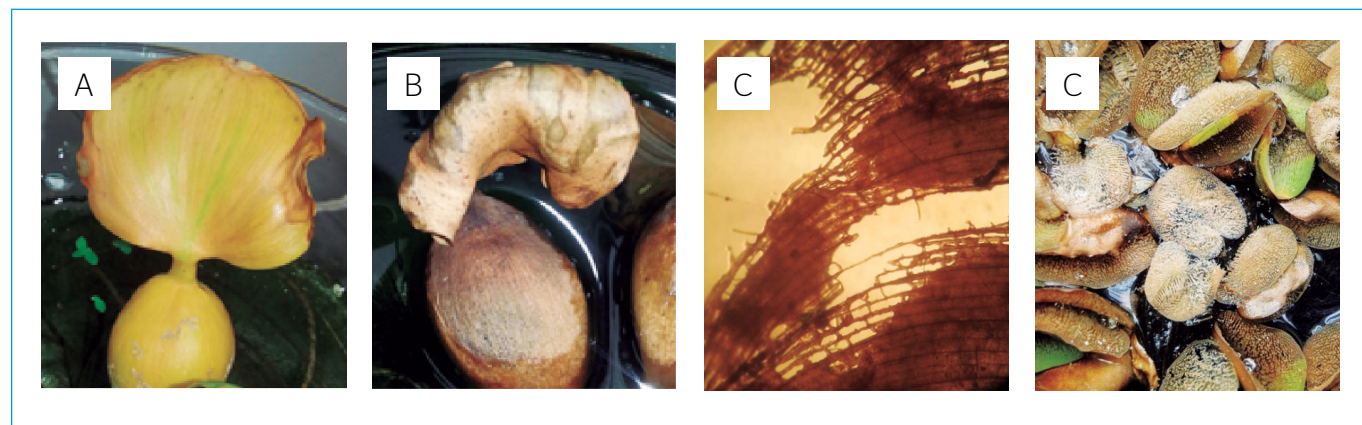


Figura 4 - Efeitos observados: clorose (A), necrose (B) e degradação tecidual (C).

90% das macrófitas dos aquários onde o herbicida foi aplicado, enquanto os organismos dos aquários controle mativeram seu crescimento normal.

Após a troca dos organismos de aquário, não se evidenciou possibilidade de rebrota durante os 30 dias de avaliação. Essa conclusão foi tomada considerando-se a avaliação visual e as medidas de oxigênio dissolvido, que se mantiveram inalteradas nos dois aquários, para as duas espécies, iguais a  $3 \text{ mg.L}^{-1}$ .

Já o efeito residual aconteceu de forma sutil, sendo evidenciadas áreas de necrose em indivíduos da *Salvinia* sp e clorose e perda de turgência na *E. crassipes* após o vigésimo dia, chegando a um efeito visual próximo a 30% após os 30 dias de observação.

## CONCLUSÕES

Os estudos mostram que as macrófitas podem ser eficientemente controladas com herbicidas à base de glifosato, no entanto a concentração de trabalho é elevada, necessitando cuidados com os trabalhadores que irão manipular o produto, devendo utilizar todos os equipamentos de proteção individual necessários, uma vez que ainda não se tem certeza sobre os efeitos do glifosato para os seres humanos em longo prazo.

A concentração de  $100 \text{ L.ha}^{-1}$  foi a única com efeito significativo em relação ao controle, apresentando boa eficiência em aplicação única entre 15 e 20 dias, de acordo com a espécie alvo. A possibilidade de reduzir a dose de aplicação pode ser avaliada, considerando que poderá levar mais tempo para atingir o efeito esperado. O efeito em dose elevada

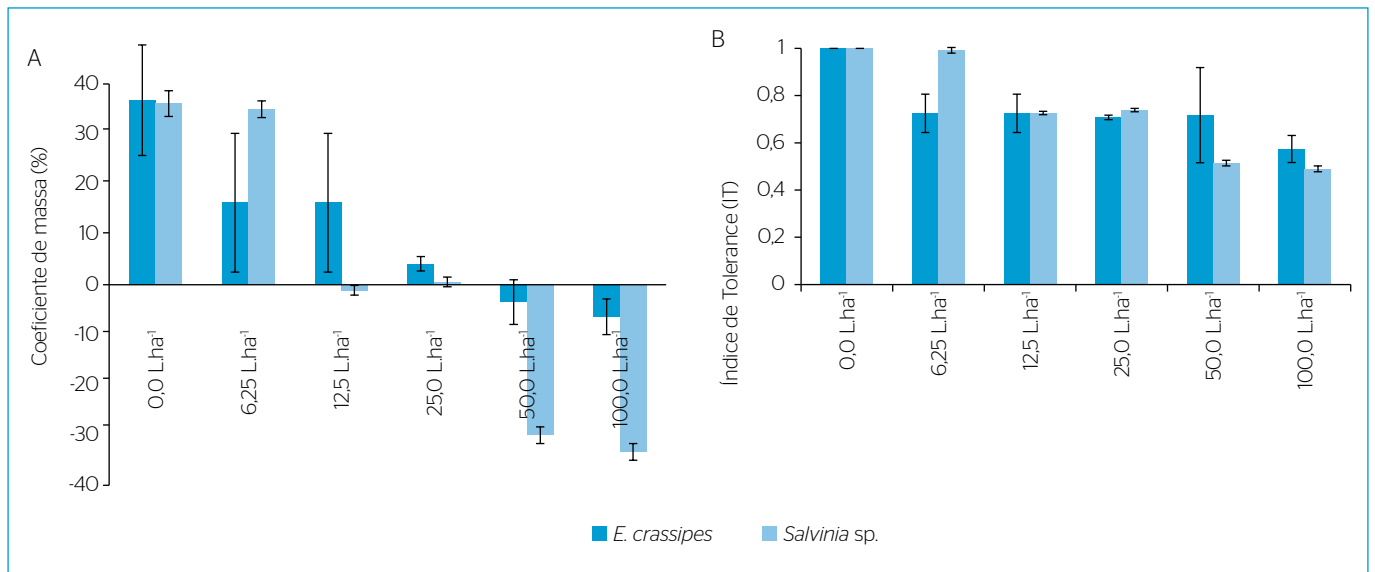


Figura 5 - Coeficiente de massa entre o início e fim do experimento (A) e índice de tolerância (B).

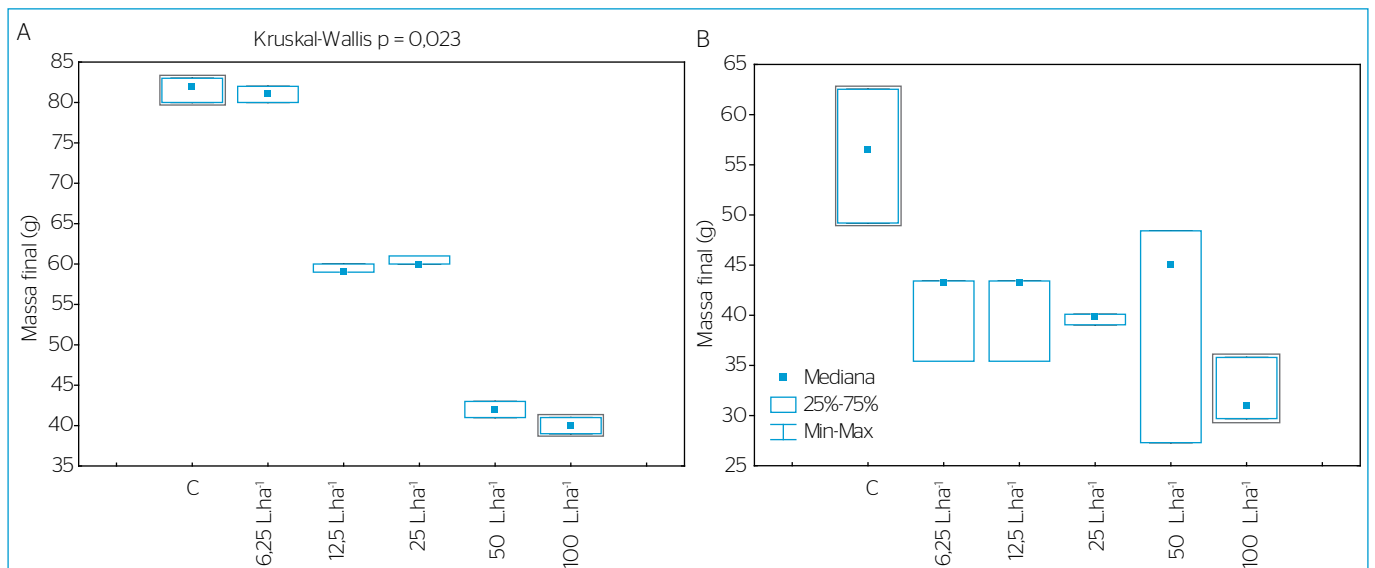


Figura 6 - Boxplot e Kruska-Wallis comparando a massa fresca final dos experimentos: *Salvinia* sp (A) e *E. crassipes* (B).

pode ser em decorrência das condições ideais de cultivo aplicadas nos testes, utilizando solução nutriente e temperatura relativamente elevada, sendo que quanto maior a temperatura, menor o efeito do glifosato.

O efeito do glifosato pode variar em decorrência não só das características da água e da temperatura ambiente, mas também das características da aspersão, como deriva e tamanho da gota. O período de observação também é crítico, uma vez que é muito comum que substâncias tóxicas causem efeito de hormese quando utilizadas em pequena quantidade, pois o organismo eleva suas sínteses proteicas para defesa, o que acaba levando a um crescimento inicial, que pode causar a impressão de ausência de efeito, que então será observado após mais tempo da aplicação.

Experimentos com aplicação da dose de 100 L.ha<sup>-1</sup> mostraram que essa concentração, considerando 30 dias de observação, inibe a

rebrotas das macrófitas e continua a agir, com baixo efeito residual, sobre os organismos vegetais que venham a se estabelecer no ambiente após tal aplicação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Inovação e Tecnologia SENAI FIEMG, ao Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG, a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (Fapemig), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por ter apoiado e viabilizado esta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE MALEZAS (ALAM). (1974) Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. *ALAM*, Bogotá, v. 1, n. 1, p. 35-38.
- BAIRD, C.; CANN, M. (2011) *Química ambiental*. Tradução de Marco Tadeu Grassi et al. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman. 844 p.
- BRASIL. (2015) Resolução CONAMA nº 467, de 16 de julho de 2015. Dispõe sobre critérios para a 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. *Diário Oficial da União*.
- CRUZ, C.; NADER-NETO, A.; GIRIO, A.C.F.; PITELLI, R.A. (2012) Eficácia do glyphosate no controle de macrófitas flutuantes e efeitos sobre organismos bioindicadores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS NA ERA DA BIOTECNOLOGIA, 28., Campo Grande. *Anais...* Campo Grande: SBCPD.
- CRUZ, C.; SILVA, A.F.; LUNA, L.V.; YAMAUCHI, A.K.F.; GARLICH, N.; PITELLI, R.A. (2015a) Glyphosate Effectiveness in the control of macrophytes under a Greenhouse Condition. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 241-247. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-83582015000200009>
- CRUZ, C.; SILVA, A.F.; SHIOGIRI, N.S.; GARLICH, N.; PITELLI, R.A. (2015b) Imazapyr Herbicide Efficacy on Floating Macrophyte Control and Ecotoxicology for Non-Target Organisms. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 103-108. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582015000100012>
- DAAM, M.A.; VAN DEN BRINK, P.J.; NOGUEIRA, A.J.A. (2009) Comparison of fate and ecological effects of the herbicide linuron in freshwater model ecosystems between tropical and temperate regions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 72, n. 2, p. 424-433. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.07.008>
- DIMITRAKOPOULOS, I.K.; THOMAIDIS, N.S.; MEGOULAS, N.C.; KOUPPARIS, M.A. (2010) Effect of suppressor current intensity on the determination of glyphosate and aminomethylphosphonic acid by suppressed conductivity ion chromatography. *Journal of Chromatography A*, v. 1217, n. 22, p. 3619-3627. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2010.03.048>
- ESTEVES, F. de A. (1998) *Fundamentos de Limnologia*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência. 602 p.
- FOLONI, L.L.; PITELLI, R.A. (2005) Avaliação da sensibilidade de diversas espécies de plantas daninhas aquáticas ao carfentrazone-ethyl, em ambiente controlado. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 329-334. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582005000200021>
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. (1950) *The water culture method for growing plants without soils*. Berkeley: California Agricultural Experimental Station. 347 p.
- LUNA, L.A.V.; CARRASCHI, S.P.; CUBO, P.; NADER-NETO, A.; SCHIAVETTI, B.L.; PANCELLI, M.L.; GIRIO, A.C.F.; CRUZ, C.; PITELLI, R.A. (2010) Efeitos da aplicação de glifosato para o controle de macrófitas sobre a qualidade da água e a comunidade perifítica em condições de mesocosmos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., Ribeirão Preto. *Anais...*



MEANS, N.E.; KREMER, R.J.; RAMSIER, C. (2007) Effects of glyphosate and foliar amendments on activity of microorganisms in the soybean rhizosphere. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, v. 42, n. 1, p. 125-132. <https://doi.org/10.1080/O3601230601123227>

NAUTIYAL, P.C.; RACHAPUTI, N.R.; JOSHI, Y.C. (2002) Moisture-deficit-induced changes in leaf water content, leaf carbon Exchange rate and biomass productions in groundnut cultivars differing in specific leaf area. *Field Crops Research*, v. 74, n. 1, p. 67-79. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00199-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00199-X)

OLALEYE, V.F.; AKINYEMIJU, O.A. (1996) Effect of a Glyphosate (N-Phosphonomethyl) glycine) Application to control *Eichhornia crassipes* Mart. on Fish Composition and Abundance in Abiala Creek, Niger Delta, Nigeria. *Journal of Environmental Management*, v. 47, n. 2, p. 115-122. <http://dx.doi.org/10.1006/jema.1996.0040>

PIETERSE, A.H.; MURPHY, K.J. (1990) *Aquatic Weeds. The Ecology and management of Nuisance Aquatic Vegetation*. Oxford: Oxford Science Publications.

SHIOGIRI, N.S.; CARRASCHI, S.P.; CUBO, P.; SCHIAVETTI, B.L.; CRUZ, C.; PITELLI, R.A. (2010) Ecotoxicity of glyphosate

and aterbane® br surfactant on guaru (*Phalloceros caudimaculatus*). *Acta Scientiarum Biological Sciences*, Maringá, v. 32, n. 3, p. 285-289. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciobiolsci.v32i3.6795>

THOMAZ, S.M. (2002) Fatores ecológicos associados à colonização e ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas e desafios de manejo. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 20, n. spe, p. 21-33. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582002000400003>

THOMAZ, S.M.; BINI, L.M. (2003) *Ecologia e manejo de macrófitas aquática*. Maringá: EDUEM. 341 p.

TRINDADE, C.R.T.; PEREIRA, S.A.; ALBERTONI, E.F.; PALMA-SILVA, C. (2010) Caracterização e importância das macrófitas aquáticas com ênfase nos ambientes limnicos do campus carreiros - FURG, Rio Grande, RS. *Caderno de Ecologia Aquática*, v. 5, n. 2, p. 1-22.

TSUI, M.T.K.; WANG, W.X.; CHU, L.M. (2005) Influence of glyphosate and its formulation (Roundup®) on the toxicity and bioavailability of metals to *Ceriodaphnia dubia*. *Environmental Pollution*, v. 138, n. 1, p. 59-68. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.02.018>