



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE, TECNOLOGIA E SOCIEDADE  
MESTRADO EM AMBIENTE, TECNOLOGIA E SOCIEDADE

MAIARA PINHEIRO DA SILVA BORGES

**GLYPHOSATE COMO POSSÍVEL AGENTE DE SELEÇÃO DE ESPÉCIES DO  
CERRADO E DA CAATINGA BRASILEIRA: AVALIANDO A SENSIBILIDADE  
DAS ESPÉCIES A DUAS VIAS DE CONTAMINAÇÃO**

MOSSORÓ

2020

MAIARA PINHEIRO DA SILVA BORGES

**GLYPHOSATE COMO POSSÍVEL AGENTE DE SELEÇÃO DE ESPÉCIES DO  
CERRADO E DA CAATINGA BRASILEIRA: AVALIANDO A SENSIBILIDADE  
DAS ESPÉCIES A DUAS VIAS DE CONTAMINAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Tecnologia e Sociedade a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Ambiente, Tecnologia e Sociedade.

Linha de Pesquisa: Tecnologias Sustentáveis e Recursos Naturais Do Semi-Árido

Orientador: Prof. Dr. Sc. Daniel Valadão Silva

Coorientador: Prof. Dr. Sc. José Barbosa dos Santos

MOSSORÓ

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B732g Borges, Maiara Pinheiro da Silva .  
Glyphosate como possível agente de seleção de espécies do Cerrado e da Caatinga Brasileira avaliando a sensibilidade das espécies a duas vias de contaminação / Maiara Pinheiro da Silva Borges. - 2020.  
90 f. : il.

Orientador: Daniel Valadão Silva.  
Coorientador: José Barbosa Dos Santos.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade, 2020.

1. Intoxicação. 2. Deriva. 3. Lençol freático.  
I. Silva, Daniel Valadão, orient. II. Dos Santos, José Barbosa, co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MAIARA PINHEIRO DA SILVA BORGES

**GLYPHOSATE COMO POSSÍVEL AGENTE DE SELEÇÃO DE ESPÉCIES DO  
CERRADO E DA CAATINGA BRASILEIRA: AVALIANDO A SENSIBILIDADE  
DAS ESPÉCIES A DUAS VIAS DE CONTAMINAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Tecnologia e Sociedade a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Ambiente, Tecnologia e Sociedade.

Linha de Pesquisa: Tecnologias Sustentáveis e Recursos Naturais do Semi-Árido

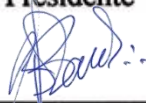
Defendida em: 19/06/2020.

**BANCA EXAMINADORA**



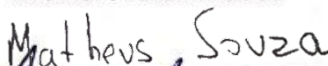
---

**Daniel Valadão Silva, Prof. Dr. (UFERSA)  
Presidente**



---

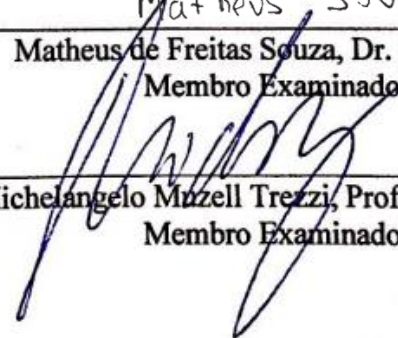
**José Barbosa dos Santos, Prof. Dr. (UFVJM)  
Membro Examinador**



---

**Matheus de Freitas Souza, Dr. (UFERSA)  
Membro Examinador**

---



**Michelangelo Muzell Trezzi, Prof. Dr. (UTFPR)  
Membro Examinador**

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, ao meu pai Dikson Roberto e minha mãe Maria José e as minhas irmãs Maíra Borges e Mainara Borges, que dispensaram os momentos de convívio para a conquista deste sonho.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, que em sua infinita sabedoria colocou força em meu coração para vencer essa etapa de minha vida. A fé no Senhor, sem dúvidas, me ajudou a lutar até o fim.

Aos meus pais por todo o esforço investido na minha educação e por sempre me incentivarem e acreditarem que eu seria capaz de superar os obstáculos que a vida me apresentou.

A minhas irmãs, agradeço por todo amor, força, incentivo e apoio incondicional.

Aos meus avós Expedito e Odete pelo o amor, carinho e apoio

Ao meu namorado Ailton Monteiro que sempre esteve ao meu lado durante essa caminhada, que se desdobrou em esforços para me ajudar durante a elaboração desse trabalho.

Ao meu professor orientador Daniel Valadão pelas valiosas contribuições dadas durante todo o processo. Manifesto aqui minha gratidão eterna por compartilhar sua sabedoria, o seu tempo e sua experiência.

À toda equipe Nomato, no desenvolvimento deste trabalho, em especial aos colegas Tatiane Severo, Taliane Teófilo, Ana Beatriz, Matheus Silva, Karoline Viana, Jesley Bandeira.

A todos os amigos, especialmente Cydianne Cavalcante e Quésia Pavão, meu muito obrigada. Vocês foram fundamentais em meu projeto, por isso merecem o meu eterno agradecimento.

Ao Dr. Matheus Freitas por contribuir com as análises estatísticas e demais conhecimentos.

Aos meus amigos e colegas de mestrado Valéria, Annyelly, Brenda, Cristina, Hiályson, Manoel Júnior, Renata, Suzane, Rafaelly e Walesca. Obrigada pela cumplicidade e apoio em toda a jornada do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos membros desta banca que irão contribuir para a melhoria deste trabalho.

Por último, quero agradecer também à Universidade Federal Rural do Semi-Árido e ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Tecnologia e Sociedade.

A menos que modifiquemos à nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.

**RESUMO**

O glyphosate é um herbicida não seletivo utilizado para o controle de plantas daninhas em áreas agrícolas e não agrícolas. O uso extensivo do glyphosate no sistema de plantio direto e em culturas geneticamente modificadas fez do herbicida o pesticida mais utilizado no país. No entanto, o uso inadequado desse herbicida pode causar vários problemas de caráter ambiental, tais como a intoxicação em algumas culturas sensíveis, morte da fauna edáfica, contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas, além de causar danos à mata nativa. Neste trabalho foi avaliado o efeito do uso do glyphosate sobre espécies nativas e não nativas comuns em áreas de Caatinga e Cerrado. Dois experimentos foram realizados, sendo o primeiro constituído da simulação de deriva de glyphosate e o segundo na simulação da contaminação de águas subsuperficiais por glyphosate. As espécies nativas apresentaram tolerância diferencial ao glyphosate. A *B. cheilantha*, *E. contortisiliquum*, *M. caesalpiniiifolia*, *M. tenuiflora* e *T. aurea* são mais afetadas pela exposição à deriva simulada de glyphosate. O crescimento de folhas é mais sensível a exposição por deriva simulada de glyphosate para a maioria das espécies. A *H. courbaril* é uma exceção, com maior sensibilidade para o crescimento radicular. A *B. cheilantha* é a espécie mais sensível a exposição por deriva, porém, demonstrou completa tolerância a contaminação de glyphosate na água subsuperficial. Outras espécies como *A. macrocarpa*, *M. caesalpiniiifolia* e *T. aurea* também são sensíveis à deriva, porém tolerantes a contaminação por água subsuperficial. A tolerância diferencial das arbóreas as vias de contaminação por deriva e água subsuperficial confirma o potencial do glyphosate como agente de seleção de espécies nos biomas caatinga e cerrado.

**Palavras-chaves:** intoxicação; deriva; lençol freático



## ABSTRACT

Glyphosate is a non-selective herbicide used for weed control in agricultural and non-agricultural areas. The extensive use of glyphosate in the no-tillage system and in genetically modified crops has made the herbicide the most used pesticide in the country. However, the inappropriate use of this herbicide can cause several environmental problems, such as intoxication in some sensitive crops, death of the edaphic fauna, contamination of the soil, surface and underground waters, in addition to causing damage to the native forest. In this work, the effect of using glyphosate on native and non-native species common in areas of Caatinga and Cerrado was evaluated. Two experiments were carried out, the first consisting of the simulation of glyphosate drift and the second in the simulation of the contamination of subsurface waters by glyphosate. Native species showed differential tolerance to glyphosate. *B. cheilantha*, *E. contortisiliquum*, *M. caesalpinifolia*, *M. tenuiflora* and *T. aurea* are most affected by exposure to simulated glyphosate drift. Leaf growth is more sensitive to exposure by simulated glyphosate drift for most species. *H. courbaril* is an exception, with greater sensitivity for root growth. *B. cheilantha* is the species most sensitive to drift exposure, however, it demonstrated complete tolerance to glyphosate contamination in subsurface water. Other species such as *A. macrocarpa*, *M. caesalpinifolia* and *T. aurea* are also sensitive to drift, but tolerant of contamination by subsurface water. The differential tolerance of trees to contamination by drift and subsurface water confirms the potential of glyphosate as a species selection agent in the Caatinga and Cerrado biomes.

**Keywords:** intoxication; drift; groundwater

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Estrutura química do glyphosate..... 26
- Figura 2 – Preparo das colunas e transplântio das espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado do Brasil. (A) Preenchimento das colunas de PVC com o solo (B) coluna de PVC com tampa e lâ de vidro para evitar a saída do solo, (C) coluna com vaso para adição de água e (D) aplicação do glyphosate..... 34
- Figura 3 – Intoxicação espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado brasileiro aos 35 DAA. (10, 20, 30, 50% da dose de 2220 g ha<sup>-1</sup>) da formulação do equivalente ácido de glyphosate.....36
- Figura 4 – Porcentagem de intoxicação espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado brasileiro com a aplicação de 0; 222; 444; 666 e 1110 g e.a. ha<sup>-1</sup>, correspondente.....39
- Figura 5 – Correlação entre matéria fresca relativa e matéria seca relativa entre folha (vermelho), caule (verde), raiz (azul) e massa total (roxa) espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado brasileiro..... 40
- Figura 6 – Modelos ajustados obtidos a partir da matéria seca (g) e área foliar (cm<sup>2</sup>) das espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado brasileiro submetidas a aplicação de doses crescentes de glyphosate. Barras indicam o erro padrão da média..... 42
- Figura 7 – Dose estimada (g e.a. kg<sup>-1</sup>) necessária para reduzir 50% (D50) e 90% (D90) da matéria seca das espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado brasileiro. Letras minúsculas diferem as espécies ao p-valor < 0.05. Barras indicam o erro padrão da média.....44
- Figura 8 – Sintomas visuais de intoxicação em espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado brasileiro aos 35 dias após a aplicação de glyphosate.....47
- Figura 9 – Efeito da contaminação de águas subterrâneas por glyphosate (1110 g e.a. ha<sup>-1</sup>) aos (7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação) na intoxicação de espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado brasileiro.....48

- Figura 10 – Correlação entre matéria fresca (g) e matéria seca (g) de folha, caule, raiz e total de espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado brasileiro.....49
- Figura 11 – Matéria seca (g) de folha, caule, raiz e total e água evapotranspirada (mL) das espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado brasileiro em sistema sem (controle) e com resíduos de glyphosate na água. Letras minúsculas diferem os sistemas com e sem glyphosate ao p-valor  $\leq 0,05$ . Barras indicam o erro padrão da média.....51
- Figura 12 – Relação entre água evapotranspirada/matéria seca ( $\text{mL g}^{-1}$ ) de espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado do Brasil em sistema sem (controle) e com resíduos de glyphosate na água. Letras minúsculas diferem os sistemas com e sem glyphosate ao p-valor  $\leq 0,05$ . Barras indicam o erro padrão da média.....53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Propriedades físico-químicas do glyphosate .....	26
Tabela 2	– Parâmetros do modelo log-logístico obtidos a partir da matéria seca de folhas das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	76
Tabela 3	– Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo I obtidos a partir da matéria seca de folhas das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	77
Tabela 4	– Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo II obtidos a partir da matéria seca de folhas das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	77
Tabela 5	– Parâmetros do modelo log-logístico obtidos a partir da matéria seca de caule das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	78
Tabela 6	– Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo I obtidos a partir da matéria seca de caule das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	79
Tabela 7	– Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo II obtidos a partir da matéria seca de caule das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	80
Tabela 8	– Parâmetros do modelo log-logístico obtidos a partir da matéria seca de raiz das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	81
Tabela 9	– Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo I obtidos a partir da matéria raiz de folhas das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	82
Tabela 10	– Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo II obtidos a partir da matéria raiz de folhas das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	83
Tabela 11	– Parâmetros do modelo log-logístico obtidos a partir da matéria seca total das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	84
Tabela 12	– Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo I obtidos a partir da matéria seca total das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	85
Tabela 13	– Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo II obtidos a partir da matéria seca total das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	86

Tabela 14	– Parâmetros do modelo log-logístico obtidos a partir da matéria seca total das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	87
Tabela 15	– Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo I obtidos a partir da matéria seca total das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	88
Tabela 16	– Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo II obtidos a partir da matéria seca total das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	89

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMPA	Aminometilfosfônico
CE	Condutividade elétrica
CO	Carbono Orgânico
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
DAA	Dias após a última aplicação
EPSPS	Enolpiruvil-shiquimato-3-fosfato sintase
EUA	Eficiência do uso da água
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
MO	Matéria orgânica
pH	Potencial hidrogeniônico
PV	Pressão de vapor
PVC	Policloreto de vinila
Sw	Solubilidade em água
$t_{1/2}$	Meia-vida

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\text{Al}^{3+}$	Cátion de alumínio
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
cm	Centímetro
$\text{CO}_2$	Dióxido de carbono
g	Gramas
$\text{g. ha}^{-1}$	Gramas por hectare
$\text{g L}^{-1}$	Gramas por litro
h	Horas
H	Constante da lei de Henry
$\text{K}^{+}$	Cátion de potássio
Kd	Coefficiente de sorção
Kow	Coefficiente de partição octanol-água
mm	Milímetro
N	Nitrogênio
P	Fósforo
Pa	Pascal
pKa	Constante de equilíbrio de ionização ácido
V	Saturação por bases
%	Porcentagem

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1. Uso de herbicidas na agricultura.....	20
2.2. Fatores que afetam a dinâmica de herbicidas no ambiente .....	21
2.2.1. Propriedades físico-químicas dos herbicidas .....	21
2.2.2 Propriedades físico-químicas dos solos.....	22
2.2.3 Condições climáticas.....	23
2.3. Mecanismos de contaminação de espécies não alvo por herbicidas .....	23
2.3.1. Deriva de herbicida.....	23
2.3.2. Escoamento superficial de herbicida .....	24
2.3.3. Lixiviação de herbicida.....	25
2.4. Glyphosate .....	25
2.4.1. Características físico-químicas.....	25
2.4.2. Uso de glyphosate na agricultura e seus impactos ao ambiente.....	27
2.5. Espécies florestais de ocorrência na Caatinga e no Cerrado do Brasil .....	29
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1. Experimento I: Sensibilidade de espécies florestais devido a contaminação por deriva de glyphosate.....	32
3.2. Experimento II: Sensibilidade de espécies florestais devido a contaminação de águas subsuperficiais por glyphosate.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1. Sensibilidade de espécies florestais devido a contaminação por deriva de glyphosate	35
4.1.1. Intoxicação .....	35
4.1.2. Componentes de crescimentos: área foliar, matéria fresca, e matéria seca de folha, caule e raiz.....	40



4.2. Sensibilidade de espécies florestais devido a contaminação de águas subsuperficiais por glyphosate.....	46
4.2.1. Intoxicação .....	46
4.2.2. Componentes de crescimentos: matéria fresca, e matéria seca de folha, caule e raiz	48
4.3. Perspectiva gerais sobre a tolerância ao glyphosate das espécies florestais nativas do cerrado e caatinga .....	55
5. CONCLUSÕES .....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
APÊNDICE I.....	76

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da agricultura nas últimas décadas é marcado pela alta tecnificação dos meios de produção, e a biotecnologia pode ser considerada um símbolo dessa evolução nos campos agrícolas. Essa técnica é empregada por inúmeras empresas em diferentes setores, porém a criação de culturas transgênicas é o principal caso de sucesso que se popularizou mundialmente (ISAAA, 2016). Hoje, culturas transgênicas trazem diversas soluções para problemas enfrentados por produtores agrícolas, principalmente, para aqueles relacionados a proteção de cultivos. Por exemplo, a transgenia para resistência a insetos e doenças permitiu a redução no volume aplicado de pesticidas em culturas como milho, soja e algodão (DE BUCK et al., 2016).

No Brasil, a adoção de culturas transgênicas avançou nas últimas décadas. Em 2015, culturas como a soja, milho e algodão possuíam 93.2%, 82.4%, e 65.1% da área plantada com cultivares transgênicas (DE BUCK et al., 2016), e o evento de transgenia mais frequente é a resistência ao glyphosate. O glyphosate (N-fosfometil-glicina) é um herbicida que inibe a ação da enolpiruvil-shiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS), enzima responsável catalisar a transformação do shikimato-3-fosfato em 5-enolpiruvil-shiquimato-3-fosfato, levando a biossíntese dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, triptofano e tirosina (GILL; SETHI; MOHAN, 2017; CRUVINEL et al., 2019). Diferentemente de culturas resistentes a insetos e doenças, a transgenia para resistência ao glyphosate aumentou o volume de aplicações desse herbicida nos campos agrícolas, principalmente nas lavouras de soja, milho e algodão (APARICIO et al., 2013; FERNANDES et al., 2019). Além do uso para dessecação no sistema de plantio direto e para controle dirigido, o glyphosate se tornou o principal produto no manejo de pós-emergência das culturas transgênicas. Atualmente, o glyphosate representa 48% de todo o mercado de ingredientes ativos vendidos no Brasil (PEREIRA et al., 2019a; SOUSA et al., 2019).

O grande volume de glyphosate aplicado no Brasil também é reflexo da expansão agrícola nas regiões do Cerrado para plantio soja, milho e algodão (LAHSEN; BUSTAMANTE; DALLA-NORA, 2016). Esse bioma possui a maior área agrícola do Brasil e 50% da cobertura nativa já foi ocupada por cultivos agrícolas (LAHSEN; BUSTAMANTE; DALLA-NORA, 2016). Essa fronteira agrícola ainda continua em expansão, principalmente nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (MATOPIBA), aproximando os campos agrícolas a áreas de proteção permanente do Cerrado e Caatinga (LAHSEN; BUSTAMANTE; DALLA-NORA, 2016; GOMES et al., 2019). A intensa devastação do Cerrado e Caatinga e

outros biomas brasileiros levou a implementação da Reserva Legal, uma Lei definida pelo código 12.651/2012, que dispõe sobre o dever de todo imóvel rural manter 20% da área com a vegetação nativa (MARTINS e RANIERI, 2014).

Apesar dos mecanismos de proteção ao Cerrado e Caatinga, a proximidade entre as áreas agrícolas e a intensa utilização do glyphosate coloca em risco a preservação da vegetação nativa devido ao risco de contaminação pelos processos de transporte do herbicida. As vias de contaminação por herbicidas podem ocorrer através da deriva (JOHNSON et al., 2006; BUENO e CUNHA, 2020) ou fontes hídricas e solo contaminados (SILVA et al., 2019, PASSOS et al., 2019; DOS SANTOS et al., 2019). A deriva é definida pelo movimento de poeira ou gotículas no ar contendo o herbicida durante as aplicações (JOHNSON et al., 2006). Condições ambientais inapropriadas, como altas temperaturas e ventos fortes, intensificam o risco de contaminação via deriva, e para o glyphosate, a distância percorrida pode alcançar vários quilômetros quadrados, atingindo vegetações nativas próximas (LUCADAMO; CORAPI; GALLO, 2018). A outra via de contaminação é através de fontes hídricas e solos com resíduos de glyphosate, causados pela lixiviação e escoamento superficial de água e sedimentos em áreas agrícolas contendo a molécula do herbicida (PASSOS et al., 2019). Apesar da contaminação pelo glyphosate via resíduos no solo ser limitada devido sua alta adsorção aos colóides, muitos estudos já relataram a presença do glyphosate em fontes hídricas, tais como rios e lençóis freáticos (APARICIO et al., 2013; BATTAGLIN et al., 2014; DE MOURA et al., 2017; FERNANDES et al., 2019; LUPI et al., 2019). Uma vez presente na água, plantas podem absorver o glyphosate através da raiz (WAGNER; KOGAN; PARADA, 2003), especialmente as nativas do cerrado devido a profundidade alcançada por suas raízes (LAHSEN; BUSTAMANTE; DALLA-NORA, 2016).

Apesar de existir inúmeros estudos sobre o impacto do glyphosate a organismos não-alvo, apenas alguns relatos têm documentando a sensibilidade de espécies florestais a esse herbicida (PERCIVAL, 2017; MONQUERO et al., 2016). No entanto, uma atenção urgente tem que ser dada as espécies nativas, principalmente para aquelas do Cerrado brasileiro, devido ao alto potencial de exposição ao glyphosate. Uma vez que algumas dessas espécies nativas apresentem alguma sensibilidade a esse herbicida, uma pressão de seleção causada pelo glyphosate pode comprometer a diversidade florística do Cerrado e Caatinga. Esse prejuízo seria incalculável considerando as funções vitais e ecológicas desempenhadas por esse bioma (LAHSEN; BUSTAMANTE; DALLA-NORA, 2016). Considerando esse cenário preocupante, nós buscamos através desse estudo elucidar algumas questões sobre a sensibilidade de espécies

florestais do Cerrado e Caatinga ao glyphosate. Levantamos a hipótese de que as espécies apresentam diferentes níveis de sensibilidade ao glyphosate via contaminação por deriva e águas subsuperficiais. Para validar nossa hipótese, os objetivos foram: i) determinar a sensibilidade de espécies nativas do cerrado à contaminação por glyphosate via simulação de deriva; ii) determinar a sensibilidade das mesmas espécies a presença de glyphosate em águas subsuperficiais; iii) avaliar o nível de sensibilidade entre os diferentes órgãos das plantas devido as vias de contaminação por glyphosate. Nossos resultados demonstram que o glyphosate pode atuar como um possível fator de seleção espécies florestais do Cerrado e Caatinga brasileira.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Uso de herbicidas na agricultura**

As plantas daninhas apresentam elevada capacidade de se adaptarem as mais diversas condições ambientais. Devido a essas características, as plantas daninhas são consideradas um dos principais empecilhos para a manutenção da produtividade das culturas. Essas plantas têm grande impacto na produção agrícola devido aos seus efeitos diretos nas culturas, como o alto grau de interferência e aos efeitos indiretos como o aumento do custo de produção, dificuldade de colheita, depreciação da qualidade do produto, além de hospedar pragas e doenças (DE OLIVEIRA; KARAM; MATRANGOLO, 2015).

O controle químico de plantas daninhas é a forma de manejo mais utilizado na agricultura, pela fácil aplicação e o menor custo (ALBERTO et al., 2016). Até meados dos anos 40, existiam poucos herbicidas no mercado, somente por volta dos anos 70, o desenvolvimento desses produtos teve grande expansão e atualmente a lista de herbicidas disponíveis no mercado é grande (MARCHI; MARCHI; GUIMARÃES, 2008).

Os herbicidas são classificados de acordo com o seu mecanismo de ação. Essa classificação está relacionada ao primeiro passo bioquímico ou biofísico no interior da célula que será inibido pela atividade do herbicida (MACHADO et al., 2006). Normalmente, outras reações químicas ou processos são fundamentais para se matar uma planta, cujo somatório é denominado modo de ação (MARCHI; MARCHI; GUIMARÃES, 2008). Os herbicidas geralmente inibem a atividade de uma enzima/proteína na célula e, como consequência, desencadeiam uma série de eventos que matam ou inibem o desenvolvimento da célula e do organismo (VIDAL, 1997).

Além disso, os herbicidas podem ser divididos em duas classes com respeito a forma de aplicação: solo e folhas. Os herbicidas aplicados às folhas podem ser divididos, ainda, em

herbicidas de contato, as quais são absorvidos e exercem seu efeito por meio de muito baixa translocação dentro da planta. E os herbicidas sistêmicos, que são absorvidos pela planta e translocados, tanto pelo floema, quanto pelo xilema, aos seus sítios de ação, que são geralmente, as regiões de crescimento ativo, de reprodução ou de armazenamento (GWYNNE et al., 1985). Os herbicidas aplicados no solo, no entanto, são apenas sistêmicos. As moléculas de herbicidas, uma vez no solo, se movem para a superfície das raízes por fluxo de massa na solução do solo em função da transpiração (GWYNNE et al., 1985) ou se movem por difusão e podem entrar em contato com as raízes por interceptação radicular. Herbicidas sistêmicos são, então, translocados pelo xilema. São mais eficientes se forem aplicados ao solo, porém também são usados em tratamentos pós-emergentes satisfatoriamente, em alguns casos (MARCHI; MARCHI; GUIMARÃES, 2008).

A aplicação desses herbicidas pode ser feita em diversas formas, incluindo líquidos, grânulos e fumigação, além disso, uma ampla gama de equipamentos foi desenvolvida ao longo do tempo para aplicar essas formas de herbicidas (SMITH, 2017). No entanto, a maioria dos equipamentos de aplicação de herbicidas é projetada para formulações líquidas, pois a água é o diluente mais barato e o mais conveniente para disseminação eficiente de herbicidas (OZKAN, 1995). Para se obter a máxima eficiência com o controle químico, é fundamental que o equipamento de aplicação esteja em perfeitas condições de uso, sem vazamentos, com uniformidade de bicos na barra e, fundamentalmente, bem regulado e calibrado (COSTAMILAN; BERTAGNOLI, 2004).

## **2.2. Fatores que afetam a dinâmica de herbicidas no ambiente**

### **2.2.1. Propriedades físico-químicas dos herbicidas**

As propriedades físico-químicas dos herbicidas, associadas aos atributos físicos e químicos do solo e as características edáficas do local de aplicação, determinam a dinâmica das moléculas do defensivo agrícola no meio ambiente. As principais propriedades físico-químicas dos herbicidas que influenciam os processos de redistribuição e de degradação são: solubilidade em água ( $S_w$ ), pressão de vapor (PV), coeficiente de partição octanol-água ( $K_{ow}$ ), constante de equilíbrio de ionização ácido ( $pK_a$ ) e constante da lei de Henry (H).

A solubilidade do herbicida influencia diretamente no transporte da molécula no ambiente, de forma que, quanto maior a  $S_w$  mais propícios a serem transportadas por lixiviação ou por escoamento superficial contaminando ecossistemas aquáticos (CORREIA, 2018). A pressão de vapor é a propriedade que regula a capacidade de volatilização das moléculas de um herbicida. O aumento da temperatura e a baixa umidade tendem a intensificar o risco de

ocorrência de volatilidade, aumentando a quantidade de espaço atmosférico para a evaporação (SCHWARTZ-LAZARO et al., 2017).

O coeficiente de partição octanol-água ( $K_{ow}$ ) refere-se à medida da intensidade da afinidade da molécula pela fase polar e apolar do solo. O  $K_{ow}$  é importante quanto à interação hidrofóbica, no que diz respeito à afinidade da molécula orgânica pela fração orgânica do solo (KOLLMAN; SEGAWA, 1995). A constante de equilíbrio de ionização do ácido ( $pK_a$ ) ou da base ( $pK_b$ ), relaciona-se com a possibilidade de ionização das moléculas em soluções com diferentes valores de pH (OLIVEIRA, 2001). As moléculas de herbicida quanto a sua capacidade de ionização podem ser classificadas em iônicas e não-iônicas. As formas não-iônicas possuem suas moléculas na forma molecular independente do meio (PETTER et al., 2016). Enquanto os herbicidas iônicos têm o grau de ionização variável em função do pH da solução e podem ser subdivididos em herbicidas ácidos (aniônicos) e básicos (catiônicos) (CHRISTOFFOLETI et al., 2009).

A  $H$  representa a partição (razão) do herbicida entre o ar e a solução do solo. Ou seja, permite estimar a concentração do herbicida nas fases gasosa e líquida (solução do solo). A constante de Henry pode ser usada para indicar o potencial de volatilização do herbicida, pois quando assume valores altos, indica sua maior tendência de ser volátil (SILVA e SILVA, 2007).

### **2.2.2 Propriedades físico-químicas dos solos**

O solo é o principal receptor dos herbicidas aplicados na agricultura, sejam em pré ou pós-emergência. No momento em que esses produtos entram em contato com o solo estão sujeitos ao processo de sorção, dessorção, lixiviação e degradação das moléculas herbicidas. Fatores como matéria orgânica, argila, mineralogia, pH e temperatura do solo desempenham um papel importante na sorção destes produtos no solo (VRYZAS, 2018).

O aumento do pH do solo promove a liberação de cargas negativas dependentes do pH, especialmente para solos argilosos 1: 1 altamente intemperizados (KHAWMEE et al., 2013). Estudos realizados em sete solos com diferentes atributos físicos e químicos, verificaram que o herbicida hexazinone apresentou menor tempo de sorção nos solos que continham maiores teores de matéria orgânica e argila (DOS SANTOS et al., 2019 a). A matéria orgânica seguida pela capacidade de troca catiônica foi o atributo mais importante do solo nos processos de sorção e dessorção da hexazinone (DOS SANTOS et al., 2019 b). Avaliando 27 solos de nove estados brasileiros, pesquisadores verificaram que o pH, a matéria orgânica e o teor de argila, bem como a saturação por base, são os atributos com maior influência na sorção e dessorção do diuron (DAS CHAGAS et al., 2019).

### 2.2.3 Condições climáticas

A dispersão e transporte externo de herbicidas no ambiente dependem da estabilidade da molécula e da taxa de deposição que estão sob a influência de condições ambientais (MAJEWSKI et al., 2014; MESSING et al., 2014). Diretrizes atuais relacionadas ao uso do glyphosate estipulam tempo variável de 30 minutos a 6 h (dependendo da formulação e uso pretendido) entre a pulverização e a chuva prevista, necessário para garantir a absorção da planta de uma dose eficaz (RICHARDS et al., 2018). Estudos realizados em solos inclinados (10° e 20°) submetidos a chuvas intensas (60 mm em 1 h) que ocorreram apenas 30 minutos após a pulverização, relataram que entre 3,6 e 4,6% do glyphosate aplicado foram encontrados no sobrenadante do escoamento superficial, com partículas erodidas contendo 8,3-11,8% adicionais (YANG et al., 2015).

A interceptação e translocação de herbicidas nas plantas e sua persistência no solo também são afetadas pelo aumento da temperatura. Além desses efeitos, a temperatura também afeta a taxa de absorção e movimento da água, que afeta a taxa de desenvolvimento das folhas, a espessura da cutícula, o número estomático e sua abertura, afetando indiretamente a seletividade e eficácia dos herbicidas (RODENBURG; MEINKE; JOHNSON, 2011).

Outra condição climática que influencia o destino das moléculas herbicidas no ambiente é a intensidade e velocidade do vento. Bento et al., (2017) afirmaram que como o glyphosate é um herbicida não volátil e o AMPA é um produto de degradação do glyphosate, sua ocorrência na atmosfera só pode ser associada à deriva de pulverização (glyphosate) ou ao transporte em sedimentos erodidos pelo vento, e que o risco de transporte aéreo de partículas de glyphosate e AMPA com poeira para locais não alvo é muito alto, portanto esses autores recomendam que as aplicações de glyphosate durante períodos secos em regiões suscetíveis à erosão eólica devem ser evitadas.

## 2.3. Mecanismos de contaminação de espécies não alvo por herbicidas

### 2.3.1. Deriva de herbicida

A deriva de partículas de herbicida é o transporte através do vento de gotas de água emitidas pelo pulverizador terrestre ou aéreo (EGAN et al., 2014). A deriva de herbicidas de aplicações agrícolas é uma fonte de contaminação ambiental, que tem potenciais impactos adversos à saúde humana e pode causar danos a plantas, animais e outros recursos naturais não direcionados (CEDERLUND, 2017; CREECH et al., 2018).

Muitos fatores ambientais e técnicas de aplicação influenciam o potencial de deriva das partículas de pulverização do herbicida, incluindo a velocidade e a direção do vento, temperatura, umidade relativa do ar, altura da lança do equipamento e o tamanho das gotículas

de pulverização (MATTHEWS; BATEMAN; MILLER; 2014; VIEIRA et al, 2020). Antes da aplicação, esses fatores devem ser observados, tendo certos cuidados em não pulverizar em dias de vento, manter a barra de pulverização o mais próximo possível do alvo (CREECH et al., 2015).

Embora os fatores meteorológicos não possam ser controlados, os fatores de aplicação, mais especificadamente o tamanho das gotículas de pulverização, tem sido reconhecido como uma das variáveis mais importantes a serem consideradas para redução de deriva de herbicidas (LEGLEITER; JOHNSON, 2016). O tamanho da gota de pulverização é diretamente influenciado pelo design e tamanho do orifício do bico, pressão operacional e propriedades físico e químicas da solução (VIEIRA et al., 2019).

A seleção de bicos com projeto de pré-orifício e/ou indução de ar possuem baixa deriva, o que é fundamental para reduzir a deriva da pulverização, porque os bicos com baixa deriva produzem gotas mais grossas do que os bicos comuns (ALVES et al., 2017; JOHNSON et al., 2006). Gotas maiores são menos propensas a se mover horizontalmente ou fora do local pelas correntes de ar devido à sua maior massa, bem como à diminuição do tempo durante a queda (BODE, 1987).

### **2.3.2. Escoamento superficial de herbicida**

O escoamento superficial trata-se do movimento (horizontal) na superfície do solo de água, solo e resíduos vegetais. O herbicida dissolvido na água ou retido à argila ou à matéria orgânica seguirá o fluxo, podendo atingir algum reservatório de água superficial (CORREIA, 2018). O risco de contaminação nesses sistemas aquáticos é maior durante períodos de fortes chuvas e eventos de inundação, que podem variar de alguns dias a semanas (MAUFFREY et al., 2017; MCKENZIE, TEMPLEMAN; KINGSFORD, 2020).

Esses eventos extremos dominam o transporte de herbicidas e são críticos para a elaboração de práticas de manejo ou medidas de controle e monitoramento da perda total desses produtos químicos (WANG et al., 2018). Normalmente, as perdas de herbicidas dependem das características físico e químicas do solo, da topografia do terreno, dos parâmetros climáticos e das propriedades dos herbicidas. A inclinação da terra, as condições de chuva após a aplicação de herbicida e a cobertura vegetativa da superfície da terra afetam a perda de herbicida (TAYEB; ISMAIL; KHAIRIATUL-MARDIANA, 2017).

A principal fonte de poluição da água inclui dose excessiva, aplicação inadequada, pulverização de aérea, lavagem de contêineres e vazamentos não intencionais dos contêineres (SANGAMI e MANU, 2017). Além disso, o escoamento superficial é favorecido devido a



saturação do solo e a ausência de práticas conservacionistas de solo, como o plantio direto sob cobertura morta (palha) e a construção de terraços. Essas práticas beneficiam a infiltração de água no solo, evitando a erosão hídrica (CORREIA, 2018).

### **2.3.3. Lixiviação de herbicida**

A lixiviação é o movimento vertical de herbicidas através do perfil do solo, no qual pode levar à contaminação da superfície e águas subterrâneas (COHEN et al., 1995; VRYZAS, 2018). A extensão da lixiviação é altamente dependente das propriedades do solo (textura, estrutura, matéria orgânica e pH), propriedades físico e químicas dos herbicidas, tipos de formulação, distribuição de eventos de chuva ou estratégia de irrigação e processos hidrogeológicos (HUSETH et al., 2014; NETO et al., 2017).

Quando os herbicidas são aplicados no solo, eles devem ser translocados no solo por meio de lixiviação, fazendo com que sementes de plantas daninhas ou plantas em germinação sejam atingidas, promovendo o seu controle (DE OLIVEIRA e BRIGHENTI, 2011). Por outro lado, se o processo for acentuado o herbicida poderá ser carregado a camadas mais profundas do solo, podendo contaminar águas subterrâneas, além de limitar sua ação, tornando o controle ineficiente (CURRAN, 2016). Além disso, nas camadas mais profundas do solo, onde a concentração de CO<sub>2</sub> é menor, o efeito residual e a persistência aumentam devido à menor atividade microbiana (NETO et al., 2017).

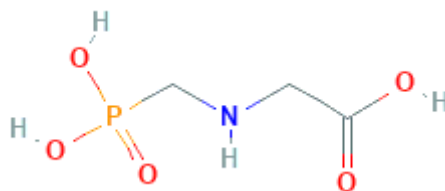
A contaminação das águas subterrâneas por herbicidas depende das interações entre suas moléculas e as características físicas e químicas do solo. Herbicidas com baixa sorção e alta dessorção e meia-vida têm maior potencial de contaminação dos recursos hídricos (FARIA et al., 2018). Para herbicidas de elevada capacidade sorativa, o conteúdo de matéria orgânica do solo é geralmente um fator importante, pois quanto mais alto, maior será a adsorção do herbicida e, com isso, menor a lixiviação. Em solos arenosos, a lixiviação será ainda maior do que em solos siltosos ou argilosos (ROSSI et al., 2005).

## **2.4. Glyphosate**

### **2.4.1. Características físico-químicas**

O glyphosate (N- (fosfometil) glicina) é um ácido poliprótico formado por três grupos funcionais polares: amina, carboxilato e fosfonato (BORGGAARD e GIMSING, 2008). É um herbicida que se comporta como uma molécula anfotérica, com quatro constantes de ionização ácida: 2; 2,6; 5,8 e 10,8 (SPRANKLE; MEGGITT; PENNER, 1975). As moléculas de glyphosate ficam, em sua maioria, carregadas positivamente em pH abaixo de 2,6, e carregadas

negativamente em pH superior a 2,6 (STALIKAS; KONIDARI, 2001). A estrutura do glyphosate é apresentada na figura 1.



**Figura 1.** Estrutura química do glyphosate. Fonte: Pubchem, 2020

O herbicida é mais comumente formulado como um sal desprotonado de glyphosate e um cátion como, por exemplo, a isopropilamina, a trimetilsulfona e a diamina (CERDEIRA e DUKE, 2006; WHO, 1994). Sob condições ambientais, o glyphosate e seus sais são sólidos cristalinos, com alta solubilidade em água (12 g/L a 25°C) e insolúvel na maioria dos solventes orgânicos. O glyphosate e seu principal metabólito, o ácido aminometilfosfônico (AMPA), possuem alta polaridade (VEIGA *et al.*, 2001). A Tabela 1 mostra as propriedades físico-químicas do glyphosate.

**Tabela 1.** Propriedades físico-químicas do glyphosate

Propriedade	Valor
Nome químico (IUPAC)	N- (fosfonometil) glicina
Nome comum	Glyphosate
Fórmula molecular	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> NO <sub>5</sub> P
Peso molecular	169 g mol <sup>-1</sup>
Grupo	Glicina substituída
Pressão de vapor (PV)	1,31 × 10 <sup>-5</sup> Pa (25 °C, ácido)
Constante da Lei de Henry a 25°C (H)	2.10 × 10 <sup>-07</sup> (Pa m <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup> )
Solubilidade em água (S <sub>w</sub> )	10,5 g L <sup>-1</sup> (20°C)
Constante de acidez (pK <sub>a</sub> )	2,0; 2,6; 5,6; 10,6
Coefficiente de octanol-água (K <sub>ow</sub> )	6,31 × 10 <sup>-4</sup> (pH 7, 20°C)
Coefficiente de sorção (K <sub>d</sub> )	209,4 mg L <sup>-1</sup>

Fonte: Adaptado do Pubchem, 2020

Conforme mostrado na Tabela 1, o glyphosate apresenta alto valor de S e baixo valor de K<sub>ow</sub>, indicando possuir grande tendência hidrofílica (MENDES; DE SOUSA; LAUBE, 2020). No entanto, o glyphosate se liga aos constituintes do solo por meio de seu grupo funcional de ácido fosfônico, isso faz com que esse herbicida se ligue rapidamente a cargas positivas no solo, como em solos abundantes em óxidos de ferro e alumínio (OLOLADE *et al.*, 2019; PEREIRA *et al.*, 2019a). Isso indica altos valores do coeficiente de sorção normalizado

pelo carbono orgânico do solo (CO) ( $K_{oc}$ ) em comparação a outros herbicidas, limitando sua lixiviação no perfil do solo (MENDES; DE SOUSA; LAUBE, 2020).

#### **2.4.2. Uso de glyphosate na agricultura e seus impactos ao ambiente**

O glyphosate é atualmente o herbicida mais amplamente utilizado em todo o mundo (GOMES et al., 2020; ZHANG et al., 2019). É um herbicida não seletivo de amplo espectro de ação, utilizado para controlar plantas daninhas em ambientes agrícolas e urbanos (HALL et al., 2018; UREN WEBSTER et al., 2014). Este herbicida é registrado no Brasil para as seguintes culturas: algodão, arroz, ameixa, banana, cacau, café, cana-de-açúcar, citros, coco, eucalipto, feijão, tabaco, maçã, mamão, milho, nectarina, pêra, pêssego, pinho, soja, trigo, uva, pastagens, azevém forrageiro e aveia preta (AGROFIT, 2020).

O glyphosate controla as plantas daninhas inibindo a enzima localizada no cloroplasto, a 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS) na via do chiquimato (BODE et al., 1984). Esta enzima catalisa a condensação do ácido chiquímico e do fosfoenolpiruvato, evitando, assim, a síntese de três aminoácidos essenciais – triptofano, fenilalanina e tirosina (JAWORSKI, 1972; ZABLOTOWICZ e REDDY, 2004). Após a aplicação foliar, o glyphosate é absorvido pelas folhagens e translocado, acumulando-se preferencialmente em tecidos jovens (FRANZ et al., 1997).

O herbicida mata as plantas daninhas dentro de dois a dez dias, ajudando a aumentar os rendimentos e a produtividade das espécies cultivadas (MALKANTHI et al., 2019). Os sintomas mais comuns de intoxicação causada pelo glyphosate são cloroses, necroses, malformação foliar e atrasos no crescimento de mudas (DE FREITAS-SILVA et al., 2020). A eficiência do glyphosate como herbicida, a presumível não-toxicidade para seres humanos, e o desenvolvimento de culturas geneticamente modificadas para resistir à exposição ao herbicida, levaram à sua aplicação excessiva, o que resultou em efeitos negativos, danificando as mesmas colheitas onde aplicada (MARTINEZ; LOENING; GRAHAM, 2018), recursos hídricos (OKADA et al., 2020), solo (SOARES et al., 2019), fauna (LOPES et al. 2018) e a flora circundante (DE FREITAS-SILVA et al., 2020).

O glyphosate pode contaminar os ecossistemas através da lavagem foliar, por deriva de pulverização e por exsudação de raízes ou morte e decomposição de resíduos de plantas tratadas (SOARES et al., 2019; TEFAMARIAM et al., 2009). Na deriva deste herbicida, parte das moléculas podem atingir plantas não-alvo (LUCADAMO; CORAPI; GALLO, 2018). Dependendo das condições climáticas, a deriva do herbicida pode se estender por uma área de

vários quilômetros quadrados, onde 10% do herbicida aplicado pode atingir culturas não-alvo, correspondendo a 5–60 g de glyphosate ha<sup>1</sup> (REZENDE-SILVA et al., 2019).

Quando o glyphosate é aplicado e atinge o solo, está sujeito a vários fatores que influenciam seu destino. Alguns desses fatores são propriedades intrínsecas do herbicida (estrutura molecular, solubilidade e persistência), enquanto outros fatores correspondem às propriedades do solo como fração argila, matéria orgânica, conectividade dos poros, capacidade de troca catiônica (CTC) e pH (OKADA et al., 2016). O glyphosate é uma molécula pequena com três grupos funcionais polares, que permite uma forte adsorção aos minerais do solo e a matéria orgânica. Isso pode resultar em uma baixa mobilidade do herbicida no solo (SORACCO et al., 2018; VAN BRUGGEN et al., 2018).

O glyphosate e o AMPA podem persistir por mais de um ano em solos com alto teor de argila, mas podem rapidamente sair dos solos arenosos (KHADEMI et al., 2019; VAN BRUGGEN et al., 2018). A degradação do glyphosate nos solos deve-se principalmente à atividade microbiana e decomposição química (LA CECILIA e MAGGI, 2018). A degradação do glyphosate e do AMPA é fortemente dependente do pH do solo (ZHANG et al., 2015). Dentro da faixa de pH do solo (entre 4 e 8), o glyphosate é encontrado em sua forma aniônica e possui alta afinidade pelos cátions trivalentes Al<sup>3+</sup> e Fe<sup>3+</sup>. À medida que o pH do solo aumenta, a adsorção do glyphosate diminui (OKADA; COSTA; BEDMAR, 2016).

Apesar do glyphosate ser metabolizado por diferentes microrganismos ou adsorvido aos componentes do solo, sua resolubilização no solo já foi relatada (BORGGAARD e GIMSING, 2008). Além disso, estudos mostraram que, sob certas condições ambientais, como solos estruturados sob fortes chuvas, pode ocorrer lixiviação (MAQUEDA et al., 2017; RENDÓN-VON OSTEN e DZUL-CAAMAL, 2017). Essa lixiviação é favorecida devido a sua alta solubilidade em água (VEIGA et al., 2001). A grande solubilidade na água dessa substância significa que, quando aplicadas no solo, elas podem se difundir em águas superficiais ou subterrâneas, gerando uma contaminação severa (DUBOIS, 2011).

Uma vez difundido pelas águas subterrâneas, o herbicida pode entrar em contato com as raízes de plantas e ser absorvido e transportado através do xilema e do floema, atingindo tecidos metabólicos ativos, como meristemas de brotação e raiz (GOMES et al., 2014). Em um experimento realizado com plântulas de milho, no qual estudaram a absorção, translocação e atividade do glyphosate quando aplicado em raízes com solução aquosa foi observado que pequenas quantidades de glyphosate absorvido pela raiz do milho estimulou seu

crescimento, no entanto, um incremento muito pequeno desse produto começou a produzir efeitos fitotóxicos (WAGNER; KOGAN; PARADA, 2003).

## **2.5. Espécies florestais de ocorrência na Caatinga e no Cerrado do Brasil**

O Semiárido brasileiro tem a maior parte de seu território ocupado por uma vegetação denominada Caatinga um bioma extremamente importante do ponto de vista biológico, suas espécies apresentam morfologias adaptadas ao estresse hídrico e às altas temperaturas. A Caatinga tem características próprias com grande biodiversidade e um conjunto de espécies vegetais e animais não vistos em nenhuma outra parte do mundo (VOLTOLINI et al., 2019).

A vegetação de Caatinga tem uma larga variedade de fisionomias, isto dependendo de influências do regime de chuva, temperatura, luminosidade solar e do tipo de solo, entre outros. Apresenta maior dominância de formações xerófilas, podendo variar de estratos com herbáceas, arbustos e até árvores de grande porte, compreendendo espécies que geralmente são decíduas, espinhosas, com folhas pequenas e delgadas, bem como plantas lenhosas e suculentas (FREIRE et al., 2018; SERAFIM FILHO, 2014).

A composição diversificada de espécies da fauna e da flora permite que as áreas agrícolas se beneficiem de serviços ambientais como a polinização das flores, no qual asseguram a formação de frutos e a produtividade das culturas, além de contribuir no controle biológico de pragas e doenças (LEAL et al., 2018). Além disso, diminui o impacto das gotas de chuva sobre o solo, o que aumenta a infiltração da água, favorecendo a recarga de lençóis freáticos e diminuindo a erosão do terreno (DRUMOND et al., 2016). Algumas das espécies nativas da Caatinga apresentam grande potencial econômico e podem ser usadas no suprimento de madeira, como fonte de alimento e uso medicinal.

A *Amburana cearensis* (Allemão) AC Smith. (Fabaceae) é uma árvore de copa densa amplamente distribuída na Caatinga no Nordeste do Brasil, e é popularmente conhecida como cumaru, amburana-de-cheiro ou cerejeira (PEREIRA et al., 2017b). Qualquer parte desta planta é usada na medicina tradicional, visto que a casca e as folhas do caule contêm compostos fenólicos com efeitos anti-inflamatórios e antioxidantes (AGUIAR et al., 2017). É amplamente extraída por sua madeira, que gerou juntamente com a degradação ambiental e a perda de habitat, a redução drástica da população da espécie (VASCONCELOS et al., 2019).

Outra espécie conhecida no bioma caatinga é a *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. pertencente às Fabaceae (subfamília Mimosoideae) que ocorre naturalmente no Nordeste brasileiro, onde é comumente conhecida como sabiá (LUZ; BARRETO; ROBERT, 2019). É uma árvore de porte médio que possui tronco escamoso, ramos com espinhos e perda de

folhagem durante a estação seca, tendo crescimento rápido, alta capacidade de regeneração e resistência à seca (MAIA-SILVA et al., 2012; PODADERA et al., 2015). Devido aos seus efeitos terapêuticos, as folhas, casca de caule e flores têm sido usadas na medicina tradicional para o tratamento de bronquite, infecções de pele e lesões, para inflamação e hipertensão (DIAS SILVA et al., 2019).

A *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong é uma árvore de crescimento rápido pertencente à família Fabaceae, amplamente distribuída no Brasil, conhecida popularmente como orelha-de-negro, tamboril e ximbuva (LEAL, et al 2017). A espécie classifica-se como caducifólia, heliófila, de rápido crescimento em formações secundárias, podendo chegar a mais de 4 m em dois anos, regenera-se muito bem, sendo importante para a recuperação de áreas degradadas com solos pobres (LEITE et al., 2017; SILVA et al., 2018).

A *Libidibia ferrea* Martius é uma planta da família Leguminosae-Caesalpinoideae, sendo popularmente conhecida como jucá ou pau-ferro é comumente encontrada na Caatinga (FERREIRA e SOARES, 2015). A espécie possui ampla distribuição e muitas propriedades econômicas e farmacológicas, sendo utilizadas desde a produção de madeira até o reflorestamento de ruas e avenidas (SOUZA e LORENZI, 2012).

A Jurema Preta (*Mimosa tenuiflora*) é uma espécie arbórea pertencente à família leguminosae e subfamília Mimosoideae. Ocorre com frequência no semiárido de praticamente todos os estados do Nordeste. As características da planta incluem arbustos espinhosos, ramificadas, de porte arbustivo, com altura de 5 a 7 metros, formando hastes de mais de 1,5 m de altura, com acúleos esparsos, eretos e bem agudos (BEZERRA, 2008).

Outra espécie conhecida na região nordeste é a *Tabebuia aurea* (Silva Manso), conhecida popularmente por caraibeira, craibeira, caraiba, carobeira, craiba, pertence à família Bignoniaceae (CORANDIN, CAMILLO, PAREYN, 2018). Dória (2014) apresenta a Caraibeira como possuindo porte arbóreo, podendo alcançar uma altura de até 10 metros, floresce com a árvore quase despida da folhagem e é ornamental quando em floração. É uma espécie muito utilizada na arborização de ruas e praças, sendo que a sua madeira é muito utilizada na construção civil e para confecção de móveis (LORENZI, 1998).

A *Bauhinia cheilantha*, conhecida popularmente como mororó ou pata de vaca, é uma leguminosa típica da Caatinga, possui relevante aplicação madeireira, forrageira e como combustível (GUIMARÃES-BEELEN et al., 2006). Além disso, a planta tem grande importância medicinal, sendo sua parte aérea amplamente empregada nas práticas caseiras da medicina popular para o tratamento da diabetes (BARBOSA-FILHO et al., 2005). A espécie é

propagada sexuadamente, contudo em suas sementes detectou-se a presença de dormência tegumentar, o que dificulta a rápida produção de plantas uniformes em campo (SEIFFERT, 2006).

A espécie *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. conhecida como aroeira-do-sertão é uma árvore nativa da família Anacardiaceae de ocorrência natural e se estende pelas regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil até a região do Chaco na Bolívia, Paraguai e Argentina (BILONI, 1976; RODRIGUEZ et al., 2017). Por possuir as características de espécies pioneiras, como sistema radicular profundo e adaptação a condições adversas do solo e do clima, *M. urundeuva* é recomendado para a recuperação de ecossistemas degradados, reflorestamento e exploração econômica da madeira (AZEVEDO et al., 2018).

O jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) é uma Leguminosae, distribuída por quase todo o Brasil. Esta árvore é considerada uma árvore de grande porte, podendo ultrapassar os 30 m de altura, possuindo folhas compostas, inflorescência em panículas terminais e frutos em forma de vagens indeiscentes, duros e pardo-escuros, apresentando de 2 a 6 sementes, envoltas por uma farinha comestível de grande valor nutritivo, consumida pelo homem como alimento e por animais, principalmente roedores (CARVALHO FILHO et al., 2003; GORCHOV et al., 2004).

A *Anadenanthera macrocarpa* da família Leguminosae-Mimosoideae, popularmente conhecida por angico, distribui-se naturalmente em todos os estados do Nordeste (SANTOS et al., 2004). É uma espécie decídua, heliófita, pioneira ou secundária inicial, de crescimento rápido, tolerando solos rasos, compactados (MAIA, 2004) e bem drenados, chegando a formar agrupamentos quase homogêneos (LORENZI, 1992). É bastante utilizada no paisagismo, pois floresce exuberantemente todos os anos e as flores exalam excelente perfume, o que a torna uma espécie ornamental.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos em casa de vegetação (abril e agosto de 2019) localizada na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, RN, Brasil (5° 03' 37" S 37° 23' 50" WGr). O primeiro experimento avaliou a sensibilidade de dez espécies florestais exposta a uma simulação de deriva de glyphosate. O segundo experimento avaliou a sensibilidade das mesmas espécies a contaminação de águas subsuperficiais por glyphosate. As espécies florestais estudadas compõem dois biomas brasileiros, o Cerrado e a Caatinga. As plantas foram obtidas de um viveiro comercial (Fazenda Pica-Pau), localizado em Ceará-Mirim/RN, Brasil. As espécies selecionadas foram: cumaru (*Amburana cearensis* (Allemão) A. C. Sm.), angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan), mororó (*Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud.), tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong), jatobá

(*Hymenaea courbaril* L.), jucá (*Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L. P. Queiroz), sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.), jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.), aroeira (*Myracrodruon urundeuva* M. Allemão) e caraibeira (*Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore). As mudas selecionadas para cada espécie eram uniformes quando ao estágio de desenvolvimento, número de folhas ou folíolos e tamanho (entre 20 e 30 cm de altura).

### **3.1. Experimento I: Sensibilidade de espécies florestais devido a contaminação por deriva de glyphosate**

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos foram arranjados em esquema fatorial 10 x 5. O primeiro fator foi representado pelas espécies florestais e o segundo pelas doses (222; 444; 666; 1110 g e.a. ha<sup>-1</sup>) do herbicida glyphosate (Roundup Original DI®), correspondendo a 10, 20, 30, 50% da dose comercial. Um controle adicional sem herbicida foi usado para comparar o crescimento relativo das espécies.

A unidade experimental foi composta por vasos de polietileno de 5L contendo uma muda. Os vasos foram preenchidos com substrato preparado partir de solo e material orgânico (proporção 10:1). O solo foi coletado em área sem histórico de aplicação de herbicida na horta didática do Departamento de Ciências Vegetais (DCV) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) a uma profundidade de 0 a 20 cm. Antes do preenchimento dos vasos, uma amostra homogênea do solo com o substrato foi coletada, seca ao ar e peneirada em malha de 2 mm e, caracterizada por análises químicas e físicas de acordo com metodologia proposta por Teixeira et al. (2017). De acordo com a análise realizada, o solo apresentou valores de areia, silte e argila, de 820, 120 e 60 g kg<sup>-1</sup> respectivamente, sendo a classe textural de areia franca. Os atributos químicos do solo tiveram os seguintes valores: pH (H<sub>2</sub>O): 7,6; matéria orgânica (MO): 8,8 g kg<sup>-1</sup>; condutividade elétrica (CE): 0,54 dS/m e capacidade de troca catiônica (CTC): 6,1.

Após o preenchimento dos vasos com o solo, as mudas foram transplantadas. O fornecimento de água foi realizado via irrigação manual. Antes da implementação dos tratamentos, as mudas foram submetidas a um período de aclimação durante 30 dias. Após este período, o herbicida foi aplicado utilizando um pulverizador costal de pesquisa pressurizado com CO<sub>2</sub> (Herbicat® - Catanduva, SP, Brasil), acoplado a uma barra de pulverização com duas pontas tipo plano Teejet XR 110.02, espaçadas em 50 cm, sob uma



pressão equivalente a 2,0 kgf cm<sup>2</sup>. O sistema foi calibrado para fornecer um volume de aplicação de 140 L ha<sup>-1</sup>. A barra foi posicionada a 50 cm das mudas.

A intoxicação das mudas foram avaliadas aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA). Notas foram atribuídas as mudas de acordo com a observação dos sintomas característicos causado pelo glyphosate (FLORENCIA et al., 2017). Os critérios usados foram: (1) ausência de intoxicação (0%), (2) ligeira intoxicação (1 a 30%, ligeira clorose), (3) intoxicação mediana (31 a 69%, clorose grave, necrose leve a moderada), (4) intoxicação grave (70-99%, clorose grave e necrose grave) e (5) morte das plantas (100%).

A área foliar e a matéria fresca de todas as espécies foram determinados aos 35 (DAA). As folhas foram coletadas e distribuídas sob folhas de papel A4 (21 cm x 29,7 cm), evitando a sobreposição das folhas. Registros fotográficos foram realizados e as imagens processadas digitalmente usando o software ImageJ (National Institute of Health, NY, USA). Posteriormente, o caule e raízes também foram coletadas separadamente, assim, as folhas, caules e raízes foram pesadas em balança de precisão (Bel<sup>®</sup>, modelo S2202H, Piracicaba, SP, Brasil) para determinação do peso de matéria fresca. As amostras de folhas, caule, e raízes foram acondicionados em sacos de papel e secadas em estufa de circulação forçada de ar, a uma temperatura média de 60 °C, até atingir massa constante. Após esta etapa, o material foi pesado em balança semi-analítica digital (Marte<sup>®</sup>, modelo AD500, São Paulo, SP, Brasil) para determinação do peso de matéria seca.

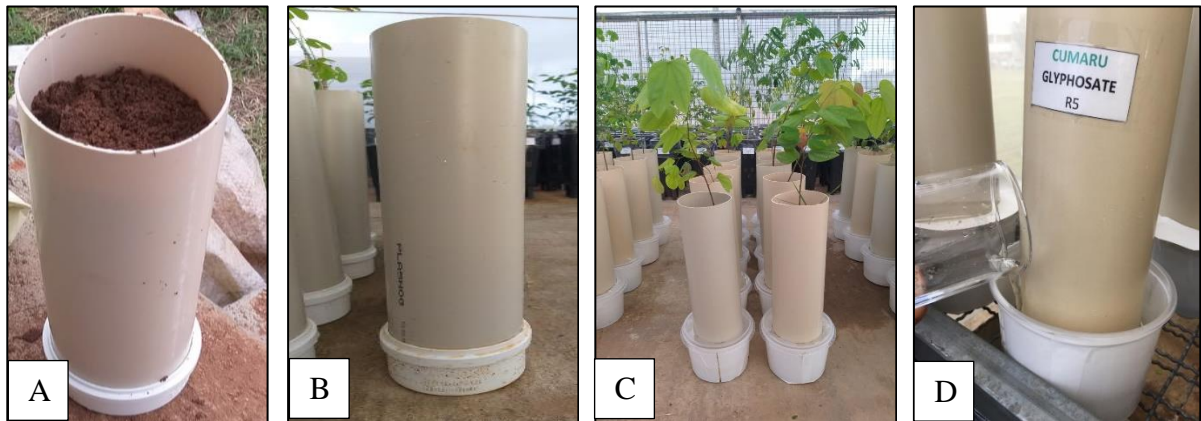
### **3.2. Experimento II: Sensibilidade de espécies florestais devido a contaminação de águas subsuperficiais por glyphosate**

O segundo experimento também foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco repetições. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial 2 x 10. O primeiro fator correspondente a presença ou ausência de glyphosate na água subsuperficial. O segundo fator foram as espécies dez espécies florestais.

PVC (policloreto de vinila), com 100 mm de diâmetro e 35 cm de comprimento, foram revestidas internamente com parafina para evitar o movimento lateral da água. Posteriormente, as colunas foram preenchidas com 5 kg de substrato (mesmo substrato usado no Experimento I) conforme a Figura 2A. Na parte interior cada coluna foi colocada tampas de PVC com furos em espaçamentos equidistantes para permitir a entrada água no sistema (Figura 2B). Entre a coluna e a tampa foi adicionada uma camada de lã de vidro para evitar a perda de solo pelos furos. Uma estrutura contendo a água necessária para irrigação das mudas foram instaladas na parte inferior das colunas, como mostrado na Figura 2C. Essa estrutura, com capacidade de 300

mL, foi revestida por material opaco de cor branca para evitar a passagem de luz, simulando o lençol freático. As mudas foram transplantadas e mantidas nesse sistema por 40 dias para aclimação. A água foi exclusivamente fornecida via o subsuperfície através da capilaridade. O volume de água (300 mL) foi completado sempre que detectado o esgotamento do sistema. Os valores de água adicionados foram anotados durante toda condução do experimento.

Após a aclimação, o glyphosate foi aplicado na estrutura inferior dos sistemas (Figura 2D). A aplicação do glyphosate foi realizada três vezes, aos 40, 55 e 70 dias após o transplântio. A quantidade de glyphosate adicionada em cada aplicação foi de 0,012 mg (cálculo baseado em 1/3 da dose comercial equivalente a 2220 g e.a ha<sup>-1</sup>). No momento da aplicação, a água no contida no recipiente era medida, e o volume era completado até 300 mL com água contendo glyphosate na concentração necessária para equivaler 0,012 mg de herbicida.



**Figura 2.** Preparo das colunas e transplântio das espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado do Brasil. (A) Preenchimento das colunas de PVC com o solo (B) coluna de PVC com tampa e lã de vidro para evitar a saída do solo, (C) coluna com vaso para adição de água e (D) aplicação do glyphosate.

As mudas das espécies florestais foram fertilizadas de acordo com as necessidades das plantas. O fertilizante foliar Liqui-plex® fruit (Alltech do Brasil Agroindustrial Ltda, Maringá, PR, Brasil – N[5,0%], Ca[1%], S [6%], B [1%], Cu [0,05%], Mn [5,0%], Mo [0,10%], Zn [5%], carbono orgânico [2,20%]) foi aplicado aos 80 e 90 dias após o transplântio.

A intoxicação das espécies florestais foram avaliadas aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a última aplicação do herbicida (DAA). As notas de intoxicação foram realizadas considerando a metodologia usada no Experimento I. As partes das plantas (folha, caule e raiz) foram separadas e pesadas em balança de precisão (Bel®, modelo S2202H, Piracicaba, SP, Brasil) para obtenção da matéria fresca. Posteriormente, as amostras foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar, a uma temperatura média de 60 °C, até atingir massa constante. As

amostras pesadas com o auxílio de uma balança semi-analítica digital (Marte<sup>®</sup>, modelo AD500, São Paulo, SP, Brasil) para obtenção da matéria seca. A eficiência no uso da água (EUA) foi calculada como a razão entre a matéria seca total da planta e a evapotranspiração medida após a aplicação do glyphosate até o final do experimento. A evapotranspiração foi considerada como a soma do volume de água adicionada ao sistema via subsuperfície.

### 3.3. Análises estatísticas

O software RStudio (versão 3.6.1, Team R Core, 2019) foi utilizado para realizar todas as análises estatísticas. Os resultados de intoxicação foram expressos em porcentagem e comparados descritivamente para cada espécie entre os tratamentos (controle e com glyphosate) ao longo dos dias de avaliação. As correlações entre a matéria fresca e matéria seca de caule, folha, raiz e total das plantas foram determinadas pela análise de correlação de Pearson. No Experimento I, a matéria seca relativa para cada espécie foi calculada baseada no tratamento controle (sem glyphosate). Os dados de matéria seca de folha, caule, raiz e total foram submetidos à análise de homogeneidade da variância pelo teste de Levene (LEVENE, 1960) e análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO e WILK, 1965). O crescimento relativo foi para folha, caule, raiz e total das espécies florestais foram aplicados a modelos de regressão não-linear logística. As doses estimadas (g e.a. kg<sup>-1</sup>) necessárias para reduzir 50 e 90% da matéria seca foram comparadas pelo intervalo de confiança ( $p \leq 0,05$ ). No experimento II, os dados de matéria seca de folha, caule, raiz, total, água evapotranspirada e eficiência no uso da água (mL<sup>1000</sup>/g) também foram submetidos à análise de homogeneidade da variância pelo teste de Levene (LEVENE, 1960) e análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO e WILK, 1965). Os tratamentos controle e com glyphosate foram comparados pelo teste de t-pareado ( $p \leq 0,05$ ).

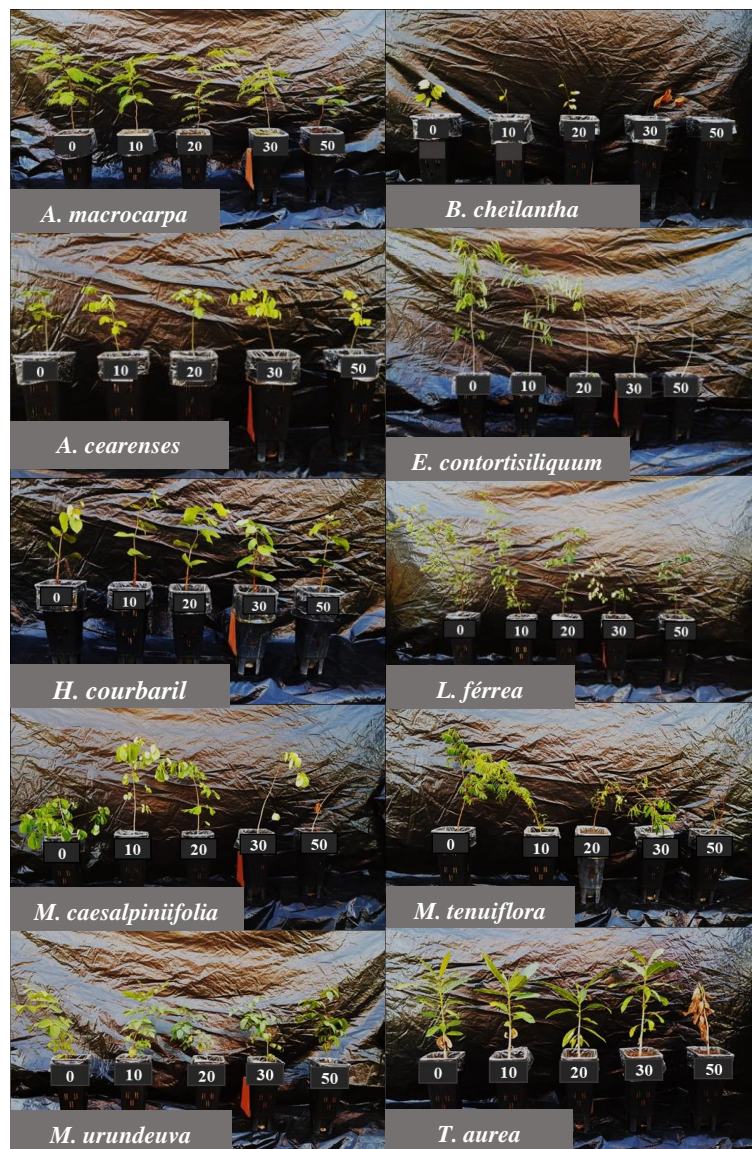
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Sensibilidade de espécies florestais devido a contaminação por deriva de glyphosate

#### 4.1.1. Intoxicação

As espécies florestais mostraram diferentes níveis de tolerância devido a exposição a deriva de glyphosate. Os sintomas marcantes nas espécies mais sensíveis foram a clorose seguida por necrose total das folhas (Figura 3). A perda de folhas foi um sintoma para algumas das espécies, e esse comportamento será discutido em detalhes posteriormente. A *H. courbaril* demonstrou sintomas leves (Figura 3), com intoxicação máxima equivalente a 20% devido a

exposição as doses de 666 e 1110 g e.a ha<sup>-1</sup> aos 7 e 14 DAA (Figura 4). Aos 21, 28 e 35 DAA, a intoxicação para essa espécie reduziu para valores próximos a 0% (Figura 4). Comportamento similar a *H. courbaril* foi observado para *M. urundeuva*, com intoxicação máxima de 20% aos 7 DAA, seguida por uma redução nos níveis de intoxicação aos 35 DAA para todas as doses testadas (Figura 4). A espécie *T. aurea* demonstrou baixa intoxicação até a dose 666 g e.a. ha<sup>-1</sup>, atingindo o máximo valor de 30% em todas as épocas avaliadas (Figura 4). Para a dose equivalente a 1110 g e.a. ha<sup>-1</sup>, a intoxicação alcançou 95% aos 35 DAA (Figura 4). A *L. ferrea* demonstrou média intoxicação para todas as doses testadas, não ultrapassando 50% em todas as épocas (Figura 4).



**Figura 3.** Intoxicação espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado brasileiro aos 35 DAA exposta a subdoses (10, 20, 30, 50% da dose equivalente a 2220 g e.a. ha<sup>-1</sup>) de glyphosate.

A baixa intoxicação das espécies *H. courbaril* e *M. urundeuva* indicam a presença de mecanismos, tais como absorção diferenciada (TATE et al., 2019), capacidade de metabolização (PERAGÓN e AMORES-ESCOBAR, 2018), insensibilidade da enzima-alvo (BAERSON et al., 2002) entre outros, que permitem a tolerância dessas plantas ao glyphosate. A *H. courbaril* é uma espécie reconhecida por tolerar a exposição ao glyphosate. O uso desse herbicida em plantios comerciais tem sido frequentemente testado devido à importância da *H. courbaril* como matéria prima para o setor madeireiro (DO NASCIMENTO et al., 2017). Estudos testaram o uso de glyphosate para o manejo de plantas daninhas em cultivos comerciais dessa arbórea, relatando baixa intoxicação nas mudas até para altas dosagens (GANDINI et al., 2014; OLIVEIRA, et al., 2019). Para a *M. urundeuva*, existem poucos relatos sobre a tolerância dessa espécie ao glyphosate. Aplicações em concentrações superiores a 1444 g e.a. ha<sup>-1</sup> causaram forte intoxicação a *M. urundeuva* aos 28 DAA (DUARTE et al., 2006); no entanto, nossos resultados demonstraram uma baixa intoxicação quando essa espécie é exposta a sub doses inferiores a 1110 g e.a. ha<sup>-1</sup>.

A deposição de cera epicuticular nas espécies *H. courbaril* e *M. urundeuva*, *T. aurea* e *L. ferrea* provavelmente reduziu a intoxicação causada pelo glyphosate devido a menor absorção do herbicida. A cera cuticular é a primeira barreira para a absorção de herbicidas hidrofílicos como glyphosate (HOLLOWAY, 1993; HESS et al., 2000; CRUZ-HIPOLITO et al., 2011; SINGH et al., 2011). Nessas espécies de alta incidência no cerrado e caatinga, o acúmulo de cera cuticular é uma estratégia para reduzir a perda de água (DÓRIA et al., 2016). Conseqüentemente, essa característica anatômica foliar dificultou a absorção do glyphosate. No entanto, a barreira cuticular não foi capaz de impedir a intoxicação das espécies *T. aurea* e *L. ferrea* na maior dose aplicada. Doses de herbicidas suficientemente altas podem gerar a energia químico-osmótica necessária para que a molécula atravessasse a camada cuticular via difusão e atinja a epiderme (HESS et al., 2000; KUDSK et al., 2017).

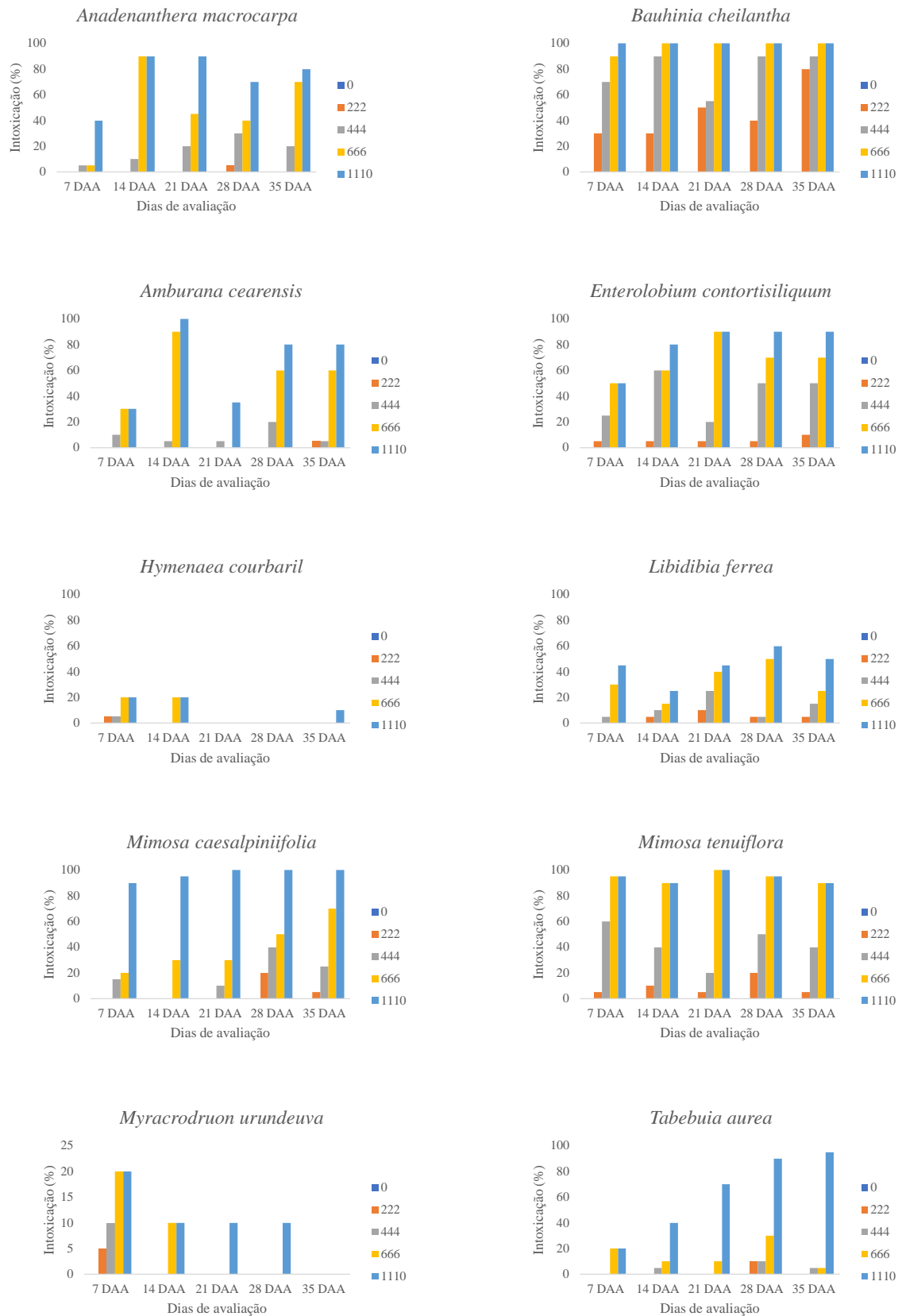
Entre as 10 espécies testadas, a *B. cheilantha*, *E. contortisiliquum*, *M. caesalpinifolia* e a *M. tenuiflora* demonstraram níveis mais severos de intoxicação pela exposição ao glyphosate (Figura 3). Nessas espécies a intoxicação aumentou ao longo das avaliações, com valores variando entre 95 e 100% para as doses de 666 e 1110 g e.a. ha<sup>-1</sup> aos 35 DAA (Figura 4). No entanto, a intoxicação dessas espécies variou para as menores doses testadas. A *B. cheilantha* apresentou severa intoxicação (90%) a partir da dose de 666 g e.a. ha<sup>-1</sup> aos 7 DAA (Figura 4). Para a *E. contortisiliquum*, a intoxicação inicial variou de 5 a 25% aos 7 DAA e alcançou o valor máximo de 7 e 58% para as doses 222 e 444 g e.a. ha<sup>-1</sup>, respectivamente, aos 35 DAA

(Figura 4). As espécies *M. caesalpinifolia* e *M. tenuiflora* também apresentaram leves intoxicações aos 7, 14 e 21 DAA nas doses inferiores a 666 e.a. ha<sup>-1</sup> (Figura 4). A máxima intoxicação para *M. caesalpinifolia* e *M. tenuiflora* foi equivalente a 40 e 62%, respectivamente, aos 28 DAA (Figura 4). A principal diferença entre a *M. caesalpinifolia* e *M. tenuiflora* foi a alta intoxicação da última espécie na dose 666 g e.a. ha<sup>-1</sup>, com valores próximos a 100% (Figura 4). Essa alta intoxicação não foi observada para *M. caesalpinifolia* na dose 666 e.a. ha<sup>-1</sup> (Figura 4).

Entre as espécies nativas do bioma cerrado e caatinga testadas aqui e com alta intoxicação ao glyphosate, apenas a *E. contortisiliquum* já foi relatada como uma planta sensível a esse herbicida. Monquero, et al. (2011) relatou uma alta intoxicação para a *E. contortisiliquum* em doses superiores a 720 g e.a. ha<sup>-1</sup>, comportamento similar ao observado para nossos resultados. Para as espécies *B. cheilantha*, *M. caesalpinifolia*, e *M. tenuiflora* este é o primeiro relato evidenciado a alta sensibilidade dessas espécies a sub-doses de glyphosate.

A *A. macrocarpa* e *A. cearensis* demonstraram baixa intoxicação (5%) quando expostas a 222 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate em todas as épocas de avaliação (Figura 4). Esse resultado também foi observado para *A. cearensis* para a dose 444 g e.a. ha<sup>-1</sup> (Figura 4). Nas doses superiores (666 e 1110 g e.a. ha<sup>-1</sup>), essas espécies atingiram a máxima intoxicação (acima de 80%) aos 14 DAA, com redução para 70% (*A. macrocarpa*) e 60% (*A. cearensis*) aos 35 DAA (Figura 4).

As espécies *A. macrocarpa* e *A. cearensis* foram capazes de reduzir os fortes sintomas observados até os 14 DAA, principalmente para as doses até 666 g e.a. ha<sup>-1</sup>. Esse processo pode estar relacionado a uma ação conjunta da queda de folhas e a ação antioxidante de compostos fenólicos presente em seus tecidos foliares sob condições estressantes. A clorose foliar em plantas expostas a herbicidas é um indicativo de estresse oxidativo (PERCIVAL et al., 2017). Esse estresse causado pelo glyphosate, principalmente 14 DAA, provocou uma intensa perda de folhas na *A. macrocarpa* e *A. cearensis*. A queda de folhas ativadas pelo estresse oxidativo é um mecanismo conhecido dessas espécies para sobrevivência ao déficit hídrico (LIMA e RODAL, 2010; DE LIMA et al., 2012; MENDIVELSO et al., 2013). Esse mecanismo também evitou a morte devido a exposição ao glyphosate uma vez que a perda de folhas limitou a translocação do glyphosate absorvido por essas espécies. Além disso, a alta concentração de compostos fenólicos antioxidantes nos tecidos dessas espécies (TAKAHASHI; BADGER, 2011; DE ARAÚJO et al., 2018; REZENDE-SILVA et al., 2019) pode ter contribuído para mitigar os efeitos visíveis causados pelos processos oxidativos durante a inibição da rota EPSPs.

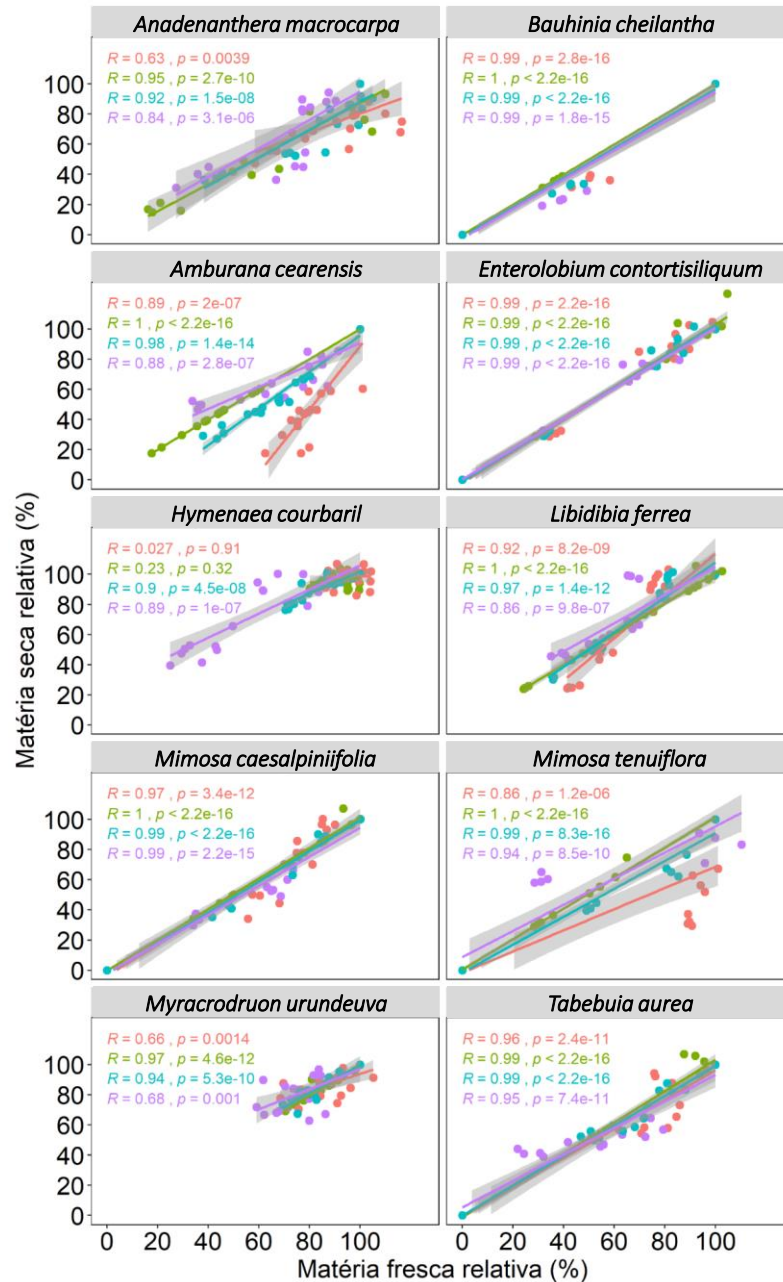


**Figura 4.** Porcentagem de intoxicação espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado brasileiro expostas a subdoses (0; 222; 444; 666 e 1110 g e.a. ha<sup>-1</sup>) de glyphosate.



#### 4.1.2. Componentes de crescimentos: área foliar, matéria fresca, e matéria seca de folha, caule e raiz

A correlação de Pearson (R) demonstrou a forte relação entre a matéria fresca e matéria seca para folha, caule, raiz, e matéria total na maioria das espécies arbóreas (Figura 5). Apenas para *H. courbaril* não houve correlação significativa para folha ( $R = 0,27$ ,  $p = 0,91$ ) e caule ( $R = 0,23$ ,  $p = 0,32$ ) (Figura 5). Para as demais espécies, os valores de R foram todos positivos e variaram entre 0,63 a 0,99 ( $p < 0,001$ ) considerando folha, caule, raiz, e matéria total (Figura 5).



**Figura 5.** Correlação entre matéria fresca relativa e matéria seca relativa para folha (vermelho), caule (verde), raiz (azul) e massa total (roxa) de espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado brasileiro.

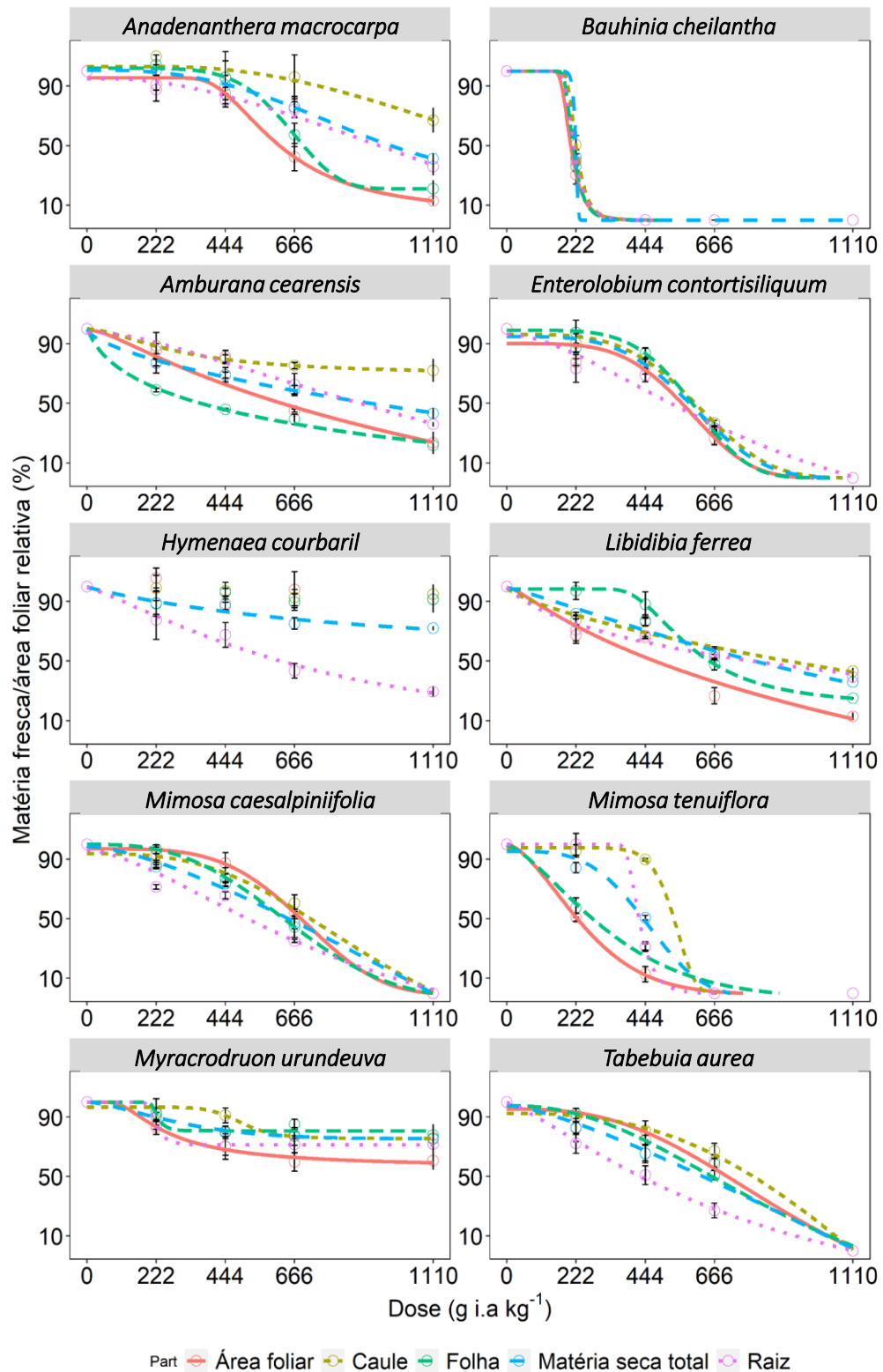


A correlação positiva significativa entre matéria fresca e matéria seca para as espécies arbóreas submetidas a exposição ao glyphosate sugerem que ambas variáveis responderam igualmente ao tratamento imposto. Ou seja, a redução de matéria fresca ou seca podem avaliar a sensibilidade das espécies ao glyphosate sem omissão significativo; portanto, apenas a variável matéria seca foi considerada para construção dos modelos regressão e obtenção dos parâmetros D50 e D90 (doses responsáveis por reduzir 50 e 90% da matéria seca relativa ao controle).

Os dados de área foliar e matéria seca relativa ao controle (sem exposição ao glyphosate) em função das concentrações de glyphosate se ajustaram aos modelos de regressão sigmóides, considerando as folhas, caules, raízes e matéria seca total (ver qualidade do ajuste em APÊNDICE I). Apenas a para *H. courbaril*, a área foliar, folha, e caule não ajustaram a nenhum modelo devido a insensibilidade dessas variáveis as doses de glyphosate, ou seja, sem diferenças em relação ao controle (Figura 6). Apenas reduções na matéria seca de raiz (75%) e total (24%) foram observadas na *H. courbaril* (Figura 6)

A aplicação da dose máxima de glyphosate reduziu em 95% a matéria seca relativa de folha, caule, raiz e total nas espécies *B. cheilantha*, *E. contortisiliquum*, *M. caesalpinifolia*, *M. tenuiflora* e *T. aurea* (Figura 6). Nessas cinco espécies, a área foliar também atingiu 95% de redução devido a exposição a dose máxima (Figura 6). Para as demais espécies estudadas, houve uma variação em relação a máxima redução em área foliar e matéria seca (Figura 6). As máximas reduções na *A. macrocarpa* foram equivalentes a 38, 62 e 89%, e na *A. cearensis* foram 25, 60, e 75% para caule, raiz, área foliar e folha, respectivamente (Figura 6). Na *L. ferrea*, as reduções máximas foram 55% para raiz e caule e 80 e 85% para área foliar e folha, respectivamente (Figura 6). As menores perdas para área foliar e matéria seca foram observadas na *M. urundeuva*. Nessa espécie, as máximas reduções foram equivalentes a 20, 24, 28, e 38% para folha, caule, raiz, e área foliar (Figura 6).

A sensibilidade dos órgãos da planta após a exposição ao glyphosate foi variável entre as espécies arbóreas. Para as espécies com redução mais severa (acima de 90% sob aplicação de 1110 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate) na área foliar e matéria seca, a sensibilidade da área foliar, folha, caule, e raiz foram similares à medida que aumentaram as subdoses de glyphosate. A única exceção foi observada para *M. tenuiflora*. Mesmo com redução de área foliar e matéria seca superior a 90%, a sensibilidade para folhas e área foliar foi maior comparado a raiz e caule. A área foliar e matéria seca de folhas também foram mais sensíveis comparado a caule e raiz nas espécies *A. macrocarpa*, *A. cearensis*, e *L. ferrea* quando exposta a 1110 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate.

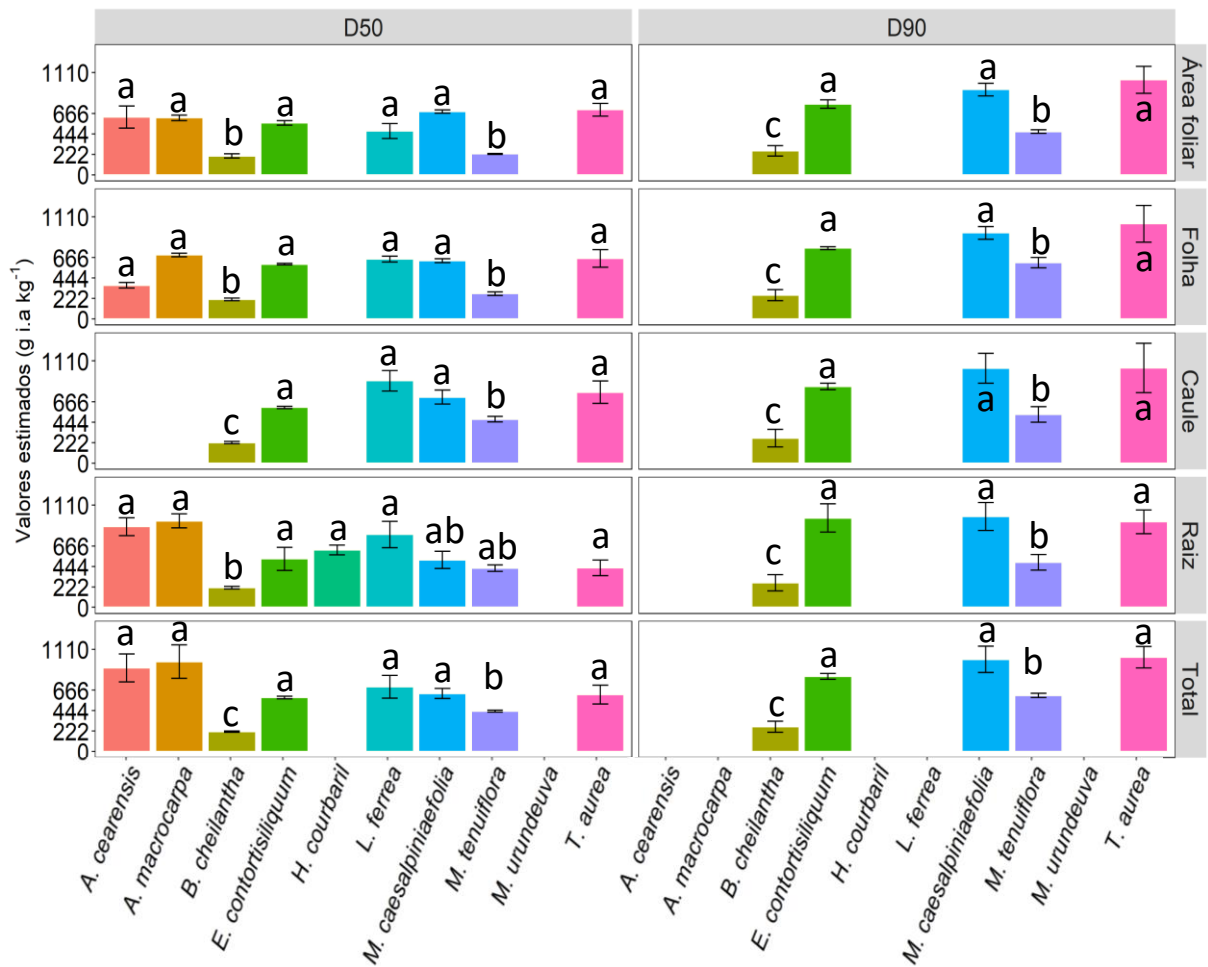


**Figura 6.** Modelos ajustados obtidos a partir da matéria seca (g) e área foliar (cm<sup>2</sup>) das espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado brasileiro submetidas a aplicação de doses crescentes de glyphosate. Barras indicam o erro padrão da média.

A aplicação direta sob as folhas provavelmente causou a maior redução de crescimento desse órgão para a maioria das espécies arbóreas. No entanto, outros fatores podem explicar a esse comportamento. Esse herbicida interrompe a síntese dos aminoácidos fenilalanina, tirosina e triptofano ao ligar a enzima EPSPs, causando alterações fisiológicas que levam a redução no crescimento de plantas sensíveis (GONÇALVES et al., 2017). Dentre as alterações fisiológicas promovidas pelo glyphosate, o estresse oxidativo tem sido frequentemente relatado como primeiro sinal em plantas sensíveis (AHSAN et al., 2008; DE FREITAS-SILVA et al., 2017). A maior produção de espécies reativas de oxigênio é extremamente prejudicial a tecidos fotossintetizantes (principalmente folhas) porque acelera a peroxidação de membranas celulares (GOMES et al., 2016; BARROS et al., 2019; REZENDE-SILVA et al., 2019). Assim o glyphosate promoveu, não só a redução gradual no acúmulo de matéria seca devido a ausência dos aminoácidos, como também acelerou a deterioração de células foliares das espécies arbóreas sensíveis ao glyphosate.

A redução da matéria seca acumulada das raízes e caules de algumas espécies ocorreu devido aos danos causados as folhas após a exposição ao glyphosate. Uma vez que o processo fotossintético nas folhas foi comprometido pelo herbicida, a falta de fotoassimilados limitou o acúmulo de matéria seca de caule e raízes. No entanto, o glyphosate também tem efeito direto sobre as raízes. A redução nos níveis de triptofano diminui a produção do hormônio responsável pelo crescimento desse órgão (SAN-FRANCISCO et al., 2005; RONCO et al., 2008; MELIANI et al., 2017; KANISSERY et al., 2019), explicando as drásticas reduções no acúmulo de matéria seca de raízes para *B. cheilantha*, *E. contortisiliquum*, *M. caesalpinifolia*, *M. tenuiflora*, e *T. aurea*. Outro fator importante relacionado a sensibilidade das raízes ao glyphosate é a rápida translocação desse herbicida em algumas plantas (LI et al., 2005; TONG et al., 2017; VITI et al., 2019). Provavelmente, o glyphosate foi rapidamente translocado até as raízes, seguindo o fluxo preferencial fonte-dreno (SANDBERG; MEGGITT; PENNER, 1980; VITI et al., 2019) nas espécies que tiveram reduções mais drásticas para esse órgão.

A dose necessária para reduzir 50 e 90% da área foliar e matéria seca comparado ao controle (D50 e D90, respectivamente) variou entre as espécies arbóreas (Figura 7). A aplicação das subdoses de glyphosate não reduziu a área foliar e matéria seca de folhas, caule e total da *H. courbaril* (Figura 7). Apenas a raiz dessa espécie foi afetada, com a D50 equivalente a 622 g e.a ha<sup>-1</sup> (Figura 7). Para a *M. urundeuva*, as subdoses de glyphosate não foram capazes de promover a redução de 50 e 90% em nenhuma variável avaliada (Figura 7).



**Figura 7.** Dose estimada ( $\text{g e.a. kg}^{-1}$ ) necessária para reduzir 50% (D50) e 90% (D90) da matéria seca das espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado brasileiro. Letras minúsculas diferem as espécies pelo intervalo de confiança ao  $p$ -valor  $< 0.05$ . Barras indicam o erro padrão da média.

A *H. courbaril* e *M. urundeuva* demonstraram maior tolerância as subdoses de glyphosate comparado as demais espécies, considerando os parâmetros de área foliar e matéria seca. No entanto, para a *H. courbaril* uma considerável redução de 50% na matéria seca de raiz foi observada após a exposição ao glyphosate. As avaliações relacionadas a parte aérea, tais como intoxicação e matéria fresca e seca, são comumente usadas por estudos para determinar o grau de seletividade de plantas a herbicidas (CORREIA e REZENDE 2018; KRENCHINSKI et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2019). No entanto, desconsiderar o componente raiz pode levar a falsas interpretações como demonstrado pelos resultados da espécie *H. courbaril*. A redução no crescimento radicular limita a absorção de água e nutrientes, provocando um lento crescimento inicial das plantas (FITZPATRICK et al., 2018). Esse fato pode prejudicar o estabelecimento da *H. courbaril*, principalmente nos períodos de seca frequentes na caatinga e cerrado, uma vez

que o maior volume de raízes é crucial para elevar a sobrevivência a condições de seca (GESSLER et al., 2017).

Mesmo que evidenciada a maior tolerância das espécies *H. courbaril* e *M. urundeuva* às subdoses de glyphosate, a redução no crescimento de raízes da *H. courbaril* e área foliar e matéria seca da *M. urundeuva* permitiu confirmar que a enzima EPSPs presente nessas espécies são sensíveis ao glyphosate. Apesar da sensibilidade, mecanismos relacionados a enzima-alvo, como superexpressão (DILLON et al., 2017) e mutação da enzima EPSPs (RAMZI et al., 2020), podem permitir a maior tolerância dessas espécies ao glyphosate. Outros processos não relacionados a enzima-alvo também podem conferir tolerância a *H. courbaril* e *M. urundeuva*, como a menor absorção devido a cera cuticular ou rápida metabolização do herbicida, ambos constantemente relacionados a tolerância de plantas ao glyphosate (DOMINGUEZ-VALENZUELA et al., 2017; MURPHY et al., 2019; PIASECKI et al., 2019; COSTA et al., 2020).

A matéria seca de raiz foi menos sensível para detectar as diferenças entre a D50 das espécies *A. macrocarpa*, *B. cheilantha*, *A. cearensis*, *E. contortisiliquum*, *L. ferrea*, *M. caesalpiniiifolia*, *M. tenuiflora* e *T. aurea* (Figura 7). Apenas a *B. cheilantha* mostrou o menor valor de D50 (213 g e.a. ha<sup>-1</sup>) *A. macrocarpa* (Figura 7). Para área foliar e matéria seca de folhas e caule, os valores de D50 foram menores para *B. cheilantha* (204, 212, e 258 g e.a. ha<sup>-1</sup>) e *M. tenuiflora* (226, 275, 475 g e.a. ha<sup>-1</sup>) comparados as demais arbóreas (Figura 7). Essas duas espécies também demonstraram o menor valor para D90 para todas as variáveis avaliadas.

Não existem relatos sobre a sensibilidade de *B. cheilantha* e *M. tenuiflora* a aplicações de glyphosate. Essas espécies foram extremamente vulneráveis, e doses pequenas foram capazes de promover a alta perda de matéria seca e área foliar. As razões pelas quais essas espécies demonstraram alta sensibilidade não foram elucidadas. No entanto, a rápida clorose dias após a aplicação do glyphosate sugere que a falta de proteção ao estresse oxidativo. Rotas que blindam o estresse oxidativo, tais como presença de carotenoides, enzimas eliminadoras de ROS, e metabolitos secundários de stress, foram cruciais para a maior tolerância de arbóreas (Percival et al., 2017). Para as espécies *B. cheilantha* e *M. tenuiflora* a ausência desses mecanismos podem causar rápida intoxicação e morte da planta, mesmo em baixas doses de glyphosate.

Entre as espécies *A. macrocarpa*, *A. cearensis*, *E. contortisiliquum*, *L. ferrea*, *M. caesalpiniiifolia*, e *T. aurea*, os valores de D50 não foram diferentes para área foliar, folha, caule e raiz (Figura 7). Todavia, a D50 para matéria seca total foi maior para as espécies *A.*

*macrocarpa* (975 g e.a. ha<sup>-1</sup>) e *A. cearensis* (906 g e.a. ha<sup>-1</sup>) comparado as demais arbóreas (Figura 7). Essas duas espécies não demonstraram redução de área foliar ou matéria seca relativa iguais a 90%, assim como a *L. ferrea* (Figura 7). Os valores de D90 das espécies *E. contortisiliquum*, *M. caesalpiniiifolia* e *T. aurea* para área foliar, folha, caule, raiz e total variaram entre 526 a 604, 515 a 717, e 428 a 770 e.a. ha<sup>-1</sup>, respectivamente, sem diferenças significativas entre elas (Figura 7).

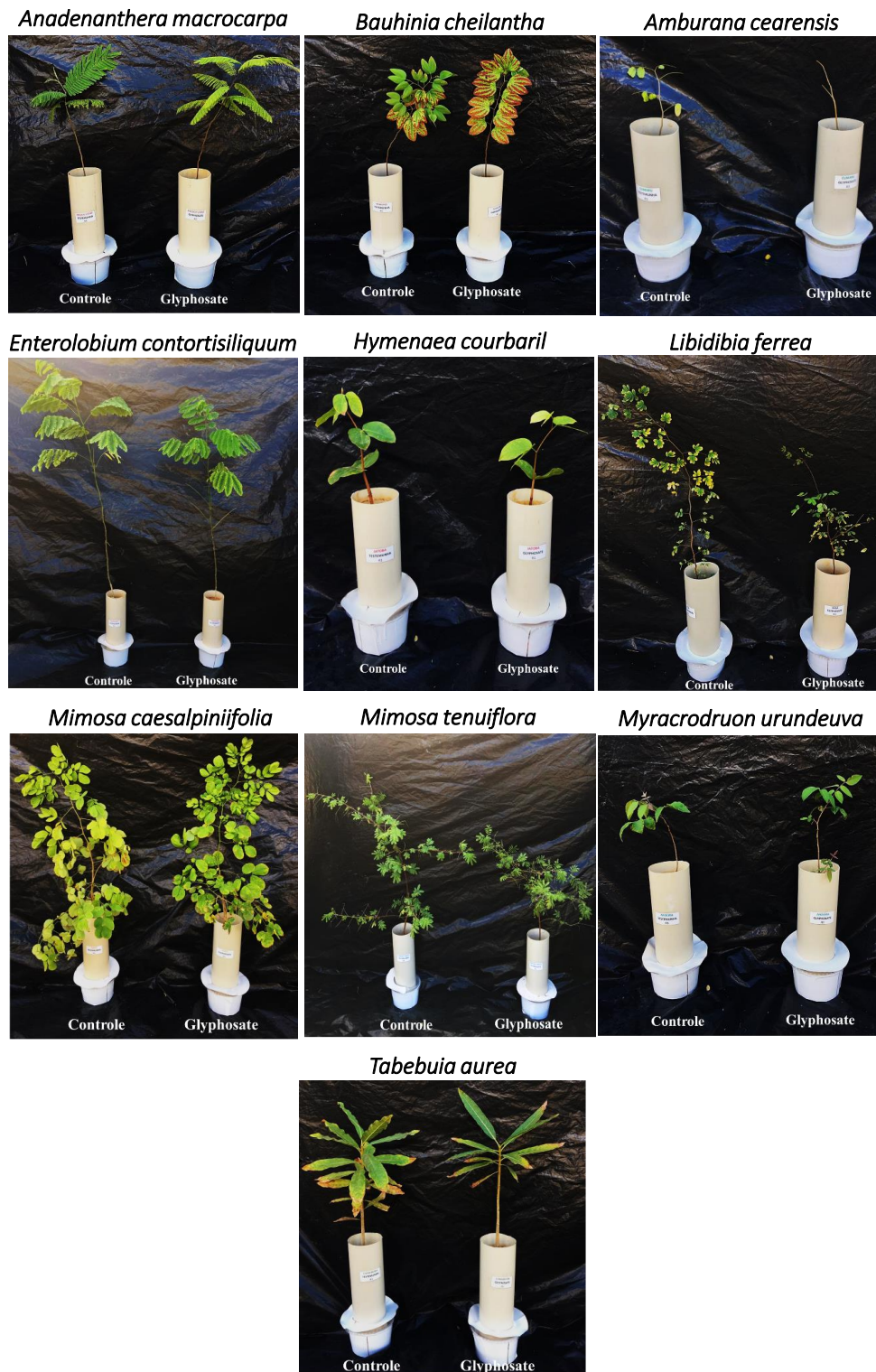
A *A. cearensis* é uma espécie que produz alta quantidade de compostos antioxidantes nas folhas (NUNES et al., 2018), característica recorrente para espécies nativas da caatinga que garante a sobrevivência aos longos períodos de seca. Consequentemente, a ação antioxidante dessa espécie mitigou os efeitos danosos do estresse oxidativo causado pelo glyphosate, explicando a menor toxicidade comparado a *E. contortisiliquum*, *M. caesalpiniiifolia* e *T. aurea*. A capacidade antioxidante das folhas de *A. cearensis* já foi relatada em vários estudos, demonstrando a eficiência do extrato foliar dessa espécie como alternativa para evitar a peroxidação de membranas em diferentes situações (GOUVEIA et al., 2016; PEREIRA et al., 2017a). A *A. macrocarpa* também demonstrou maior tolerância comparado as espécies *E. contortisiliquum*, *M. caesalpiniiifolia* e *T. aurea*. Todavia, diferentemente da *A. cearensis*, a ação antioxidante não deve ser o mecanismo que permite a maior tolerância *A. macrocarpa* uma vez que não existem fortes indícios na literatura para essa espécie.

## **4.2. Sensibilidade de espécies florestais devido a contaminação de águas subsuperficiais por glyphosate**

### **4.2.1. Intoxicação**

A *A. cearensis* apresentou a maior intoxicação para todas as épocas de avaliação após a aplicação do glyphosate, demonstrando todos sintomas característicos de espécies sensíveis ao glyphosate, como intensa clorose das folhas progredindo para necrose e queda (Figura 8). As demais espécies não apresentaram clorose ou necrose foliar, porém algumas arbóreas tiveram reduções visíveis para altura e volume foliar (Figura 8). A intoxicação causada pelo glyphosate em *A. cearensis* aumentou de 35% para 95% entre 7 a 35 DAA (Figura 9). Para a espécie *M. tenuiflora*, a intoxicação foi mais severa aos 7 DAA (35%), reduzindo para 10% 35 DAA (Figura 9). A *L. ferrea* alcançou seu pico de intoxicação (30%) aos 21 DAA, decrescendo para 10% aos 35 DAA (Figura 9). As plantas de *E. contortisiliquum* tratadas com glyphosate apresentaram baixa intoxicação ( $\leq 15\%$ ) em todas as épocas de avaliação (Figura 9). A intoxicação na *M. urundeuva* (10%) foi observada apenas aos 7 DAA (Figura 9). As espécies

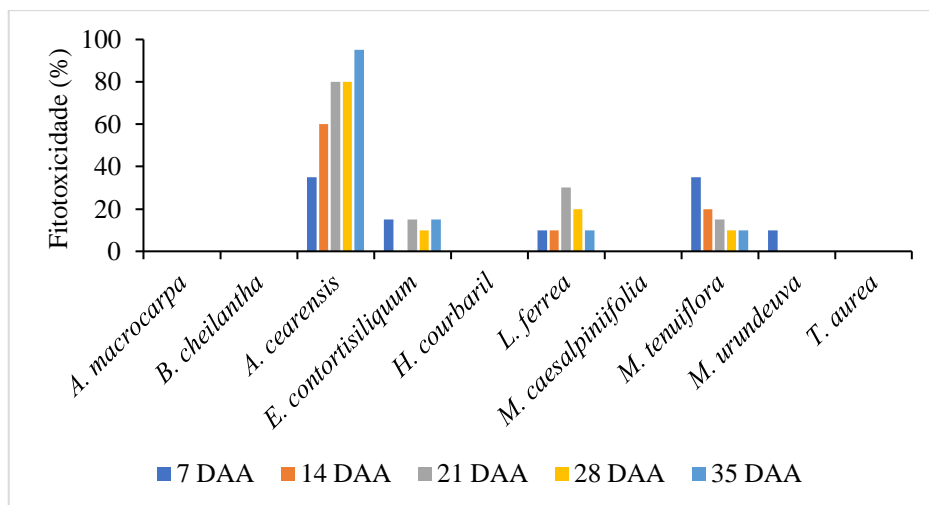
*A. macrocarpa*, *B. cheilantha*, *H. courbaril*, *M. caesalpinifolia*, *T. aurea* não apresentaram intoxicação em nenhuma época de avaliação (Figura 8 e Figura 9).



**Figura 8.** Intoxicação em espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado brasileiro aos 35 dias após contaminação de água subsuperficial por glyphosate.



Cinco das espécies não foram intoxicadas pelo glyphosate presente na água subsuperficial. Mecanismos como a absorção e translocação diferenciada na raiz podem permitir a tolerância dessas espécies; no entanto, o papel do solo como filtro desse herbicida não deve ser desconsiderado. Herbicidas podem ser absorvidas via raízes e alcançar as folhas, seguindo o fluxo transpiratório de absorção de água (DA SILVA TEÓFILO et al., 2020). Alguns exemplos como diuron, hexazinone, e sulfometuron-methyl ao serem absorvidos via raiz causam severos danos nas folhas, levando a morte de muitas espécies de plantas (DA SILVA TEÓFILO et al., 2020). No entanto, para herbicidas com alta adsorção ao solo e baixa taxa de dessorção, como glyphosate, esse efeito é dificilmente relatado na literatura (PADILLA et al., 2020). Os solos podem adsorver altas concentrações de glyphosate presente na solução do solo (PADILLA et al., 2020), impedindo a absorção de quantidades capazes de intoxicar espécies vegetais. Esse mecanismo, provavelmente, permitiu a seletividade para a maioria das arbóreas testadas aqui. Por exemplo, as espécies altamente sensíveis ao glyphosate devido à deriva (*A. macrocarpa*, *B. cheilantha*, e *M. caesalpinifolia*) não tiveram nenhum sintoma de intoxicação quando cultivadas em sistema com água contaminada por esse herbicida.



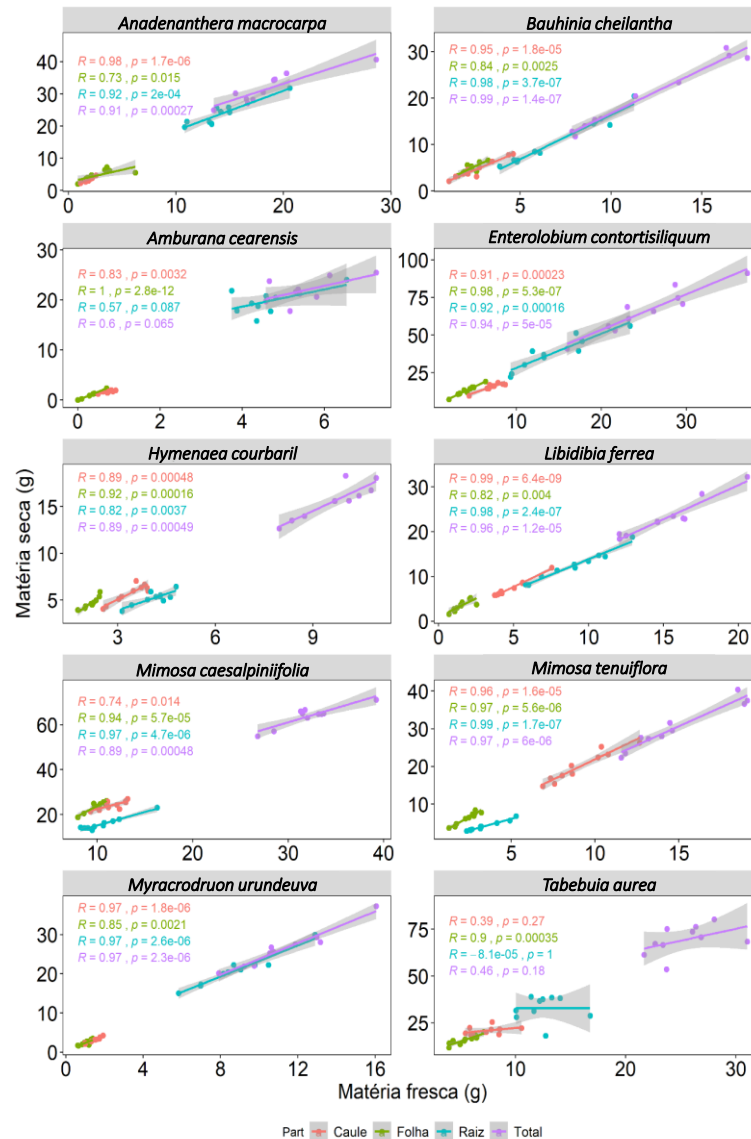
**Figura 9.** Efeito da contaminação de águas subterrâneas por glyphosate ( $1110 \text{ g e.a. ha}^{-1}$ ) aos (7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação) na intoxicação de espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado brasileiro.

#### 4.2.2. Componentes de crescimento: matéria fresca, e matéria seca de folha, caule e raiz

Os coeficientes de correlação revelaram que as variáveis matéria fresca e matéria seca de caule, folha, raiz e total apresentam correlação positiva. Houve alta correlação significativa entre a matéria seca e matéria fresca para todas espécies (Figura 10). Similar ao comportamento observado para a simulação de deriva, a variável matéria seca foi selecionada para identificar a



sensibilidade não-visuais das espécies arbóreas ao glyphosate presente em águas subsuperficiais contaminadas.



**Figura 10.** Correlação entre matéria fresca (g) e matéria seca (g) de folha, caule, raiz e total de espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado brasileiro.

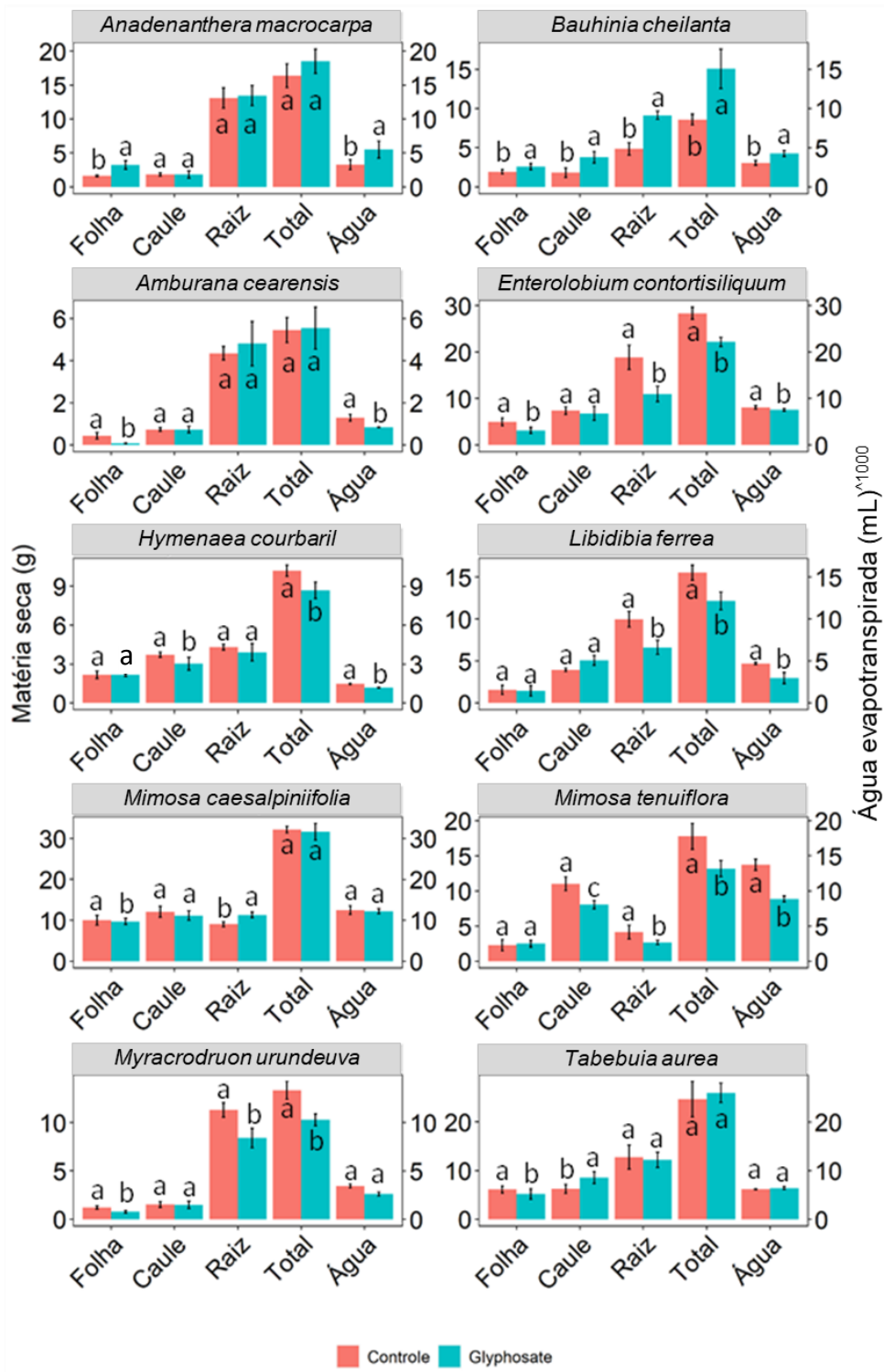
A *T. aurea* e *M. caesalpinifolia* demonstraram apenas uma ligeira redução para matéria seca de folhas, e um pequeno incremento na matéria seca de raiz devido à presença de glyphosate na água (Figura 11). No entanto, não houve alterações significativas para matéria seca total nessas duas espécies entre o tratamento com glyphosate e controle (Figura 11). A presença de glyphosate na água aumentou a matéria seca de folhas para a *A. macrocarpa* e *B. cheilantha*, e a matéria seca de caule, raiz e total para *B. cheilantha* comparado ao controle (Figura 11).

Grandes diferenças para sensibilidade ao glyphosate foram observadas para a *M. caesalpinifolia* e *T. aurea*. Essas espécies foram extremamente vulneráveis devido à deriva de glyphosate, principalmente *M. caesalpinifolia* na qual alcançou a letalidade com baixas doses do herbicida. No entanto, esse herbicida não causou nenhuma alteração evidente no crescimento dessas espécies quando presente na água subsuperficial. Os resultados sugerem que a *M. caesalpinifolia* e *T. aurea* possuem defesas contra os efeitos deletérios do glyphosate exclusivos a raiz, uma vez que a exposição por deriva reduziu o acúmulo de matéria seca dessas espécies. No entanto, não existem evidências concisas sobre os mecanismos de tolerância ao glyphosate via absorção radicular. Apenas alguns trabalhos associaram a menor absorção do glyphosate devido a competição por fosfato via transportador de  $\text{PO}_4^{2-}$  (CLUA et al., 2012; PEREIRA et al., 2019b), ou pela degradação estimulada por microrganismos simbioses na rizosfera que mitigam a intoxicação por glyphosate (KREMER et al., 2009; MIJANGOS et al., 2009; IMPARATO et al., 2016). Apesar dessas evidências, não é possível concluir se esses eventos permitiram a *M. caesalpinifolia* e *T. aurea* maior tolerância ao glyphosate.

O fato intrigante foi observar o maior crescimento para a *A. macrocarpa* e *B. cheilantha* quando cultivadas em água subsuperficial contaminada com glyphosate, mesmo demonstrando alta sensibilidade a subdoses desse herbicida via deriva. O maior crescimento de plantas quando submetidas a aplicações de herbicidas é conhecido como hormesis (BRITO et al., 2018). Esse fenômeno é recorrente em plantas expostas a baixíssimas concentrações de herbicidas. Provavelmente, a capacidade dos solos em adsorver grande parte do glyphosate aplicado disponibilizou uma quantidade suficientemente pequena para estimular o crescimento da *A. macrocarpa* e *B. cheilantha*. Pesquisas já identificaram a hormesis em plantas cultivadas expostas a subdoses de glyphosate, atribuindo a maior assimilação de  $\text{CO}_2$  como mecanismo principal para maior acúmulo de matéria (BRITO et al., 2018; NASCENTES et al., 2018).

Todas as espécies com sintomas visuais de intoxicação tiveram redução no acúmulo de matéria seca quando cultivadas em solos com água contaminada por glyphosate comparado ao controle (Figura 9 e Figura 11). A presença de glyphosate na água reduziu a matéria seca de folhas (50%) para *A. cearensis*, sem afetar os demais componentes (Figura 11). As espécies *E. contortisiliquum* e *M. urundeuva* demonstraram redução para folhas (40 e 30%), raiz (48 e 35%) e total (25 e 38%), enquanto a *M. tenuiflora* teve redução para matéria seca de caule (28%), raiz (33%) e total (29%) comparado ao controle (Figura 11). A *L. ferrea* demonstrou redução apenas para raiz (40%) (Figura 11). Apesar da ausência de sintomas visíveis de intoxicação, a *H.*

*courbaril* teve seu crescimento comprometido, com redução da matéria seca de caule (17%) e total (21%) (Figura 11).



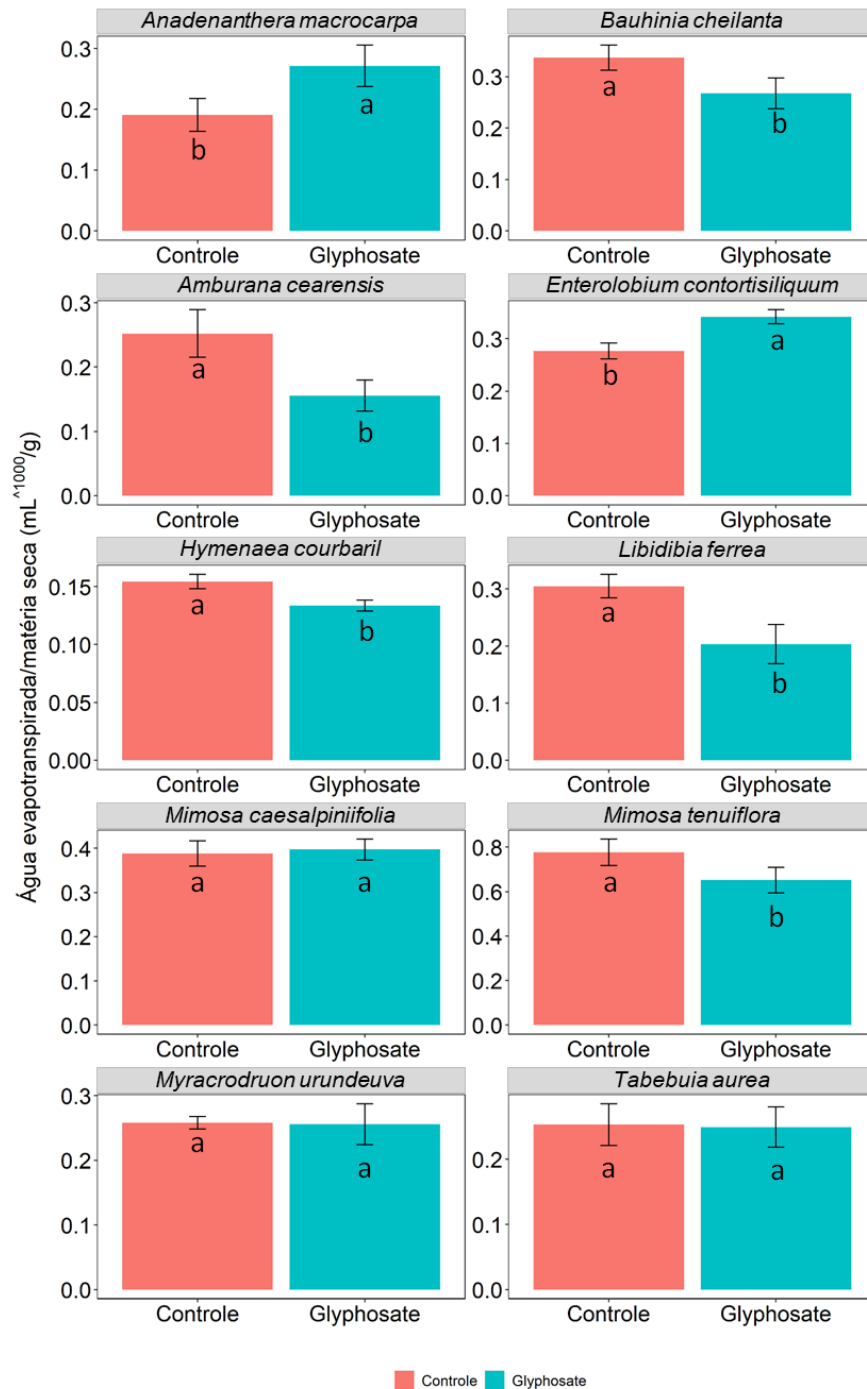
**Figura 11.** Matéria seca (g) de folha, caule, raiz e total e água evapotranspirada (mL) das espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado brasileiro em sistema sem (controle) e com resíduos de glyphosate na água. Letras minúsculas diferem os sistemas com e sem glyphosate pelo teste t-pareado ao  $p$ -valor  $\leq 0,05$ . Barras indicam o erro padrão da média.

Apesar de absorvido via raiz, o glyphosate pode transcolar via rota acropetal até as folhas, ocasionando danos ao tecido foliar (PLINE et al., 2002; WAGNER; KOGAN; PARADA, 2003). A redução no crescimento de folhas para *A. cearensis*, *E. contortisiliquum*, *H. courbaril*, *M. urundeuva* e *T. aurea* limitou a síntese de fotoassimilados e o crescimento de outros órgãos como caule e raiz. Mesmo para a *M. tenuiflora* e *L. ferrea* que não tiveram redução no crescimento de folhas, o glyphosate pode reduzir a taxa fotossintética e prejudicar o acúmulo de matéria em órgãos como caule e raiz (DE FREITAS-SILVA et al., 2020). Estudos já reportaram a redução na taxa fotossíntese devido a exposição ao glyphosate, tanto pela oxidação de proteínas envolvidas na captação de luz (VIVANCOS et al., 2011; SPORMANN e FIDALGO, 2019), quanto pela menor condutância estomática via desbalanço bioquímico (DE FREITAS-SILVA et al., 2020). Esse último mecanismo é mais evidente na *H. courbaril*, *M. tenuiflora*, e *L. ferrea* uma vez que houve um menor volume de água evapotranspirada (Figura 11) mesmo sem prejuízos ao crescimento foliar. Para as espécies *A. cearensis* e *M. urundeuva*, o menor volume de água evapotranspirado (Figura 11) é reflexo do menor crescimento de folhas devido a contaminação da água pelo glyphosate.

A ausência de clorose das espécies *E. contortisiliquum*, *H. courbaril*, *L. ferrea*, *M. tenuiflora*, *M. urundeuva* e *T. aurea* sugere a ação antioxidante, sejam enzimáticos e não-enzimáticos, relacionados a redução do estresse oxidativo causado pela presença de glyphosate na água subsuperficial. Essa estratégia é presente em outras arbóreas como *Acer pseudoplatanus* e *A. campestre* (PERCIVAL, 2017). Apesar de assegurar maior tolerância, a mitigação dos efeitos oxidantes implica em custo adicional de energia. DE FREITAS-SILVA et al. (2017) correlacionou o aumento no consumo de NADPH em *Arabidopsis thaliana* crescidas em 30 µL de glyphosate. A participação do NADPH é crucial na regeneração da homeostase redox celular que alivia os danos causados por espécies reativas de oxigênio (DE FREITAS-SILVA et al., 2017). Todavia, esse consumo de NADPH prejudica outros processos NADPH-dependentes, como a fixação de carbono no ciclo de Calvin, provocando o menor acúmulo de matéria seca nas espécies *E. contortisiliquum*, *H. courbaril*, *L. ferrea*, *M. tenuiflora*, *M. urundeuva* e *T. aurea*.

O tratamento com glyphosate não alterou a água evapotranspirada/matéria seca (mL<sup>1000</sup>/g) das plantas de *M. caesalpinifolia*, *M. urundeuva* e *T. aurea* em comparação ao controle (Figura 12). A água evapotranspirada/matéria seca (mL<sup>1000</sup>/g) das plantas de *M. tenuiflora*, *H. courbaril*, *B. cheilantha*, *L. ferrea*, *A. cearensis*, e no tratamento com glyphosate foi reduzida em 16, 18, 25, 32, 37%, respectivamente, quando comparado ao controle. A A.

*macrocarpa* e *E. contortisiliquum* apresentaram menor eficiência no uso da água em comparação ao controle (Figura 12).



**Figura 12.** Relação entre água evapotranspirada/matéria seca ( $\text{mL g}^{-1}$ ) de espécies florestais de ocorrência na Caatinga e Cerrado do Brasil em sistema sem (controle) e com resíduos de glyphosate na água. Letras minúsculas diferem os sistemas com e sem glyphosate pelo teste t-pareado ao  $p\text{-valor} \leq 0,05$ . Barras indicam o erro padrão da média.

Além das alterações no crescimento das espécies florestais, mudanças nas relações hídricas podem comprometer o estabelecimento das plantas, principalmente no bioma cerrado e caatinga onde períodos de seca ocorrem sazonalmente (DA SILVA et al., 2017). A presença do glyphosate não alterou a eficiência no uso da água de *M. caesalpiniiifolia*, *M. urundeuva*, e *T. aurea*. Mesmo com a redução no acúmulo de matéria seca total devido a presença do glyphosate, o menor crescimento radicular (35%) e o possível fechamento estomático da *M. urundeuva* limitaram a quantidade de água absorvida e transpirada, mantendo a relação entre acúmulo de matéria e gasto de água constante.

As reduções para a relação água evapotranspirada/matéria seca para *A. cearensis*, *H. courbaril*, *L. ferrea* e *M. tenuiflora* podem levar a falsas interpretações sobre um possível aumento na eficiência do uso da água. Na presença de água contaminada por glyphosate, essas espécies demonstraram alta redução na água evapotranspirada comparado ao tratamento controle, fato atribuído ao possível fechamento estomático já discutido acima. Todavia, essas plantas já haviam acumulado uma quantidade de matéria seca antes da aplicação do glyphosate. Além disso, o acúmulo de matéria não é uma resposta extremamente sensível e imediata como a perda de água devido ao fechamento estomático; portanto as interpretações para essas espécies se tornam limitadas no nosso estudo. Diferentemente das arbóreas citadas anteriormente, a menor razão evapotranspirada/matéria seca para *B. cheilantha* representa um aumento real na eficiência do uso da água. O efeito de hormesis impulsionado pelo glyphosate permitiu a *B. cheilantha* aumentar 75% a matéria seca total comparado ao controle, mesmo com maior consumo de água (11%).

A menor eficiência no uso da água para *A. macrocarpa* deve estar associado ao maior crescimento de folhas na presença de glyphosate comparado ao controle. Plantas com maior desenvolvimento foliar permitem maior perda por transpiração devido ao maior número de estômatos (TYREE et al., 2003). Para a *E. contortisiliquum*, a quantidade de água evapotranspirada entre o controle e na presença de glyphosate não foram significativamente diferentes. Todavia, a matéria seca dessa espécie reduziu na presença do glyphosate, inclusive para as folhas, indicando que a *E. contortisiliquum* mantém uma alta transpiração para assegurar o acúmulo de matéria seca. As razões para essa estratégia não são completamente claras. Possivelmente, a maior abertura estomática deve estar correlacionada ao aumento da relação Ci/Ca induzida pelo glyphosate. A menor concentração de Ci no mesófilo foliar eleva a taxa de fotorrespiração, e a abertura dos estômatos pode minimizar os efeitos negativos desse fenômeno nas plantas (VIVANCOS et al., 2011).

#### 4.3. Perspectiva gerais sobre a tolerância ao glyphosate das espécies florestais nativas do cerrado e caatinga

As 10 espécies testadas nesse estudo foram sensíveis ao glyphosate. A exposição devido à deriva é mais prejudicial às espécies arbóreas de maneira geral, ocasionando a morte de espécies como *B. cheilantha*, *E. contortisiliquum*, *M. caesalpinifolia*, *M. tenuiflora* e *T. aurea*. As demais espécies também apresentaram danos devido à aplicação de subdoses de glyphosate, porém sem morte das plantas, mesmo nas maiores dosagens de glyphosate. O crescimento das folhas foi o parâmetro mais sensível para as arbóreas, exceto para *H. courbaril*. Essa espécie não demonstrou nenhuma intoxicação ou redução de crescimento na parte aérea. A detecção da sensibilidade de *H. courbaril* à deriva simulada de glyphosate só foi possível mediante a avaliação do crescimento radicular, demonstrando forte redução no acúmulo de matéria seca para esse órgão. Conseqüentemente, os estudos devem considerar todos os componentes de crescimento da planta para suposições corretas.

Pela primeira vez a sensibilidade de espécies nativas do cerrado e caatinga ao glyphosate foram evidenciadas via contaminação simulada do lençol freático. Mesmo que o solo atue como um filtro adsorvente desse herbicida, concentrações mínimas ainda presentes na solução do solo podem ser absorvidas pelas espécies florestais com prejuízos no crescimento. Espécies sensíveis à exposição via deriva não demonstram necessariamente essa característica via contaminação de águas subterrâneas. Por exemplo, a menor dose necessária para causar a morte da planta foi observada para *B. cheilantha*; no entanto essa espécie não foi negativamente afetada pela presença de glyphosate na água subterrânea. Pelo contrário, o acúmulo de matéria seca foi impulsionado pela presença de glyphosate, provavelmente devido ao efeito de hormesis. Esse fato também garantiu maior eficiência do uso da água para essa arbórea. Além da *B. cheilantha*, as espécies *A. macrocarpa*, *M. caesalpinifolia* e *T. aurea* não tiveram redução no crescimento mediante a contaminação subsuperficial da água pelo glyphosate. Mesmo sem limitações no crescimento, a presença de glyphosate em águas subsuperficiais aumenta a vulnerabilidade da *A. macrocarpa* durante seu estabelecimento na caatinga e cerrado devido sua menor eficiência no uso da água. Nesses biomas, o uso eficiente do recurso hídrico é estratégia crucial para sobrevivência durante os períodos de estiagem (TERRA et al., 2018).

Nossos resultados levantam questões importantes sobre o impacto da contaminação pelo glyphosate sobre espécies arbóreas nativas do cerrado e caatinga. As contaminações por deriva ou via lençol freático podem restringir, de maneira diferenciada, o crescimento das arbóreas nativas. A maior tolerância de espécies a um determinado meio de contaminação confirmou que o glyphosate pode atuar como fator de seleção nos biomas da caatinga e cerrado próximos

a áreas agrícolas. Consequentemente, o mal planejamento das aplicações e uso constante do glyphosate são um risco potencial capazes de reduzir a diversidade florística do cerrado e caatinga, tanto em áreas de recuperação como preservação permanente. Sugerimos estudos futuros para elucidar detalhadamente o mecanismo de tolerância ao glyphosate dessas espécies florestais quando expostas a ambas as vias de contaminação. Além disso, estratégias devem ser avaliadas em estudos futuros para proteção de áreas do cerrado e caatinga, principalmente para aquelas próximas a zonas agrícolas com constante aplicação de glyphosate.

## 5. CONCLUSÕES

Espécies nativas do cerrado e caatinga possuem tolerância diferencial ao glyphosate. A *B. cheilantha*, *E. contortisiliquum*, *M. caesalpiniifolia*, *M. tenuiflora* e *T. aurea* são mais afetadas pela exposição à deriva simulada de glyphosate. O crescimento de folhas é mais sensível a exposição por deriva simulada de glyphosate para a maioria das espécies. A *H. courbaril* é uma exceção, com maior sensibilidade para o crescimento radicular. A *B. cheilantha* é a espécie mais sensível a exposição por deriva, porém, demonstrou completa tolerância a contaminação de glyphosate na água subsuperficial. Outras espécies como *A. macrocarpa*, *M. caesalpiniifolia* e *T. aurea* também são sensíveis à deriva, porém tolerantes a contaminação por água subsuperficial. A tolerância diferencial das arbóreas as vias de contaminação por deriva e água subsuperficial confirma o potencial do glyphosate como agente de seleção de espécies nos biomas cerrado e caatinga.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROFIT. Sistema de agrotóxicos fitossanitários. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, 2020.

AGUIAR, Aline Aires et al. Development of a rich fraction in phenolic compounds with high antioxidant and antimicrobial activity in *Amburana cearensis* seeds extracts. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 11, p. 648-655, 2017.

AHSAN, Nagib et al. Glyphosate-induced oxidative stress in rice leaves revealed by proteomic approach. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 46, n. 12, p. 1062-1070, 2008.

ALBERTO, Diana et al. Herbicide-related signaling in plants reveals novel insights for herbicide use strategies, environmental risk assessment and global change assessment challenges. **Science of the Total Environment**, v. 569, p. 1618-1628, 2016.

ALVES, Guilherme Sousa et al. Dicamba spray drift as influenced by wind speed and nozzle type. **Weed technology**, v. 31, n. 5, p. 724-731, 2017.

APARICIO, Virginia C. et al. Environmental fate of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in surface waters and soil of agricultural basins. **Chemosphere**, v. 93, n. 9, p. 1866-1873, 2013.

AZEVEDO, Aderdilania Iane Barbosa de et al. Chronological analysis of the physiological quality of diaspores of *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. in semiarid regions. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, 2018.

BAERSON, Scott R. et al. Glyphosate-resistant goosegrass. Identification of a mutation in the target enzyme 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase. **Plant physiology**, v. 129, n. 3, p. 1265-1275, 2002.

BARBOSA-FILHO, José M. et al. Plants and their active constituents from South, Central, and North America with hypoglycemic activity. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 15, n. 4, p. 392-413, 2005.

BARROS, Cibelle Vanúcia Santana Dantas et al. Sensitivity and biochemical mechanisms of sunflower genotypes exposed to saline and water stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 41, n. 9, p. 159, 2019.

- BATTAGLIN, William A. et al. Glyphosate and its degradation product AMPA occur frequently and widely in US soils, surface water, groundwater, and precipitation. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 50, n. 2, p. 275-290, 2014.
- BENTO, Célia PM et al. Glyphosate and AMPA distribution in wind-eroded sediment derived from loess soil. **Environmental pollution**, v. 220, p. 1079-1089, 2017.
- BEZERRA, Denise AC et al. Estudo fitoquímico, bromatológico e microbiológico de *Mimosa tenuiflora* (Wild) Poiret e *Piptadenia stipulacea* (Benth) Ducke. **Campina Grande, PB. apresentada como dissertação de mestrado, Departamento de Zootecnia, UFCG**, 2008.
- BILONI, J.S. Livro del árbol: essencias forestales indígenas de la Argentina de aplicación ornamental. 1976.
- BODE, L. E. Spray application technology. 85–110. **Methods of Applying Herbicides. Champaign, IL: WSSA Monograph**, v. 4, 1987.
- BODE, Rüdiger; MELO, Christian; BIRNBAUM, Dieter. Mode of action of glyphosate in *Candida maltosa*. **Archives of microbiology**, v. 140, n. 1, p. 83-85, 1984.
- BORGGGAARD, Ole K.; GIMSING, Anne Louise. Fate of glyphosate in soil and the possibility of leaching to ground and surface waters: a review. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 64, n. 4, p. 441-456, 2008.
- BRITO, Ivana PFS et al. Hormetic effects of glyphosate on plants. **Pest management science**, v. 74, n. 5, p. 1064-1070, 2018.
- BUENO, Mariana R.; CUNHA, João Paulo Ar Da. Environmental risk for aquatic and terrestrial organisms associated with drift from pesticides used in soybean crops. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, 2020.
- CARVALHO FILHO, José Luiz Sandes de et al. Produção de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes ambientes, recipientes e composições de substratos. **Cerne**, v.23, n.1, p.109-118, 2003.
- CEDERLUND, Harald. Effects of spray drift of glyphosate on nontarget terrestrial plants—A critical review. **Environmental toxicology and chemistry**, v. 36, n. 11, p. 2879-2886, 2017.

- CERDEIRA, Antonio L.; DUKE, Stephen O. The current status and environmental impacts of glyphosate-resistant crops. **Journal of environmental quality**, v. 35, n. 5, p. 1633-1658, 2006.
- CHRISTOFFOLETI, Pedro Jacob et al. Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. **Piracicaba: CP**, v. 2, p. 72, 2009.
- CLUA, A. et al. The effects of glyphosate on the growth of birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus*) and its interaction with different phosphorus contents in soil. **Journal of Agricultural Science**, v. 4, n. 7, p. 208-218, 2012.
- COHEN, S. Z. et al. Pesticides report 35. Offsite transport of pesticides in water: Mathematical models of pesticide leaching and runoff (Technical Report). **Pure and applied chemistry**, v. 67, n. 12, p. 2109-2148, 1995.
- CORREIA, N. M.; RESENDE, I. Response of Three *Chloris elata* Populations to Herbicides Sprayed in Pre-and Post-Emergence. **Planta Daninha**, v. 36, 2018.
- CORREIA, Núbia Maria. **Comportamento dos herbicidas no ambiente**. Brasília - DF: Embrapa Hortaliças, 2018b.
- COSTA, Gustavo Amaral et al. Efficiency of glyphosate and carfentrazone-ethyl in the control of *Macroptilium atropurpureum* (DC.) Urb. under different light intensities. **South African Journal of Botany**, v. 131, p. 302-309, 2020.
- COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLI, P. F. Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina: 2004/2005. **Passo Fundo: Embrapa-CNPT**, 2004.
- CREECH, Cody F. et al. Herbicide spray penetration into corn and soybean canopies using air-induction nozzles and a drift control adjuvant. **Weed Technology**, v. 32, n. 1, p. 72-79, 2018.
- CREECH, Cody F. et al. Influence of herbicide active ingredient, nozzle type, orifice size, spray pressure, and carrier volume rate on spray droplet size characteristics. **Weed technology**, v. 29, n. 2, p. 298-310, 2015.
- CRUVINEL, Gabriela Torres; NEVES, Henrique Iglesias; SPIRA, Beny. Glyphosate induces the synthesis of ppGpp. **Molecular genetics and genomics**, v. 294, n. 1, p. 191-198, 2019.

CRUZ-HIPOLITO, Hugo et al. Glyphosate tolerance by *Clitoria ternatea* and *Neonotonia wightii* plants involves differential absorption and translocation of the herbicide. **Plant and Soil**, v. 347, n. 1-2, p. 221, 2011.

CURRAN, William S. Persistence of herbicides in soil. **Crops & Soils**, v. 49, n. 5, p. 16-21, 2016.

DA SILVA TEÓFILO, Taliane Maria et al. Phytoextraction of diuron, hexazinone, and sulfometuron-methyl from the soil by green manure species. **Chemosphere**, p. 127059, 2020.

DA SILVA, Paulo Ferreira et al. Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 147, p. 71-82, 2017.

DAS CHAGAS, Paulo Sérgio Fernandes et al. Multivariate analysis reveals significant diuron-related changes in the soil composition of different Brazilian regions. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2019.

DE ARAÚJO, Josenildo Segundo Chaves et al. Antibacterial activity against cariogenic bacteria and cytotoxic and genotoxic potential of *Anacardium occidentale* L. and *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan extracts. **Archives of oral biology**, v. 85, p. 113-119, 2018.

DE BUCK, Sylvie et al. Innovative farming and forestry across the emerging world: the role of genetically modified crops and trees. 2016.

DE FREITAS-SILVA, Larisse et al. Evaluation of morphological and metabolic responses to glyphosate exposure in two neotropical plant species. **Ecological Indicators**, v. 113, p. 106246, 2020.

DE FREITAS-SILVA, Larisse et al. Glyphosate-induced oxidative stress in *Arabidopsis thaliana* affecting peroxisomal metabolism and triggers activity in the oxidative phase of the pentose phosphate pathway (OxPPP) involved in NADPH generation. **Journal of plant physiology**, v. 218, p. 196-205, 2017.

DE LIMA, André Luiz Alves et al. Do the phenology and functional stem attributes of woody species allow for the identification of functional groups in the semiarid region of Brazil?. **Trees**, v. 26, n. 5, p. 1605-1616, 2012.

DE MOURA, Fernando Rafael et al. Effects of glyphosate-based herbicide on pintado da Amazonia: hematology, histological aspects, metabolic parameters and genotoxic potential. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, v. 56, p. 241-248, 2017.

DE OLIVEIRA, M. F.; KARAM, D.; MATRANGOLO, WJR. Métodos de manejo de plantas daninhas. **Embrapa Milho e Sorgo-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2015.

DE OLIVEIRA, Maurílio Fernandes; BRIGHENTI, Alexandre Magno. Comportamento dos herbicidas no ambiente. **Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2011.

DIAS SILVA, Marcelo J. et al. Bioassay-Guided Isolation of Fungistatic Compounds from *Mimosa caesalpiniiifolia* Leaves. **Journal of natural products**, v. 82, n. 6, p. 1496-1502, 2019.

DILLON, Andrew et al. Physical mapping of amplified copies of the 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase gene in glyphosate-resistant *Amaranthus tuberculatus*. **Plant physiology**, v. 173, n. 2, p. 1226-1234, 2017.

DO NASCIMENTO, Leonardo Bona et al. Anatomical identification of commercialized wood in the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 40, n. 1, p. 291-329, 2017.

DOMINGUEZ-VALENZUELA, Jose Alfredo et al. First confirmation and characterization of target and non-target site resistance to glyphosate in Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) from Mexico. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 115, p. 212-218, 2017.

DÓRIA, L. C. Anatomia comparada do lenho de *Tabebuia aurea* (Bignoniaceae) e *Tocoyena formosa* (Rubiaceae) que ocorrem no cerrado e na caatinga. Dissertação em Ciências Biológicas (Botânica) – UNESP. Botucatu, p. 116. 2014.

DÓRIA, Larissa C. et al. Do woody plants of the Caatinga show a higher degree of xeromorphism than in the Cerrado?. **Flora**, v. 224, p. 244-251, 2016.

DOS SANTOS, Luiz Odonil Gomes et al. Effect of liming on hexazinone sorption and desorption behavior in various soils. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 65, n. 9, p. 1183-1195, 2019 a.

DOS SANTOS, Luiz Odonil Gomes et al. Multivariate analysis and multiple linear regression as a tool to estimate the behavior of hexazinone in Brazilian soils. **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, n. 11, p. 671, 2019 b.

DRUMOND, M. A. et al. Caracterização e usos das espécies da caatinga: subsídio para programas de restauração florestal na Unidades de Conservação da Caatinga (UCCAs). **Embrapa Semiárido-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)**, 2016.

DUARTE, N. F. et al. Seletividade de herbicidas sobre *Myracrodruon urundeuva* (aroeira). **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 329-337, 2006.

DUBOIS, A.; LACOUTURE, L. Bilan de présence des micropolluants dans les milieux aquatiques continentaux Période 2007–2009. **Commissariat général au développement durable–Service de l’observation et des statistiques**, 2011.

EGAN, J. Franklin et al. Herbicide drift can affect plant and arthropod communities. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 185, p. 77-87, 2014.

FARIA, Autieres Teixeira et al. Tebuthiuron leaching in three Brazilian soils as affected by soil pH. **Environmental earth sciences**, v. 77, n. 5, p. 214, 2018.

FERNANDES, Gracieli et al. Indiscriminate use of glyphosate impregnates river epilithic biofilms in southern Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 651, p. 1377-1387, 2019.

FERREIRA, Magda Rhayanny Assunção; SOARES, Luiz Alberto Lira. *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) LP Queiroz: a review of the biological activities and phytochemical composition. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 9, n. 5, p. 140-150, 2015.

FITZPATRICK, Connor R. et al. Assembly and ecological function of the root microbiome across angiosperm plant species. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 6, p. E1157-E1165, 2018.

FLORENCIA, Ferreira María et al. Effects of the herbicide glyphosate on non-target plant native species from Chaco forest (Argentina). **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 144, p. 360-368, 2017.

FRANZ, John E. et al. **Glyphosate: a unique global herbicide**. American Chemical Society, 1997.

GANDINI, Elizandra Marta Martins et al. Selectivity of Herbicide and Rhizospheric Microbial Activity on *Hymenaea corbaril* L. Seedlings. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 45, n. 17, p. 2235-2246, 2014.

GESSLER, Arthur; SCHAUB, Marcus; MCDOWELL, Nate G. The role of nutrients in drought-induced tree mortality and recovery. **New Phytologist**, v. 214, n. 2, p. 513-520, 2017.

GILL, Jatinder Pal Kaur; SETHI, Nidhi; MOHAN, Anand. Analysis of the glyphosate herbicide in water, soil and food using derivatising agents. **Environmental chemistry letters**, v. 15, n. 1, p. 85-100, 2017.

GOMES, Luciene et al. Agricultural expansion in the Brazilian Cerrado: increased soil and nutrient losses and decreased agricultural productivity. **Land**, v. 8, n. 1, p. 12, 2019.

GOMES, Marcelo P. et al. Alteration of plant physiology by glyphosate and its by-product aminomethylphosphonic acid: an overview. **Journal of experimental botany**, v. 65, n. 17, p. 4691-4703, 2014.

GOMES, Marcelo Pedrosa et al. Differential effects of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) on photosynthesis and chlorophyll metabolism in willow plants. **Pesticide biochemistry and physiology**, v. 130, p. 65-70, 2016.

GOMES, Marcelo Pedrosa et al. Effects of glyphosate acid and the glyphosate-commercial formulation (Roundup) on *Dimorphandra wilsonii* seed germination: interference of seed respiratory metabolism. **Environmental Pollution**, v. 220, p. 452-459, 2017.

GOMES, Marcelo Pedrosa et al. Emerging contaminants in water used for maize irrigation: Economic and food safety losses associated with ciprofloxacin and glyphosate. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 196, p. 110549, 2020.

GONÇALVES, Clebson G. et al. Glyphosate Formulations on Nutritional Condition and Productivity of Roundup Ready Soybean. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 48, n. 18, p. 2119-2125, 2017.

GORCHOV, David L.; PALMEIRIM, Jorge M.; ASCORRA, Cesar F. Dispersal of seeds of *Hymenaea courbaril* (Fabaceae) in a logged rain forest in the Peruvian Amazonian. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 2, p. 251-259, 2004.

GOUVEIA, B. B. et al. Supplemented base medium containing *Amburana cearensis* associated with FSH improves in vitro development of isolated goat preantral follicles. **Theriogenology**, v. 86, n. 5, p. 1275-1284, 2016.

GUIMARÃES-BEELLEN, Patrícia Mendes et al. Characterization of condensed tannins from native legumes of the Brazilian northeastern semi-arid. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 6, p. 522-528, 2006.

GWYNNE, David C. et al. Weed biology and control in agriculture and horticulture. **Batsford Academic and Educational**, 1985.

HALL, Kathleen E. et al. Glyphosate sorption/desorption on biochars—interactions of physical and chemical processes. **Pest management science**, v. 74, n. 5, p. 1206-1212, 2018.

HESS, F. Dan; FOY, Chester L. Interaction of surfactants with plant cuticles. **Weed Technology**, v. 14, n. 4, p. 807-813, 2000.

HOLLOWAY, P. J. Structure and chemistry of plant cuticles. **Pesticide Science**, 1993.

HUSETH, Anders S.; GROVES, Russell L. Environmental fate of soil applied neonicotinoid insecticides in an irrigated potato agroecosystem. **PloS one**, v. 9, n. 5, 2014.

IMPARATO, Valentina et al. Stimulation of bacteria and protists in rhizosphere of glyphosate-treated barley. **Applied soil ecology**, v. 98, p. 47-55, 2016.

ISAAA – International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, 2016. Global status of commercialized Biotech/GM crops: 2016. ISAAA Brief, n° 52 <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/52/executivesummary/pdf/B52-ExecSum-Portuguese.pdf> (2016). Acesso em 18 Julho de 2020.

JAWORSKI, E.G. Mode of action of N-phosphonomethylglycine: inhibition of aromatic amino acid biosynthesis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, v. 20, p. 1195-1198, 1972.

JOHNSON, Adam K. et al. Glyphosate spray drift management with drift-reducing nozzles and adjuvants. **Weed Technology**, v. 20, n. 4, p. 893-897, 2006.

KANISSERY, Ramdas et al. Glyphosate: Its Environmental Persistence and Impact on Crop Health and Nutrition. **Plants**, v. 8, n. 11, p. 499, 2019.



- KHADEMI, Seyed Mohammad Seyed et al. Direct detection of glyphosate in drinking water using corona-discharge ion mobility spectrometry: A theoretical and experimental study. **International Journal of Mass Spectrometry**, v. 442, p. 29-34, 2019.
- KHAWMEE, Khwunta et al. Surface charge properties of kaolinite from Thai soils. **Geoderma**, v. 192, p. 120-131, 2013.
- KOLLMAN, Wynetta; SEGAWA, Randall. Interim report of the pesticide chemistry database 1995. **California Department of Pesticide Regulation**, 1995.
- KREMER, Robert J.; MEANS, Nathan E. Glyphosate and glyphosate-resistant crop interactions with rhizosphere microorganisms. **European Journal of Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 153-161, 2009.
- KRENCHINSKI, Fabio Henrique et al. Early pruning of eucalyptus plants using glufosinate ammonium. **Cerne**, v. 24, n. 3, p. 162-168, 2018.
- KUDSK, Per; HATCHER, P. E.; FROUD-WILLIAMS, R. J. Optimising herbicide performance. Weed research: **Expanding horizons**, v. 1, p. 149-179, 2017.
- LA CECILIA, Daniele; MAGGI, Federico. Analysis of glyphosate degradation in a soil microcosm. **Environmental Pollution**, v. 233, p. 201-207, 2018.
- LAHSEN, Myanna; BUSTAMANTE, Mercedes MC; DALLA-NORA, Eloi L. Undervaluing and overexploiting the Brazilian Cerrado at our peril. **Environment: science and policy for sustainable development**, v. 58, n. 6, p. 4-15, 2016.
- LEAL, Inara R. et al. Interações planta-animal na Caatinga: visão geral e perspectivas futuras. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 4, p. 35-40, 2018.
- LEAL, Paula V. et al. Ingestion of the pods of *Enterolobium contortisiliquum* causes hepatogenous photosensitization in cattle. **Toxicon**, v. 131, p. 6-10, 2017.
- LEGLEITER, Travis R.; JOHNSON, William G. Herbicide coverage in narrow row soybean as influenced by spray nozzle design and carrier volume. **Crop Protection**, v. 83, p. 1-8, 2016.
- LEITE, Tiago de Sousa et al. Produção de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* e partição de assimilados em resposta à adubação fosfatada e inoculação com fungos micorrízicos. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1157-1166, 2017.

- LEVENE, Howard. Contributions to probability and statistics. **Essays in honor of Harold Hotelling**, p. 278-292, 1960.
- LI, Jianmei et al. Influence of formulation and glyphosate salt on absorption and translocation in three annual weeds. **Weed science**, v. 53, n. 2, p. 153-159, 2005.
- LIMA, A. L. A.; RODAL, M. J. N. Phenology and wood density of plants growing in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 11, p. 1363-1373, 2010.
- LORENZI, H. Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2.ed. **Nova Odessa: Editora Plantarum**, 1998.
- LORENZI, H. Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil: árvores brasileiras. **Nova Odessa: Plantarum**, 1992.
- LUCADAMO, Lucio; CORAPI, Anna; GALLO, Luana. 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.
- LUPI, Leonardo et al. Glyphosate runoff and its occurrence in rainwater and subsurface soil in the nearby area of agricultural fields in Argentina. *Chemosphere*, v. 225, p. 906-914, 2019.
- LUZ, Juliane; BARRETO, Robert W.; MACEDO, Davi M. *Erysiphe diffusa* causing powdery mildew on *Mimosa caesalpinifolia* in Brazil: A soya bean pathogen found on an important native Brazilian tree. **Forest Pathology**, v. 49, n. 3, p. e12500, 2019.
- MACHADO, Rodrigo Ferreira et al. Reflexos do mecanismo de ação de herbicidas na qualidade fisiológica de sementes e na atividade enzimática em plântulas de arroz. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p. 151-160, 2006.
- MAIA-SILVA, Camila et al. Guia de plantas: visitadas por abelhas na Caatinga. 2012.
- MAJEWSKI, Michael S. et al. Pesticides in Mississippi air and rain: a comparison between 1995 and 2007. **Environmental toxicology and chemistry**, v. 33, n. 6, p. 1283-1293, 2014.

- MALKANTHI, S. H. P. et al. Banning of Glyphosate and its Impact on Paddy Cultivation: A study in Ratnapura District in Sri Lanka. **Journal of Agricultural Sciences–Sri Lanka**, v. 14, n. 2, 2019.
- MAQUEDA, C. et al. Behaviour of glyphosate in a reservoir and the surrounding agricultural soils. **Science of the Total Environment**, v. 593, p. 787-795, 2017.
- MARCHI, Giuliano; MARCHI, Edilene Carvalho Santos; GUIMARÃES, Tadeu Gracioli. Herbicidas: mecanismos de ação e uso. **Embrapa Cerrados-Documents (INFOTECA-E)**, 2008.
- MARTINEZ, Daisy A.; LOENING, Ulrich E.; GRAHAM, Margaret C. Impacts of glyphosate-based herbicides on disease resistance and health of crops: a review. **Environmental Sciences Europe**, v. 30, n. 1, p. 2, 2018.
- MARTINS, Tatiana Parreiras; RANIERI, Victor Eduardo Lima. Agroforestry as an alternative to legal reserves. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 3, p. 79-96, 2014.
- MATTHEWS, G.; BATEMAN, R.; MILLER, P. Pesticide Application Methods. **Hoboken**. 2014.
- MAUFFREY, Florian et al. Bacterial community composition and genes for herbicide degradation in a stormwater wetland collecting herbicide runoff. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 228, n. 12, p. 452, 2017.
- MCKENZIE, Madeline R.; TEMPLEMAN, Michelle A.; KINGSFORD, Michael J. Detecting effects of herbicide runoff: The use of *Cassiopea maremetens* as a biomonitor to hexazinone. **Aquatic Toxicology**, v. 221, p. 105442, 2020.
- MELIANI, Amina et al. Plant growth-promotion and IAA secretion with *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida*. **J. Bot. Sci**, v. 6, p. 16-24, 2017.
- MENDES, Kassio Ferreira; DE SOUSA, Rodrigo Nogueira; LAUBE, Ana Flávia Souza. Current Approaches to Pesticide Use and Glyphosate-Resistant Weeds in Brazilian Agriculture. In: Multifunctionality and Impacts of Organic and Conventional Agriculture. **IntechOpen**, 2020.

MENDIVELSO, Hooz A. et al. Differential growth responses to water balance of coexisting deciduous tree species are linked to wood density in a Bolivian tropical dry forest. **PLoS One**, v. 8, n. 10, 2013.

MESSING, Paul G. et al. Current-use herbicides in air as influenced by their estimated agricultural use at various distances from six sampling locations. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 225, n. 6, p. 2013, 2014.

MIJANGOS, Iker et al. Effects of glyphosate on rhizosphere soil microbial communities under two different plant compositions by cultivation-dependent and-independent methodologies. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, n. 3, p. 505-513, 2009.

MONQUERO, P. A. et al. Herbicides selectivity on seedlings of native species *Acacia polyphylla*, *Enterolobium contortisiliquum* (Fabaceae), *Ceiba speciosa* and *Luehea divaricata* (Malvaceae). **Planta Daninha**, v. 29, n. 1, p. 159-168, 2011.

MONQUERO, Patricia Andrea et al. Initial growth of tree species under herbicide drift. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 59, n. 2, p. 162-172, 2016.

MURPHY, Brent P.; TRANEL, Patrick J. Target-Site Mutations Conferring Herbicide Resistance. **Plants**, v. 8, n. 10, p. 382, 2019.

NASCENTES, Renan F. et al. Low doses of glyphosate enhance growth, CO<sub>2</sub> assimilation, stomatal conductance and transpiration in sugarcane and eucalyptus. **Pest management science**, v. 74, n. 5, p. 1197-1205, 2018.

NETO, Manoel Delintro de Castro et al. Leaching of imidazolinones in soils under a clearfield system. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 63, n. 7, p. 897-906, 2017.

NUNES, Alesandra Ricardo et al. Photoprotective potential of medicinal plants from Cerrado biome (Brazil) in relation to phenolic content and antioxidant activity. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 189, p. 119-123, 2018.

OKADA, Elena et al. Glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) are commonly found in urban streams and wetlands of Melbourne, Australia. **Water research**, v. 168, p. 115139, 2020.

- OKADA, Elena; COSTA, Jose Luis; BEDMAR, Francisco. Adsorption and mobility of glyphosate in different soils under no-till and conventional tillage. **Geoderma**, v. 263, p. 78-85, 2016.
- OLIVEIRA, Luiz Felipe R. et al. Physiological and Morphological Responses of Jatobá Submitted to Weed Competition and Glyphosate Doses. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 10, 2019.
- OLOLADE, Oluwaranti Olubunmi et al. Influence of electrolyte composition and pH on glyphosate sorption by cow-dung amended soil. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 54, n. 9, p. 758-769, 2019.
- OZKAN, H. Erdal. Herbicide application equipment. In: **Handbook of Weed Management Systems**. Marcel Dekker Inc New York, 1995.
- PADILLA, Joshua T.; SELIM, H. Magdi. Environmental behavior of glyphosate in soils. In: *Advances in Agronomy*. **Academic Press**, p. 1-34, 2020.
- PASSOS, Ana Beatriz RJ et al. Effects of Liming and *Urochloa brizantha* Management on Leaching Potential of Picloram. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 230, n. 1, p. 12, 2019.
- PERAGÓN, Juan; AMORES-ESCOBAR, M. Teresa. Olive tree glutathione S-transferase and its response against the herbicides oxyfluorfen and glyphosate. **Scientia horticultrae**, v. 231, p. 194-200, 2018.
- PERCIVAL, Glynn C. The influence of glyphosate on carotenoid pigments, reactive oxygen species scavenging enzymes and secondary stress metabolites within leaf tissue of three Acer species. **Urban forestry & urban greening**, v. 24, p. 19-25, 2017.
- PEREIRA, Érica Patrícia Lima et al. *Amburana cearensis* seed extract protects brain mitochondria from oxidative stress and cerebellar cells from excitotoxicity induced by glutamate. **Journal of ethnopharmacology**, v. 209, p. 157-166, 2017a.
- PEREIRA, Erica PL et al. *Amburana cearensis* seed extracts protect PC-12 cells against toxicity induced by glutamate. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 27, n. 2, p. 199-205, 2017b.
- PEREIRA, Erico A. Oliveira et al. Adsorption of glyphosate on Brazilian subtropical soils rich in iron and aluminum oxides. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 54, n. 11, p. 906-914, 2019a.

PEREIRA, Fernanda Campos Mastrotti et al. Phosphate Status Affects Phosphate Transporter Expression and Glyphosate Uptake and Transport in Grand Eucalyptus (*Eucalyptus grandis*). **Weed Science**, v. 67, n. 1, p. 29-40, 2019b.

PETTER, Fabiano André et al. Sorption and desorption of diuron in Oxisol under biochar application. **Bragantia**, v. 75, n. 4, p. 487-496, 2016.

PIASECKI, Cristiano et al. Transcriptomic analysis identifies new non-target site glyphosate-resistance genes in *Conyza bonariensis*. n, v. 8, n. 6, p. 157, 2019.

PLINE, Wendy A. et al. Physiological and morphological response of glyphosate-resistant and non-glyphosate-resistant cotton seedlings to root-absorbed glyphosate. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 73, n. 1, p. 48-58, 2002.

PODADERA, Diego S. et al. Influence of removal of a non-native tree species *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. on the regenerating plant communities in a tropical semideciduous forest under restoration in Brazil. **Environmental management**, v. 56, n. 5, p. 1148-1158, 2015.

RAMZI, Sedigheh Nasr et al. Enhancement of glyphosate tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) through mutation induction in EPSPS (5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase). **Plant Gene**, v. 22, p. 100225, 2020.

RENDÓN-VON OSTEN, Jaime; DZUL-CAAMAL, Ricardo. Glyphosate residues in groundwater, drinking water and urine of subsistence farmers from intensive agriculture localities: a survey in Hopelchén, Campeche, Mexico. **International journal of environmental research and public health**, v. 14, n. 6, p. 595, 2017.

REZENDE-SILVA, Sueisla Lopes et al. *Pouteria torta* is a remarkable native plant for biomonitoring the glyphosate effects on Cerrado vegetation. **Ecological indicators**, v. 102, p. 497-506, 2019.

RICHARDS, Brian K. et al. Antecedent and post-application rain events trigger glyphosate transport from runoff-prone soils. **Environmental Science & Technology Letters**, v. 5, n. 5, p. 249-254, 2018.

RODENBURG, Jonne; MEINKE, Holger; JOHNSON, David E. Challenges for weed management in African rice systems in a changing climate. **The Journal of Agricultural Science**, v. 149, n. 4, p. 427-435, 2011.

RODRIGUEZ, Sofia Calvo et al. *Myracrodruon Urundeuva* Fr All.(Aroeira Tree) Population Dynamics, Diameter Growth Rate And Its Potential For Sustainable Management In Successional Tropical Dry Forests Of Brazil. **Revista Árvore**, v. 41, n. 3, 2017.

RONCO, M. G. et al. Glyphosate and mycorrhization induce changes in plant growth and in root morphology and architecture in pepper plants (*Capsicum annuum* L.). **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 83, n. 4, p. 497-505, 2008.

SANDBERG, C. L.; MEGGITT, W. F.; PENNER, Donald. Absorption, translocation and metabolism of <sup>14</sup>C-glyphosate in several weed species. **Weed Research**, v. 20, n. 4, p. 195-200, 1980.

SAN-FRANCISCO, Sara et al. Effects of IAA and IAA precursors on the development, mineral nutrition, IAA content and free polyamine content of pepper plants cultivated in hydroponic conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 106, n. 1, p. 38-52, 2005.

SANGAMI, Sanjeev; MANU, Basavaraju. Fenton's treatment of actual agriculture runoff water containing herbicides. **Water Science and Technology**, v. 75, n. 2, p. 451-461, 2017.

SANTOS, F.A.R. et al. Apícolas. In: SAMPAIO, E.V.S.B. et al. Espécies da flora nordestina de importância econômica potencial. **Associação Plantas do Nordeste**, 2004.

SCHWARTZ-LAZARO, Lauren M. et al. Comparison of Simulated Drift Rates of Common ALS-Inhibiting Rice Herbicides to Florpyrauxifen-Benzyl on Soybean. **International Journal of Agronomy**, v. 2017, 2017.

SERAFIM FILHO, Gilvan Lopes. **Composição florística e fitossociologia de duas áreas de caatinga no parque nacional do catimbau, Buíque, Pernambuco, Brasil**. 2014. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ecologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.

SHAPIRO, Samuel Sanford; WILK, Martin B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

- SILVA, AA da; SILVA, JF da. Tópicos em manejo de plantas daninhas. **Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa**, p. 17-62, 2007.
- SILVA, Rosemere dos Santos et al. Physiological quality of seeds of *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) morong. stored. *Bioscience Journal*, v. 34, n. 6, 2018.
- SILVA, Tatiane Severo et al. Use of neural networks to estimate the sorption and desorption coefficients of herbicides: A case study of diuron, hexazinone, and sulfometuron-methyl in Brazil. *Chemosphere*, v. 236, p. 124333, 2019.
- SINGH, Megh et al. Glyphosate efficacy, absorption, and translocation in selected four weed species common to Florida citrus. **HortTechnology**, v. 21, n. 5, p. 599-605, 2011.
- SMITH, Albert E. **Handbook of weed management systems**. Routledge, 2017.
- SOARES, Cristiano et al. Is soil contamination by a glyphosate commercial formulation truly harmless to non-target plants?—Evaluation of oxidative damage and antioxidant responses in tomato. **Environmental pollution**, v. 247, p. 256-265, 2019.
- SORACCO, C. Germán et al. Glyphosate dynamics in a soil under conventional and no-till systems during a soybean growing season. **Geoderma**, v. 323, p. 13-21, 2018.
- SOUSA, Maria Gizeuda de F. et al. Evaluation of the atmospheric contamination level for the use of herbicide glyphosate in the northeast region of Brazil. **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, n. 10, p. 604, 2019.
- SOUZA, V. C.; LORENZI, H. Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias das famílias de angiospermas da flora brasileira I, baseado em APG III. **Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum**, 2012.
- SPORMANN, Sofia; SOARES, Cristiano; FIDALGO, Fernanda. Salicylic acid alleviates glyphosate-induced oxidative stress in *Hordeum vulgare* L. **Journal of environmental management**, v. 241, p. 226-234, 2019.
- SPRANKLE, Paul; MEGGITT, W. F.; PENNER, Donald. Adsorption, mobility, and microbial degradation of glyphosate in the soil. **Weed Science**, v. 23, n. 3, p. 229-234, 1975.
- STALIKAS, Constantine D.; KONIDARI, Constantina N. Analytical methods to determine phosphonic and amino acid group-containing pesticides. **Journal of Chromatography A**, v. 907, n. 1-2, p. 1-19, 2001.



TAKAHASHI, S.; BADGER, M. R. Photoprotection in plants: a new light on photosystem II damage. **Trends in plant science**, v. 16, n. 1, p. 53-60, 2011.

TATE, Trent M. et al. Evaluation of mesotrione tolerance levels and [<sup>14</sup>C] mesotrione absorption and translocation in three fine fescue species. **Weed Science**, v. 67, n. 5, p. 497-503, 2019.

TAYEB, M. A.; ISMAIL, B. S.; KHAIRIATUL-MARDIANA, J. Runoff of the herbicides triclopyr and glufosinate ammonium from oil palm plantation soil. **Environmental monitoring and assessment**, v. 189, n. 11, p. 551, 2017.

TEAM, R. Core. R: A Language and Environment for Statistical Computing (Version 3.6. 1) R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2019.

TEIXEIRA, Paulo César et al. Manual de métodos de análise de solo. **Rio de Janeiro**, v. 4, 2017.

TERRA, Marcela de Castro Nunes Santos et al. Water availability drives gradients of tree diversity, structure and functional traits in the Atlantic–Cerrado–Caatinga transition, Brazil. **Journal of Plant Ecology**, v. 11, n. 6, p. 803-814, 2018.

TESFAMARIAM, Tsehay et al. Glyphosate in the rhizosphere—Role of waiting times and different glyphosate binding forms in soils for phytotoxicity to non-target plants. **European journal of agronomy**, v. 31, n. 3, p. 126-132, 2009.

TONG, Mengmeng et al. Uptake, translocation, metabolism, and distribution of glyphosate in nontarget tea plant (*Camellia sinensis* L.). **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 65, n. 35, p. 7638-7646, 2017.

TYREE, Melvin T. Hydraulic limits on tree performance: transpiration, carbon gain and growth of trees. **Trees**, v. 17, n. 2, p. 95-100, 2003.

UREN WEBSTER, Tamsyn M. et al. Effects of glyphosate and its formulation, roundup, on reproduction in zebrafish (*Danio rerio*). **Environmental science & technology**, v. 48, n. 2, p. 1271-1279, 2014.

VAN BRUGGEN, A. H. C. et al. Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. **Science of the Total Environment**, v. 616, p. 255-268, 2018.

VASCONCELOS, Jéssica Nascimento Costa et al. Stimulation of 6-benzylaminopurine and meta-topolin-induced in vitro shoot organogenesis and production of flavonoids of *Amburana cearensis* (Allemão) AC Smith. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 22, p. 101408, 2019.

VEIGA, F. et al. Dynamics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in a forest soil in Galicia, north-west Spain. **Science of the total environment**, v. 271, n. 1-3, p. 135-144, 2001.

VIDAL, Ribas Antonio. **Herbicidas: mecanismos de ação e resistência de plantas**. RA Vidal, 1997.

VIEIRA, Bruno C. et al. Particle drift potential of glyphosate plus 2, 4-D choline pre-mixture formulation in a low-speed wind tunnel. **Weed Technology**, p. 1-8, 2020.

VIEIRA, Bruno C. et al. Response of *Amaranthus* spp. following exposure to sublethal herbicide rates via spray particle drift. **PloS one**, v. 14, n. 7, 2019.

VITI, M. L. et al. Translocation and Root Exudation of Glyphosate by *Urochloa brizantha* and its Transport on Sugarcane and Citrus Seedlings. **Planta Daninha**, v. 37, 2019.

VIVANCOS, Pedro Diaz et al. Perturbations of amino acid metabolism associated with glyphosate-dependent inhibition of shikimic acid metabolism affect cellular redox homeostasis and alter the abundance of proteins involved in photosynthesis and photorespiration. **Plant physiology**, v. 157, n. 1, p. 256-268, 2011.

VOLTOLINI, T. V. et al. Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido. **Embrapa Semiárido-Livro técnico (INFOTECA-E)**, 2019.

VRYZAS, Zisis. Pesticide fate in soil-sediment-water environment in relation to contamination preventing actions. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 4, p. 5-9, 2018.

WAGNER, RODRIGO; KOGAN, MARCELO; PARADA, ANA M. Phytotoxic activity of root absorbed glyphosate in corn seedlings (*Zea mays* L.). **Weed Biology and Management**, v. 3, n. 4, p. 228-232, 2003.

WANG, Qinghai et al. Effect of grass hedges on runoff loss of soil surface-applied herbicide under simulated rainfall in Northern China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 253, p. 1-10, 2018.

WHO- WORLD HEALTH ORGANIZATION. Environmental health criteria 159 (glyphosate). **WHO: Geneva**, p. 447-448, 1994.

YANG, Xiaomei et al. Decay characteristics and erosion-related transport of glyphosate in Chinese loess soil under field conditions. **Science of the Total Environment**, v. 530, p. 87-95, 2015a.

ZABLOTOWICZ, Robert M.; REDDY, Krishna N. Impact of glyphosate on the *Bradyrhizobium japonicum* symbiosis with glyphosate-resistant transgenic soybean. **Journal of environmental quality**, v. 33, n. 3, p. 825-831, 2004.

ZHANG, Changpeng et al. Degradation dynamics of glyphosate in different types of citrus orchard soils in China. **Molecules**, v. 20, n. 1, p. 1161-1175, 2015.

ZHANG, Luoping et al. Exposure to glyphosate-based herbicides and risk for non-Hodgkin lymphoma: a meta-analysis and supporting evidence. **Mutation Research/Reviews in Mutation Research**, v. 781, p. 186-206, 2019.

## APÊNDICE I

**Tabela 2.** Parâmetros do modelo log-logístico obtidos a partir da matéria seca de folhas das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.

Espécie	Modelo	Parâmetro	Estimado	Error padrão	t-valor	p-valor
<i>A. macrocarpa</i>		Inclinação	3.84E+00	3.88E-01	9.9012	< 2.2e-16
<i>A. macrocarpa</i>	Logístico	Limite max.	1.04E+02	2.28E+00	45.637	< 2.2e-16
<i>A. macrocarpa</i>		ED50	7.35E+02	2.34E+01	31.42	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>		Inclinação	1.21E+01	2.32E+02	0.0524	0.95828
<i>B. cheilanta</i>	Logístico	Limite max.	1.00E+02	3.25E+00	30.764	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>		ED50	2.12E+02	1.88E+02	1.1265	0.26154
<i>A. cearensis</i>		Inclinação	9.42E-01	1.29E-01	7.2935	1.10E-11
<i>A. cearensis</i>	Logístico	Limite max.	9.98E+01	3.26E+00	30.594	< 2.2e-16
<i>A. cearensis</i>		ED50	3.55E+02	4.05E+01	8.7687	1.80E-15
<i>E. contortisiliquum</i>		Inclinação	6.24E+00	7.68E-01	8.1204	9.05E-14
<i>E. contortisiliquum</i>	Logístico	Limite max.	9.89E+01	2.34E+00	42.219	< 2.2e-16
<i>E. contortisiliquum</i>		ED50	5.85E+02	1.44E+01	40.574	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		Inclinação	NA	NA	NA	NA
<i>H. courbaril</i>	Logístico	Limite max.	9.33E+01	1.45E+00	64.147	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		ED50	4.43E+03	NA	NA	NA
<i>L. ferrea</i>		Inclinação	3.06E+00	3.31E-01	9.2506	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>	Logístico	Limite max.	1.01E+02	2.48E+00	40.793	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>		ED50	7.05E+02	2.66E+01	26.523	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Inclinação	4.65E+00	5.54E-01	8.3986	1.71E-14
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	Logístico	Limite max.	9.79E+01	2.46E+00	39.846	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		ED50	6.22E+02	1.86E+01	33.343	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		Inclinação	2.41E+00	2.35E-01	10.254	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>	Logístico	Limite max.	9.94E+01	3.28E+00	30.267	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		ED50	2.65E+02	1.52E+01	17.384	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		Inclinação	5.43E-01	2.27E-01	2.3925	0.01783
<i>M. urundeuva</i>	Logístico	Limite max.	1.00E+02	3.21E+00	31.172	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		ED50	1.08E+04	1.21E+04	0.8951	0.37202
<i>T. aurea</i>		Inclinação	3.58E+00	4.69E-01	7.6353	1.55E-12
<i>T. aurea</i>	Logístico	Limite max.	9.51E+01	2.90E+00	32.832	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>		ED50	6.52E+02	2.84E+01	22.987	< 2.2e-16

**Tabela 3.** Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo I obtidos a partir da matéria seca de folhas das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.

Espécie	Modelo	Parâmetro	Estimado	Error padrão	t-valor	p-valor
<i>A. macrocarpa</i>	Weibull I	Inclinação	5.76E+00	1.28E+00	4.511	1.24E-05
<i>A. macrocarpa</i>		Limite min.	2.11E+01	2.56E+00	8.2428	5.75E-14

<i>A. macrocarpa</i>		Limite max.	1.02E+02	1.84E+00	55.5167	< 2.2e-16
<i>A. macrocarpa</i>		ED50	6.92E+02	1.39E+01	49.6527	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>		Inclinação	1.56E+01	NA	NA	NA
<i>B. cheilanta</i>	Weibull I	Limite min.	9.26E-02	1.47E+00	0.063	0.9498
<i>B. cheilanta</i>		Limite max.	1.00E+02	2.55E+00	39.3473	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>		ED50	2.22E+02	NA	NA	NA
<i>A. cearensis</i>		Inclinação	4.98E-01	NA	NA	NA
<i>A. cearensis</i>	Weibull I	Limite min.	-7.46E+01	NA	NA	NA
<i>A. cearensis</i>		Limite max.	1.00E+02	2.56E+00	39.08	< 2.2e-16
<i>A. cearensis</i>		ED50	3.30E+03	NA	NA	NA
<i>E. contortisiliquum</i>		Inclinação	4.73E+00	5.54E-01	8.5426	9.77E-15
<i>E. contortisiliquum</i>	Weibull I	Limite min.	-8.07E-02	2.56E+00	-0.0315	0.9749
<i>E. contortisiliquum</i>		Limite max.	9.92E+01	1.91E+00	51.8489	< 2.2e-16
<i>E. contortisiliquum</i>		ED50	6.44E+02	1.16E+01	55.6195	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		Inclinação	3.57E-04	NA	NA	NA
<i>H. courbaril</i>	Weibull I	Limite min.	8.66E+01	1.07E-02	8119.63	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		Limite max.	1.00E+02	2.07E+00	48.2989	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		ED50	5.49E+03	6.78E+05	0.0081	0.9935
<i>L. ferrea</i>		Inclinação	4.93E+00	8.00E-01	6.1628	5.58E-09
<i>L. ferrea</i>	Weibull I	Limite min.	2.50E+01	2.56E+00	9.7807	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>		Limite max.	9.88E+01	1.90E+00	51.9301	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>		ED50	6.46E+02	1.50E+01	42.9233	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Inclinação	2.22E+00	NA	NA	NA
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	Weibull I	Limite min.	-2.20E+01	NA	NA	NA
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Limite max.	1.02E+02	1.80E+00	56.3081	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		ED50	8.54E+02	NA	NA	NA
<i>M. tenuiflora</i>		Inclinação	1.42E+00	1.39E-01	10.2236	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>	Weibull I	Limite min.	-3.33E+00	2.83E+00	-1.1762	0.2413
<i>M. tenuiflora</i>		Limite max.	9.96E+01	2.58E+00	38.5404	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		ED50	3.70E+02	2.08E+01	17.8105	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		Inclinação	2.06E+01	NA	NA	NA
<i>M. urundeuva</i>	Weibull I	Limite min.	8.08E+01	1.47E+00	54.8115	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		Limite max.	1.00E+02	2.57E+00	38.9621	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		ED50	2.29E+02	NA	NA	NA
<i>T. aurea</i>		Inclinação	1.61E+00	1.69E-01	9.5147	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>	Weibull I	Limite min.	-1.82E+02	1.33E+02	-1.3664	0.1737
<i>T. aurea</i>		Limite max.	9.95E+01	2.37E+00	41.9299	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>		ED50	1.89E+03	7.65E+02	2.4665	0.0147

**Tabela 4.** Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo II obtidos a partir da matéria seca de folhas das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.

Espécie	Modelo	Parâmetro	Estimado	Error padrão	t-valor	p-valor
<i>A. macrocarpa</i>	Weibull II	Inclinação	-3.25E+00	6.51E-01	-4.9984	1.50E-06

<i>A. macrocarpa</i>		Limite min.	9.47E+00	7.62E+00	1.242	0.216066
<i>A. macrocarpa</i>		Limite max.	1.02E+02	1.99E+00	51.2546	< 2.2e-16
<i>A. macrocarpa</i>		ED50	6.03E+02	2.43E+01	24.8446	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>		Inclinação	-1.02E+01	8.02E+00	-1.2753	0.204045
<i>B. cheilanta</i>	Weibull II	Limite min.	-3.67E-02	1.64E+00	-0.0224	0.982147
<i>B. cheilanta</i>		Limite max.	9.92E+01	2.83E+00	35.0097	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>		ED50	2.06E+02	1.22E+01	16.8293	< 2.2e-16
<i>A. cearensis</i>		Inclinação	-4.53E-01	1.00E-01	-4.5348	1.13E-05
<i>A. cearensis</i>	Weibull II	Limite min.	-3.39E+01	2.31E+01	-1.4637	0.145237
<i>A. cearensis</i>		Limite max.	9.89E+01	2.82E+00	35.1094	< 2.2e-16
<i>A. cearensis</i>		ED50	3.43E+02	1.37E+02	2.4944	0.013634
<i>E. contortisiliquum</i>		Inclinação	-3.77E+00	5.03E-01	-7.5074	3.97E-12
<i>E. contortisiliquum</i>	Weibull II	Limite min.	-6.40E+00	4.99E+00	-1.2816	0.201853
<i>E. contortisiliquum</i>		Limite max.	9.87E+01	2.01E+00	49.1154	< 2.2e-16
<i>E. contortisiliquum</i>		ED50	5.31E+02	1.47E+01	36.0357	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		Inclinação	-4.31E-04	NA	NA	NA
<i>H. courbaril</i>	Weibull II	Limite min.	7.46E+01	NA	NA	NA
<i>H. courbaril</i>		Limite max.	1.01E+02	1.63E+00	61.8288	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		ED50	1.49E+02	5.95E+03	0.025	0.980078
<i>L. ferrea</i>		Inclinação	-3.62E+00	6.59E-01	-5.4876	1.57E-07
<i>L. ferrea</i>	Weibull II	Limite min.	1.88E+01	5.35E+00	3.5106	0.000581
<i>L. ferrea</i>		Limite max.	9.90E+01	2.00E+00	49.4769	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>		ED50	5.37E+02	2.04E+01	26.2875	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Inclinação	-1.33E+00	NA	NA	NA
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	Weibull II	Limite min.	-9.03E+01	NA	NA	NA
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Limite max.	9.87E+01	1.79E+00	55.1289	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		ED50	7.98E+02	NA	NA	NA
<i>M. tenuiflora</i>		Inclinação	-7.17E-01	NA	NA	NA
<i>M. tenuiflora</i>	Weibull II	Limite min.	-6.19E+01	NA	NA	NA
<i>M. tenuiflora</i>		Limite max.	1.00E+02	2.78E+00	36.0036	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		ED50	3.23E+02	NA	NA	NA
<i>M. urundeuva</i>		Inclinação	-6.23E+00	9.36E+00	-0.6656	0.506594
<i>M. urundeuva</i>	Weibull II	Limite min.	8.08E+01	1.77E+00	45.5984	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		Limite max.	9.95E+01	2.96E+00	33.6058	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		ED50	2.23E+02	1.99E+01	11.1968	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>		Inclinação	-1.13E+00	2.25E-01	-5.0278	1.32E-06
<i>T. aurea</i>	Weibull II	Limite min.	-1.04E+02	4.28E+01	-2.4344	0.016015
<i>T. aurea</i>		Limite max.	9.60E+01	2.48E+00	38.6801	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>		ED50	9.01E+02	1.75E+02	5.1603	7.22E-07

**Tabela 5.** Parâmetros do modelo log-logístico obtidos a partir da matéria seca de caule das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.

Espécie	Modelo	Parâmetro	Estimado	Error padrão	t-valor	p-valor
---------	--------	-----------	----------	--------------	---------	---------

<i>A. macrocarpa</i>		Inclinação	2.68152	0.86014	3.1175	0.002163
<i>A. macrocarpa</i>	Logístico	Limite max.	-2150.5	16929.14	-0.127	0.899077
<i>A. macrocarpa</i>		ED50	103.6362	2.47754	41.8304	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>		Inclinação	5141.12	15538.89	0.3309	0.741187
<i>B. cheilanta</i>	Logístico	Limite max.	25.24951	NA	NA	NA
<i>B. cheilanta</i>		ED50	-0.11078	1.92632	-0.0575	0.954211
<i>A. cearensis</i>		Inclinação	99.99997	3.33574	29.9784	< 2.2e-16
<i>A. cearensis</i>	Logístico	Limite max.	222.2099	NA	NA	NA
<i>A. cearensis</i>		ED50	1.70351	1.3072	1.3032	0.194388
<i>E. contortisiliquum</i>		Inclinação	68.99311	9.61146	7.1782	2.50E-11
<i>E. contortisiliquum</i>	Logístico	Limite max.	99.99789	3.33662	29.9698	< 2.2e-16
<i>E. contortisiliquum</i>		ED50	302.3481	141.1312	2.1423	0.03368
<i>H. courbaril</i>		Inclinação	4.85364	0.93389	5.1972	6.09E-07
<i>H. courbaril</i>	Logístico	Limite max.	-5.78513	5.88276	-0.9834	0.326893
<i>H. courbaril</i>		ED50	95.85136	2.54524	37.6591	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>		Inclinação	623.7803	24.69777	25.2565	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>	Logístico	Limite max.	35.7922	3463.806	0.0103	0.991768
<i>L. ferrea</i>		ED50	93.82367	2.35962	39.7622	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Inclinação	99.50835	2.35972	42.1696	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	Logístico	Limite max.	449.1132	498.9468	0.9001	0.369408
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		ED50	0.74273	0.18426	4.0309	8.58E-05
<i>M. tenuiflora</i>		Inclinação	-427.167	1369.81	-0.3118	0.755565
<i>M. tenuiflora</i>	Logístico	Limite max.	99.59903	3.32729	29.9339	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		ED50	18989.85	84839.69	0.2238	0.823173
<i>M. urundeuva</i>		Inclinação	3.50713	0.76591	4.579	9.34E-06
<i>M. urundeuva</i>	Logístico	Limite max.	-37.3137	23.57192	-1.583	0.115403
<i>M. urundeuva</i>		ED50	92.93931	2.74787	33.8223	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>		Inclinação	872.173	104.6415	8.3349	3.34E-14
<i>T. aurea</i>	Logístico	Limite max.	26.72459	69.84311	0.3826	0.702496
<i>T. aurea</i>		ED50	0.52762	2.3784	0.2218	0.824723

**Tabela 6.** Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo I obtidos a partir da matéria seca de caule das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.

Espécie	Modelo	Parâmetro	Estimado	Error padrão	t-valor	p-valor
<i>A. macrocarpa</i>	Weibull I	Inclinação	2.72E+00	8.84E-01	3.0787	0.002447
<i>A. macrocarpa</i>		Limite min.	7.86E+00	NA	NA	NA
<i>A. macrocarpa</i>		Limite max.	1.24E+00	6.68E-01	1.8618	0.064466
<i>A. macrocarpa</i>		ED50	3.88E+00	7.12E-01	5.4569	1.81E-07
<i>B. cheilanta</i>	Weibull I	Inclinação	4.47E+00	8.37E+00	0.5337	0.594277
<i>B. cheilanta</i>		Limite min.	7.25E-01	1.20E-01	6.0373	1.06E-08
<i>B. cheilanta</i>		Limite max.	1.98E+00	3.00E-01	6.6028	5.66E-10
<i>B. cheilanta</i>		ED50	1.49E+01	NA	NA	NA

<i>A. cearensis</i>		Inclinação	4.85E+00	3.41E+00	1.4218	0.157023
<i>A. cearensis</i>	Weibull I	Limite min.	2.68E+00	4.94E-01	5.4292	2.07E-07
<i>A. cearensis</i>		Limite max.	-4.91E+02	5.25E+03	-0.0935	0.925645
<i>A. cearensis</i>		ED50	-4.14E-03	1.86E+00	-0.0022	0.998223
<i>E. contortisiliquum</i>		Inclinação	7.15E+01	5.02E+00	14.2329	< 2.2e-16
<i>E. contortisiliquum</i>	Weibull I	Limite min.	-1.63E-01	3.28E+00	-0.0497	0.960411
<i>E. contortisiliquum</i>		Limite max.	9.39E+01	2.36E+00	39.81	< 2.2e-16
<i>E. contortisiliquum</i>		ED50	-3.61E+02	1.20E+03	-0.3007	0.764021
<i>H. courbaril</i>		Inclinação	-2.20E+02	2.61E+02	-0.843	0.400498
<i>H. courbaril</i>	Weibull I	Limite min.	3.14E-02	2.27E+00	0.0138	0.989016
<i>H. courbaril</i>		Limite max.	7.55E+01	3.15E+00	23.9833	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		ED50	-1.40E+02	1.73E+02	-0.81	0.419121
<i>L. ferrea</i>		Inclinação	1.04E+02	2.37E+00	43.6448	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>	Weibull I	Limite min.	1.00E+02	3.22E+00	31.0882	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>		Limite max.	1.00E+02	3.21E+00	31.1368	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>		ED50	9.63E+01	2.58E+00	37.2893	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Inclinação	9.97E+01	2.50E+00	39.8178	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	Weibull I	Limite min.	9.96E+01	3.24E+00	30.6979	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Limite max.	9.62E+01	2.87E+00	33.5708	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		ED50	9.78E+01	2.27E+00	42.9833	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		Inclinação	9.69E+01	2.54E+00	38.1055	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>	Weibull I	Limite min.	9.24E+01	2.64E+00	34.9358	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		Limite max.	3.06E+03	1.07E+04	0.2858	0.775372
<i>M. tenuiflora</i>		ED50	2.33E+02	NA	NA	NA
<i>M. urundeuva</i>		Inclinação	3.74E+02	1.33E+02	2.8075	0.005615
<i>M. urundeuva</i>	Weibull I	Limite min.	6.75E+02	1.98E+01	34.1244	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		Limite max.	4.89E+02	1.75E+02	2.7934	0.005852
<i>M. urundeuva</i>		ED50	1.80E+04	7.24E+04	0.249	0.803652
<i>T. aurea</i>		Inclinação	1.86E+03	1.04E+03	1.7949	0.074561
<i>T. aurea</i>	Weibull I	Limite min.	5.24E+02	NA	NA	NA
<i>T. aurea</i>		Limite max.	5.50E+02	7.01E+01	7.8523	5.56E-13
<i>T. aurea</i>		ED50	1.43E+03	5.67E+02	2.5283	0.012432

**Tabela 7.** Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo II obtidos a partir da matéria seca de caule das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.

Espécie	Modelo	Parâmetro	Estimado	Error padrão	t-valor	p-valor
<i>A. macrocarpa</i>	Weibull II	Inclinação	-6.72E-01	3.55E+00	28.1377	< 2.2e-16
<i>A. macrocarpa</i>		Limite min.	-1.01E+03	2.51E+00	37.9177	< 2.2e-16
<i>A. macrocarpa</i>		Limite max.	1.03E+02	6.02E-01	-4.5799	9.31E-06
<i>A. macrocarpa</i>		ED50	6.94E+03	1.15E+01	-1.4379	0.15242
<i>B. cheilanta</i>	Weibull II	Inclinação	-1.30E+01	NA	NA	NA
<i>B. cheilanta</i>		Limite min.	-4.08E-02	2.05E+00	-0.0199	0.98412
<i>B. cheilanta</i>		Limite max.	1.00E+02	3.55E+00	28.1349	< 2.2e-16



<i>B. cheilanta</i>		ED50	2.16E+02	NA	NA	NA
<i>A. cearensis</i>		Inclinação	-1.13E+00	1.26E+00	-0.8972	0.37096
<i>A. cearensis</i>	Weibull II	Limite min.	6.68E+01	1.62E+01	4.1284	5.87E-05
<i>A. cearensis</i>		Limite max.	1.00E+02	3.55E+00	28.1377	< 2.2e-16
<i>A. cearensis</i>		ED50	2.34E+02	1.10E+02	2.1244	0.03517
<i>E. contortisiliquum</i>		Inclinação	-2.76E+00	6.02E-01	-4.5799	9.31E-06
<i>E. contortisiliquum</i>	Weibull II	Limite min.	-1.65E+01	1.15E+01	-1.4379	0.15242
<i>E. contortisiliquum</i>		Limite max.	9.53E+01	2.51E+00	37.9177	< 2.2e-16
<i>E. contortisiliquum</i>		ED50	5.70E+02	3.18E+01	17.9389	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		Inclinação	-4.36E-01	1.65E+00	-0.2648	0.79153
<i>H. courbaril</i>	Weibull II	Limite min.	9.42E+01	6.07E+00	15.5207	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		Limite max.	1.00E+02	3.64E+00	27.624	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		ED50	3.16E+01	2.19E+02	0.1444	0.88538
<i>L. ferrea</i>		Inclinação	-3.07E-01	1.26E-01	-2.4432	0.01564
<i>L. ferrea</i>	Weibull II	Limite min.	-2.47E+02	3.15E+02	-0.7844	0.43398
<i>L. ferrea</i>		Limite max.	9.94E+01	3.60E+00	27.5901	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>		ED50	7.80E+03	1.84E+04	0.424	0.67213
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Inclinação	-5.60E+00	NA	NA	NA
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	Weibull II	Limite min.	-6.41E+00	NA	NA	NA
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Limite max.	8.80E+01	2.05E+00	42.8628	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		ED50	6.91E+02	NA	NA	NA
<i>M. tenuiflora</i>		Inclinação	-3.51E+01	2.82E+02	-0.1244	0.90112
<i>M. tenuiflora</i>	Weibull II	Limite min.	-2.38E-02	2.51E+00	-0.0095	0.99247
<i>M. tenuiflora</i>		Limite max.	9.78E+01	2.51E+00	38.8829	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		ED50	4.56E+02	9.55E+01	4.7723	4.08E-06
<i>M. urundeuva</i>		Inclinação	-9.47E-01	9.47E-01	-1.0005	0.31858
<i>M. urundeuva</i>	Weibull II	Limite min.	5.94E+01	3.21E+01	1.849	0.06631
<i>M. urundeuva</i>		Limite max.	9.96E+01	3.80E+00	26.2056	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		ED50	5.04E+02	4.58E+02	1.1014	0.27237
<i>T. aurea</i>		Inclinação	-1.25E+01	NA	NA	NA
<i>T. aurea</i>	Weibull II	Limite min.	-5.83E-01	2.40E+00	-0.2433	0.80806
<i>T. aurea</i>		Limite max.	8.79E+01	2.05E+00	42.8352	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>		ED50	6.86E+02	NA	NA	NA

**Tabela 8.** Parâmetros do modelo log-logístico obtidos a partir da matéria seca de raiz das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.

Espécie	Modelo	Parâmetro	Estimado	Error padrão	t-valor	p-valor
<i>A. macrocarpa</i>		Inclinação	1.56E+00	2.71E-01	5.7666	4.06E-08
<i>A. macrocarpa</i>	Logístico	Limite max.	-3.33E+03	1.83E+04	-0.1814	0.85631
<i>A. macrocarpa</i>		ED50	9.69E+01	3.12E+00	31.0572	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>		Inclinação	1.46E+04	5.02E+04	0.2917	0.770928
<i>B. cheilanta</i>	Logístico	Limite max.	6.59E+01	NA	NA	NA
<i>B. cheilanta</i>		ED50	1.61E-02	1.81E+00	0.0089	0.992921

<i>A. cearensis</i>		Inclinação	1.00E+02	3.14E+00	31.8587	< 2.2e-16
<i>A. cearensis</i>	Logístico	Limite max.	2.21E+02	NA	NA	NA
<i>A. cearensis</i>		ED50	1.15E+00	1.70E-01	6.7591	2.46E-10
<i>E. contortisiliquum</i>		Inclinação	-2.58E+03	9.79E+03	-0.2638	0.792303
<i>E. contortisiliquum</i>	Logístico	Limite max.	9.91E+01	3.01E+00	32.9731	< 2.2e-16
<i>E. contortisiliquum</i>		ED50	2.83E+04	9.64E+04	0.2933	0.769682
<i>H. courbaril</i>		Inclinação	2.27E+00	5.70E-01	3.988	0.000101
<i>H. courbaril</i>	Logístico	Limite max.	-2.91E+01	1.77E+01	-1.6482	0.101278
<i>H. courbaril</i>		ED50	9.38E+01	3.88E+00	24.1907	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>		Inclinação	6.85E+02	8.96E+01	7.6492	1.78E-12
<i>L. ferrea</i>	Logístico	Limite max.	1.10E+00	4.32E-01	2.5471	0.011805
<i>L. ferrea</i>		ED50	-4.87E+01	1.09E+02	-0.4466	0.655784
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Inclinação	9.98E+01	3.17E+00	31.472	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	Logístico	Limite max.	1.18E+03	1.51E+03	0.7848	0.433714
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		ED50	5.90E-01	9.50E-02	6.2138	4.30E-09
<i>M. tenuiflora</i>		Inclinação	-3.18E+02	3.92E+02	-0.8122	0.417893
<i>M. tenuiflora</i>	Logístico	Limite max.	9.95E+01	3.17E+00	31.4391	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		ED50	2.39E+04	4.86E+04	0.4923	0.623169
<i>M. urundeuva</i>		Inclinação	1.83E+00	3.05E-01	5.9859	1.37E-08
<i>M. urundeuva</i>	Logístico	Limite max.	-4.27E+01	1.83E+01	-2.3303	0.021038
<i>M. urundeuva</i>		ED50	9.52E+01	3.44E+00	27.6297	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>		Inclinação	7.61E+02	1.16E+02	6.5492	7.51E-10
<i>T. aurea</i>	Logístico	Limite max.	1.82E+01	7.61E+01	0.2395	0.810989
<i>T. aurea</i>		ED50	3.07E-01	2.26E+00	0.1358	0.89212

**Tabela 9.** Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo I obtidos a partir da matéria raiz de folhas das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.

Espécie	Modelo	Parâmetro	Estimado	Error padrão	t-valor	p-valor
<i>A. macrocarpa</i>	Weibull I	Inclinação	1.50E+00	3.02E-01	4.9792	1.64E-06
<i>A. macrocarpa</i>		Limite min.	-3.91E+03	9.47E+03	-0.4125	0.68056
<i>A. macrocarpa</i>		Limite max.	9.73E+01	3.15E+00	30.9037	< 2.2e-16
<i>A. macrocarpa</i>		ED50	1.80E+04	3.42E+04	0.5269	0.599001
<i>B. cheilanta</i>	Weibull I	Inclinação	6.40E+00	NA	NA	NA
<i>B. cheilanta</i>		Limite min.	1.17E-01	1.71E+00	0.0687	0.945295
<i>B. cheilanta</i>		Limite max.	1.00E+02	2.95E+00	33.8563	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>		ED50	2.25E+02	NA	NA	NA
<i>A. cearensis</i>	Weibull I	Inclinação	1.11E+00	1.39E-01	7.9788	2.68E-13
<i>A. cearensis</i>		Limite min.	-2.19E+04	1.52E+04	-1.4371	0.152654
<i>A. cearensis</i>		Limite max.	9.95E+01	2.76E+00	36.0242	< 2.2e-16
<i>A. cearensis</i>		ED50	2.19E+05	3.31E+04	6.6075	5.51E-10
<i>E. contortisiliquum</i>	Weibull I	Inclinação	1.19E+00	2.39E-01	4.9786	1.64E-06
<i>E. contortisiliquum</i>		Limite min.	-1.25E+02	1.68E+02	-0.746	0.456757

<i>E. contortisiliquum</i>		Limite max.	9.85E+01	3.02E+00	32.6588	< 2.2e-16
<i>E. contortisiliquum</i>		ED50	1.74E+03	1.62E+03	1.0774	0.282918
<i>H. courbaril</i>		Inclinação	1.17E+00	3.26E-01	3.6062	0.000415
<i>H. courbaril</i>	Weibull I	Limite min.	1.13E+01	2.47E+01	0.4579	0.647681
<i>H. courbaril</i>		Limite max.	9.95E+01	3.03E+00	32.8721	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		ED50	7.34E+02	3.31E+02	2.2189	0.027898
<i>L. ferrea</i>		Inclinação	5.62E-01	8.56E-02	6.5675	6.82E-10
<i>L. ferrea</i>	Weibull I	Limite min.	-7.12E+02	1.38E+03	-0.5168	0.606022
<i>L. ferrea</i>		Limite max.	9.93E+01	3.07E+00	32.339	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>		ED50	1.10E+05	3.22E+05	0.3414	0.733219
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Inclinação	1.10E+00	1.41E-01	7.7496	1.00E-12
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	Weibull I	Limite min.	-1.80E+02	1.63E+02	-1.101	0.272536
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Limite max.	9.82E+01	2.96E+00	33.2187	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		ED50	2.38E+03	1.77E+03	1.3496	0.179061
<i>M. tenuiflora</i>		Inclinação	8.07E+00	1.00E+01	0.8069	0.420899
<i>M. tenuiflora</i>	Weibull I	Limite min.	-2.51E-02	2.09E+00	-0.012	0.990414
<i>M. tenuiflora</i>		Limite max.	1.00E+02	2.58E+00	38.865	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		ED50	4.36E+02	1.21E+01	35.9224	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		Inclinação	9.87E+00	NA	NA	NA
<i>M. urundeuva</i>	Weibull I	Limite min.	7.12E+01	1.71E+00	41.7789	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		Limite max.	1.00E+02	2.95E+00	33.856	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		ED50	2.28E+02	NA	NA	NA
<i>T. aurea</i>		Inclinação	1.01E+00	1.44E+00	0.7004	0.484723
<i>T. aurea</i>	Weibull I	Limite min.	-7.18E+01	6.17E+02	-0.1164	0.907459
<i>T. aurea</i>		Limite max.	1.00E+02	4.53E+00	22.0999	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>		ED50	1.26E+03	7.26E+03	0.1728	0.862993

**Tabela 10.** Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo II obtidos a partir da matéria raiz de folhas das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.

Espécie	Modelo	Parâmetro	Estimado	Error padrão	t-valor	p-valor
<i>A. macrocarpa</i>	Weibull II	Inclinação	-3.48E-01	3.82E-03	-91.1646	< 2.2e-16
<i>A. macrocarpa</i>		Limite min.	-3.89E+03	1.00E+01	-389.175	< 2.2e-16
<i>A. macrocarpa</i>		Limite max.	9.52E+01	2.09E+00	45.4659	< 2.2e-16
<i>A. macrocarpa</i>		ED50	6.97E+04	1.00E+01	6973.375	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>	Weibull II	Inclinação	-3.55E+01	9.85E+00	-3.6007	0.000423
<i>B. cheilanta</i>		Limite min.	-1.16E-02	1.80E+00	-0.0065	0.994852
<i>B. cheilanta</i>		Limite max.	1.00E+02	3.02E+00	33.1366	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>		ED50	2.18E+02	1.35E+00	161.5447	< 2.2e-16
<i>A. cearensis</i>	Weibull II	Inclinação	-3.08E-01	4.72E-03	-65.1945	< 2.2e-16
<i>A. cearensis</i>		Limite min.	-1.75E+03	1.00E+01	-175.289	< 2.2e-16
<i>A. cearensis</i>		Limite max.	9.76E+01	2.42E+00	40.367	< 2.2e-16
<i>A. cearensis</i>		ED50	5.94E+04	1.00E+01	5943.521	< 2.2e-16

<i>E. contortisiliquum</i>		Inclinação	-5.15E-01	2.57E-02	-20.025	< 2.2e-16
<i>E. contortisiliquum</i>	Weibull II	Limite min.	-3.26E+02	9.09E+00	-35.8801	< 2.2e-16
<i>E. contortisiliquum</i>		Limite max.	9.70E+01	3.07E+00	31.5512	< 2.2e-16
<i>E. contortisiliquum</i>		ED50	2.39E+03	9.99E+00	238.8361	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		Inclinação	-3.93E-01	2.50E-02	-15.7568	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>	Weibull II	Limite min.	-2.03E+02	8.93E+00	-22.6831	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		Limite max.	9.98E+01	3.00E+00	33.2082	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		ED50	2.83E+03	1.00E+01	282.9222	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>		Inclinação	-1.94E-01	5.81E-03	-33.3272	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>	Weibull II	Limite min.	-5.24E+02	9.97E+00	-52.5585	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>		Limite max.	9.95E+01	2.98E+00	33.4252	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>		ED50	9.63E+04	1.00E+01	9631.681	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Inclinação	-4.82E-01	2.38E-02	-20.2415	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	Weibull II	Limite min.	-3.28E+02	9.17E+00	-35.7979	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Limite max.	9.71E+01	3.11E+00	31.2294	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		ED50	2.60E+03	9.99E+00	259.7128	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		Inclinação	-1.54E+01	5.20E+00	-2.954	0.00361
<i>M. tenuiflora</i>	Weibull II	Limite min.	-2.28E-02	2.19E+00	-0.0104	0.991697
<i>M. tenuiflora</i>		Limite max.	1.00E+02	2.18E+00	45.7939	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		ED50	4.16E+02	8.61E+00	48.3902	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		Inclinação	-4.25E+01	9.99E+00	-4.2546	3.55E-05
<i>M. urundeuva</i>	Weibull II	Limite min.	7.12E+01	1.80E+00	39.6618	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		Limite max.	1.00E+02	3.01E+00	33.2245	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		ED50	2.19E+02	1.99E+00	110.1772	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>		Inclinação	-5.10E-01	3.31E-02	-15.4428	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>	Weibull II	Limite min.	-1.92E+02	7.12E+00	-26.9494	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>		Limite max.	9.95E+01	2.88E+00	34.6115	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>		ED50	1.29E+03	9.96E+00	129.8127	< 2.2e-16

**Tabela 11.** Parâmetros do modelo log-logístico obtidos a partir da matéria seca total das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.

Espécie	Modelo	Parâmetro	Estimado	Error padrão	t-valor	p-valor
<i>A. macrocarpa</i>		Inclinação	2.86071	0.32181	8.8895	8.77E-16
<i>A. macrocarpa</i>	Logístico	Limite max.	100.8008	2.05502	49.051	< 2.2e-16
<i>A. macrocarpa</i>		ED50	978.075	34.64279	28.2332	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>			Inclinação	68.50671	713.261	0.096
<i>B. cheilanta</i>	Logístico	Limite max.	100.0014	2.70211	37.0087	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>		ED50	220.9818	10.58258	20.8817	< 2.2e-16
<i>A. cearensis</i>		Inclinação	0.99147	0.13311	7.4486	4.54E-12
<i>A. cearensis</i>	Logístico	Limite max.	99.52576	2.72281	36.5527	< 2.2e-16
<i>A. cearensis</i>		ED50	915.7874	86.15917	10.629	< 2.2e-16
<i>E. contortisiliquum</i>	Logístico	Inclinação	5.46805	0.60596	9.0238	4.12E-16
<i>E. contortisiliquum</i>		Limite max.	93.81323	1.99356	47.0582	< 2.2e-16

<i>E. contortisiliquum</i>		ED50	592.9118	13.66998	43.3733	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		Inclinação	0.78023	0.19763	3.9479	0.000115
<i>H. courbaril</i>	Logístico	Limite max.	99.95979	2.68311	37.2552	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		ED50	3531.01	1341.547	2.632	0.009269
<i>L. ferrea</i>		Inclinação	1.60849	0.19548	8.2285	4.75E-14
<i>L. ferrea</i>	Logístico	Limite max.	98.30358	2.70042	36.403	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>		ED50	790.4134	45.44914	17.3912	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Inclinação	4.5162	0.5257	8.5909	5.35E-15
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	Logístico	Limite max.	91.94895	2.12667	43.2362	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		ED50	642.813	18.13122	35.4534	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		Inclinação	20.17258	284.2453	0.071	0.943506
<i>M. tenuiflora</i>	Logístico	Limite max.	92.16008	1.91058	48.2366	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		ED50	448.4312	62.79334	7.1414	2.58E-11
<i>M. urundeuva</i>		Inclinação	0.57275	0.16614	3.4473	0.000714
<i>M. urundeuva</i>	Logístico	Limite max.	100.2359	2.66698	37.584	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		ED50	6582.287	4260.217	1.5451	0.124191
<i>T. aurea</i>		Inclinação	3.58193	0.43239	8.2841	3.42E-14
<i>T. aurea</i>	Logístico	Limite max.	91.54952	2.44711	37.4113	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>		ED50	633.3828	23.66355	26.7662	< 2.2e-16

**Tabela 12.** Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo I obtidos a partir da matéria seca total das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.

Espécie	Modelo	Parâmetro	Estimado	Error padrão	t-valor	p-valor
<i>A. macrocarpa</i>		Inclinação	2.73E+00	7.41E-01	3.6827	0.000315
<i>A. macrocarpa</i>	Weibull I	Limite min.	2.85E+01	2.12E+01	1.3424	0.181371
<i>A. macrocarpa</i>		Limite max.	1.01E+02	1.71E+00	59.0533	< 2.2e-16
<i>A. macrocarpa</i>		ED50	9.09E+02	2.06E+02	4.4025	1.95E-05
<i>B. cheilanta</i>		Inclinação	3.33E+01	1.29E+03	0.0258	0.979434
<i>B. cheilanta</i>	Weibull I	Limite min.	1.45E-02	1.18E+00	0.0123	0.990187
<i>B. cheilanta</i>		Limite max.	1.00E+02	2.04E+00	49.0325	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>		ED50	2.23E+02	3.83E+01	5.826	3.03E-08
<i>A. cearensis</i>		Inclinação	6.48E-01	1.03E-01	6.2973	2.80E-09
<i>A. cearensis</i>	Weibull I	Limite min.	-2.91E+02	8.59E+02	-0.3394	0.734748
<i>A. cearensis</i>		Limite max.	9.97E+01	2.04E+00	48.8641	< 2.2e-16
<i>A. cearensis</i>		ED50	1.98E+04	7.95E+04	0.2492	0.803525
<i>E. contortisiliquum</i>		Inclinação	3.81E+00	4.43E-01	8.5915	7.32E-15
<i>E. contortisiliquum</i>	Weibull I	Limite min.	-1.83E-01	2.07E+00	-0.0882	0.929867
<i>E. contortisiliquum</i>		Limite max.	9.49E+01	1.68E+00	56.6427	< 2.2e-16
<i>E. contortisiliquum</i>		ED50	6.60E+02	1.23E+01	53.8574	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		Inclinação	9.49E-01	5.28E-01	1.7967	0.074275
<i>H. courbaril</i>	Weibull I	Limite min.	6.13E+01	2.75E+01	2.2329	0.026941
<i>H. courbaril</i>		Limite max.	9.98E+01	2.08E+00	47.9011	< 2.2e-16

<i>H. courbaril</i>		ED50	8.14E+02	1.10E+03	0.7423	0.458969
<i>L. ferrea</i>		Inclinação	1.16E+00	3.42E-01	3.4005	0.000849
<i>L. ferrea</i>	Weibull I	Limite min.	-1.01E+01	7.53E+01	-0.1339	0.893617
<i>L. ferrea</i>		Limite max.	9.93E+01	2.17E+00	45.7728	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>		ED50	1.23E+03	1.18E+03	1.0423	0.298857
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Inclinação	1.51E+00	2.16E-01	6.9789	7.48E-11
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	Weibull I	Limite min.	-1.93E+02	2.46E+02	-0.7854	0.433361
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Limite max.	9.88E+01	1.99E+00	49.7356	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		ED50	2.00E+03	1.52E+03	1.3093	0.192297
<i>M. tenuiflora</i>		Inclinação	3.65E+00	4.33E-01	8.443	1.77E-14
<i>M. tenuiflora</i>	Weibull I	Limite min.	-2.19E+00	1.84E+00	-1.1901	0.235775
<i>M. tenuiflora</i>		Limite max.	9.53E+01	1.89E+00	50.3168	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		ED50	4.98E+02	9.47E+00	52.5537	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		Inclinação	1.46E+00	5.45E-01	2.6875	0.007961
<i>M. urundeuva</i>	Weibull I	Limite min.	7.54E+01	2.31E+00	32.5878	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		Limite max.	1.00E+02	2.03E+00	49.2754	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		ED50	3.38E+02	6.62E+01	5.1048	9.30E-07
<i>T. aurea</i>		Inclinação	1.36E+00	1.10E-01	12.3382	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>	Weibull I	Limite min.	-2.86E+02	1.95E+02	-1.4673	0.144258
<i>T. aurea</i>		Limite max.	9.80E+01	1.97E+00	49.6196	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>		ED50	2.76E+03	1.32E+03	2.0836	0.03879

**Tabela 13.** Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo II obtidos a partir da matéria seca total das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.

Espécie	Modelo	Parâmetro	Estimado	Error padrão	t-valor	p-valor
<i>A. macrocarpa</i>	Weibull II	Inclinação	-1.02E+00	5.87E-01	-1.7299	0.085568
<i>A. macrocarpa</i>		Limite min.	-1.03E+02	2.00E+02	-0.5149	0.607312
<i>A. macrocarpa</i>		Limite max.	1.00E+02	2.11E+00	47.5212	< 2.2e-16
<i>A. macrocarpa</i>		ED50	1.37E+03	1.22E+03	1.123	0.263113
<i>B. cheilanta</i>	Weibull II	Inclinação	-1.05E+01	4.14E+01	-0.2548	0.799238
<i>B. cheilanta</i>		Limite min.	-9.12E-03	1.65E+00	-0.0055	0.995585
<i>B. cheilanta</i>		Limite max.	1.00E+02	2.78E+00	35.9897	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>		ED50	2.10E+02	4.68E+01	4.4839	1.39E-05
<i>A. cearensis</i>	Weibull II	Inclinação	-2.16E-01	3.57E-02	-6.051	9.85E-09
<i>A. cearensis</i>		Limite min.	-5.68E+02	3.38E+02	-1.6778	0.095342
<i>A. cearensis</i>		Limite max.	9.96E+01	2.81E+00	35.4497	< 2.2e-16
<i>A. cearensis</i>		ED50	7.57E+04	1.14E+05	0.6654	0.506761
<i>E. contortisiliquum</i>	Weibull II	Inclinação	-2.86E+00	5.03E-01	-5.6842	6.07E-08
<i>E. contortisiliquum</i>		Limite min.	-1.45E+01	8.39E+00	-1.7312	0.085352
<i>E. contortisiliquum</i>		Limite max.	9.37E+01	1.96E+00	47.7166	< 2.2e-16
<i>E. contortisiliquum</i>		ED50	5.54E+02	2.31E+01	24.0124	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>	Weibull II	Inclinação	-2.57E-01	1.20E-01	-2.1492	0.03312
<i>H. courbaril</i>		Limite min.	-1.21E+02	2.54E+02	-0.4761	0.634657

<i>H. courbaril</i>		Limite max.	9.99E+01	2.78E+00	35.9719	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		ED50	1.79E+04	5.98E+04	0.299	0.765314
<i>L. ferrea</i>		Inclinação	-2.81E+00	8.65E-01	-3.2481	0.001416
<i>L. ferrea</i>	Weibull II	Limite min.	2.91E+01	7.57E+00	3.8483	0.000172
<i>L. ferrea</i>		Limite max.	9.09E+01	1.97E+00	46.1418	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>		ED50	5.13E+02	3.42E+01	15.0193	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Inclinação	-1.42E+01	5.49E+01	-0.2577	0.796951
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	Weibull II	Limite min.	-3.17E-02	3.12E+00	-0.0102	0.991906
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Limite max.	8.62E+01	1.60E+00	53.6971	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		ED50	6.55E+02	4.33E+01	15.1045	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		Inclinação	-2.01E+01	1.50E+02	-0.1343	0.893372
<i>M. tenuiflora</i>	Weibull II	Limite min.	-6.07E-03	2.07E+00	-0.0029	0.997666
<i>M. tenuiflora</i>		Limite max.	9.22E+01	1.96E+00	46.9054	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		ED50	4.39E+02	3.64E+01	12.0603	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		Inclinação	-1.65E+00	1.34E+00	-1.2312	0.220063
<i>M. urundeuva</i>	Weibull II	Limite min.	7.35E+01	6.37E+00	11.5412	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		Limite max.	1.00E+02	2.78E+00	36.01	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		ED50	2.17E+02	4.90E+01	4.4317	1.73E-05
<i>T. aurea</i>		Inclinação	-6.35E-01	1.22E-01	-5.2188	5.52E-07
<i>T. aurea</i>	Weibull II	Limite min.	-3.14E+02	1.34E+02	-2.3403	0.020505
<i>T. aurea</i>		Limite max.	9.56E+01	2.85E+00	33.4955	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>		ED50	2.08E+03	9.35E+02	2.2306	0.0271

**Tabela 14.** Parâmetros do modelo log-logístico obtidos a partir da matéria seca total das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.

Espécie	Modelo	Parâmetro	Estimado	Error padrão	t-valor	p-valor
<i>A. macrocarpa</i>		Inclinação	4.26E+00	6.31E-01	6.7491	2.24E-10
<i>A. macrocarpa</i>	Logístico	Limite max.	9.72E+01	2.57E+00	37.8492	< 2.2e-16
<i>A. macrocarpa</i>		ED50	6.47E+02	2.12E+01	30.5938	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>		Inclinação	1.21E+01	2.74E+02	0.0441	0.964871
<i>B. cheilanta</i>	Logístico	Limite max.	1.00E+02	3.52E+00	28.3754	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>		ED50	2.07E+02	3.19E+02	0.6497	0.516774
<i>A. cearensis</i>		Inclinação	1.72E+00	2.51E-01	6.8649	1.19E-10
<i>A. cearensis</i>	Logístico	Limite max.	9.76E+01	3.65E+00	26.7108	< 2.2e-16
<i>A. cearensis</i>		ED50	6.21E+02	4.59E+01	13.5409	< 2.2e-16
<i>E. contortisiliquum</i>		Inclinação	6.08E+00	9.36E-01	6.494	8.85E-10
<i>E. contortisiliquum</i>	Logístico	Limite max.	8.92E+01	2.58E+00	34.5066	< 2.2e-16
<i>E. contortisiliquum</i>		ED50	5.78E+02	1.75E+01	33.0925	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		Inclinação	9.92E-01	6.63E-01	1.4952	0.136708
<i>H. courbaril</i>	Logístico	Limite max.	1.01E+02	3.08E+00	32.9064	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		ED50	1.00E+04	1.54E+04	0.6522	0.515167
<i>L. ferrea</i>	Logístico	Inclinação	1.85E+00	2.60E-01	7.0936	3.37E-11
<i>L. ferrea</i>		Limite max.	9.68E+01	3.87E+00	25.0154	< 2.2e-16

<i>L. ferrea</i>		ED50	4.71E+02	3.80E+01	12.3915	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Inclinação	6.86E+00	1.58E+00	4.3396	2.44E-05
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	Logístico	Limite max.	9.52E+01	2.41E+00	39.411	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		ED50	6.88E+02	1.60E+01	43.0323	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		Inclinação	3.10E+00	4.67E-01	6.6338	4.19E-10
<i>M. tenuiflora</i>	Logístico	Limite max.	9.99E+01	3.53E+00	28.3389	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		ED50	2.26E+02	1.13E+01	19.926	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		Inclinação	6.78E-01	1.54E-01	4.3946	1.95E-05
<i>M. urundeuva</i>	Logístico	Limite max.	1.00E+02	3.47E+00	28.9031	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		ED50	1.65E+03	4.37E+02	3.7635	0.000231
<i>T. aurea</i>		Inclinação	5.87E+00	1.36E+00	4.3157	2.69E-05
<i>T. aurea</i>	Logístico	Limite max.	9.08E+01	2.75E+00	33.0105	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>		ED50	7.22E+02	2.27E+01	31.8007	< 2.2e-16

**Tabela 15.** Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo I obtidos a partir da matéria seca total das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.

Espécie	Modelo	Parâmetro	Estimado	Error padrão	t-valor	p-valor
<i>A. macrocarpa</i>	Weibull I	Inclinação	4.78E+00	9.56E-01	4.9989	1.50E-06
<i>A. macrocarpa</i>		Limite min.	1.29E+01	3.15E+00	4.1013	6.52E-05
<i>A. macrocarpa</i>		Limite max.	9.61E+01	2.39E+00	40.2464	< 2.2e-16
<i>A. macrocarpa</i>		ED50	6.61E+02	1.71E+01	38.55	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>	Weibull I	Inclinação	1.53E+01	9.31E+02	0.0165	0.98688
<i>B. cheilanta</i>		Limite min.	1.78E-03	1.82E+00	0.001	0.999218
<i>B. cheilanta</i>		Limite max.	1.00E+02	3.15E+00	31.7694	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>		ED50	2.20E+02	1.48E+02	1.488	0.138707
<i>A. cearensis</i>	Weibull I	Inclinação	8.62E-01	1.70E-01	5.07	1.09E-06
<i>A. cearensis</i>		Limite min.	-4.87E+02	2.13E+03	-0.2284	0.819654
<i>A. cearensis</i>		Limite max.	9.97E+01	3.10E+00	32.2087	< 2.2e-16
<i>A. cearensis</i>		ED50	1.08E+04	5.30E+04	0.2044	0.838283
<i>E. contortisiliquum</i>	Weibull I	Inclinação	4.20E+00	7.96E-01	5.2774	4.21E-07
<i>E. contortisiliquum</i>		Limite min.	-1.59E-01	3.15E+00	-0.0504	0.959872
<i>E. contortisiliquum</i>		Limite max.	9.02E+01	2.60E+00	34.6779	< 2.2e-16
<i>E. contortisiliquum</i>		ED50	6.38E+02	1.71E+01	37.2751	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>	Weibull I	Inclinação	9.41E-01	5.49E-01	1.7124	0.088766
<i>H. courbaril</i>		Limite min.	-8.55E+01	NA	NA	NA
<i>H. courbaril</i>		Limite max.	1.01E+02	2.76E+00	36.7321	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		ED50	2.36E+04	NA	NA	NA
<i>L. ferrea</i>	Weibull I	Inclinação	9.48E-01	3.20E-01	2.9645	0.003496
<i>L. ferrea</i>		Limite min.	-5.34E+01	1.22E+02	-0.4395	0.660906
<i>L. ferrea</i>		Limite max.	9.93E+01	3.26E+00	30.4255	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>		ED50	1.30E+03	1.76E+03	0.7375	0.461893
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	Weibull I	Inclinação	4.04E+00	1.11E+00	3.6278	0.000384



<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Limite min.	-1.10E+00	4.61E+00	-0.2388	0.811586
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Limite max.	9.71E+01	2.51E+00	38.736	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		ED50	7.63E+02	4.40E+01	17.3588	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		Inclinação	1.62E+00	2.24E-01	7.2377	1.80E-11
<i>M. tenuiflora</i>	Weibull I	Limite min.	-7.73E-01	2.68E+00	-0.2886	0.773297
<i>M. tenuiflora</i>		Limite max.	1.00E+02	3.15E+00	31.7544	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		ED50	2.86E+02	1.76E+01	16.2112	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		Inclinação	1.55E+00	4.46E-01	3.4736	0.000661
<i>M. urundeuva</i>	Weibull I	Limite min.	5.95E+01	2.96E+00	20.1171	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		Limite max.	9.99E+01	3.16E+00	31.5551	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		ED50	3.41E+02	5.38E+01	6.3407	2.24E-09
<i>T. aurea</i>		Inclinação	1.86E+00	2.51E-01	7.4038	7.12E-12
<i>T. aurea</i>	Weibull I	Limite min.	-2.67E+02	3.10E+02	-0.861	0.39055
<i>T. aurea</i>		Limite max.	9.77E+01	2.81E+00	34.7818	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>		ED50	2.09E+03	1.24E+03	1.6814	0.094643

**Tabela 16.** Parâmetros do modelo sigmoidal Weibull tipo II obtidos a partir da matéria seca total das espécies submetidas a diferentes doses de glyphosate.

Espécie	Modelo	Parâmetro	Estimado	Error padrão	t-valor	p-valor
<i>A. macrocarpa</i>	Weibull II	Inclinação	-3.45E+00	6.93E-01	-4.9806	1.63E-06
<i>A. macrocarpa</i>		Limite min.	5.08E+00	7.04E+00	0.7207	0.472141
<i>A. macrocarpa</i>		Limite max.	9.56E+01	2.43E+00	39.4026	< 2.2e-16
<i>A. macrocarpa</i>		ED50	5.54E+02	2.41E+01	22.9384	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>	Weibull II	Inclinação	-1.16E+01	6.05E+01	-0.1918	0.848119
<i>B. cheilanta</i>		Limite min.	-1.71E-02	1.99E+00	-0.0086	0.993141
<i>B. cheilanta</i>		Limite max.	1.00E+02	3.43E+00	29.137	< 2.2e-16
<i>B. cheilanta</i>		ED50	2.04E+02	9.20E+01	2.2117	0.028408
<i>A. cearensis</i>	Weibull II	Inclinação	-3.38E-01	1.03E-01	-3.2728	0.001305
<i>A. cearensis</i>		Limite min.	-4.57E+02	4.13E+02	-1.1056	0.270539
<i>A. cearensis</i>		Limite max.	9.91E+01	3.45E+00	28.6931	< 2.2e-16
<i>A. cearensis</i>		ED50	8.61E+03	1.45E+04	0.5943	0.553176
<i>E. contortisiliquum</i>	Weibull II	Inclinação	-3.73E+00	6.52E-01	-5.7119	5.31E-08
<i>E. contortisiliquum</i>		Limite min.	-5.75E+00	5.93E+00	-0.9702	0.333396
<i>E. contortisiliquum</i>		Limite max.	8.89E+01	2.43E+00	36.6174	< 2.2e-16
<i>E. contortisiliquum</i>		ED50	5.27E+02	1.95E+01	27.0098	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>	Weibull II	Inclinação	-1.84E+02	4.69E+03	-0.0392	0.968742
<i>H. courbaril</i>		Limite min.	9.27E+01	1.98E+00	46.7706	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		Limite max.	1.03E+02	2.43E+00	42.403	< 2.2e-16
<i>H. courbaril</i>		ED50	2.25E+02	6.73E+01	3.3433	0.001031
<i>L. ferrea</i>	Weibull II	Inclinação	-3.18E-01	1.13E-01	-2.811	0.005556
<i>L. ferrea</i>		Limite min.	-4.56E+02	4.40E+02	-1.0367	0.301433
<i>L. ferrea</i>		Limite max.	9.92E+01	3.46E+00	28.7009	< 2.2e-16
<i>L. ferrea</i>		ED50	7.61E+03	1.52E+04	0.4993	0.618244

<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Inclinação	-1.80E+00	7.86E-01	-2.292	0.023209
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	Weibull II	Limite min.	-7.09E+01	6.89E+01	-1.0277	0.305627
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		Limite max.	9.66E+01	2.46E+00	39.3238	< 2.2e-16
<i>M. caesalpiniaefolia</i>		ED50	7.95E+02	2.08E+02	3.8276	0.000185
<i>M. tenuiflora</i>		Inclinação	-2.27E+00	5.67E-01	-4.011	9.26E-05
<i>M. tenuiflora</i>	Weibull II	Limite min.	-3.44E+00	4.58E+00	-0.7501	0.454287
<i>M. tenuiflora</i>		Limite max.	1.00E+02	3.43E+00	29.1251	< 2.2e-16
<i>M. tenuiflora</i>		ED50	1.96E+02	1.07E+01	18.2168	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		Inclinação	-1.62E+00	8.78E-01	-1.8403	0.067572
<i>M. urundeuva</i>	Weibull II	Limite min.	5.63E+01	7.28E+00	7.7277	1.14E-12
<i>M. urundeuva</i>		Limite max.	1.00E+02	3.44E+00	29.0733	< 2.2e-16
<i>M. urundeuva</i>		ED50	2.18E+02	3.76E+01	5.7856	3.70E-08
<i>T. aurea</i>		Inclinação	-1.41E+01	2.46E+00	39.3238	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>	Weibull II	Limite min.	-4.42E-02	3.43E+00	29.1251	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>		Limite max.	8.82E+01	1.98E+00	44.52	< 2.2e-16
<i>T. aurea</i>		ED50	6.73E+02	3.43E+00	29.1251	< 2.2e-16