

Análises Fisiológicas de *Genipa americana* L. (Rubiaceae), Quando Exposta A Diferentes Concentrações de Glifosato

Physiological Analysis of *Genipa americana* L. (Rubiaceae), When Exposed to Different Glyphosate Concentrations

Kellen Lagares Ferreira Silva^{a*}; Ana Beatriz Nunes Ribeiro^a; Any Karoline Cardoso de Moraes^a; Fernando Mendonça Cardoso^a; Flávia Barreira Gonçalves^b; João Francisco Severo Santos^a; Lícia Priscila Nogueira Azevedo^a; Mariana de Souza Borges^a; Vanessa Ribeiro de Sousa Santos^a; Rita de Cassia Batista Silva Turibio^a; Eduardo Andrea Lemus Erasmo^b

^aUniversidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciências do Ambiente. TO, Brasil.

^bUniversidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Produção Vegetal. TO, Brasil.

*E-mail: lagares@uft.edu.br

Resumo

Considerado como a última fronteira agrícola do Brasil, o domínio Cerrado, um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade, sofre com a pressão exercida pelo agronegócio. Entre as ameaças está o uso de agrotóxicos, que chega a regiões não alvo através da deriva, como as áreas nativas. Entre as espécies atingidas está a *Genipa americana* L., sendo essa uma espécie nativa, com características medicinais e de relevante interesse comercial. Objetivou-se caracterizar os parâmetros fisiológicos da *G. americana*, quando exposta a diferentes concentrações de glifosato, visando identificar a sensibilidade da espécie ao herbicida. A simulação da deriva foi realizada aplicando-se o herbicida glifosato nas doses 0 (controle), 25, 100, 200, 400 e 800 g i.a.h⁻¹. Para avaliação das trocas gasosas foram realizadas quatro medições, 2º, 5º, 11º e 14º dias após a aplicação (DAA) do herbicida. Os parâmetros fisiológicos avaliados foram: taxa fotossintética (*A*), transpiratória (*E*), condutância estomática (*gs*), relação entre a concentração interna e externa de CO₂ (*Ci/Ca*), eficiência instantânea de carboxilação (*A/Ci*), o conteúdo de pigmentos cloroplastídicos e a permeabilidade de membranas. Os parâmetros de trocas gasosas em *G. americana* apresentaram efeitos negativos e progressivos, conforme o aumento das doses do herbicida glifosato. Foi possível observar uma diminuição em *gs*, *A*, *E*, *Ci/Ca* e *A/Ci*, no primeiro dia de avaliação, nas doses 400 e 800 g i.a ha⁻¹ em relação ao controle. O conteúdo de pigmentos cloroplastídicos e a permeabilidade de membranas não foram significativos e não são bons parâmetros para efeitos fitotóxicos de glifosato em *G. americana*.

Palavras-chave: Herbicida. Jenipapo. Trocas Gasosas.

Abstract

Considered as the last agricultural frontier in Brazil, the Cerrado domain, one of the world's biodiversity hotspots, suffers from the pressure exerted by agribusiness. Among the threats is the use of pesticides, which reach non-target regions through drift, such as native areas. Among the affected specie is the *Genipa americana* L., a native species, with medicinal characteristics and relevant commercial interest. The objective was to characterize the physiological parameters of *G. americana*, when exposed to different concentrations of glyphosate, in order to identify the species' sensitivity to the herbicide. Drift simulation was performed by applying the herbicide glyphosate at doses 0 (control), 25, 100, 200, 400 and 800 g a.i.h⁻¹. To assess gas exchange, four measurements were performed, 2nd, 5th, 11th and 14th days after the application (AAH) of the herbicide. The physiological parameters evaluated were: photosynthetic rate (*A*), transpiration (*E*), stomatal conductance (*gs*), relationship between internal and external CO₂ concentration (*Ci/Ca*), instantaneous carboxylation efficiency (*A/Ci*), content of chloroplast pigments and the permeability of membranes. The gas exchange parameters in *Genipa americana* showed negative and progressive effects, as the doses of the herbicide glyphosate increased. It was possible to observe a decrease in *gs*, *A*, *E*, *Ci/Ca* and *A/Ci*, on the first day of evaluation, at doses 400 and 800 g ai ha⁻¹ compared to the control. The chloroplast pigment content and membrane permeability were not significant and are not good parameters for phytotoxic effects of glyphosate on *G. americana*.

Keywords: Herbicide. Jenipapo. Gas Exchange

1 Introdução

Com a expansão da fronteira agrícola do Cerrado, houve considerável aumento do desmatamento, impulsionado pelo crescimento do setor agropecuário, especialmente, dos sistemas de monocultivo em grandes extensões, o que constitui em uma das principais ameaças a biodiversidade desse sistema (GOMES, 2019).

Entre os principais impactos relacionados ao avanço do agronegócio no Cerrado, destaca-se o uso de produtos químicos, como fertilizantes e agrotóxicos que têm como objetivo maximizar a produção e proteger o cultivo (DUTRA; SANTOS *et al.*, 2020).

Porém, o uso desordenado dos agrotóxicos, nas mais diversas condições ambientais, acarreta uma série de transtornos e modificações nos ecossistemas (ARAÚJO; SILVA, 2020; ARAÚJO; SILVA 2021; FRANÇA *et al.*, 2016). Entre os efeitos indesejáveis se destaca a contaminação de espécies não alvos, entre as quais se incluem as espécies florestais nativas (PEREIRA *et al.*, 2015). O que pode acontecer por meio da deriva, por exemplo, pois neste caso, as partículas dos herbicidas se movem, ou seja, as gotículas de água emitidas do solo ou pulverizador aéreo são transportadas pelo vento (DUPONT; STRANDBERG; DAMGAARD, 2018; LUCADAMO; CORAPI; GALLO,

2018).

Entre os defensivos mais utilizados está o glifosato (N-fosfonometil glicina), um herbicida de amplo espectro, não seletivo, empregado na agricultura em todo o mundo, pois possui alta eficiência (ZHAN *et al.*, 2018). Com a deriva ou desvio durante ou após as pulverizações desse herbicida, as plantas de bordadura aos campos agrícolas, entre essas as espécies florestais nativas (ARAÚJO; SILVA, 2021; CRUZ *et al.*, 2021; PEREIRA *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2021) ficam expostas e podem sofrer diversas consequências (FLORENCIA *et al.*, 2017; REZENDE-SILVA *et al.*, 2019).

Entre os efeitos ocasionados pelos herbicidas em culturas não alvo estão respostas fisiológicas negativas, interferências nas vias metabólicas e até efeitos deletérios. Freitas-Silva *et al.* (2021), aplicando glifosato em *Zeyheria tuberculosa*, observaram o efeito fitotóxico do herbicida e alterações bioquímicas, anatômicas e morfológicas na espécie. Em outro estudo, Freitas-Silva *et al.* (2020) expuseram *Handroanthus chrysotricus* e *Garcinia gardneriana*, a doses do glifosato e notaram diminuição nos valores de assimilação líquida, condutância estomática e transpiração na primeira espécie e danos anatômicos e ultraestruturais em ambas as espécies florestais.

Diante deste cenário se torna relevante investigar respostas de espécies nativas, após serem expostas à herbicidas e este trabalho propôs investigar estas respostas em *Genipa americana* L.. Essa é uma espécie nativa, conhecida como jenipapo, pertencente à família Rubiaceae e de ocorrência em todo o território nacional, nas mais diversas formações florestais e na América tropical, em geral. É uma espécie de porte arbóreo, que pode medir até 15 metros de altura e até 40 cm de diâmetro. Possui folhas obovadas amplas e estipuladas, flores grandes e bagas globosas (RIZZINI, 1977). Possui relevante interesse comercial e econômico, por sua característica madeireira e alimentícia, em função da polpa adocicada de seu fruto de casca mole e amarelada. Sendo também utilizada no reflorestamento e recuperação de áreas degradadas (MESQUITA *et al.*, 2011).

Diante disso, objetivou-se caracterizar os parâmetros fisiológicos da *G. americana*, quando expostas a diferentes concentrações de glifosato, visando identificar respostas fisiológicas da espécie ao herbicida.

2 Material e Métodos

As mudas da espécie *G. americana* foram doadas, com idade de aproximadamente 1 ano, contendo de 4 a 6 folhas totalmente expandidas e com tamanho médio de 20cm cada folha. A semeadura de *G. americana* foi realizada em sacos plásticos de 20 x30cm contendo solo de Cerrado, alocadas em um viveiro municipal, sob sombreamento de 50% e irrigadas uma vez ao dia. Durante o período em que essas mudas permaneceram no viveiro, receberam solução

nutritiva NPK 4-14-8 para prevenir possíveis deficiências nutricionais e aos seis meses, receberam uma aplicação de inseticida do tipo Evidence 700 WG com diluição de 10g por 100 L de água para combate de *Cochonilha Orthezia*.

Com aproximadamente um ano, as mudas foram transplantadas para vasos com capacidade para 14,0 litros (0,0616 m²) de solo, para o melhor desenvolvimento da espécie e levadas ao viveiro institucional (UFT), no qual passaram por período de aclimação de 30 dias. Para eliminar os efeitos externos na condução do experimento, as plantas foram selecionadas quanto à uniformidade de tamanho (com altura média de 30 cm) e vigor para aplicação dos tratamentos. A irrigação foi realizada de acordo com a exigência das plantas, de maneira que não ocorresse excesso ou déficit hídrico.

O delineamento experimental utilizado foi realizado em blocos casualizados 6 x 5, sendo seis, as doses (0 (controle), 25, 100, 200, 400 e 800 g i.a.h⁻¹) do herbicida Roundup Original® (sal de isopropilamina de glifosato com 48 % de ingrediente ativo) e; cinco, o número de repetições. As plantas foram expostas ao glifosato, a partir da aplicação com um pulverizador costal elétrico, munido de barra contendo um bico com ponta de pulverização do tipo leque TT 110.02, com volume de calda de 200 L ha⁻¹. A pulverização do glifosato ocorreu no início da manhã, fora do viveiro. Após a aplicação do herbicida nas plantas, essas foram mantidas no local por, aproximadamente, uma hora para secagem do produto e, posteriormente, foram acondicionadas aleatoriamente no viveiro, conforme o delineamento experimental.

Para avaliação das trocas gasosas foram realizadas cinco medições no 2º, 5º, 8º, 11º e 14º dia, após a aplicação (DAA) do herbicida, em folha completamente expandida, no terço médio das plantas, em todas as repetições. Para estas avaliações foi utilizado o analisador portátil de gás infravermelho (IRGA, modelo LI- 6400 XT, LI-COR, inc. Lincoln, NE, EUA), com uma fonte luminosa fixa em 1000 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ de intensidade de radiação fotossinteticamente ativa (PAR). As medições foram realizadas entre as 08:00 e 10:00 horas.

As mensurações foram feitas sob concentração de CO₂ (380-400 ppm), temperatura (32±1,2 °C) e vapor de H₂O (50% a 60%) do ambiente do local de estudo, sendo o ar de referência homogeneizado em um galão de 10L antes de alcançar a câmara foliar.

As variáveis avaliadas foram: condutância estomática (*gs*, mol H₂O m⁻² s⁻¹), carbono interno (*Ci*, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa fotossintética (*A*, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa transpiratória (*E*, mmol H₂O m⁻² s⁻¹), relação entre a concentração interna (*Ci*), externa (*Ca*) de CO₂ (*Ci/Ca*). A partir destes dados, foi possível realizar a quantificação da eficiência da carboxilação (*EiC*) (MELO *et al.* 2009).

O conteúdo de pigmentos cloroplastídicos foi

determinado por meio da extração com dimetilsulfóxido (DMSO), mediante ajustes da metodologia descrita por Wellburn (1994) e Moura et al. (2018). A permeabilidade de membranas foi determinada por meio da Taxa de Liberação de Eletrólitos (TLE), segundo adaptação da metodologia descrita por Vasquez-Tello *et al.* (1989) e Pimentel *et al.* (2002).

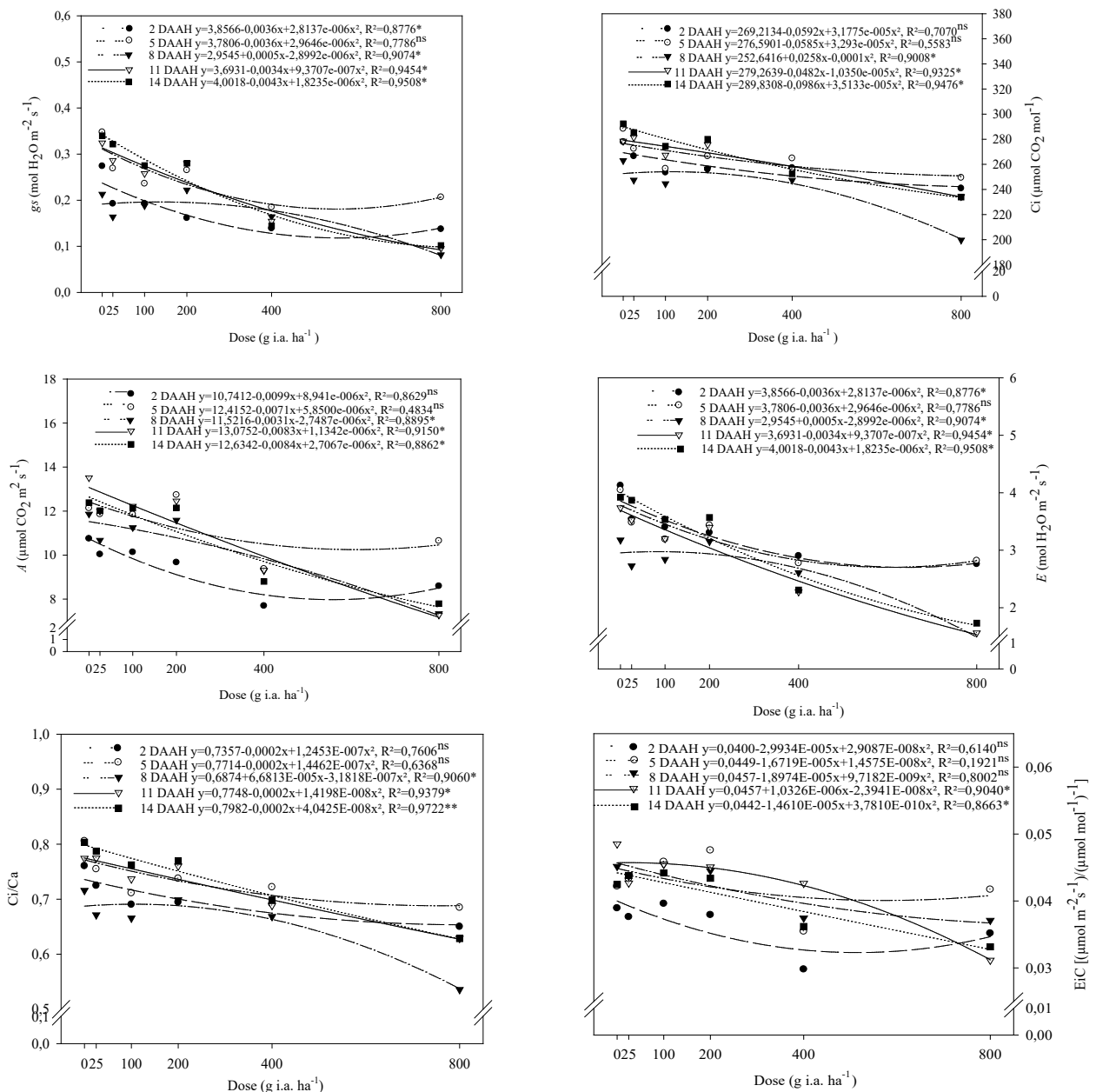
Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) seguida da análise de regressão, em função das doses do herbicida glifosato. As análises estatísticas foram realizadas no software Sisvar 5,6 e para a plotagem dos gráficos foi utilizado o software SigmaPlot 10.0.

3 Resultados e Discussão

3.1 Trocas gasosas

As variáveis fisiológicas analisadas em *G. americana* apresentaram resposta polinomial quadrática, com ajustes (R^2) variando entre 0,1921 e 0,9722. Verificando-se que, conforme o aumento das doses do herbicida glifosato, houve redução na condutância estomática (g_s), carbono interno (C_i), taxa fotossintética (A), taxa transpiratória (E), relação entre a concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC), desde o primeiro dia de avaliação, em relação as plantas controle (Figura 1).

Figura 1 - Condutância estomática - g_s ; carbono interno - C_i ; taxa fotossintética - A ; taxa transpiratória - E ; relação entre a concentração interna e externa de CO_2 - C_i/C_a e eficiência instantânea da carboxilação - EiC , em plantas de *Genipa americana* L. submetidas a diferentes concentrações de glifosato (0, 25, 100, 200, 400 e 800 g i.a. ha⁻¹) (ingrediente ativo - i.a.) e avaliadas em diferentes dias após a aplicação (DAA) do herbicida



Fonte: dados das pesquisas.

Arelada à redução da condutância estomática está a diminuição dos valores de concentração interna de CO_2 , da taxa fotossintética, taxa transpiratória e eficiência instantânea de carboxilação, que são variáveis diretamente ligadas com a abertura e fechamento dos estômatos. Batista *et al.* (2017), estudando *Pouteria torta* e Oliveira *et al.* (2021) ao estudar *Bowdichia virgilioides*, também relacionaram a diminuição dos valores de A , g_s e E , ao modo de ação do glifosato nas células estomáticas.

A aplicação do glifosato também diminuiu a taxa fotossintética líquida (A) das plantas em todas as doses analisadas, sendo que as reduções que mais se destacaram foram de 31,04% e 46,19% aos 11 DAA, nas doses de 400 e 800 g e.a. L^{-1} , respectivamente, em relação com plantas controle (Figura 1). Os resultados referentes à taxa de transpiração (E) da espécie exposta ao herbicida reduziram de 1,34% a 14,26% na dose de 25 g e.a. L^{-1} ; 3,98% a 11,05% na dose de 100 g e.a. L^{-1} ; 1,00% a 7,88% na dose de 200 g e.a. L^{-1} ; 17,86% a 41,17% na dose de 400 g e.a. L^{-1} e; 30,40% a 58,25% na dose de 800 g e.a. L^{-1} em comparação com plantas não expostas ao herbicida (3,17 mol $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a 4,12 mol $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Figura 1).

Essa redução pode ter sido causada em função de menor abertura estomática, sendo esse processo importante para a regulação da perda de água pela planta e para o controle da taxa de absorção de CO_2 . De acordo com Pereira *et al.* (2010), a aplicação de herbicidas inibidores de EPSPs tende a diminuir a transpiração, através da inibição de aminoácidos essenciais e desbalanceamento metabólico, o que corrobora com os resultados encontrados neste trabalho.

No presente estudo, os efeitos indiretos do herbicida podem ter provocado uma redução da assimilação líquida em *G. americana*, pois apesar do glifosato não ser um inibidor fotossintético, esse atua como inibidor da enzima 5-Enolpiruvilshikimato-3-Fosfato sintase (EPSPs), que catalisa a condensação de fosfoenolpiruvato e ácido chiquímico e isso interrompe a rota do ácido chiquímico. Esta interferência na via da EPSPs sintase provoca diferentes impactos, em diversos processos na fisiologia das plantas (GOMES *et al.*, 2017). Cruz *et al.* (2021) verificaram um acúmulo de ácido chiquímico em folhas de *E uniflora*, após exposição ao herbicida glifosato e constataram, dessa forma, esta espécie seja sensível ao glifosato.

A condutância estomática (g_s) (Figura 1), nas plantas que foram expostas as doses de 400 e de 800 g e.a. L^{-1} do glifosato, apresentaram médias menores, com redução de 49,3% e de 49,8% aos dois DAA e 57,44% e 70,04% aos 14 DAA do herbicida, respectivamente, quando comparado com as plantas controle. Santos *et al.* (2020) também observaram redução nos valores de fotossíntese, de transpiração e de condutância estomática em *Cenostigma macrophyllum*, e indicaram a atuação do glifosato nos estômatos. Isso porque, a camada de cutícula sobre as células-guarda é mais fina e, como o referido herbicida penetra na planta através da epiderme das folhas, os

estômatos são os primeiros a serem afetados pelo glifosato, apresentando sensibilidade ao efeito do glifosato.

Quanto a concentração interna de carbono (C_i), os maiores valores foram observados nas plantas controle, variando de 262,98 $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$ a 292,32 $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$, e as menores concentrações internas de carbono (C_i) nas plantas expostas ao glifosato na dose de 800 g e.a. L^{-1} , variando entre 199,68 $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$ a 249,43 $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$ (Figura 1). Segundo Yannicari *et al.* (2012), é possível que o glifosato tenha efeito direto sobre as células guarda, provocando o fechamento dos estômatos, o que corrobora com os dados encontrados no presente trabalho, pois se observou baixa concentração de carbono no mesofilo foliar.

Recentemente, foi relatado que o glifosato pode promover a descamação da cera epicuticular das folhas em *H. chrysotricus* e *G. gardneriana*, o que foi constatado por meio de análises micromorfológicas e isso pode ter obliterado os estômatos, promovendo uma diminuição de g_s (FREITAS-SILVA *et al.*, 2020). Assim, sugere-se que sejam feitas análises de micromorfologia foliar em plantas *G. americana* expostas ao glifosato, para confirmar o real motivo da interferência do glifosato nas trocas gasosas destas plantas.

Analisando a relação C_i/Ca nas plantas de *G. americana* observou-se que todos os tratamentos seguiram tendência semelhante as demais variáveis avaliadas, com valores diminuindo à medida que a dose do herbicida foi aumentada. Ao 14º DAA, os resultados da relação C_i/Ca na espécie avaliada decresceram 1,98%, 5,11%, 4,23%, 13,08% e 21,74%, nas doses de 25, 100, 200, 400 e 800 g e.a. L^{-1} do herbicida, respectivamente, em relação às plantas controle (com valores que variaram de 0,715 a 0,805 durante as avaliações) (Figura 1).

Nos valores quantificados para eficiência instantânea da carboxilação (E_iC), (Figura 1), nota-se que as plantas expostas ao herbicida foram afetadas, negativamente, com o aumento das doses do glifosato, apresentando nas maiores doses (400 e 800 g e.a. L^{-1}), reduções de 14,76% e 21,94%, em relação ao controle, aos 14 DAA do herbicida. A eficiência instantânea da carboxilação (E_iC) nas plantas controle variaram de 0,038 a 0,048 durante o período avaliado. Percebe-se que, apesar de haver o controle do ambiente no momento das leituras, ainda acontecem oscilações nas variáveis analisadas, pois além de ser uma medida pontual, ocorreu variações climáticas no dia em que foram realizadas as avaliações.

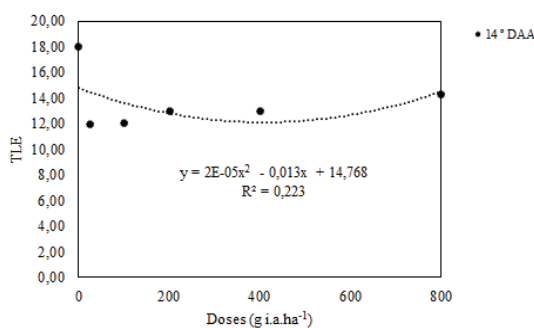
Durante as avaliações de trocas gasosas, o CO_2 externo foi controlado, inferindo-se que a redução de C_i/Ca , em *G. americana*, ocorreu em função da diminuição da concentração de CO_2 no interior da folha, visto que o consumo natural do CO_2 presente no mesofilo (C_i), diminui a relação C_i/Ca . Porém a fotossíntese foi reduzida com a exposição do glifosato e pode estar relacionada com a eficiência da rubisco (ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxygenase).

Quanto à eficiência da carboxilação (A/C_i), que representa indiretamente a atividade da rubisco, percebe-se que os

resultados quantificados são semelhantes aos encontrados por De María *et al.* (2006) que, trabalhando com *Lupinus albus*, observaram uma diminuição de aproximadamente 26% da atividade da rubisco após sete dias da aplicação de 10mM de glifosato. Mateos-Naranjo e Perez-Martin (2013) relataram que o glifosato diminui a eficiência carboxilativa de rubisco, possivelmente, por formar espécies reativas de oxigênio (AHSAN *et al.*, 2008), o que desencadeia menor eficiência do ciclo de Calvin (WATANABE *et al.*, 2013).

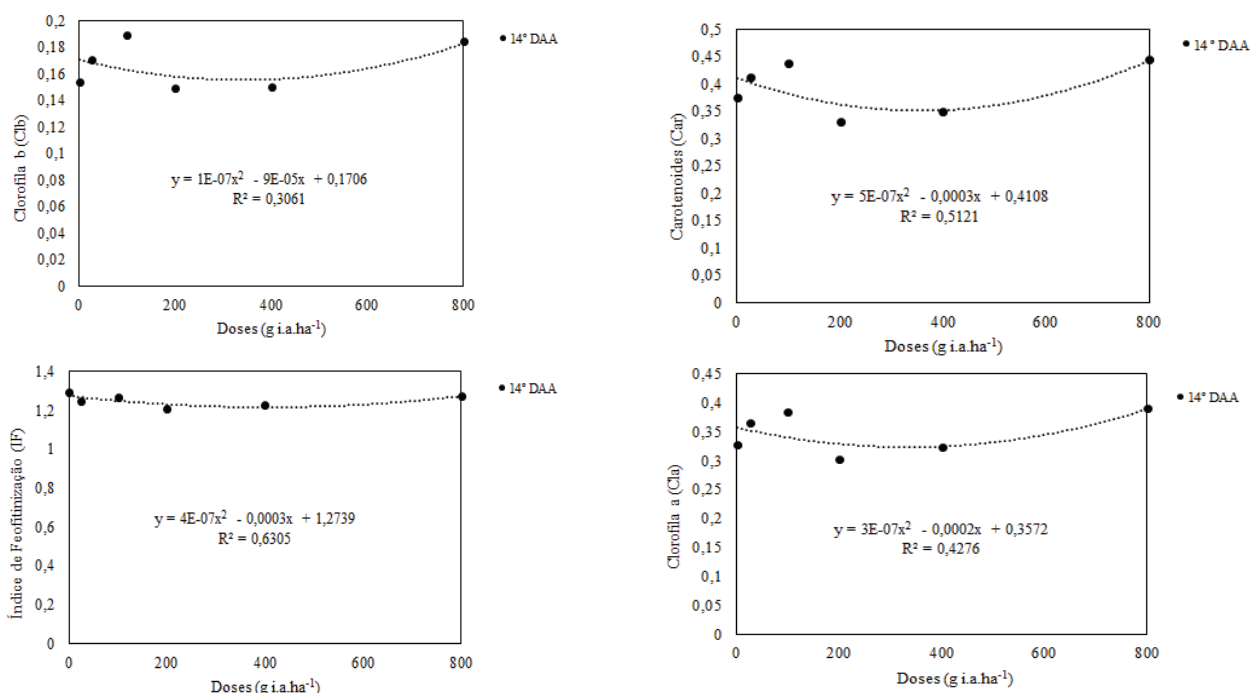
Quanto ao conteúdo de pigmentos cloroplastídicos e a permeabilidade de membranas, não foram observados danos em *G. americana* (Figuras 2 e 3).

Figura 2 - Taxa de Liberação de Eletrólitos (TLE), em plantas de *Genipa americana* L. submetidas a diferentes concentrações de glifosato



Fonte: dados das pesquisas.

Figura 3 - Conteúdo de pigmentos cloroplastídicos (clorofila a (*Cl*a), clorofila b (*Cl*b), carotenoides (*Car*) e Índice de feofitinação (IF)), em plantas de *Genipa americana* L., submetidas a diferentes concentrações de glifosato



Fonte: dados das pesquisas.

Portanto, não houve interferência significativa do herbicida na taxa de liberação de eletrólitos (TLE). A TLE serve para inferir possíveis danos causados às membranas celulares, através da liberação do conteúdo protoplasmático, ficando evidenciado que as plantas de *G. americana* não tiveram a integridade das membranas comprometidas com o aumento das doses do glifosato.

Santos *et al.* (2020), estudando o efeito de diferentes concentrações de glifosato em *Cenostigma macrophyllum*, encontraram resultados semelhantes, ao não observar danos em relação à permeabilidade da membrana e ao conteúdo de pigmentos cloroplastídicos. Em contrapartida, dados contrários aos encontrados neste trabalho foram observados em plantas de *Bowdichia virgilioides*, que apresentou danos na membrana, após exposição ao glifosato, com o aumento na taxa de liberação de eletrólitos a partir da dose de 50 g

i.a ha⁻¹ (OLIVEIRA *et al.*, 2021). Assim, para *G. americana* o conteúdo de pigmentos cloroplastídicos e a permeabilidade de membranas não são bons parâmetros para observação de efeitos fitotóxicos de glifosato.

4 Conclusão

Os parâmetros fotossintéticos (trocas gasosas, taxa fotossintética, taxa transpiratória, relação entre a concentração interna e externa de CO₂ (*Ci/Ca*) e eficiência instantânea de carboxilação), em plantas de *G. americana*, são afetados e em função de sua exposição ao glifosato.

Porém, o conteúdo de pigmentos cloroplastídicos e a permeabilidade de membranas não são bons parâmetros para observação de efeitos fitotóxicos de glifosato nesta espécie.

Referências

- AHSAN, N. *et al.* Glyphosate-induced oxidative stress in rice leaves revealed by proteomic approach. *Plant Physiol., Biochem.*, v.46, n.12, p.1062-1070, 2008. doi: 10.1016/j.plaphy.2008.07.002.
- ARAÚJO, E.P.; SILVA, K.L.F. Conservação e/ou proteção da flora nativa de áreas rurais protegidas e expostas à deriva de agrotóxicos: estudo de legislação. *Rev. Direito Amb. Soc.*, v.10, n.1, p.177-203, 2020. doi: 10.18226/22370021.v10.n1.08.
- ARAÚJO, E.P.; SILVA, K.L.F. Respostas morfoanatômicas de *Bowdichia virgilioides* (Fabaceae) à deriva de glifosato em agrossistema do Cerrado brasileiro. *Rev. Iberoam. Ciênc. Amb.*, v.12, n.7, p.112-124, 2021. doi: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.007.0011.
- BATISTA, P.F. *et al.* *Pouteria torta*: a native species of the Brazilian Cerrado as a bioindicator of glyphosate action. *Braz. J. Biol.*, v. 78, p.296-305, 2017. doi: 10.1590/1519-6984.07416.
- COSTA, A.C. *et al.* Drought tolerance in potential oilseed plants for biofuel production. *Australian J. Crop Sci.*, v.12, n.2, p.289-298, 2018. doi: 10.3316/informit.561236485303705.
- CRUZ, C.E.S. *et al.* Physiological and morphoanatomical effects of glyphosate in *Eugenia uniflora*, a Brazilian plant species native to the Atlantic Forest biome. *Environ. Sci. Pollution Res.*, v. 28, n. 17, p. 21334-21346, 2021. doi: 10.1007/s11356-020-12003-4.
- DE MARÍA, N. *et al.* New insights on glyphosate mode of action in nodular metabolism: role of shikimate accumulation. *J. Agricul. Food Chem.*, v.54, n.7, p.2621-2628, 2006. doi: 10.1021/jf058166c.
- DUPONT, Y.L.; STRANDBERG, B.; DAMGAARD, C. Effects of herbicide and nitrogen fertilizer on non-target plant reproduction and indirect effects on pollination in *Tanacetum vulgare* (Asteraceae). *Agricul. Ecosystems Environ.*, v.262, p.76-82, 2018. doi: 10.1016/j.agee.2018.04.014.
- DUTRA, R.M.S.; DE SOUZA, M.M. O. Cerrado, Revolução Verde e evolução do consumo de agrotóxicos. *Soc. Nat.*, v.29, n.3, p.473-488, 2017.
- FLORENCIA, F.M. *et al.* Effects of the herbicide glyphosate on non-target plant native species from Chaco forest (Argentina). *Ecotoxicol. Environ. Safety*, v.144, p.360-368, 2017. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.06.049.
- FRANÇA, L.C.J. *et al.* Elaboração de Carta de Risco de Contaminação por Agrotóxicos para a Bacia do Riacho da Estiva, Brasil. *Floresta Amb.*, v. 23, p. 463-474, 2016. doi: 10.1590/2179-8087.141415.
- FREITAS-SILVA, L. *et al.* Evaluation of morphological and metabolic responses to glyphosate exposure in two neotropical plant species. *Ecol. Indicators*, v. 113, p. 106246, 2020. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106246.
- FREITAS-SILVA, L.; CASTRO, N.D.; CAMPOS DA SILVA, L. Morphoanatomical and biochemical changes in *Zeyheria tuberculosa* exposed to glyphosate drift. *Botany*, v.99, n.2, p.91-98, 2021. doi: 10.1139/cjb-2020-0150.
- GOMES, C.S. Impactos da expansão do agronegócio brasileiro na conservação dos recursos naturais. *Cad. Leste*, v.19, n.19, p.63-78, 2019. doi: 10.29327/248949.19.19-4.
- GOMES, M.P. *et al.* Glyphosate-dependent inhibition of photosynthesis in willow. *Frontiers Plant Sci.*, v.8, p.207, 2017. doi: 10.3389/fpls.2017.00207.
- LUCADAMO, L.; CORAPI, A.; GALLO, L. Evaluation of glyphosate drift and anthropogenic atmospheric trace elements contamination by means of lichen transplants in a southern Italian agricultural district. *Air Quality, Atmosphere & Health*, v.11, n.3, p.325-339, 2018. doi: 10.1007/s11869-018-0547-7.
- MATEOS-NARANJO, E.; PEREZ-MARTIN, A. Effects of sub-lethal glyphosate concentrations on growth and photosynthetic performance of non-target species *Bolboschoenus maritimus*. *Chemosphere*, v.93, n.10, p.2631-2638, 2013. doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.09.094.
- MELO, A. S. de *et al.* Alterações das características fisiológicas da bananeira sob condições de fertirrigação. *Ciênc. Rural*, v.39, p.733-741, 2009. doi: 10.1590/S0103-84782008005000101.
- MESQUITA, J.B. *et al.* Avaliação da composição de substratos em recipientes na produção de mudas de jenipapo (*Genipa americana* L.). *Nat. Res.*, v.1, n.1, p.37-45, 2011. doi: 10.6008/ESS2237-9290.2011.001.0004.
- OLIVEIRA, A.P.A. de *et al.* Physiological and morphoanatomic responses os *Bowdichia virgilioides* Kunth. (Fabaceae) to glyphosate. *Rev. Árvore*, v.45, p.1-13, 2021. doi: 10.1590/1806-908820210000028.
- PEREIRA, M.R.R. *et al.* Efeito da deriva de glyphosate sobre algumas características fisiológicas em plantas de eucalipto. *Interiencia*, v.35, n.4, p. 79-283, 2010.
- PEREIRA, M.R.R. *et al.* Subdoses de glyphosate no desenvolvimento de espécies arbóreas nativas. *Biosc. J.*, v.31, n.2, p.326-332, 2015. doi: 10.14393/bj-v31n2a2015-21924.
- PIMENTEL, C. *et al.* Tolerância protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivados em campo. *Rev. Univer. Rural Série Ciênc. Vida*, v.22, n.1, p. 7-14, 2002.
- REZENDE-SILVA, S.L. *et al.* *Pouteria torta* is a remarkable native plant for biomonitoring the glyphosate effects on Cerrado vegetation. *Ecol. Indica.*, v.102, p. 497-506, 2019. doi: 10.1016/j.ecolind.2019.03.003.
- RIZZINI, C.T. Árvores e madeiras do Brasil. Rio de Janeiro: Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente, 1977.
- SANTOS, V.R.S. *et al.* Análises fisiológicas e morfoanatômicas de *Cenostigma macrophyllum* Tul. (Fabaceae) submetida a diferentes concentrações de glifosato. *Rev. Iberoam. Ciênc. Amb.*, v.11, n.5, p.159-173, 2020. doi: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0017.
- SILVA, L.Q. *et al.* Modificações fisiológicas em folhas de pequi (*Caryocar brasiliense*) causadas pela aplicação de glyphosate. *Rev. Bras. Herbicidas*, v.15, n.2, p.165-174, 2016. doi: 10.7824/rbh.v15i2.472.
- VASQUEZ-TELLO, A. *et al.* Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in *Phaseolus* sp. and *Vigna* sp. species. *J. Experim. Bot.*, v.41, n.7, p.827-832, 1990. doi:10.1093/jxb/41.7.827.
- WATANABE, M. *et al.* Photosynthetic traits of Siebold's beech and oak saplings grown under free air ozone exposure in northern Japan. *Environ. Pollution*, v.174, p.50-56, 2013. doi: 10.1016/j.envpol.2012.11.006.
- WELLBURN, A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J. Plant Physiol.*, v.144, n.3, p.307-313, 1994. doi: 10.1016/S0176-1617(11)81192-2.
- YANNICCARI, M. *et al.* Glyphosate effects on gas exchange and chlorophyll fluorescence responses of two *Lolium perenne* L. biotypes with differential herbicide sensitivity. *Plant Physiol. Biochem.*, v.57, p.210-217, 2012. doi: 10.1016/j.plaphy.2012.05.027.
- ZHAN, H. *et al.* Recent advances in glyphosate biodegradation. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, v.102, n.12, p.5033-5043, 2018. doi: 10.1007/s00253-018-9035-0.