

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

FITORREMEDIAÇÃO EM LATOSSOLO
VERMELHO CULTIVADO COM GRAMÍNEAS
FORRAGEIRAS

ANDERSON DA CUNHA SERAFIM

Rondonópolis - MT

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

**FITORREMEDIAÇÃO EM LATOSSOLO
VERMELHO CULTIVADO COM GRAMÍNEAS
FORRAGEIRAS**

Anderson da Cunha Serafim

Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental

Orientadora: Profa. Dra. MARIA APARECIDA PERES DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Rondonópolis como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Rondonópolis - MT

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S481f Serafim, Anderson da Cunha.
Fitorremediação em Latossolo Vermelho cultivado com gramíneas
forrageiras / Anderson da Cunha Serafim. -- 2022
83 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Maria Aparecida Peres de Oliveira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto
de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2022.
Inclui bibliografia.

1. Biorremediação. 2. Picloram. 3. Pastagens. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: FITORREMEDIAÇÃO EM LATOSSOLO VERMELHO CULTIVADO COM GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS

AUTOR: MESTRANDO ANDERSON DA CUNHA SERAFIM

Dissertação defendida e aprovada em 30 de maio de 2022.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Doutora Maria Aparecida Perez de Oliveira (Presidente Banca / Orientador)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

2. Doutor Salomão Lima Guimarães (Examinador Interno)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

3. Doutora Sueli Maria Alves (Examinador Externo)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

4. Doutor Tonny José Araújo da Silva (Examinador Suplente)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

RONDONÓPOLIS, 30/05/2022.



Documento assinado eletronicamente por **SUELI MARIA ALVES, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 30/05/2022, às 16:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **SALOMAO LIMA GUIMARAES, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 30/05/2022, às 17:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

Documento assinado eletronicamente por **MARIA APARECIDA PERES DE OLIVEIRA, Docente da**



Universidade Federal de Mato Grosso, em 31/05/2022, às 22:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](#), informando o código verificador **4761858** e o código CRC **11BC9E67**.

Referência: Processo nº 23108.044670/2022-59

SEI nº 4761858

Aos meus amados pais Nairlene e Paulo, a minha irmã Ana Carolina,
e a minha avó Maria das Dores.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, e a Nossa Senhora, minha mãe, pela infinita bondade e intercessão, e principalmente pelo suporte nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, Paulo e Nairlene, minha irmã, Ana Carolina Serafim, e toda a minha família, em especial pelos meus primos-irmão, Adriano, Bruna, Davison, Djalma Junior, e Danilo pelo incentivo e apoio, e por nunca desistirem de mim.

À minha orientadora, prof. Dr^a Maria Aparecida Peres de Oliveira, pela confiança na condução dessa pesquisa, paciência, orientação e companheirismo durante esses dois anos.

Ao prof. Dr. Salomão Guimarães, pelo apoio, pelos valiosos conselhos e principalmente pelo grande incentivo em ingressar nessa jornada.

Ao coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola professor Dr. Tonny José Araújo da Silva, por todo o suporte e pela dedicação ao programa e aos seus discentes.

Aos meus amigos, Christhian Matheus, Daverson Carvalho, Jayson Carrijo, Matheus Winkler, Sergio Koswoski, e em particular ao Phellype Omay, por ter entrado nesse barco comigo, e me socorrer inúmeras vezes. A todos agradeço por toda a amizade e cumplicidade e pelos valiosos momentos vividos que guardarei para sempre em minha memória.

À Michelle, Raphaella e Mireia, pelos momentos de descontração, e todas as partilhas e risadas.

Aos meus colegas de trabalho, Pedro, Katia, Maiza, Cleide, e Lindinalva pela compreensão e pelas assistências durante os períodos mais críticos. Agradeço a Elisangela Baldo, Jânio, Narciugues, Taíse e Selma, pelo apoio e pela ajuda na conciliação de horários.

Ao grupo do Laboratório de biodiversidade (NUPEC), Jhenyfer Diniz, Luiz Eduardo, Nathália do Val, e Yasmim Beltrao, pela parceria no projeto e todo auxílio na condução desse trabalho.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos transmitidos e todo o suporte e dedicação ao curso e pelos exemplos de grande profissionalismo.

À Universidade Federal de Rondonópolis pelo apoio institucional e estrutura oferecida para a realização desse trabalho.

À CAPES e ao CNPq por todo apoio financeiro de incentivo a pesquisa nacional e em especial à esse programa.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente no processo de minha formação.

“Noite outra vez a Pousada Marco do Percurso estava em silêncio e era
um silêncio de três partes”.

Patrick Rothfuss

FITORREMEDIAÇÃO EM LATOSSOLO VERMELHO CULTIVADO COM GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS

RESUMO – A fitorremediação é uma técnica que consiste na descontaminação de solos com resíduos de herbicidas, através de processos realizados pela planta. O Brasil possui extensas quantidades de terras cobertas por pastagens, sendo o picloram um dos herbicidas mais utilizados nessas áreas, para o controle de dicotiledôneas arbustivas, caracterizado principalmente pelo efeito residual no solo. Assim, objetivou-se com esse trabalho cultivar plantas para que possam reduzir a persistência de herbicidas utilizados em Latossolo Vermelho cultivado com pastagens. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x6, correspondente a quatro sistemas de cultivos (solo sem cultivo, solo cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens*), solo cultivado com sorgo (*Sorghum bicolor*) e solo cultivado com milheto (*Pennisetum glaucum*), e seis doses (0, 2, 4, 8, 16 e 32 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹) do herbicida picloram (sal trietanolamina). A aplicação foi realizada em pré-emergência, totalizando 24 tratamentos em 4 repetições. O tempo estabelecido para a atuação das espécies fitorremediadoras foi de 90 dias após a emergência. Em seguida, foi semeada a soja (*Glycine max*) como espécie bioindicadora da presença do picloram. Foram avaliadas fitointoxicação, índice clorofila Falker, altura de plantas, massa fresca da parte aérea e massa fresca da raiz das espécies fitorremediadoras e da espécie bioindicadora. Os dados foram submetidos à análise de variância, teste de regressão para doses de herbicida, e teste Scott-Knott para tipos de cultura, segundo sua significância pelo Teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro. As gramíneas demonstraram resistência ao herbicida picloram e foram observados efeitos positivos na fitorremediação, nas variáveis analisadas sobre a bioindicadora quando aplicadas as doses variando de 2, 4, e 8 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹. Assim as espécies fitorremediadoras demonstraram potencial em reduzir a persistência do picloram no solo quando aplicada doses dentro da recomendação comercial, mesmo em um curto período de 90 dias.

Palavras-chave: biorremediação, picloram, pastagens.

PHYTOREMEDIATION IN RED LATOSOL CULTIVATED WITH FORAGE GRASS

RESUMO – Phytoremediation is a technique that consists of decontaminating soils with herbicide residues, through processes carried out by the plant. Brazil has extensive amounts of land covered by pastures, and picloram is one of the most used herbicides in these areas for the control of shrub dicots, characterized mainly by the residual effect on the soil. Thus, the objective of this work was to cultivate plants so that they can reduce the persistence of herbicides used in Red Latosol cultivated with pastures. The experimental design used was completely randomized in a 4x6 factorial scheme, corresponding to four cropping systems (uncultivated soil, soil cultivated with brachiaria (*Brachiaria decumbens*), soil cultivated with sorghum (*Sorghum bicolor*) and soil cultivated with millet (*Pennisetum glaucum*), and six doses (0, 2, 4, 8, 16 and 32 g a.i. L⁻¹ ha⁻¹) of the herbicide picloram (triethanolamine salt). The application was carried out in pre-emergence, totaling 24 treatments in 4 replications. established for the action of phytoremediation species was 90 days after emergence. Then, soybean (*Glycine max*) was sown as a bioindicator species for the presence of picloram. Phytotoxicity, Falker chlorophyll index, plant height, fresh mass of the aerial and root fresh mass of phytoremediator species and bioindicator species. Data were subjected to analysis of variance, regression test for herbicide doses, and Scott-Knott test for types of culture, according to its significance by the F Test at the level of 5% error probability. Grasses showed resistance to the herbicide picloram and positive effects were observed in phytoremediation, in the variables analyzed on the bioindicator when applied doses ranging from 2, 4, and 8 g a.i. L⁻¹ ha⁻¹. Thus, phytoremediation species showed potential to reduce the persistence of picloram in soil when applied doses within the commercial recommendation, even in a short period of 90 days.

Keywords: bioremediation, picloram, pasture.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	18
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1.	Cenário agropecuário brasileiro	20
2.2.	Uso de gramíneas em pastagens	21
2.3.	Métodos para controle de plantas daninhas	23
2.4.	Consumo de agrotóxicos no Brasil.....	24
2.5.	Características físico-químicas dos herbicidas	28
2.6.	Herbicida Picloram.....	30
2.7.	Fitorremediação.....	32
3.	METODOLOGIA.....	36
3.1.	Área de estudo	36
3.2.	Tratamentos e delineamento experimental.....	36
3.3.	Coleta, calagem e adubação de solo	36
3.4.	Pulverização e pluviosidade	37
3.5.	Semeadura e transplante das espécies fitorremediadoras.....	39
3.6.	Semeadura e transplante da espécie bioindicadora	41
3.7.	Variáveis Analisadas	41
3.7.1.	Fitointoxicação	41
3.7.2.	Altura de plantas	43
3.7.3.	Índice de clorofila Falker	44
3.7.4.	Massa fresca da parte aérea e massa fresca da raiz	44
3.8.	Análise estatística.....	45
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1.	Espécies Fitorremediadoras.....	46

4.1.1.	Altura de plantas	46
4.1.2.	Índice Clorofila Falker	49
4.1.3.	Análise visual de fitointoxicação	52
4.1.4.	Massa fresca e seca da parte aérea e das raízes	55
4.2.	Espécie bioindicadora	58
4.2.1.	Altura de plantas	58
4.2.2.	Índice Clorofila Falker	62
4.2.3.	Análise visual de fitointoxicação	65
4.2.4.	Massa fresca e seca da parte aérea e das raízes	70
5.	CONCLUSÃO.....	73
6.	REFERÊNCIAS	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comercialização de Agrotóxicos e afins no Brasil – Série histórico 2009 - 2020. Fonte IBAMA.....	26
Figura 2 - Total das vendas de agrotóxicos e afins por unidade federada do Brasil. Fonte: IBAMA. (*) Sem definição: corresponde ao somatório das quantidades comercializadas de agrotóxicos e afins cujas empresas titulares dos registros não conhecem com precisão a distribuição territorial das vendas, por ser uma atividade realizada por terceiros.	27
Figura 3 - Percentual de propriedades rurais que utilizam agrotóxicos, por município. Fonte: IPEA, 2019 com base em dados do último Censo Agropecuário de 2017/IBGE.....	28
Figura 4 - Estrutura molecular da molécula de picloram.	31
Figura 5 - Pulverização dos tratamentos com o herbicida picloram.....	38
Figura 6 - Conjunto pulverizador utilizado para aplicação do herbicida.	38
Figura 7 - (A) Braquiária; (B) Milheto; (C) Sorgo em bandeja antes do transplante para os vasos	39
Figura 8 – Calibração hídrica dos vasos.....	40
Figura 9 – Visão geral do experimento	40
Figura 10 - Plântulas de soja em bandejas antes do transplante para os vasos	41
Figura 11 - Sintomas de intoxicação em plantas de soja.	43
Figura 12 – Análise de altura de plantas.....	43
Figura 13 - Leitura do índice de clorofila com auxílio do clorofilômetro clorofiLOG® Falker.....	44
Figura 14 - (A) Corte das espécies fitorremediadoras; (B) corte da espécie bioindicadora (C) separação de raízes	45
Figura 15 - Altura de plantas das espécies fitorremediadoras em função das culturas ao longo dos períodos avaliados (A) 15 DAE; (B) 30 DAE; (C) 45 DAE; (D) 60 DAE; (E) 75 DAE; (F) 90 DAE.....	46
Figura 16 - Altura de plantas das espécies fitorremediadoras em função das doses de herbicida ao longo dos períodos avaliados (A) 15 DAE; (B) 30 DAE; (C) 45 DAE; (D) 60 DAE; (E) 75 DAE; (F) 90 DAE.	48

Figura 17 - Índice Clorofila Falker das espécies fitorremediadoras em função das culturas ao longo dos períodos avaliados (A) 15 DAE; (B) 30 DAE; (C) 45 DAE; (D) 60 DAE; (E) 75 DAE; (F) 90 DAE.....	50
Figura 18 - Índice Clorofila Falker das espécies fitorremediadoras em função das doses de herbicida ao longo dos períodos avaliados (A) 15 DAE; (B) 30 DAE; (C) 60 DAE; (D) 75 DAE; (E) 90 DAE.	51
Figura 19 - Análise visual de fitointoxicação das espécies fitorremediadoras em função das culturas ao longo dos períodos avaliados (A) 15 DAE; (B) 30 DAE; (C) 60 DAE; (D) 75 DAE; (E) 90 DAE..	53
Figura 20 - Análise visual de fitointoxicação das espécies fitorremediadoras em função das doses de herbicida ao longo dos períodos avaliados (A) 15 DAE; (B) 30 DAE; (C) 60 DAE; (D) 75 DAE; (E) 90 DAE.....	54
Figura 21 - Análise visual de fitointoxicação das espécies fitorremediadoras em (A) função das das culturas e em função das doses de herbicida de (A) braquiária, (B) milho, (C) sorgo. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.....	55
Figura 22 – (A) Massa Fresca da Parte Aérea em função das culturas; (B) Massa seca da parte aérea em função das culturas; (C) Massa fresca da parte aérea em função das doses de herbicida; (D) Massa seca da parte aérea em função das doses de herbicida das espécies fitorremediadoras.....	56
Figura 23 - (A) Massa fresca das raízes no desdobramento das culturas em função das doses; (B) Massa seca das raízes no desdobramento das culturas em função das doses.	57
Figura 24 - (A) Massa fresca e (B) Massa seca das raízes no desdobramento das doses em função da cultura do milho.	58
Figura 25 - Altura de plantas da espécie bioindicadora (soja) em função das culturas cultivadas (braquiária, milho, sorgo, e solo sem cultivo) aos (A) 15 DAE e aos (B) 30 DAE..	59
Figura 26 - Altura de plantas aos 15 DAE da espécie bioindicadora (soja) em função das doses de herbicida com solo cultivado com (A) Braquiária, (B) Milho, (C) Sorgo, (D) Sem Cultivo.....	60
Figura 27 - Altura de plantas aos 30 DAE da espécie bioindicadora (soja) em função das doses de herbicida com solo cultivado com (A) Braquiária, (B) Milho, (C) Sorgo, (D) Sem Cultivo.....	61

Figura 28 - Índice relativo de clorofila Falker aos 15 DAE da espécie bioindicadora (soja) em (A) função das culturas (B) função das doses de herbicida.....	62
Figura 29 - Índice relativo de clorofila Falker aos 30 DAE da espécie bioindicadora (soja) em função dos cultivos de solo.	63
Figura 30 - Índice relativo de clorofila Falker aos 30 DAE da espécie bioindicadora (soja) em função das doses de herbicida com solo cultivado com (A) Braquiária, (B) Milheto, (C) Sorgo, (D) Sem Cultivo.	64
Figura 31 - Análise visual de fitointoxicação da espécie bioindicadora (soja) em função das culturas cultivadas aos (A) 15 DAE e (B) 30 DAE.	65
Figura 32 - Análise visual de fitointoxicação aos 15 DAE da espécie bioindicadora (soja) em função das doses de herbicida com solo cultivado com (A) Braquiária, (B) Milheto, (C) Sorgo, (D) Sem Cultivo.	66
Figura 33 - Análise visual de fitointoxicação aos 30 DAE da espécie bioindicadora (soja) em função das doses de herbicida com solo cultivado com (A) Braquiária, (B) Milheto, (C) Sorgo, (D) Sem Cultivo.	67
Figura 34 - Estrutura de plantas de soja de acordo com as doses de herbicida e separadas por tratamento de solo cultivado com (A) Braquiária, (B) Milheto, (C) Sorgo, (D) Sem Cultivo	69
Figura 35 - (A) Massa fresca da parte aérea e (B) Massa seca da parte aérea da espécie bioindicadora (soja) em função das culturas (Braquiária, Milheto, Sorgo e Solo Sem Cultivo).....	70
Figura 36 - (A) Massa fresca da parte aérea e (B) Massa seca da parte aérea da espécie bioindicadora (soja) em função das doses de herbicida.	71
Figura 37 - Massa fresca das raízes da espécie bioindicadora (soja) em (A) função das culturas (B) função das doses de herbicida.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Uso de pesticidas: quantidade total (em 1 mil toneladas) no período de 2015 a 2019.	25
Tabela 2 - Caracterização química e granulométrica de Latossolo Vermelho na camada de 0-20 cm profundidade	36
Tabela 3 - Escala de fitointoxicação pelo aspecto visual para mensurar ação do herbicida estudado	42

1. INTRODUÇÃO

O setor agropecuário é um dos mais representativos do país, devido as extensas quantidades de terras destinadas a pecuária, caracterizada principalmente pela utilização de pastagens que é o mais prático e econômico recurso para alimentação de bovinos com baixos custos de produção (DANTAS et al., 2016).

Sendo as pastagens a principal fonte de alimentação de ruminantes, são necessários cuidados redobrados no manejo do solo e da cultura para garantir a qualidade e produção de biomassa. Dentre os diversos fatores que podem afetar o potencial produtivo das espécies forrageiras, um dos mais preocupantes, se dá pela ocupação das áreas pelas plantas daninhas (PEDREIRA et al., 2001; BUNGENSTAB, 2012; DIAS-FILHO, 2014).

Isso se dá, devido ao fato desse tipo de plantas competirem diretamente com as forrageiras por água, luz, e nutrientes, promovendo a redução da produção de forragem e acarretando em maiores custos operacionais. Urge então, a necessidade em adotar métodos de controle para evitar prejuízos e garantir a produtividade da área (SILVA et al., 2003; COSTA et al., 2018).

Os métodos de controle de plantas daninhas são baseados em técnicas de tipo mecânico, físico, cultural, biológico ou químico. Desses, o que mais ganha destaque é o controle químico, caracterizada pelo uso de herbicidas. Sua popularidade é destacada pelo rendimento operacional elevado, pois demanda pequena quantidade de mão-de-obra e pouco investimento, quando comparado a outros métodos de controle (PELLEGRINI et al., 2007)

No entanto, como qualquer outra técnica, a utilização de herbicidas apresenta também limitações, decorrente principalmente devido ao mau uso no manuseio e aplicação, como efeito tóxico para homens e animais, resistência de plantas daninhas ao longo do tempo e o efeito residual que causa danos a culturas plantadas em sucessão (DE OLIVEIRA JR. et al., 2011; CARVALHO, 2013a).

No Brasil, dentre os herbicidas registrados recomendados para pastagens, destacam-se o 2,4-D + picloram, fluroxypyr + picloram e triclopyr. Esses herbicidas são caracterizados principalmente por serem ativos em

dicotiledôneas e apresentar longa persistência no solo, sendo uma característica não desejável por impossibilitar a utilização da área no cultivo de culturas subsequentes de interesse agrícola que são afetadas pelo produto (SANTOS et al., 2006).

A fitorremediação se apresenta como uma das alternativas na despoluição de áreas contaminadas, promovido pelos processos fisiológicos promovido pelas plantas e sua microbiota associada. Essa técnica realiza a descontaminação do solo pela retirada rápida de compostos tóxicos, como o caso de herbicidas, tendo como principal mecanismo a fitoestimulação ou rizodegradação e em menor escala, a fitodegradação (CUNNINGHAM et al., 1996; PIRES et al, 2005).

A seleção de plantas que apresentem tolerância ao herbicida é o primeiro passo na seleção de espécies potencialmente fitorremediadoras. Contudo, deve-se evitar a utilização de espécies de difícil controle posterior e, se possível, selecionar espécies que promovam outros benefícios ao solo (PROCÓPIO et al. 2004).

Assim, a hipótese é de que as gramíneas apresentam resistência ao herbicida picloram com capacidade de reduzir seu efeito residual no solo, e a dose utilizada de herbicida pode influenciar no processo de fitorremediação realizado pelas plantas forrageiras.

Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho cultivar plantas para que possam reduzir a persistência de herbicidas utilizados em Latossolo Vermelho cultivado com pastagens. Busca utilizar espécies vegetais que são capazes de remover ou degradar esses herbicidas, visando a descontaminação do solo, com soluções biológicas por meio da fitorremediação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cenário agropecuário brasileiro

Segundo os dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2021), estima-se que o agronegócio brasileiro participou de 27,4% no PIB brasileiro no ano de 2021, a maior desde 2004 (quando foi de 27,53%).

A modernização da agricultura brasileira foi induzida pelo processo de industrialização do país, ou seja, pela política econômica do governo entre 1950 e 1970. Isso favoreceu a indústria em detrimento da agricultura, o que reforçou o poder das cidades e acelerou o êxodo rural (ALVES, 1999).

Com essas inovações e o aumento do uso intensivo de máquinas e insumos, elevaram-se os níveis de produtividade da terra e do trabalho, contribuindo também para o crescimento da indústria associada ao setor agropecuário (GASQUES et al., 2010).

Em termos de ocupação territorial no Brasil, a agropecuária é um setor muito representativo. Segundo dados do último Censo Agropecuário (IBGE, 2017), os estabelecimentos agropecuários ocupam uma área total de 351,3 milhões de hectares, o que corresponde a um total de 41% de área cultivada no país, sendo a quantidade de terras destinadas a pecuária um total de 223,7 milhões de hectares.

A pecuária brasileira é altamente dependente de pastagens para alimentação de rebanhos, pois grande parte dos pecuaristas adotam o sistema de pecuária extensiva, caracterizada pela criação do rebanho em pasto (OLIVEIRA et al., 2021).

O estado de Mato Grosso contempla o maior rebanho de gado do país com um total de 32,7 milhões de cabeças, segundo dados do Instituto de Defesa Agropecuária de Mato Grosso (INDEA, 2022) com uma área de 54,9 milhões de hectares de estabelecimentos agropecuários, onde cerca de 42% dessa área é coberta por pastagens (IBGE, 2017).

Segundo Dantas et al. (2016) as pastagens são a maneira mais prática e econômica para a alimentação de bovinos, pois garante baixos custos de

produção. Nesse sentido, é necessário otimizar os fatores relevantes de manejo de pastagens para obter maiores volumes e qualidade na produção de biomassa.

2.2. Uso de gramíneas em pastagens

As pastagens desempenham papel fundamental na pecuária brasileira, sendo a principal fonte de alimento para os ruminantes e correspondem a maneira mais prática e econômica para a alimentação de bovinos, garantindo baixos custos de produção (ALENCAR, 2010; DIAS-FILHO, 2014; PEDREIRA et al., 2001).

Como uma das espécies predominantes nas áreas de pastagens cultivadas no país, as plantas do gênero *Brachiaria* (*Urochloa*) caracterizam-se pela sua grande flexibilidade de uso e manejo, sendo tolerantes a uma série de limitações e/ou condições restritivas de utilização para um grande número de espécies forrageiras (SILVA, 2004).

Segundo Buso et al. (2011) como uma espécie que vem se destacando a alguns anos, o Sorgo (*Sorghum bicolor*) é uma gramínea bastante energética, com alta digestibilidade, produtividade e adaptação a ambientes secos e quentes, nos quais é difícil o cultivo de outras espécies. A planta é utilizada para silagem ou corte verde, para pastejo e os grãos, em rações animais e para o consumo humano.

Como alternativa de espécies forrageiras para os diversos sistemas de produção pecuários, destaca-se também o milheto (*Pennisetum glaucum*), caracterizado pela alta produção de forragem com alta qualidade em um período reduzido. Seu cultivo é realizado principalmente em sistemas de produção animal mais avançados (MOOJEN et al., 1999; SAIBRO et al., 1976).

O desempenho animal em pastagens é determinado principalmente pela qualidade da forragem, e esta por sua vez é em função do valor nutritivo (VN) e consumo voluntário dependendo de fatores fisiológicos da planta como massa de forragem, estrutura do dossel forrageiro, oferta de folhas, colmo e material morto e que afetam o comportamento digestivo e consequentemente o consumo de nutrientes (REIS et al., 2012).

Vários fatores afetam a qualidade e produção de biomassa das pastagens, como o manejo inadequado do solo e da forrageira, o uso de

germoplasmas inadequados e, dentre esses, a ocupação do espaço por plantas daninhas é uma das problemáticas que mais podem reduzir o potencial produtivo de culturas (BUNGENSTAB, 2012; COSTA et al., 2018).

O grau de interferência das plantas daninhas com a cultura cultivada depende de vários fatores ligados à comunidade infestante (composição específica, densidade e distribuição), a cultura (espécie, espaçamento e densidade de semeadura), do período de convivência e das condições ambientais (PITELLI, 2014).

Segundo Oliveira et al. (2021), as espécies cultivadas devem ser mantidas livres da interferência de plantas espontâneas, para que possam expressar seu máximo potencial forrageiro, visto que a competição por recursos de crescimento exercidos pelas espécies infestantes, reduz o rendimento e onera os custos operacionais.

As plantas espontâneas, também denominadas plantas daninhas, competem diretamente com as forrageiras por luz, água e nutrientes, promovendo a redução da produção de forragem durante a fase de implantação do pasto, podendo inviabilizar a formação deste, onerando os custos operacionais e a sanidade do rebanho (PEREIRA et al., 2019).

O grau de interferência da comunidade infestante com as plantas cultivadas dependerá de diversos fatores como características da população infestante (composição específica, densidade e distribuição das populações), das características da própria forrageira (espécie, espaçamento e densidade de semeadura), das condições ambientais (solo, clima e manejo) e da época e duração do período de convivência mútua (SILVA et al., 2003; CAVALCANTE et al., 2017; OLIVEIRA, 2018).

Para mitigar os efeitos decorrentes da interferência das plantas daninhas sobre a cultura de manejo, há a necessidade de adotar métodos de controle para evitar prejuízos pela perda de qualidade e/ou de produção da cultura de interesse agrícola na área.

2.3. Métodos para controle de plantas daninhas

Os termos “plantas espontâneas”, “plantas invasoras” ou “plantas daninhas” tem sido frequentemente empregado na literatura agrícola e botânica brasileiras, gerando confusões e controvérsias, e correspondem às espécies de plantas que nascem e se reproduzem espontaneamente e não são cultivadas pelo homem (LORENZI, 2000; VILAR et al., 2022).

Esse tipo de planta é caracterizado pela sua agressividade no crescimento e pela sua elevada capacidade de produção de diásporas que possuem alta viabilidade e longevidade com potencial de germinar de maneira descontínua em muitos ambientes. Além disso, possuem mecanismos especiais que favorecem a competição pela sobrevivência, como alelopatia, hábito trepador, dentre outros (PITELLI, 1987).

Para evitar prejuízos em áreas agrícolas, devido à interferência de outras plantas, são necessários o emprego de medidas de controle da comunidade infestante, o qual é um dos principais problemas enfrentados pelos produtores de alimentos no mundo (COSTA et al., 2018).

Para o manejo no controle de plantas daninhas, as técnicas mais utilizadas são baseadas em controle mecânico, biológico, cultural e/ou químico. O sucesso do controle dependerá dos métodos e das estratégias de manejo utilizadas, ou da integração entre eles (PELLEGRINI et al., 2007).

O controle mecânico consiste no uso de medidas que causam a destruição direta das plantas daninhas através de ferramentas. Atualmente, esse tipo de controle, pode ser aplicado em sistemas automatizados, em que se baseia na detecção automática de culturas infestantes e possui próprio sistema de controle (SILVA et al., 2011; FENNIMORE et al., 2016).

O controle biológico consiste no uso de organismos vivos como estratégia de controle para as plantas daninhas e demonstra interesse por apresentar reduzido impacto ambiental. Caracteriza-se pela utilização de parasitas, predadores, ou patógenos capazes de reduzir a população de plantas daninhas. Entretanto, é considerado ainda inviável devido as limitações que impedem o uso de bioprodutos no campo, e na necessidade de haver agentes patógenos específicos (MACHADO et al., 2013; COSTA et al., 2018, OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2018).

Como práticas comuns no controle cultural podem ser citadas o uso de variedades competitivas, a redução de espaçamentos, aumento da densidade de plantas na semeadura, utilização de plantas de cobertura reduzindo disponibilidade de luz, uso de cobertura verde, rotação de culturas, sistemas de cultivo distintos dentre outros. A estratégia é utilizar o manejo da própria cultura para controlar as plantas daninhas (CARVALHO, 2013a; COSTA et al., 2018;).

Segundo Oliveira e Brighenti, (2018) o manejo das comunidades infestantes deve ser realizado através da integração dos métodos de controle. Contudo, o controle químico é uma das práticas de uso mais intensivo na agricultura caracterizada pelo uso de herbicidas. Sua popularidade é destacada pelo rendimento operacional elevado, pois demanda pequena quantidade de mão-de-obra quando comparado a outros métodos de controle (DE OLIVEIRA JR. et al., 2011).

No entanto, como qualquer outra técnica, a utilização de herbicidas para o controle de plantas daninhas apresenta também limitações, principalmente devido ao mau uso, como efeito tóxico para homens e animais, resistência de plantas daninhas ao longo do tempo e danos culturais a culturas plantadas em sucessão (CARVALHO, 2013a).

2.4. Consumo de agrotóxicos no Brasil

O uso de agrotóxicos no Brasil expandiu rapidamente a partir do início dos anos 1990, em proporção relativamente próxima à dos demais países do Mercosul, mas superior à de outros grandes produtores agrícolas, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Uso de pesticidas: quantidade total (em 1 mil toneladas) no período de 2015 a 2019.

	2015	2016	2017	2018	2019	Percentual sobre total mundial (2019)
Argentina	203,8	199,9	196,0	172,9	204,6	3,4%
Brasil	395,6	377,2	377,2	377,2	377,2	6,3%
Paraguai	18,9	18,6	19,7	21,1	22,6	0,4%
Uruguai	14,1	13,4	14,9	16,4	16,4	0,3%
África do Sul	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	0,5%
China	1772,4	1772,6	1773,7	1773,7	1773,7	29,8%
Índia	56,7	58,6	63,4	59,7	61,7	1,0%
Canadá	75,3	90,9	98,3	87,6	87,6	1,5%
Estados Unidos	407,8	407,8	407,8	407,8	407,8	6,9%
México	48,3	47,4	50,8	53,1	49,0	0,8%
Japão	54,2	51,0	52,2	52,3	30,1	0,5%
Alemanha	48,1	46,9	48,3	45,0	45,2	0,8%
França	66,9	72,1	70,6	85,1	85,1	1,4%
Itália	63,3	60,3	56,6	54,2	48,6	0,8%
Reino Unido	18,5	19,3	19,1	19,3	19,4	0,3%
Mundo	5897,6	5933,6	5959,3	5914,7	5942,5	-

Fonte: Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO).

Levando em conta o quantitativo de agrotóxicos comercializados, pode ser observado que ocorreu um aumento de 223,72% no país no período entre 2009 e 2020 (Figura 1), segundo os dados mostrados no Painel de informações de agrotóxico do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2022)

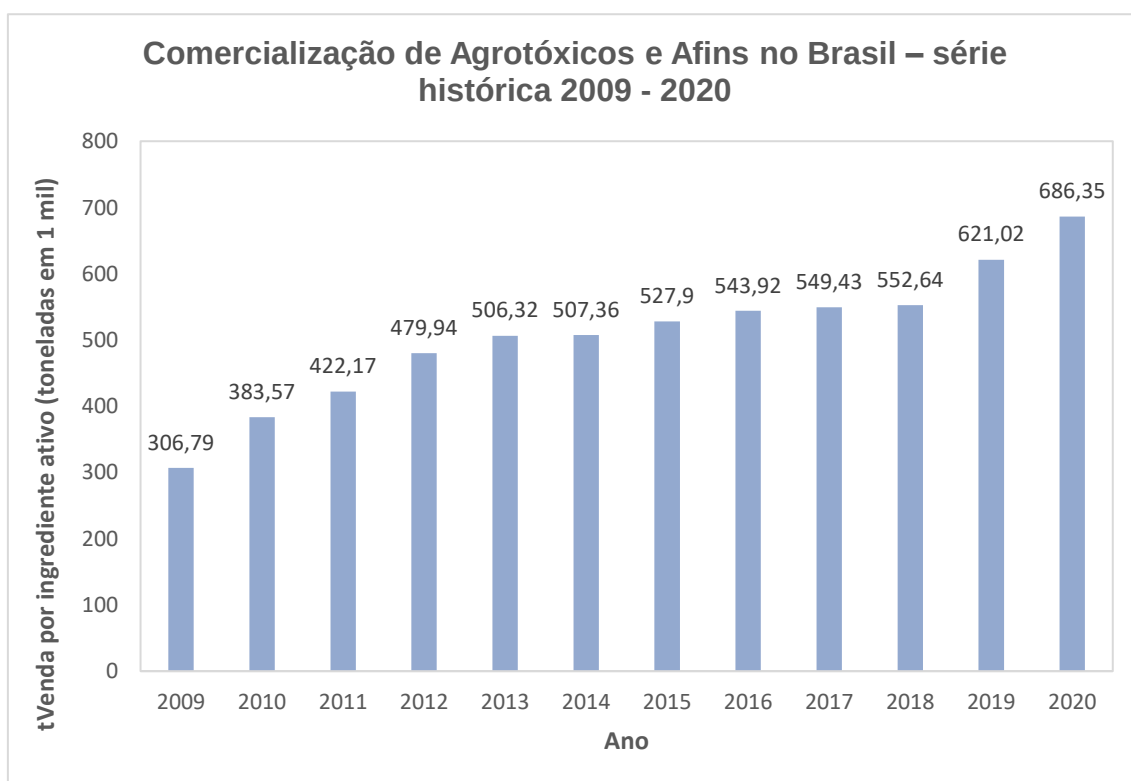


Figura 1 - Comercialização de Agrotóxicos e afins no Brasil – Série histórico 2009 - 2020. Fonte IBAMA.

O consumo de herbicidas difere nas várias regiões do país, onde se misturam atividades agrícolas intensivas e tradicionais. Têm sido mais comercializados nas regiões Centro-Oeste (34,6% em 2020), Sudeste (21%), e Sul (22,5%), enquanto que o consumo na região Norte (5,0%) e na região Nordeste (9,3%) é, comparativamente, muito pequeno. A Figura 2 ilustra o total das vendas de agrotóxicos e afins por unidade federada do Brasil (IBAMA, 2021).

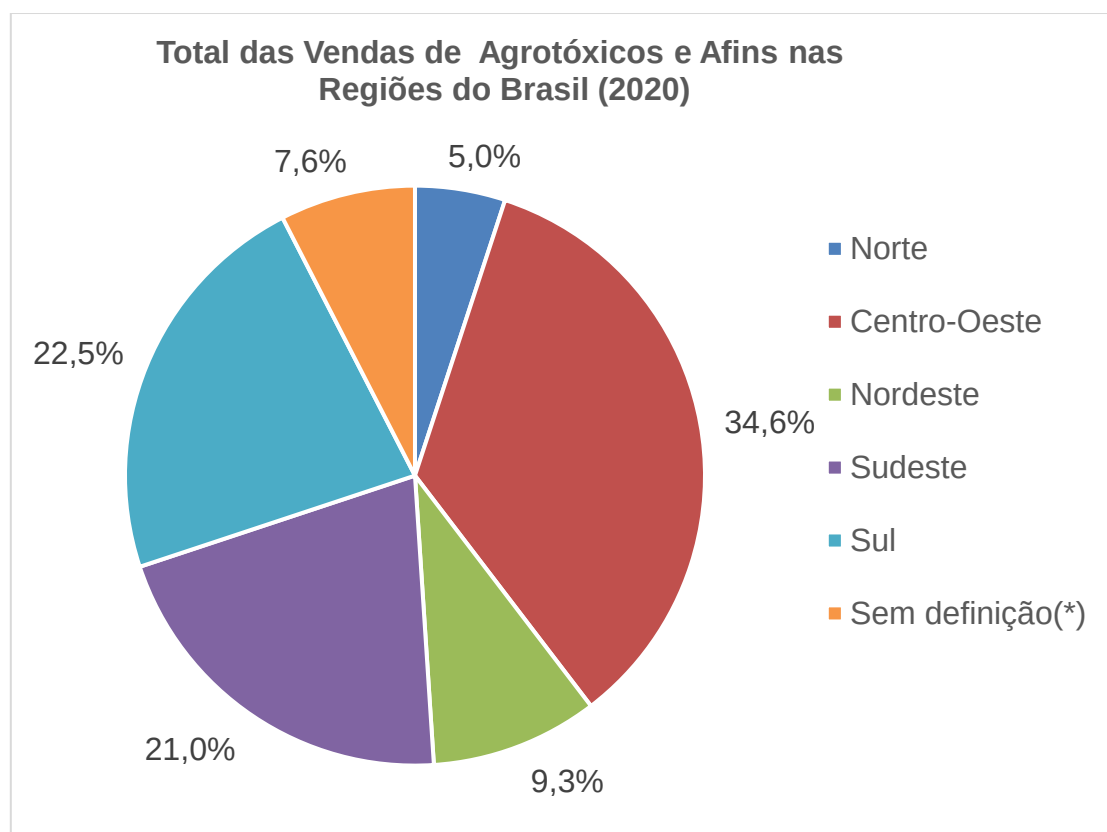


Figura 2 - Total das vendas de agrotóxicos e afins por unidade federada do Brasil. Fonte: IBAMA. (*) Sem definição: corresponde ao somatório das quantidades comercializadas de agrotóxicos e afins cujas empresas titulares dos registros não conhecem com precisão a distribuição territorial das vendas, por ser uma atividade realizada por terceiros.

Em mais detalhes, a Figura 3 contém dados de uso de agrotóxicos por município, indicando o percentual de propriedades rurais em que agrotóxicos foram utilizados. Observa-se que o uso intensivo ocorre não apenas em áreas de grandes propriedades (Mato Grosso e Rondônia, por exemplo), mas também onde prevalecem propriedades de menores dimensões (Paraná, Santa Catarina e partes do Rio Grande do Sul, por exemplo) (IPEA, 2019).

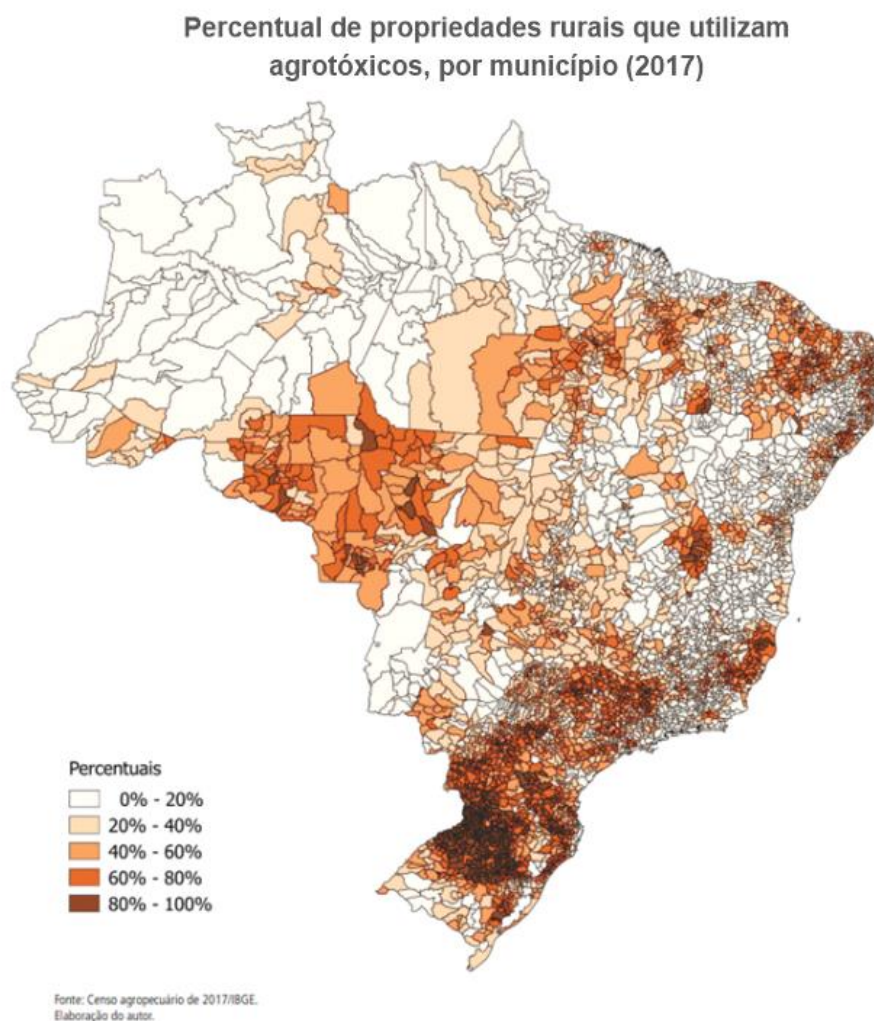


Figura 3 - Percentual de propriedades rurais que utilizam agrotóxicos, por município. Fonte: IPEA, 2019 com base em dados do último Censo Agropecuário de 2017/IBGE.

2.5. Características físico-químicas dos herbicidas

De modo geral, os herbicidas são compostos com substâncias químicas capazes de selecionar populações de plantas, no sentido de provocar a morte de certas plantas e de outras não (OLIVEIRA JR et al., 2011).

O objetivo da aplicação é fazer com que o produto atinja o alvo e seja absorvido pelas plantas daninhas em concentração suficientemente tóxica para o controle, obtendo assim o máximo de eficiência, de maneira econômica e com o menor risco de contaminação humana e ambiental (VOLL et al., 2010).

O ideal era que seu uso fosse integrado com outros métodos de controle, mas sua aceitação e eficiência são imprescindíveis na agricultura moderna, e em

muitos casos, os produtores aplicam de forma intensiva e sem o devido cuidado para evitar futuros problemas ambientais (MELO et al., 2012).

Nesse sentido, os principais problemas acarretados pelo uso inconsequente de produtos químicos podem ser descritos por Silva e Silva, (2007) pela contaminação de solos, rios, lençol freático etc., presença de resíduos em alimentos, causando riscos para o ser humano e para os animais; danos a culturas subsequentes pelos resíduos no solo, risco de deriva, causando danos em culturas vizinhas e propensão à seleção de plantas tolerantes e/ou resistentes.

Para evitar riscos de contaminação humana, sempre que ocorrer algum contato com o herbicida, como manipulação nas embalagens, preparação da calda e aplicação, ou alguém adentrar a área recém tratada antes do período recomendado, deve-se utilizar o equipamento de proteção individual (E.P.I.s). No entanto, alguns produtores não utilizam o equipamento necessário, o que gera intoxicações. Essas e outras informações de prevenção, grupo químico e ingrediente ativo do produto, podem ser encontrados nos rótulos dos agrotóxicos (ARAÚJO et al., 2000; ABREU et al., 2015; DE PAULA et al., 2021).

Outros cuidados são necessários ao utilizar herbicidas em uma área, como por exemplo, a calibração do pulverizador, o uso de dosagens recomendadas, e também levar em consideração fatores ambientais como evitar aplicação em períodos de estiagem, horários com pico de calor, baixa umidade relativa do ar, presença de ventos, dias chuvosos, etc. (OLIVEIRA; WENDLING, 2013). Além de haver o risco da dispersão do produto pelo ar ou por lixiviação, ocorre também a perda de eficiência da aplicação.

Antes de escolher qual tipo de herbicida utilizar deve-se adquirir informações sobre as características específicas e entender como agirá na planta para utilizá-los corretamente, pois ajudarão a diagnosticar problemas em seu desempenho e sua relação com os sintomas de injúrias causados. Sendo assim, podem ser classificados quanto à sua forma de aplicação, quanto ao seu mecanismo de ação, e quanto à época de aplicação (MARCHI et al., 2008).

Basicamente, são divididos em duas classes a respeito à forma de aplicação: ao solo ou na folha. Quando aplicado na folha poderá ser dividido em categorias quanto ao sítio de ação em que o herbicida irá atuar. Ou seja, se a ação acontecerá na região de aplicação ou se será translocado para outras

regiões de crescimento ativo, de reprodução ou de armazenamento (GWYNNE; MURRAY, 1985).

A diferenciação do mecanismo de ação acontece pela forma que o efeito final será expresso pela planta após a aplicação. Diversas reações químicas são necessárias para matar uma planta, cuja a soma desses processos se caracterizará cada família de herbicida (MARCHI, 2008). Podem ser citados os Inibidores da ACCase, Inibidores da ALS ou AHAS, Inibidores do FSII, Inibidores do FSI, Inibidores da HPPD, Inibidores da biossíntese de carotenóides (não-HPPD), Inibidores da EPSPs, Inibidores da GS, Inibidores do arranjo de microtúbulos, Inibidores da biossíntese de ácidos graxos de cadeia muito longa, Inibidores da biossíntese de lipídeos (não-ACCase) e os Mimetizadores de auxinas (CARVALHO, 2013b).

A época de aplicação irá variar de acordo com o momento da cultura (pré-plantio e pós-plantio) e quanto ao momento em relação à cultura e às plantas daninhas (pré-emergência e pós-emergência da cultura e pré-emergência e pós-emergência das plantas daninhas (CARVALHO, 2013b).

Segundo Carvalho, (2013a) outras características que também podem ser consideradas no diagnóstico de seleção de herbicidas para controle de plantas daninhas são, o espectro de ação, seletividade, sistêmico ou não-sistêmico.

Entender como cada tipo de herbicida funciona na planta e a sua dinâmica no ambiente é essencial para o manejo adequado de controle de espécies infestantes a fim de evitar o desenvolvimento de resistência de plantas a grupos de herbicidas, e minimizar os impactos ambientais (MARCHI, 2008).

Dentre os herbicidas registrados recomendados para pastagens no Brasil, destacam-se o 2,4-D + picloram, fluroxypyr + picloram e triclopyr, sendo o segundo mais comercializado no país no ano de 2020. Esses herbicidas são caracterizados principalmente por serem ativos em dicotiledôneas e apresentar longa persistência no solo (SANTOS et al., 2006; IBAMA, 2022).

2.6. Herbicida Picloram

Existem diversas moléculas herbicidas com características físico-químicas que propiciam funcionalidades únicas e comportamentos ambientais distintos, sendo as principais razões da utilização dessas moléculas o seu custo,

a alta seletividade desses produtos às culturas e sua eficiência no rendimento operacional de acordo com as suas classes e grupos (PROCÓPIO et al. 2004; ARMAS; MONTEIRO, 2005).

Os herbicidas do grupo das auxinas sintéticas têm sido um dos mais usados no controle de plantas daninhas dicotiledôneas em forrageiras, os quais têm contribuído de maneira substancial para a expansão e o desenvolvimento do agronegócio brasileiro (BRAGA et al, 2013; FRANCESCHI, 2017).

Segundo Carvalho (2013b), esse grupo de herbicidas causam o descontrole da divisão e do crescimento das células vegetais por atuarem como mimetizadores de auxina, um dos hormônios vegetais reguladores de crescimento, e atua no mesmo sítio onde age a auxina natural. Dessa forma, eleva-se a concentração de auxina nos tecidos vegetais descontrolando uma série de processos metabólicos dependentes desse hormônio.

Os sintomas de intoxicação sentidos pela planta são derivados principalmente da ação do etileno, como epinastia, enrolamento de folhas, ramos e pecíolos. Em seguida, ocorre inibição do crescimento, clorose dos meristemas e necrose, acarretando morte lenta das plantas (CARVALHO, 2013b).

Dentre os mimetizadores de auxina destaca-se o picloram onde compõe a maioria dos produtos registrados para aplicação em pastagens no Brasil (FRANCESCHI, 2015). A Figura 4 mostra a estrutura molecular do picloram que faz parte do grupo químico ácido piridinocarboxílico e a nomenclatura segundo a IUPAC: 4-amino-3,5,6-tricloropiridina-2-ácido carboxílico.

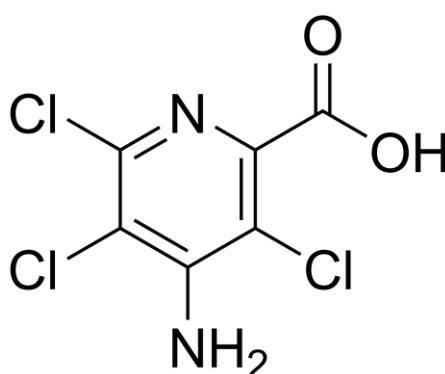


Figura 4 - Estrutura molecular da molécula de picloram.

Os herbicidas com esse princípio ativo, normalmente são utilizados em pós-emergência de plantas daninhas, sobretudo de dicotiledôneas arbustivas ou

arbóreas em pastagens, possui rápida absorção foliar e translocação apossimplástica, movendo-se livremente pelo xilema e floema (SILVA, 2011).

Diante dessas características, apresenta um dos maiores períodos de atividade residual, devido à baixa sorção nos colóides do solo e alta solubilidade em água, aumentando a probabilidade de ocorrência de efeito residual (*carryover*) e elevado potencial de lixiviação. A persistência no solo pode variar de alguns meses a mais de três anos, dependendo do produto, da dose utilizada, do solo e do clima (D'ANTONINO et al., 2009).

Essa característica nem sempre é vantajosa pois os herbicidas que apresentam atividade residual no solo em período superior ao ciclo de vida de uma cultura, podem interferir no cultivo de espécies dicotiledôneas sensíveis tais como a soja, feijão, algodão, dentre outras quando cultivadas em sucessão (SANTOS et al., 2010; TIMOSSI et al. 2013).

Além disso, podem causar problemas ambientais pela sua lixiviação para camadas mais profundas no perfil do solo, com alto potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas (ASSIS et al., 2011).

A utilização correta e consciente dos herbicidas é necessária, pois o setor agrícola tem sido questionado e julgado do ponto de vista ambiental. Buscando-se encontrar formas de reduzir o risco do impacto ambiental que o efeito residual de herbicida possa vir a causar, além de minimizar problemas de fitointoxicação e perdas em culturas subsequentes, diversos estudos têm sido realizados, especialmente para compreender o comportamento desses produtos no solo (TIMOSSI, 2020).

2.7. Fitorremediação

Na busca de alternativas para despoluir áreas contaminadas por compostos orgânicos ou inorgânicos, tem-se optado por soluções que englobam: eficiência na descontaminação, simplicidade na execução, tempo demandado pelo processo e menor custo. Nesse contexto, cresce o interesse pela utilização da biorremediação, caracterizada como uma técnica que objetiva descontaminar solo e água por meio da utilização de organismos vivos, como micro-organismos e plantas (PIRES et al., 2003).

Dentro da biorremediação insere-se a fitorremediação, que, segundo Accioly e Siqueira (2000), envolve o emprego de plantas, sua microbiota

associada e de amenizantes do solo, que objetiva descontaminar solo e água por meio da utilização de organismos vivos, como micro-organismos e plantas além de práticas agronômicas que, se aplicadas em conjunto, removem, imobilizam ou tornam os contaminantes inofensivos ao ecossistema (PIRES et al., 2003).

As técnicas de fitorremediação são subdivididas de acordo com os processos fisiológicos das plantas. Segundo a Agência de Proteção do Meio Ambiente (U.S. Environmental Protection Agency – EPA, 2000) os principais processos são: fitoextração, rizofiltração, fitoestabilização, rizodegradação, fitodegradação e fitovolatilização.

De maneira simplificada a fitoextração, é o processo no qual a planta extrai os poluentes do solo e os acumula nos seus tecidos internos, processo comumente realizado pelas espécies denominadas hiperacumuladoras (LAMELO; VIDAL, 2007).

A rizofiltração é uma técnica em que a adsorção ou precipitação ocorre nas raízes ou absorção de contaminantes que estão em solução aquosa, ao redor da zona de raízes. (EPA, 2000).

Na fitoestabilização ocorre a imobilização de um contaminante através das reações de absorção e acumulação, adsorção e/ou precipitação na zona das raízes, prevenindo perdas por erosão ou lixiviação. Para isso, processos como a precipitação do poluente na rizosfera por meio de humificação ou ligações covalentes irreversíveis são realizados promovendo a conversão do poluente para forma menos biodisponível (PILON-SMITS, 2005; SILVA et al., 2019).

Rizodegradação pode ser descrita pela quebra de um contaminante orgânico no solo através da atividade microbiana, que é aumentada pela presença da zona radicial. (VASCONCELLOS et al., 2012).

A fitovolatilização é o processo no qual o poluente, após absorvido e incorporado nos tecidos da planta, pode ser volatilizado. (PILON-SMITS, 2005). Todavia, o poluente tóxico emitido pelas plantas durante a fitovolatilização é lançado na atmosfera e poderia ser considerado fator de risco para nova fonte de poluição (VASCONCELLOS et al., 2012).

Segundo Lamelo e Vidal, 2007 no processo de fitodegradação, as plantas podem degradar poluentes orgânicos diretamente por suas próprias atividades enzimáticas. Vale ressaltar, que esse processo pode ser realizado somente em

compostos orgânicos, pois as enzimas agem sobre o poluente mineralizando-o completamente a compostos inorgânicos como, dióxido de carbono, água e Cl_2 ou, ainda, degradando-o a intermediários estáveis que são armazenados na própria planta.

A utilização da fitorremediação é baseada na seletividade natural ou desenvolvida, que algumas espécies exibem a determinados tipos de compostos ou mecanismos de ação. Quase todas as plantas são capazes de absorver, sequestrar e/ou degradar contaminantes, podendo agir de maneira direta ou indireta. Os metais de transição, como cobre, zinco, cádmio, ferro, manganês, molibdênio e níquel, são necessários para o crescimento normal da planta, desempenhando funções específicas no metabolismo celular. Esse fato é de ocorrência comum em espécies agrícolas e daninhas, tolerantes a certos herbicidas (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000; SCRAMIN et al., 2001; CUNNINGHAM; OW, 1996).

Com baixo custo de investimento e de operação, sua aplicabilidade *in situ*, e geração mínima de degradação e desestabilização da área a ser descontaminada são algumas das vantagens da fitorremediação (CHAVES et al., 2010).

Contudo, sua efetividade está limitada pela capacidade da planta em sorver os metais das superfícies das partículas do solo, da solubilidade desses metais e da interferência do contaminante no crescimento da planta. Outras limitações estão relacionadas ao clima, ao tipo de solo, à estação do ano, à concentração e profundidade do contaminante, o que muitas vezes leva a um crescimento lento, aumentando o tempo necessário para o processo de descontaminação (CUNNINGHAM; OW, 1996; PILON-SMITS, 2005; Vasconcellos et al., 2012).

As características físico-químicas do solo e do contaminante devem ser conhecidas antes da implantação do processo. Qualquer fator que venha a interferir negativamente no desempenho das plantas fitorremediadoras deve ser controlado ou minimizado, para favorecer sua atuação descontaminante (LAMELO; VIDAL, 2007).

Além das características do solo, é recomendável que as plantas que apresentem potencial para fitorremediação possuam algumas propriedades que favoreçam o processo. Segundo Silva et al. (2019), é desejável que essas

espécies possuam rápido crescimento, rápida produção de biomassa, alta competitividade, tolerância à poluição, alta capacidade de absorção de nutrientes, alta taxa de translocação e grande acúmulo de substâncias de reserva.

Ademais, outra forma eficiente de identificar grandes espécies potenciais de fitorremediação é selecionar as plantas que possuam certa resistência aos herbicidas e/ou que colonizem áreas contaminadoras (SILVA et al., 2019).

3. METODOLOGIA

3.1. Área de estudo

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Rondonópolis, com coordenadas geográficas 16°27'48" latitude Sul, 54°34'45" longitude Oeste e altitude de 284m, com temperatura média anual de 26,1 °C, índice médio pluviométrico anual de 1.436 mm e clima Aw, segundo a classificação de Köppen, ou seja, clima tropical com estação chuvosa no verão e estação seca no inverno.

3.2. Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x6, correspondente a quatro sistema de cultivos (solo sem cultivo, solo cultivado com *Brachiaria decumbens*, solo cultivado com *Sorghum bicolor* e solo cultivado com *Pennisetum glaucum*), e seis doses do picloram (sal trietanolamina), aplicado em pré-emergência (0, 2, 4, 8, 16 e 32 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹), em condições de boa pluviosidade, em 4 repetições totalizando 96 unidades experimentais.

3.3. Coleta, calagem e adubação de solo

O solo foi coletado em área fragmento de Cerrado, localizada no interior da Universidade Federal de Rondonópolis, classificado como Latossolo Vermelho distrófico (SANTOS et al., 2013), na profundidade de 0-20 cm, peneirado em peneira com malha de 4 mm acondicionados em sacos plásticos, e secado à sombra.

Foi retirado uma amostra composta que foi submetida a análise químico-granulométrica, conforme apresentado na Tabela 2, para os procedimentos de calagem e adubação.

Tabela 2 - Caracterização química e granulométrica de Latossolo Vermelho na camada de 0-20 cm profundidade

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	M.O.	Areia	Silte	Argila
CaCl ₂	... mg dm ⁻³ ...	...			C molc dm ⁻³				%		g kg ⁻¹		
4,0	1,7	32	0,1	0,1	0,9	6,6	0,3	6,9	4,1	19,8	445	100	455

Os procedimentos de calagem foram realizados a fim de atingir 60% da saturação por bases. O solo foi distribuído em sacos plásticos onde foram vedados e incubados por um período de 30 dias com umidade a 80% da capacidade de vaso, de acordo com metodologia descrita por Bomfim-Silva et al. (2011). Em seguida foram alocados em vasos com capacidade de 5 dm³.

A adubação fosfatada (P₂O₅) e adubação potássica (K₂O) foram realizadas em todos os tratamentos, nas doses de 150 mg dm⁻³ e 100 mg dm⁻³, respectivamente antes do transplante. A adubação nitrogenada ocorreu após o transplante das plantas, quando atingiram altura média de 10 cm. Foi utilizada a ureia como fonte de nitrogênio, seguindo a recomendação de 185 mg dm⁻³, diluídas em 40 mL de água por vaso.

3.4. Pulverização e pluviosidade

O produto utilizado é registrado no Ministério da Agricultura e Planejamento - MAPA sob nº 02997 e segundo a bula a composição da calda comercial é de 1% a 2% do produto (equivalente a 2 e 4 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹) com seletividade para controle de plantas daninhas dicotiledôneas de porte arbóreo, arbustivo e sub-arbustivo em áreas de pastagens na forma de concentrado solúvel.

A pulverização ocorreu seguindo as normas de segurança para aplicação de defensivos agrícolas da Norma regulamentadora NR 38.1 – Prevenção de Acidentes com Defensivos Agrícolas (Figura 5). Foi realizada no período matutino ao ar livre, obedecendo à ordem de aplicação da menor dose para maior dose, a fim de evitar contaminação em outros tratamentos.



Figura 5 - Pulverização dos tratamentos com o herbicida picloram

O conjunto pulverizador utilizado (Figura 6) foi pressurizado a CO_2 , com barra de pulverização munida com seis pontas de jato plano tipo leque Magno 11002 AD, espaçadas de 0,5m e posicionadas a 0,5m de altura em relação a superfície dos alvos. A velocidade de deslocamento foi de 4 km h^{-1} com consumo de calda correspondente a 200 L ha^{-1} . O equipamento foi operado com pressão constante de 2 bar.



Figura 6 - Conjunto pulverizador utilizado para aplicação do herbicida.

O solo foi umedecido 12 horas antes da pulverização, para simulação de pluviosidade, até atingir 60% da capacidade de pote. Após 24h da pulverização foi acrescentado uma lâmina de água de 300 mL em cada unidade experimental para movimentação do herbicida no perfil do solo.

3.5. Semeadura e transplante das espécies fitorremediadoras

Para garantir que o efeito do herbicida não influenciasse no processo de germinação das plantas, a semeadura de todas as espécies fitorremediadoras foi realizada em bandejas 07 dias antes do transplante, o qual ocorreu 48h após a pulverização. Foram transplantadas sete plantas por vaso (Figura 7).

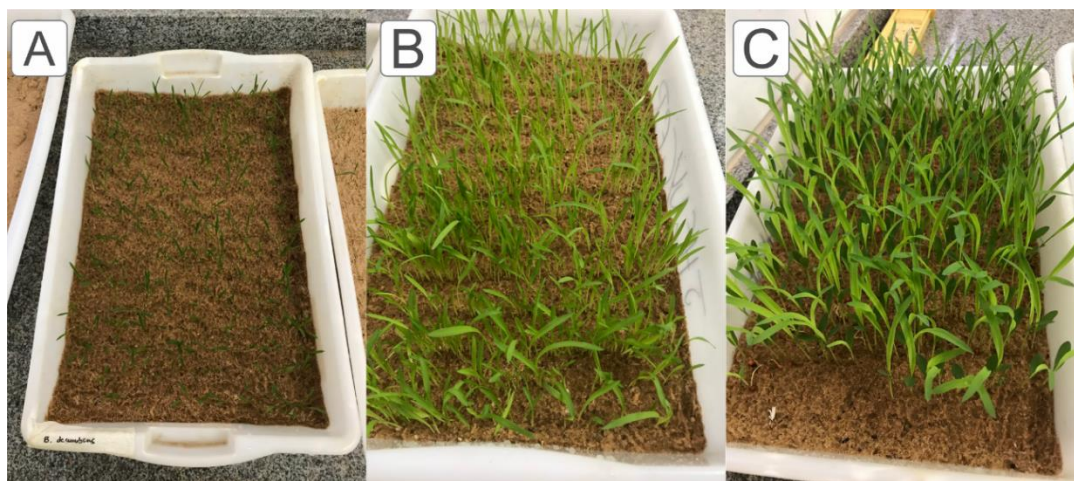


Figura 7 - (A) Braquiária; (B) Milheto; (C) Sorgo em bandeja antes do transplante para os vasos

A umidade do solo foi mantida a 80% da capacidade de vaso durante todo o período experimental. Para atingir esse valor, a quantidade de água evaporada foi determinada de acordo com o método gravimétrico durante todo o experimento (Figura 8) (BONFIM-SILVA, 2011).



Figura 8 – Calibração hídrica dos vasos.

O tempo da fase de condução das espécies fitorremediadoras foi de 90 dias após a emergência das plantas, a figura 9 ilustra a visão geral do experimento.



Figura 9 – Visão geral do experimento

O corte da parte aérea foi realizado na base do caule rente ao solo com o auxílio de um canivete e alocados em sacos de papel. Para obtenção das raízes o solo foi peneirado e realocado em novos sacos plásticos dispostos nos respectivos vasos. As raízes foram lavadas e após secarem foram armazenadas em sacos de papel.

3.6. Semeadura e transplante da espécie bioindicadora

Após o corte das espécies fitorremediadoras ocorreu a semeadura da espécie bioindicadora da presença do picloram, soja (*Glycine max* cultivar Monsoy 6101) em bandejas (Figura 10). Os vasos foram padronizados para manter o mesmo peso entre todos os tratamentos. Após a emergência das plântulas de soja nas bandejas ocorreu o transplante para os vasos, totalizando quatro plantas por vaso.

O período de condução da fase bioindicadora foi de 40 dias após a emergência das plantas.



Figura 10 - Plântulas de soja em bandejas antes do transplante para os vasos

3.7. Variáveis Analisadas

3.7.1. Fitointoxicação

Com o objetivo de avaliar a tolerância das culturas (fitorremediadoras e bioindicadora) ao herbicida, foi avaliada a fitointoxicação aos 15, 30, 45, 60, 75,

e aos 90 dias após a emergência das espécies fitorremediadoras e aos 15 e 30 dias após a emergência da espécie bioindicadora.

Foi realizada de acordo com escala adaptada de notas de 0 a 100% de intoxicação (EWRC, 1964), e pelo modelo proposto pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD, 1995) em que 0% corresponde à ausência de intoxicação e 100% à morte da planta (Tabela 3). Nessa escala, a nota foi atribuída de acordo com os sintomas de intoxicação por planta em relação à testemunha sem herbicida (Figura 11).

Tabela 3 - Escala de fitointoxicação pelo aspecto visual para mensurar ação do herbicida estudado

Índice de Avaliação (%)	Sintomas de Intoxicação
0	Sem dano
0 – 15	Pequenas alterações (descoloração, deformação) visíveis em algumas plantas.
16 – 30	Pequenas alterações visíveis em muitas plantas (clorose e encarquilhamento).
31 – 45	Grandes alterações visíveis em muitas plantas (clorose, encarquilhamento e necrose).
46 – 60	Necrose de algumas folhas, acompanhadas de deformações em folhas e brotos.
61 – 75	Redução no porte das plantas, encarquilhamento e necrose das folhas.
76 – 90	Mais de 80% das folhas destruídas.
91 – 99	Danos extremamente graves, pequenas áreas verdes.
100	Morte completa da cultura.

Fonte: Adaptado de SBCPD, 1995.



Figura 11 - Sintomas de intoxicação em plantas de soja.

3.7.2. Altura de plantas

A altura média de plantas foi avaliada aos 15, 30, 45, 60, 75 e aos 90 dias após a emergência das espécies fitorremediadoras e aos 15 e 30 dias após a emergência da espécie bioindicadora. Com o auxílio de uma trena (Figura 12), foi obtido o valor por meio da distância da superfície do solo até a extremidade do perfilho mais alto, no nó da folha bandeira. A média foi obtida por meio de amostragem de sete plantas por unidade experimental.



Figura 12 – Análise de altura de plantas.

3.7.3. Índice de clorofila Falker

O índice de clorofila foi efetuado com auxílio do clorofilômetro clorofiLOG® Falker (Figura 13). A leitura foi realizada no terço-médio da lâmina foliar, na primeira folha abaixo da lígula visível nas espécies fitorremediadoras e no terceiro trifólio, do ápice para a base da planta em consideração ao folíolo central na espécie bioindicadora.

As leituras ocorreram aos 15, 30, 60, 75, e aos 90, dias após a emergência das espécies fitorremediadoras e aos 15 e 30 dias após a emergência da espécie bioindicadora.



Figura 13 - Leitura do índice de clorofila com auxílio do clorofilômetro clorofiLOG® Falker

3.7.4. Massa fresca da parte aérea e massa fresca da raiz

Após o corte das plantas na altura do coleto e da separação das raízes, o material vegetal foi alocado em sacos de papel e imediatamente pesados em balança analítica para determinação da massa fresca da parte aérea (g) e massa fresca da raiz (g) (Figura 14). Em seguida, os referidos materiais foram colocados em estufa de circulação forçada de ar (70 ± 2 °C) por 72 h e pesados novamente, determinando-se a massa seca da parte aérea (g) e massa seca da raiz (g).



Figura 14 - (A) Corte das espécies fitorremediadoras; (B) corte da espécie bioindicadora (C) separação de raízes

3.8. Análise estatística

Os resultados foram submetidos a análise de variância por meio do teste F ($P > 0,05$), e quando significativos foram submetidos ao teste de regressão para as doses de herbicida e teste Scott-Knott para os tipos de cultura até 5% de probabilidade para comparação de médias. Os testes foram realizados com o auxílio do software livre R Statistical 4.4.3® (WICKHAM, 2009; R CORE TEAM, 2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Espécies Fitorremediadoras

4.1.1. Altura de plantas

A variável altura de plantas das espécies fitorremediadoras não apresentou, em sua análise de variância, diferença estatística para a interação entre os fatores de culturas e doses de herbicida pelo teste F a 5% de probabilidade, em todos os períodos avaliados, se destacando ao longo dos períodos (15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias após a emergência (DAE)).

Ao analisar o efeito isolado do fator das culturas observou-se diferença significativa entre os tratamentos quando comparadas as médias pelo teste Scott-Knott a 0,05% de probabilidade (Figura 15).

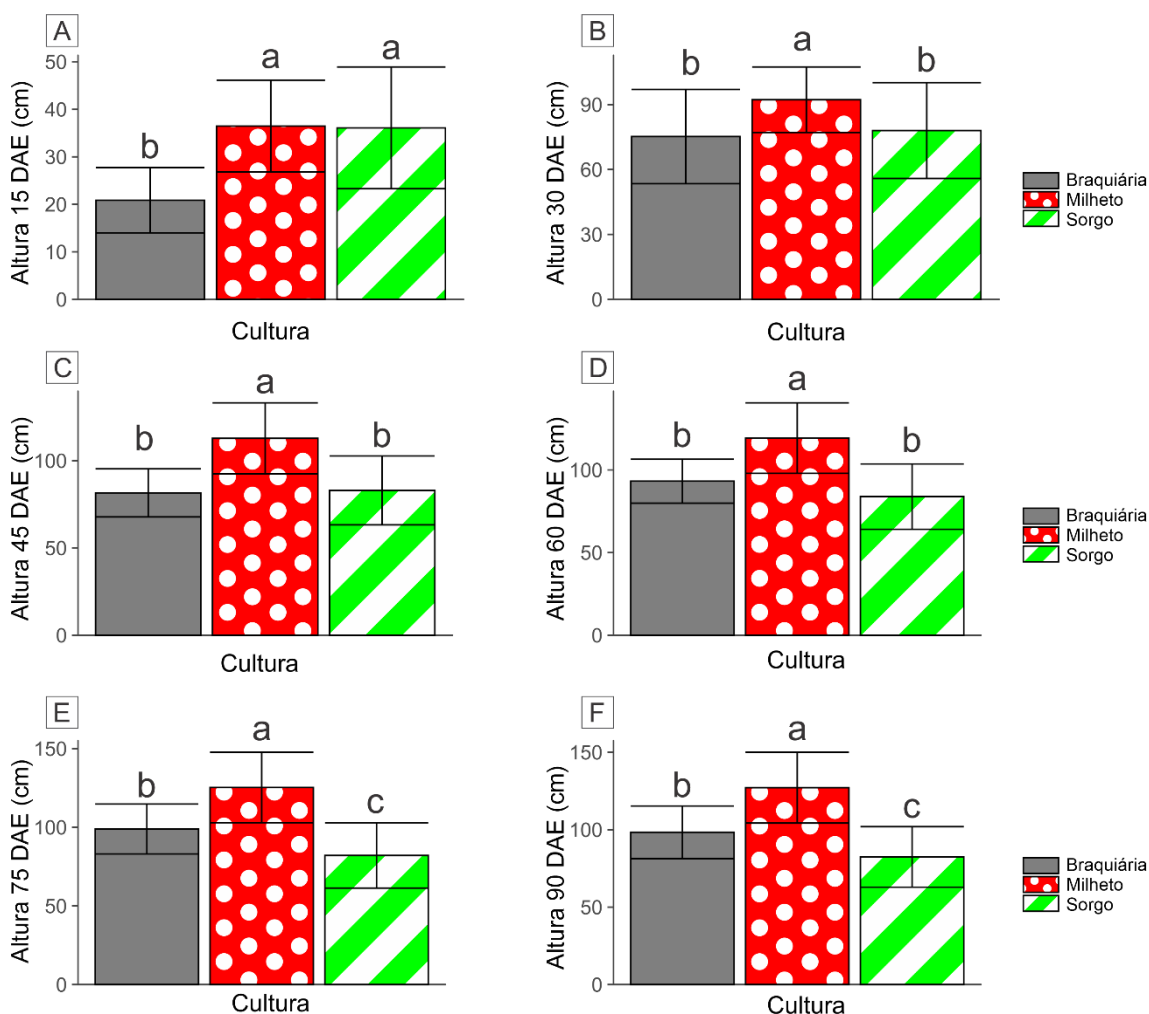


Figura 15 - Altura de plantas das espécies fitorremediadoras em função das culturas ao longo dos períodos avaliados (A) 15 DAE; (B) 30 DAE; (C) 45 DAE; (D) 60 DAE; (E) 75 DAE; (F) 90 DAE. Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância 0,05.

Segundo SILVA et al. (2021), para ser considerada boa remediadora, a planta deve também ter a capacidade de se desenvolver na presença do contaminante e sobreviver sem reduzir sua taxa de crescimento, apesar da acumulação do contaminante.

Assim, as plantas de milho apresentaram as maiores médias de alturas em todos os períodos avaliados. Aos 15 DAE, o sorgo apresentou maior média de altura, porém aos 75 DAE e aos 90 DAE as médias foram inferiores às outras culturas. A braquiária apontou os menores valores nas quatro primeiras avaliações aos 15, 30, 45 e 60 DAE. Aos 75 e 90 DAE os valores foram superiores ao do sorgo e inferiores ao do milho.

Uma das formas de ação do picloram é através da ação hormonal, portanto, a resposta na altura de plantas é similar à auxina natural das plantas (AIA), entretanto doses excessivas causam alterações que promovem distúrbios fisiológicos, especialmente nas partes mais novas e aéreas das plantas, promovendo alongamentos anormais em pontos aleatórios do caule (BRITO et al., 2021).

Ao analisar a variável em função das doses utilizadas (Figura 16) observou-se uma decrescente diferença estatística entre os tratamentos de acordo com o período avaliado ajustando os valores de altura ao modelo quadrático de regressão.

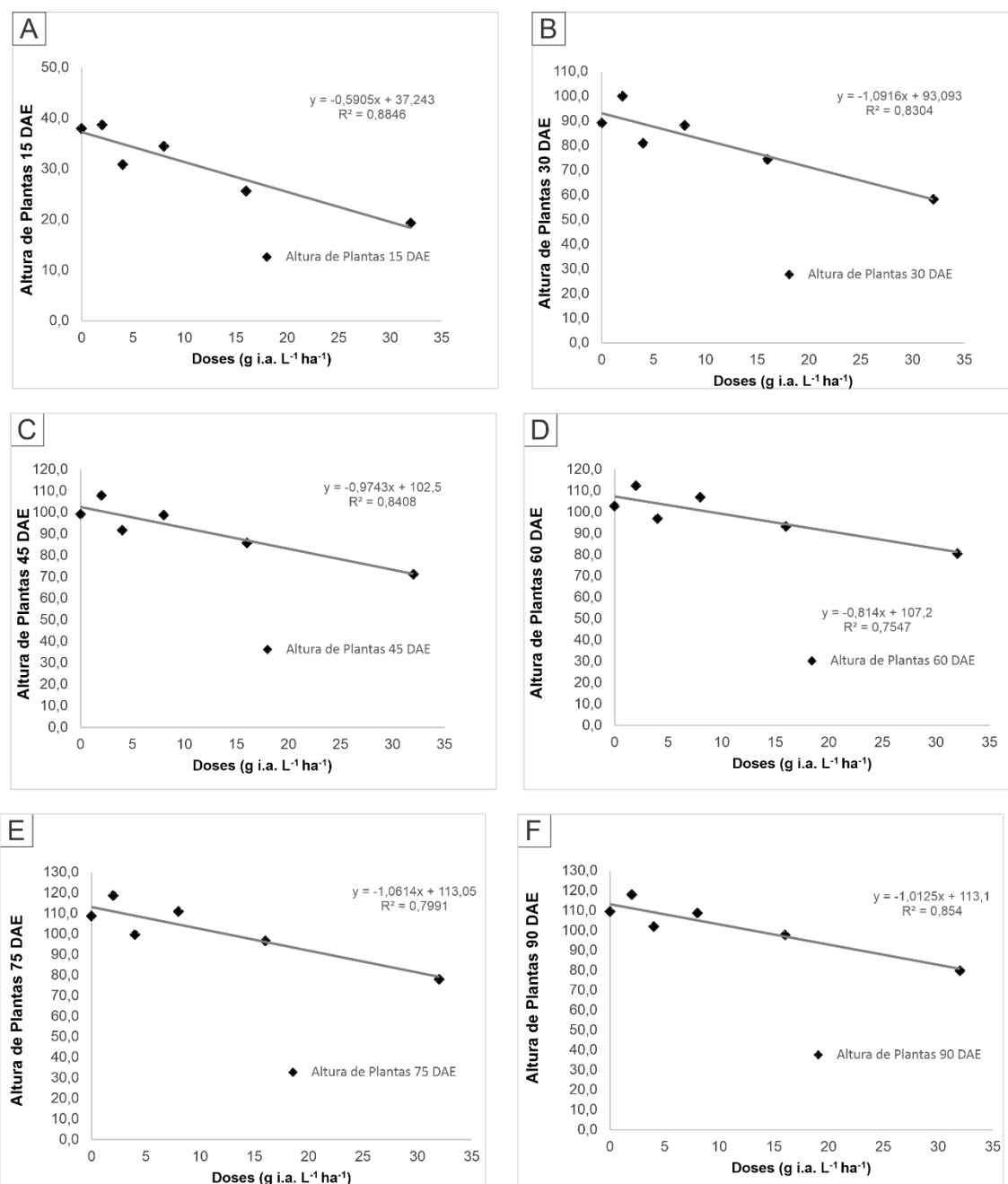


Figura 16 - Altura de plantas das espécies fitorremediadoras em função das doses de herbicida ao longo dos períodos avaliados (A) 15 DAE; (B) 30 DAE; (C) 45 DAE; (D) 60 DAE; (E) 75 DAE; (F) 90 DAE.

Pode-se inferir que o efeito dos herbicidas nas espécies fitorremediadoras apresenta maior contraste no crescimento das plantas nos primeiros dias após a emergência, atenuando essa diferença após estabelecimento das espécies conforme passagem do tempo.

Os menores valores de altura avaliados em todos os períodos foram encontrados quando utilizou-se a dose de 32 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹, demonstrando que

mesmo as espécies fitorremediadoras tiveram seu porte reduzido conforme o acréscimo das doses.

Madalão et al. (2013) ao avaliarem a susceptibilidade de espécies de plantas com potencial de fitorremediação do herbicida sulfentrazone onde perceberam que a redução da altura das plantas, com o aumento das doses do herbicida, foi mais gradual, evidenciando efeito menos intenso na arquitetura das plantas.

4.1.2. Índice Clorofila Falker

O Índice Clorofila Falker das espécies fitorremediadoras não apresentou, em sua análise de variância, diferença estatística para a interação entre os fatores de culturas e as doses de herbicida pelo teste F a 5% de probabilidade, em todos os períodos avaliados (15, 30, 60, 75 e 90 dias após a emergência (DAE)). Contudo, pode-se constatar diferença estatística entre as culturas quando comparadas separadamente pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os maiores valores do índice Clorofila Falker foram encontrados pela braquiária em todos os períodos avaliados, sendo seguida pelo sorgo. O milho registrou os menores resultados em todas as avaliações (Figura 17).

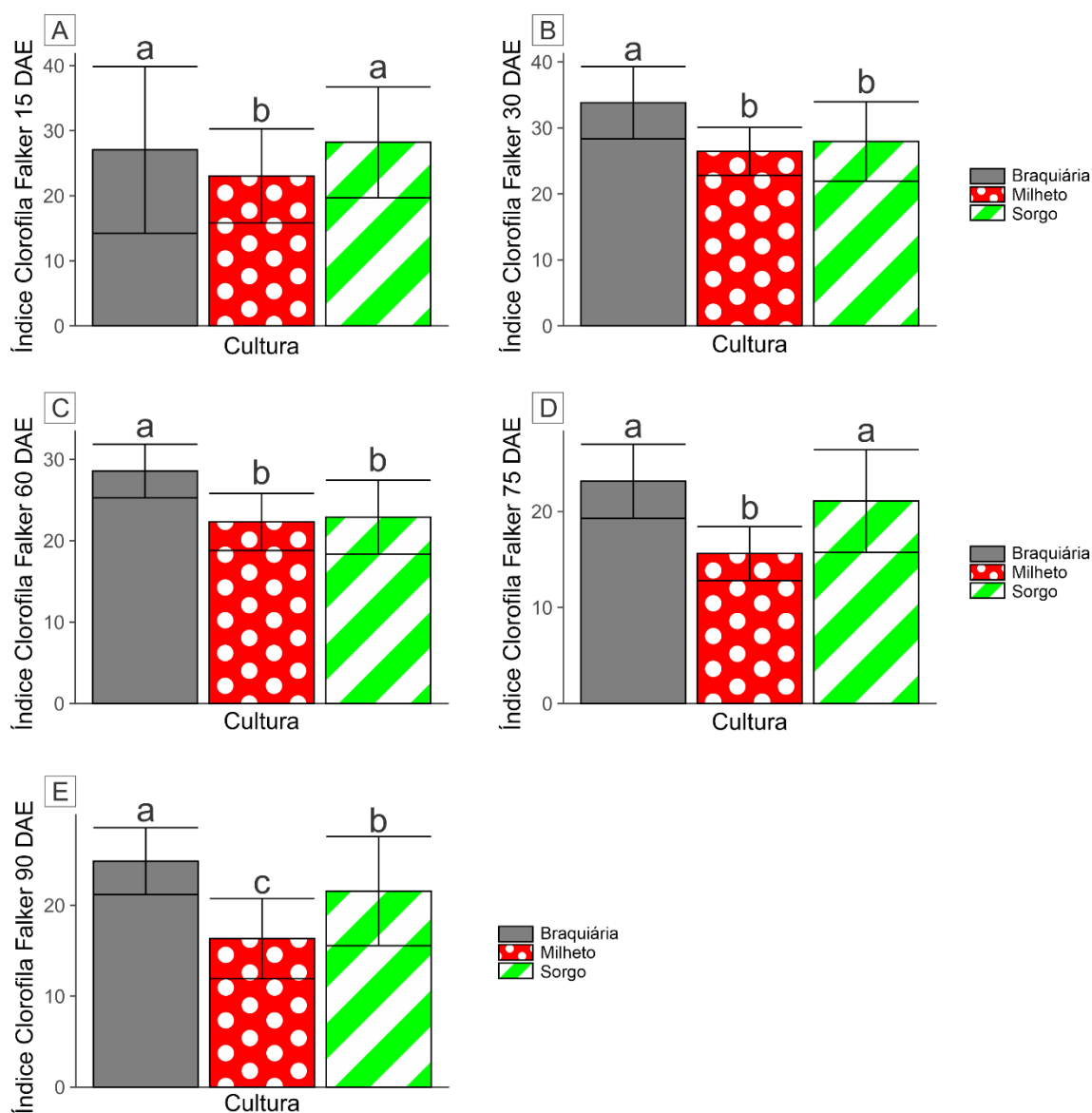


Figura 17 - Índice Clorofila Falker das espécies fitorremediadoras em função das culturas ao longo dos períodos avaliados (A) 15 DAE; (B) 30 DAE; (C) 45 DAE; (D) 60 DAE; (E) 75 DAE; (F) 90 DAE. Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância 0,05.

Ao analisar o fator isolado das doses de herbicidas (Figura 18) foi apresentado significância com ajuste ao modelo quadrático de regressão em todos os períodos avaliados, com exceção dos resultados obtidos aos 60 DAE onde não houve diferença estatística. Foi constatado que a dose de 32 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹ obteve os menores valores no teor de clorofila.

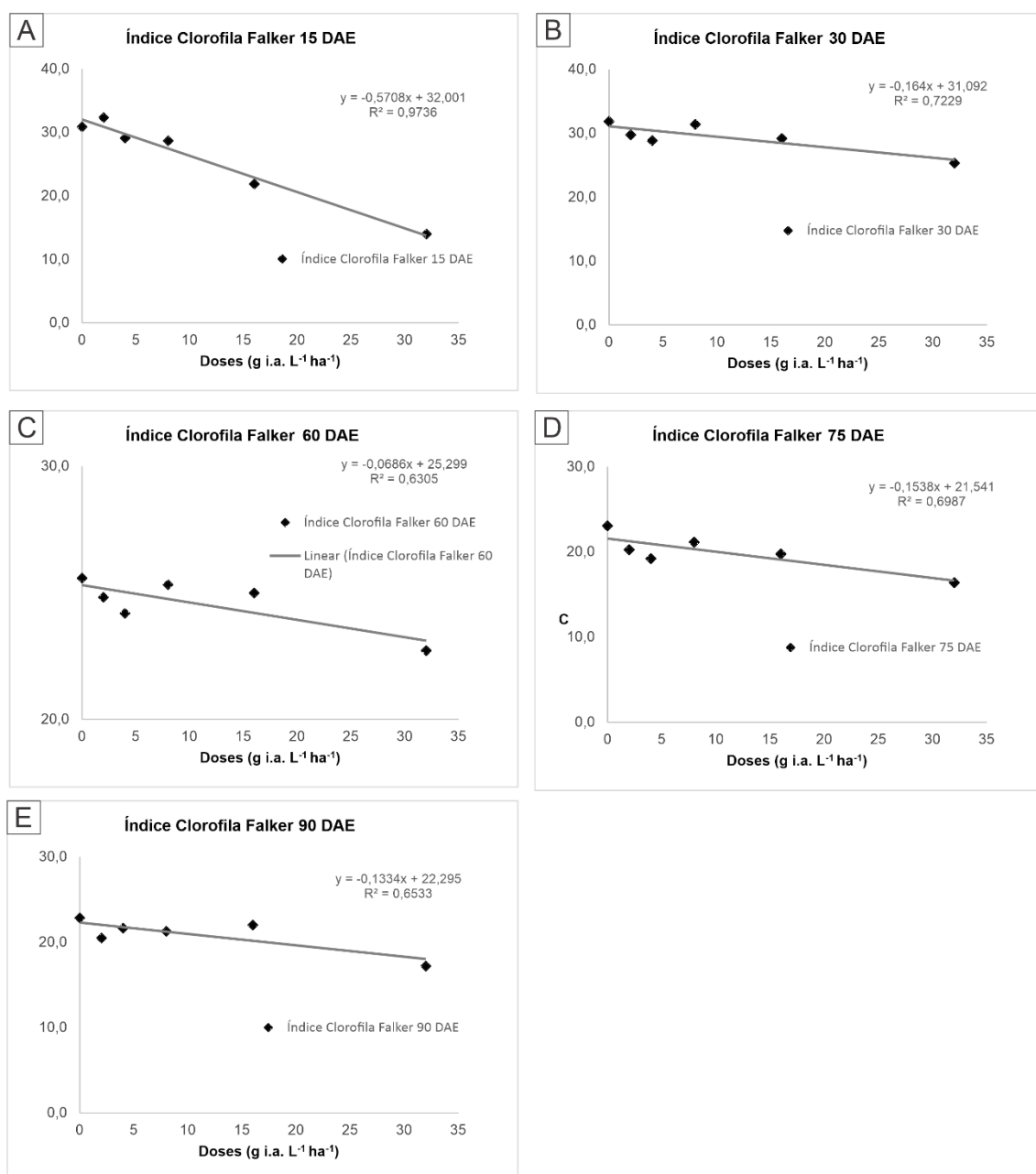


Figura 18 - Índice Clorofila Falker das espécies fitorremediadoras em função das doses de herbicida ao longo dos períodos avaliados (A) 15 DAE; (B) 30 DAE; (C) 60 DAE; (D) 75 DAE; (E) 90 DAE.

Conforme observado por Vendrame et al. (2015), os herbicidas auxínicos, induzem o fechamento estomático e podem provocar distúrbios na atividade fotossintética e respiração, pois esses processos dependem de diversos fatores como o constante fluxo de CO_2 e O_2 que entra e sai da célula (ZHAO; WANG, 2010, FRANCO et al, 2015).

Essa alteração, reduzindo a atividade fotossintética, provoca a diminuição significativa no teor de clorofila nas folhas, e esse efeito pode ser observado até mesmo em plantas consideradas tolerantes (VENDRAME et al., 2015).

Desse modo, qualquer efeito causado por herbicidas mimetizadores de auxina que leve à menor absorção ou à translocação de água pode afetar a condutância estomática, reduzindo a taxa fotossintética (BELO et al., 2011;).

4.1.3. Análise visual de fitointoxicação

Na análise visual de fitointoxicação das espécies fitorremediadoras foi observado diferença estatística para a interação entre os fatores de culturas e doses de herbicida somente aos 45 DAE.

Conforme ilustra a Figura 19 analisando os efeitos isolados todas as culturas apresentaram valores de média estatisticamente iguais entre si e inferiores à 50%, em todas as avaliações demonstrando que as espécies avaliadas apresentam o mesmo tipo de tolerância ao herbicida.

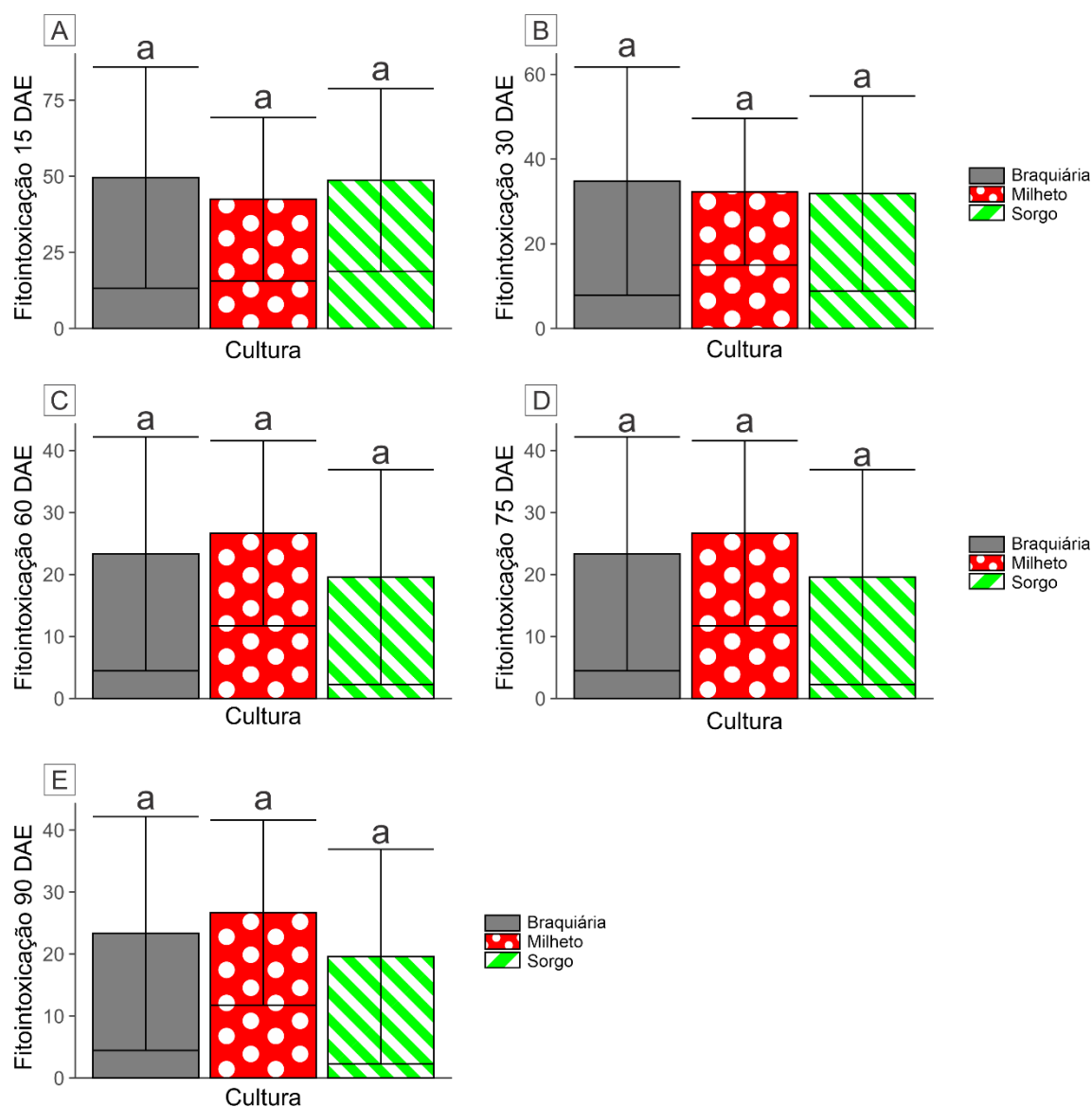


Figura 19 - Análise visual de fitointoxicação das espécies fitorremediadoras em função das culturas ao longo dos períodos avaliados (A) 15 DAE; (B) 30 DAE; (C) 60 DAE; (D) 75 DAE; (E) 90 DAE. Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância 0,05.

Segundo Timossi, et al (2020) e Inoue et al. (2003), o picloram, por apresentar longa persistência e baixo coeficiente de sorção, é considerado um herbicida com alto potencial de fitointoxicação. Contudo Carmo et al., (2008a) ao trabalharem com espécies de gramíneas (Tanzânia, Mombaça, Cover Crop, capim-pé-de-galinha-gigante e milho) constataram que essas cultivares se mostraram extremamente tolerantes ao picloram com sintomalogia quase imperceptível quando aplicado 80 g. ha⁻¹ do herbicida.

Ao analisar o fator de doses de herbicida, depois de ajustados os resultados ao modelo quadrático de regressão, pode-se verificar que a dose 32

g i.a. $L^{-1} ha^{-1}$, dentre as doses aplicadas, apresentou os maiores índices de fitointoxicação em todos os períodos avaliados (Figura 20).

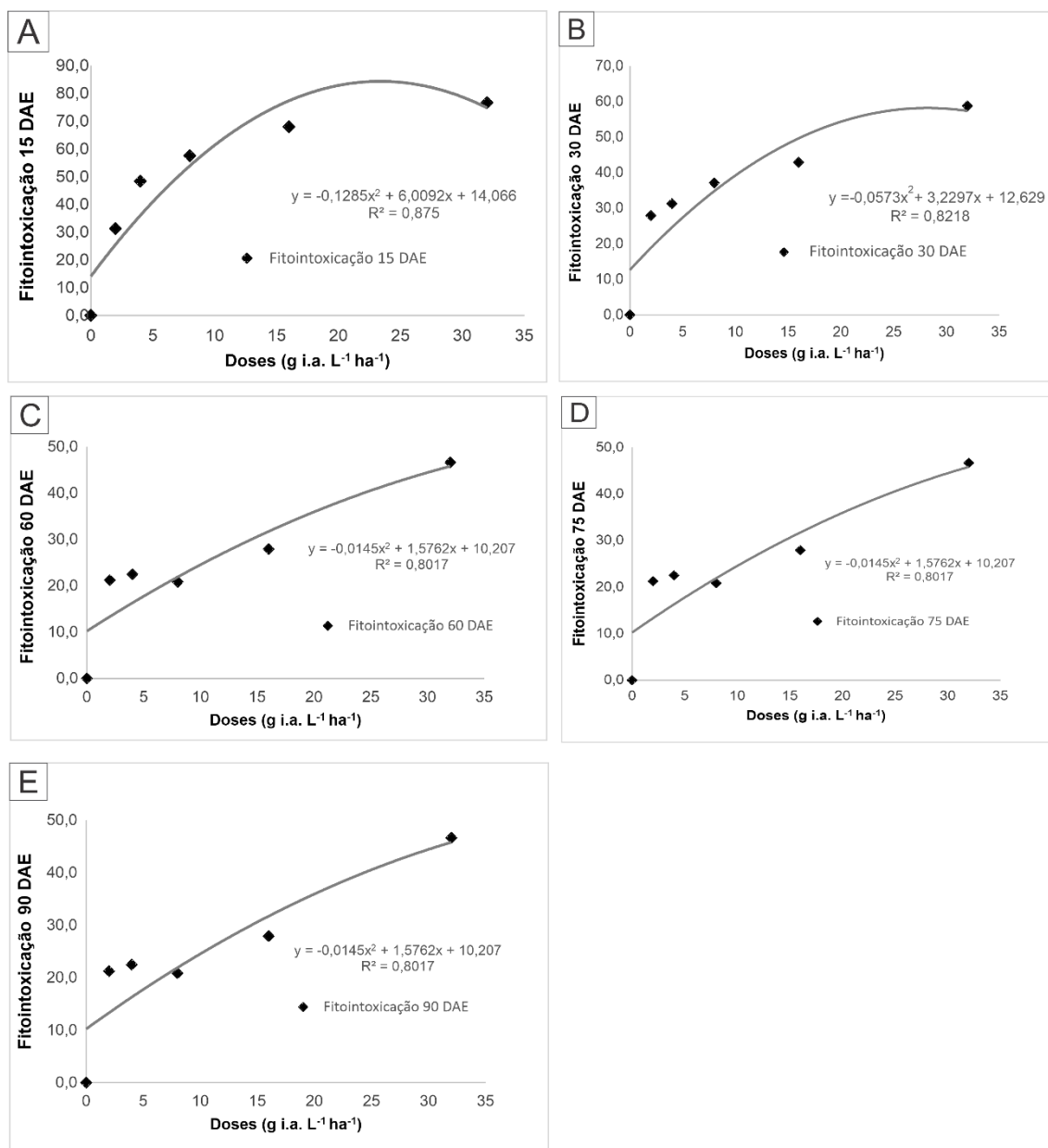


Figura 20 - Análise visual de fitointoxicação das espécies fitorremediadoras em função das doses de herbicida ao longo dos períodos avaliados (A) 15 DAE; (B) 30 DAE; (C) 60 DAE; (D) 75 DAE; (E) 90 DAE.

Aos 45 DAE (Figura 21) observa-se interação entre os tratamentos avaliados. No desdobramento das doses em função das culturas os resultados foram ajustados ao modelo quadrático de regressão. Ao desdobrar a relação das culturas dentro do nível das doses observa-se diferença significativa somente quando foi aplicada a dose de 2 g i.a. $L^{-1} ha^{-1}$, onde o milho registrou os maiores índices de fitointoxicação em relação às demais culturas. Na dose de 32 g i.a. $L^{-1} ha^{-1}$ a braquiária apresentou os maiores sintomas de intoxicação.

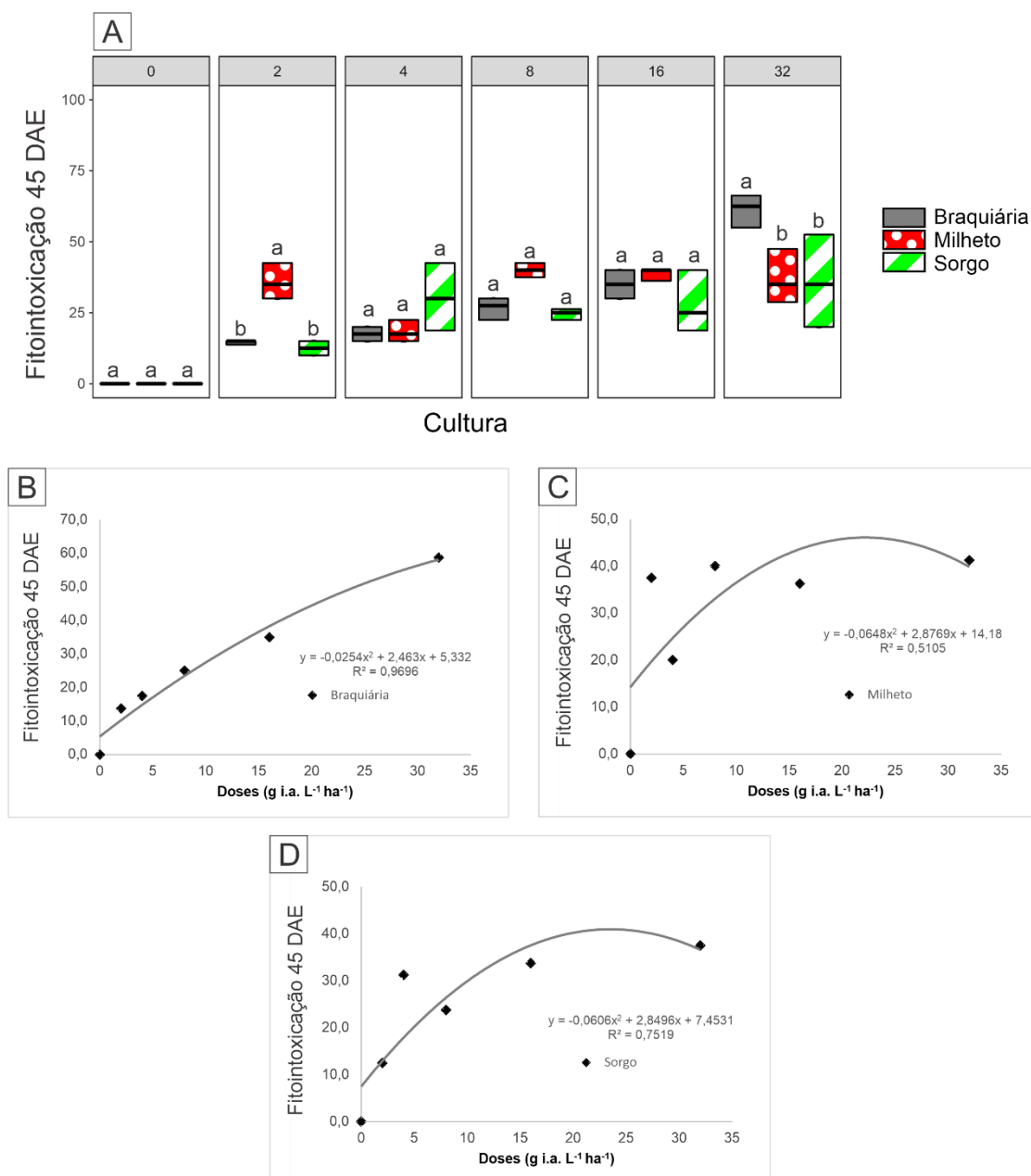


Figura 21 - Análise visual de fitointoxicação das espécies fitorremediadoras em (A) função das das culturas e em função das doses de herbicida de (A) braquiária, (B) milheto, (C) sorgo. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A partir dos 60 DAE todas as doses de herbicida apresentaram níveis de sintomas percebidos pelas plantas menores que 50%, demonstrando a resistência que as espécies possuem ao herbicida.

4.1.4. Massa fresca e seca da parte aérea e das raízes

O acúmulo de massa na parte aérea das espécies fitorremediadoras não apresentou, na análise de variância, diferença estatística para a interação entre os fatores de culturas e doses de herbicida pelo teste F a 5% de probabilidade,

mas foi observado diferença estatística entre as culturas pelo teste Scott-Knott à 5% do nível de significância ao analisar os efeitos isolados.

Conforme ilustra a Figura 22, o milho obteve maior incremento de massa tanto antes quanto depois da secagem, seguido pelo sorgo e por fim, a braquiária que demonstrou menor incremento de matéria fresca e seca da parte aérea, em relação às demais culturas.

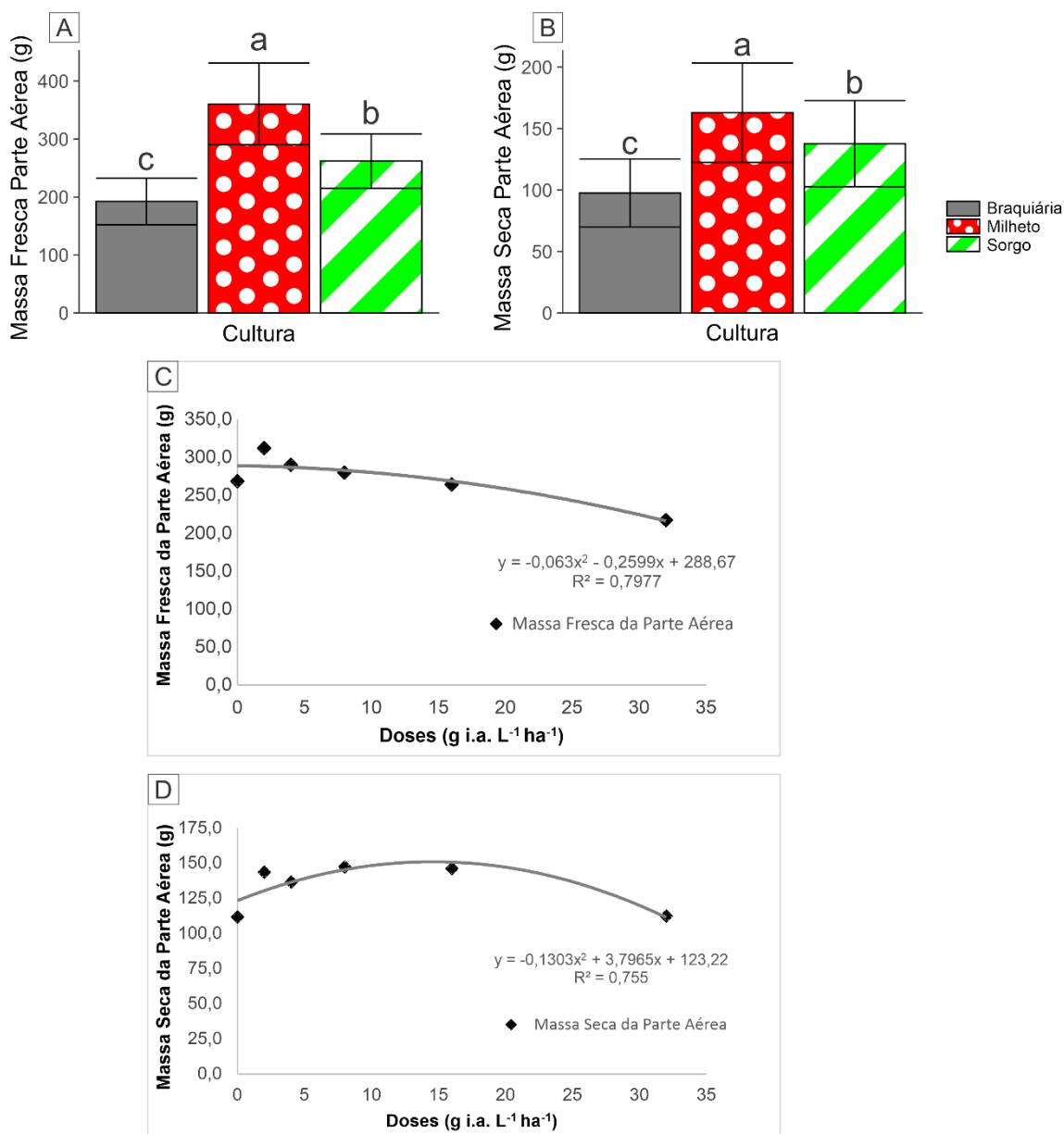


Figura 22 – (A) Massa Fresca da Parte Aérea em função das culturas; (B) Massa seca da parte aérea em função das culturas; (C) Massa fresca da parte aérea em função das doses de herbicida; (D) Massa seca da parte aérea em função das doses de herbicida das espécies fitorremediadoras. Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância 0,05.

Os resultados de incremento de massa em função das doses de herbicida foram ajustados ao modelo quadrático para as variáveis de massa fresca e seca

da parte aérea, onde foi observado que o menor acúmulo de massa ocorreu quando foi aplicada a dose de 32 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹.

Houve diferença estatística na interação entre dose e culturas para a variável de massa fresca e seca das raízes pelo teste F a 5% de probabilidade.

Em análise à interação do fator de culturas dentro do fator das doses de herbicida constatou-se que o milho apresentou os menores incrementos de massa nas raízes nas doses de 2 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹ e 8 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹, quando comparada com as demais culturas. Esse comportamento foi observado tanto na variável de massa fresca quanto na de massa seca. Para as demais doses não foi encontrado diferença no acúmulo de massas das raízes entre as plantas (Figura 23).

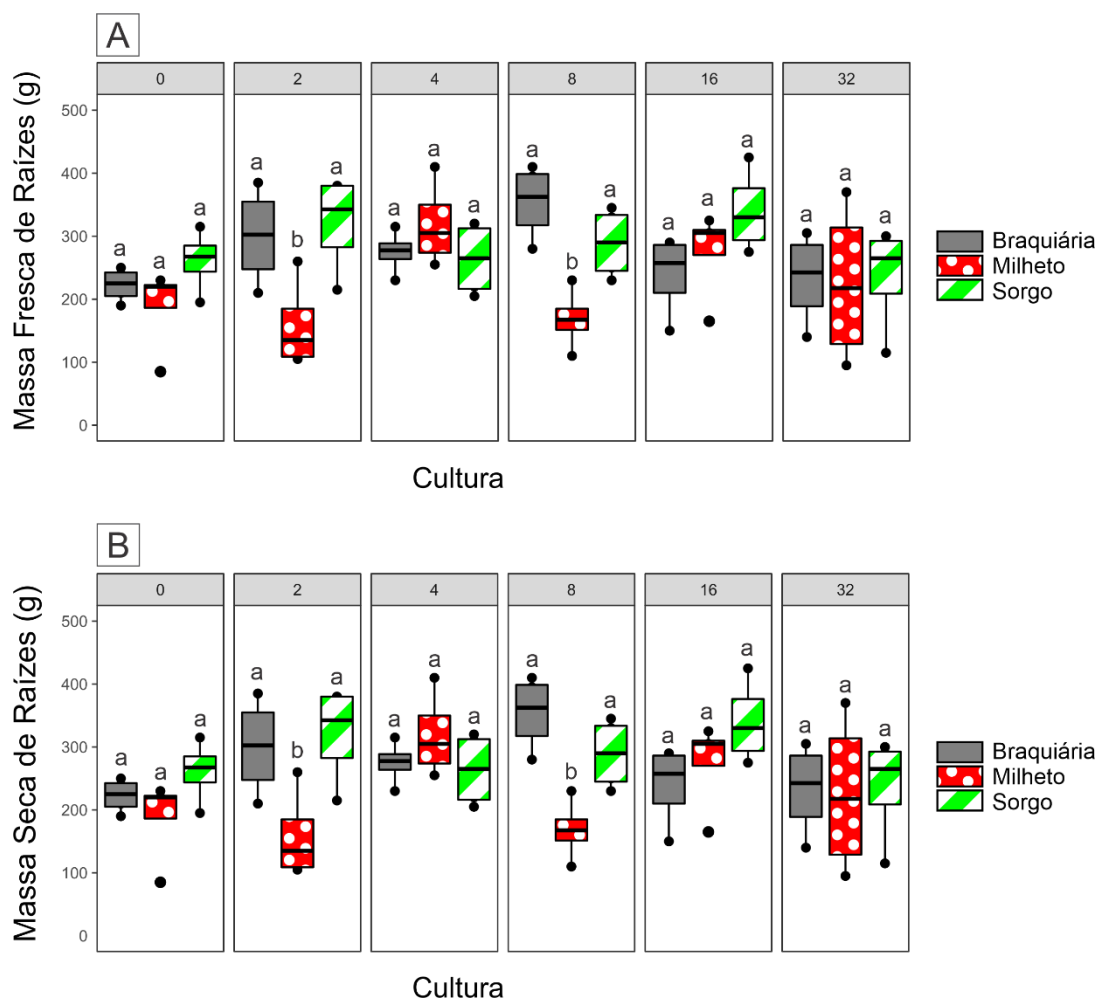


Figura 23 - (A) Massa fresca das raízes no desdobramento das culturas em função das doses; (B) Massa seca das raízes no desdobramento das culturas em função das doses. Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância 0,05

Em relação ao desdobramento das doses de herbicidas, o modelo quadrático foi ajustado para os resultados obtidos pela cultura milho (Figura 24). Para braquiária e sorgo não houve diferença estatística conforme aplicação das doses de herbicida, evidenciando que o produto não afetou a formação de raízes para essas culturas.

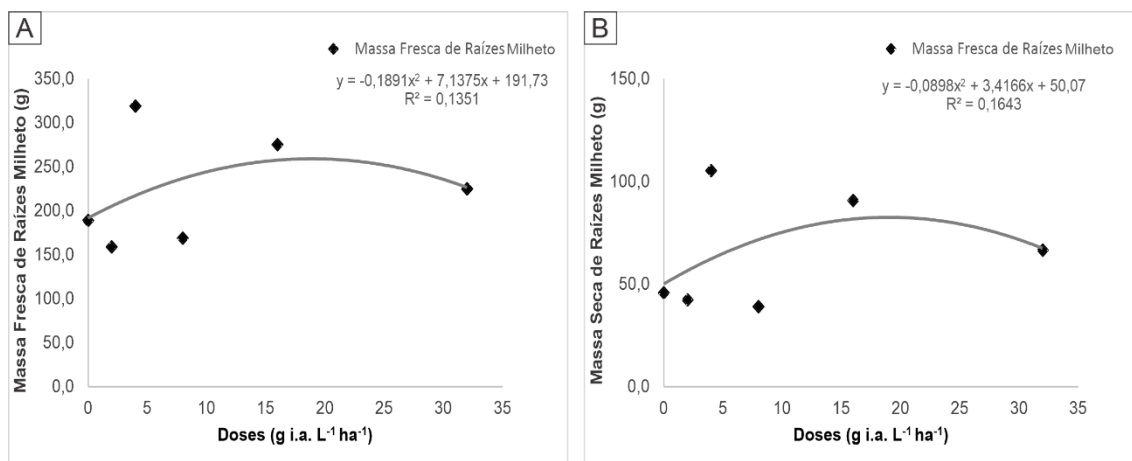


Figura 24 - (A) Massa fresca e (B) Massa seca das raízes no desdobramento das doses em função da cultura do milho.

Segundo Pires et al. (2005) na tentativa de buscar espécies com potencial de fitorremediar é importante envolver espécies de interesse agrônomo, principalmente para o seu fácil controle e contribuição na produção de biomassa fresca e seca.

4.2. Espécie bioindicadora

4.2.1. Altura de plantas

A variável altura de plantas da espécie biorremediadora apresentou, em sua análise de variância, diferença estatística para a interação entre os fatores das culturas cultivadas e doses de herbicida pelo teste F a 5% de probabilidade, nos dois períodos avaliados (15 DAE e 30 DAE).

Conforme ilustra a Figura 25, aos 15 e 30 DAE, os solos que foram cultivados com as gramíneas obtiveram médias equivalentes quando comparadas dentro do nível de doses de herbicida pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância 0,05.

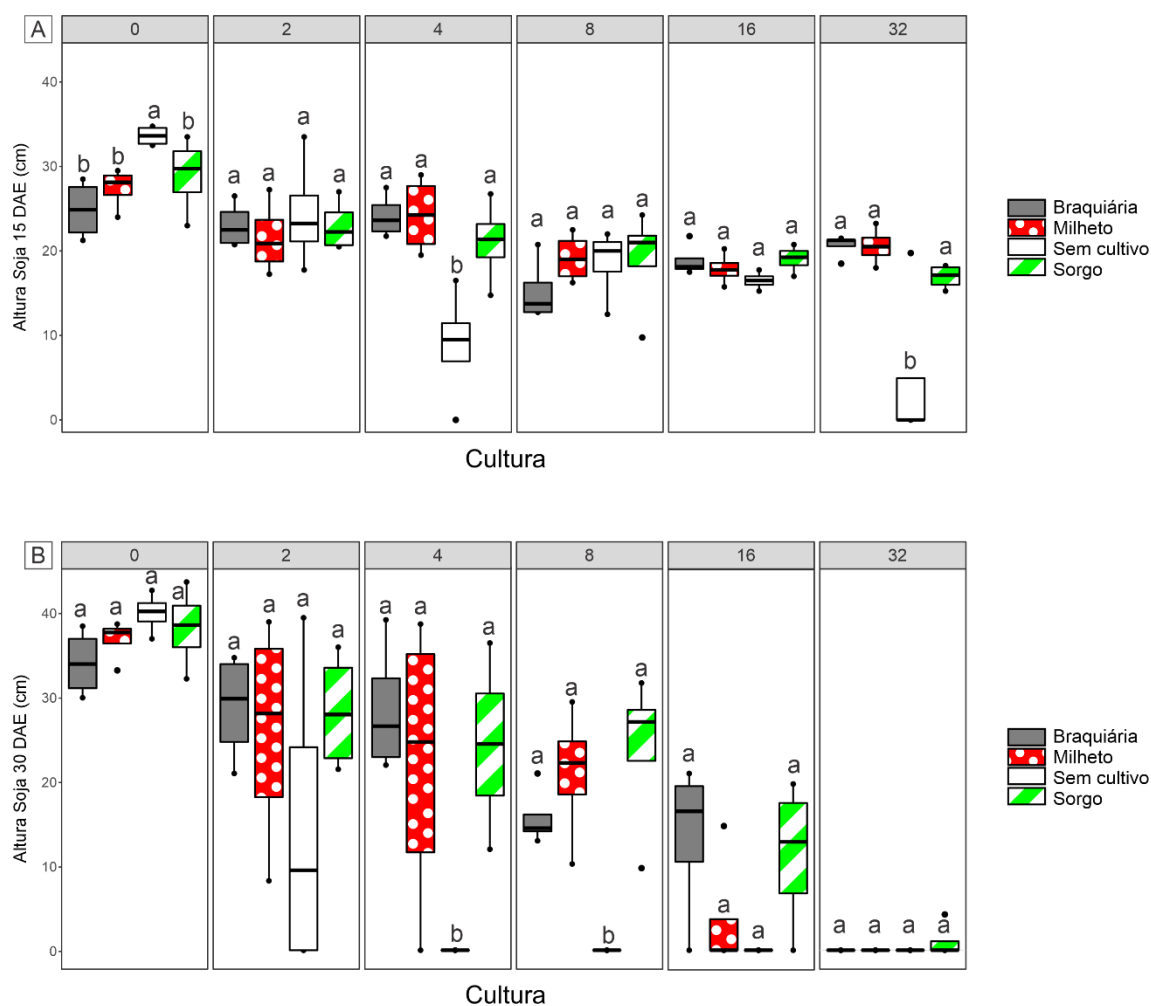


Figura 25 - Altura de plantas da espécie bioindicadora (soja) em função das culturas cultivadas (braquiária, milheto, sorgo, e solo sem cultivo) aos (A) 15 DAE e aos (B) 30 DAE. Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância 0,05.

Pode-se constatar que a testemunha obteve maior valor de altura quando se aplicou a dose 0 em comparação com as demais culturas aos 15 DAE, em decorrência de ser a primeira cultura a ser cultivada no solo com todos os nutrientes ainda disponíveis.

Vale ressaltar que foi percebido efeito positivo do cultivo com as espécies fitorremediadoras nos solos cultivados obtiveram médias superiores à testemunha sem cultivo quando se utilizou a dose de 4 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹ e de 32 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹. Aos 30 DAE, esse comportamento foi similar somente para as doses de 4 e 8 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹, quando já não era possível coletar dados do tratamento sem cultivo em decorrência da morte das plantas de soja pela intoxicação do herbicida.

Porém, esses resultados ainda foram inferiores à altura observada pela testemunha sem aplicação, inferindo que mesmo após o cultivo dessas espécies ainda foi possível observar a presença do picloram no solo.

De acordo com Procópio et al (2008), a fitorremediação do *E. coracana* em solo com picloram, ao analisarem a altura das plantas bioindicadoras, demonstrou tendência de estabilização da eficiência da fitorremediação conforme aumento de densidade das plantas remediadoras.

Os resultados de altura analisados isoladamente em função das doses de herbicida, foram ajustados ao modelo quadrático de regressão para todos os cultivos aos 15 DAE (Figura 26).

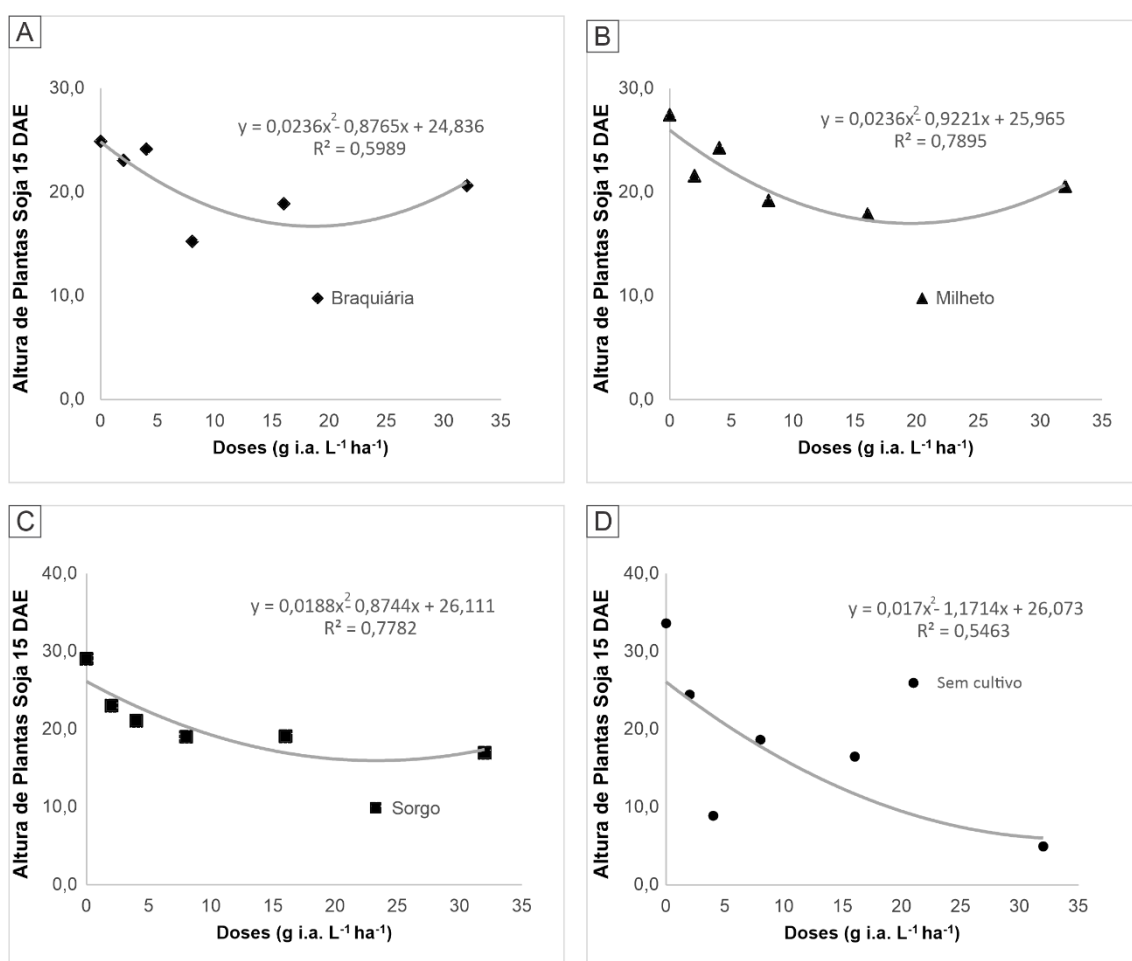


Figura 26 - Altura de plantas aos 15 DAE da espécie bioindicadora (soja) em função das doses de herbicida com solo cultivado com (A) Braquiária, (B) Milheto, (C) Sorgo, (D) Sem Cultivo.

Aos 15 DAE todos os cultivos tiveram pontos mínimos de altura em doses divergentes da dose máxima aplicada (32 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹), o que pode ser explicado devido um dos efeitos provocados pelo picloram ser o de alongamento celular, promovendo estiolamento e morte lenta das plantas.

Aos 30 DAE os resultados foram ajustados ao modelo linear decrescente para o milho e a testemunha sem cultivo, e quadrático para a braquiária e o milho (Figura 27).

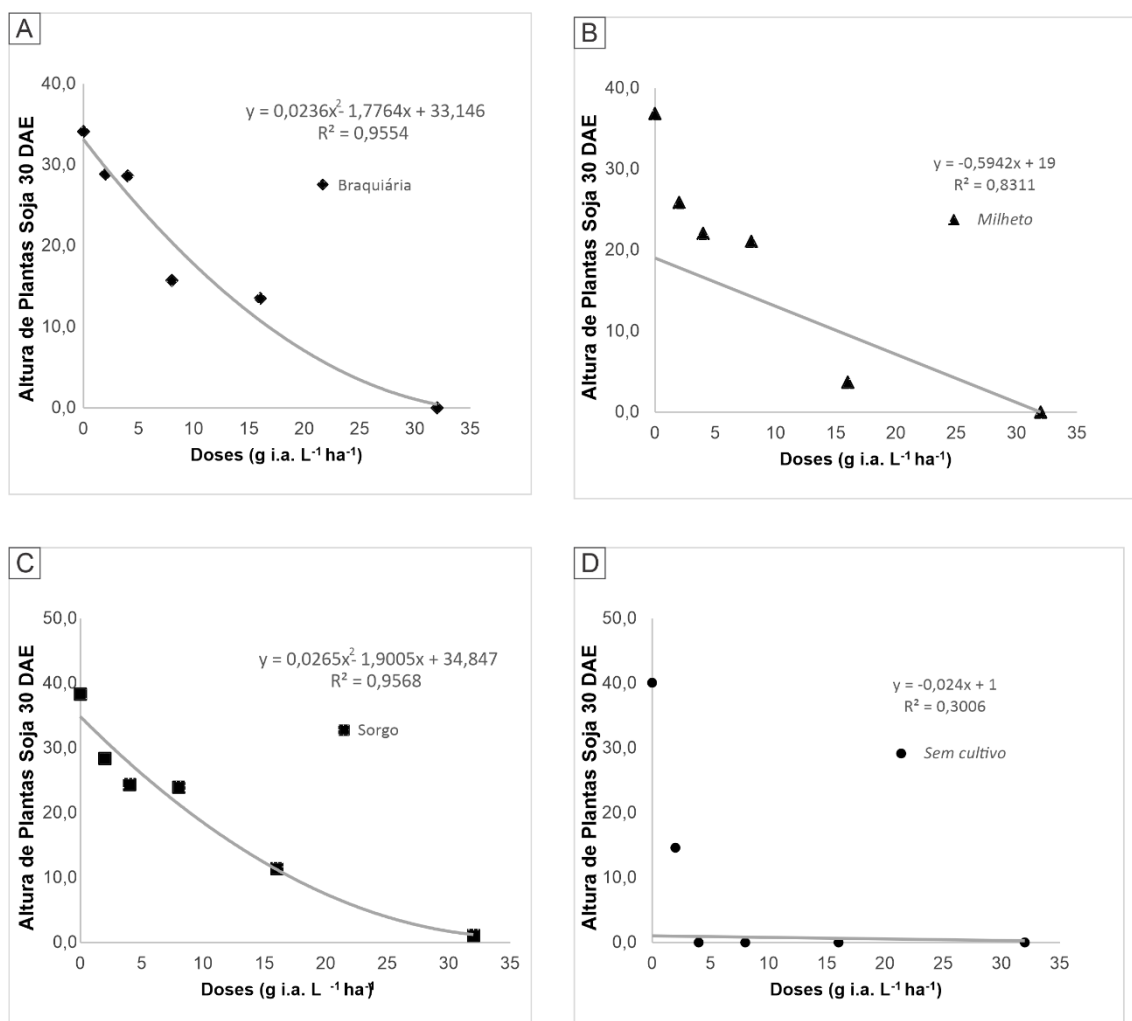


Figura 27 - Altura de plantas aos 30 DAE da espécie bioindicadora (soja) em função das doses de herbicida com solo cultivado com (A) Braquiária, (B) Milheto, (C) Sorgo, (D) Sem Cultivo.

Pode ser observado que os pontos mínimos de alturas, especialmente quando aplicados as doses de 16 e 32 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹ foram bem próximos de 0, pois poucas plantas de soja permaneceram vivas, demonstrando que em altas dosagens de picloram, as espécies avaliadas não foram capazes de fitorremediar o solo no período que estiveram cultivadas.

Não houve mais plantas vivas nos tratamentos sem cultivo quando aplicada as doses acima de 4 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹ demonstrando a sensibilidade da soja com o herbicida.

Os resultados corroboraram com Pires et al. (2005), em seu trabalho com fitorremediação de solos contaminados com Tebuthiuron utilizando espécies de

adubos verdes constatou que a altura das plantas e a biomassa seca da parte aérea da aveia preta diminuíram com o aumento das doses de tebuthiuron para as sete espécies avaliadas.

Franco et al., (2015) avaliando as características fisiológicas do feijoeiro cultivado em solos após fitorremediação do picloram, concluíram que mesmo após a remediação por plantas de braquiária, as subdoses do picloram afetaram as características fisiológicas do feijoeiro.

4.2.2. Índice Clorofila Falker

Não foi apresentado diferença estatística para a interação entre os fatores de culturas e doses de herbicida pelo teste F a 5% de probabilidade das espécies bioindicadoras quando se analisou o Índice relativo de Clorofila (SPAD) aos 15 DAE. Contudo, foi possível observar diferença no cultivo das espécies fitorremediadoras quando comparadas pelo teste Scott-Knott ao nível de significância 0,05 (Figura 28).

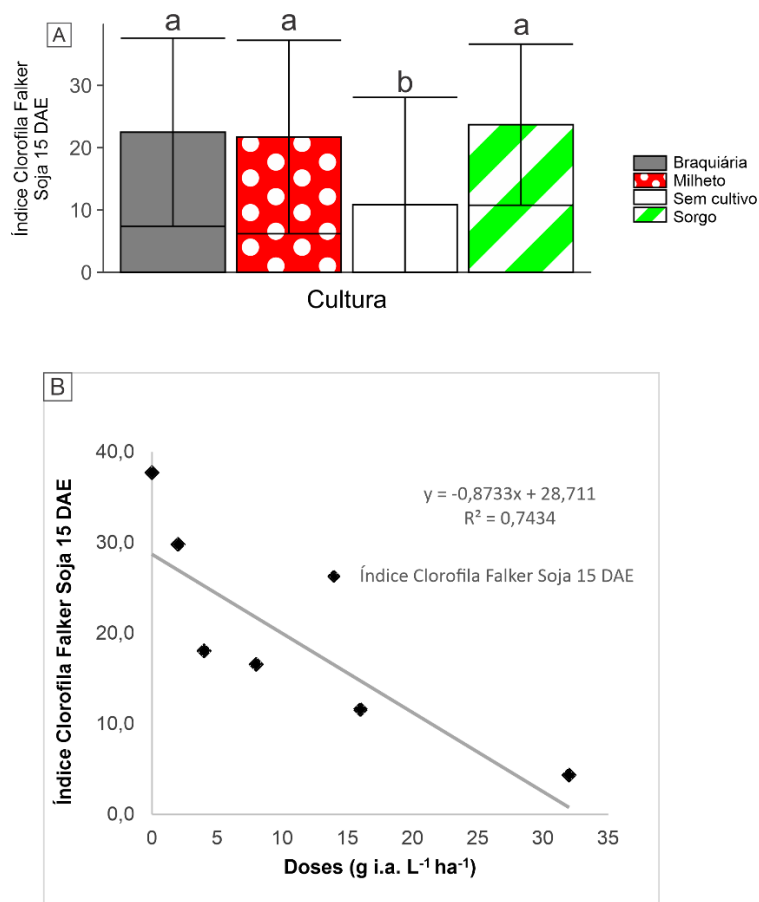


Figura 28 - Índice relativo de clorofila Falker aos 15 DAE da espécie bioindicadora (soja) em (A) função das culturas (B) função das doses de herbicida. Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância 0,05.

As plantas de soja cultivadas sequencialmente nos solos cultivados demonstraram valores melhores em relação ao solo sem cultivo, pois os sintomas de intoxicação sentido pela planta em exposição ao herbicida sem nenhum tratamento afetaram o desenvolvimento de caule, e principalmente das folhas.

Para o fator das doses de herbicidas, os dados foram ajustados ao modelo linear decrescente de regressão, onde foi possível observar interferência na ação do herbicida na cultura. Os resultados foram gradativamente decrescendo, conforme aumento da dosagem do picloram, com resultados próximos de zero na dose de 32 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹.

Aos 30 DAE (Figura 29 e 30) observou-se diferença estatística na interação entre os cultivos de solo e doses de herbicida pela análise de variância. As culturas foram comparadas pelo teste Scott-Knott dentro de cada nível de doses. As doses foram analisadas isoladamente com os resultados ajustados para o modelo linear decrescente de regressão.

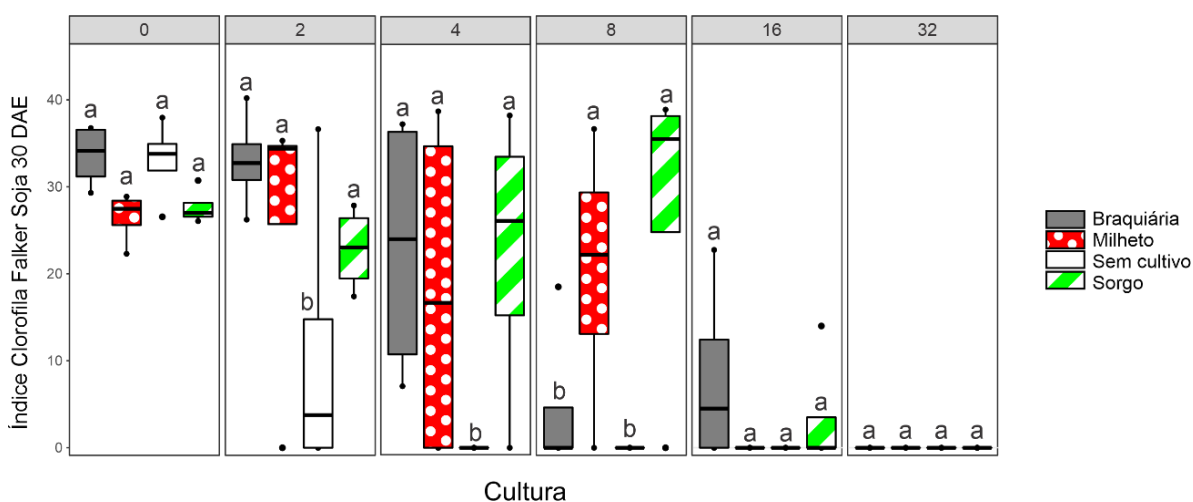


Figura 29 - Índice relativo de clorofila Falker aos 30 DAE da espécie bioindicadora (soja) em função dos cultivos de solo. Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância 0,05

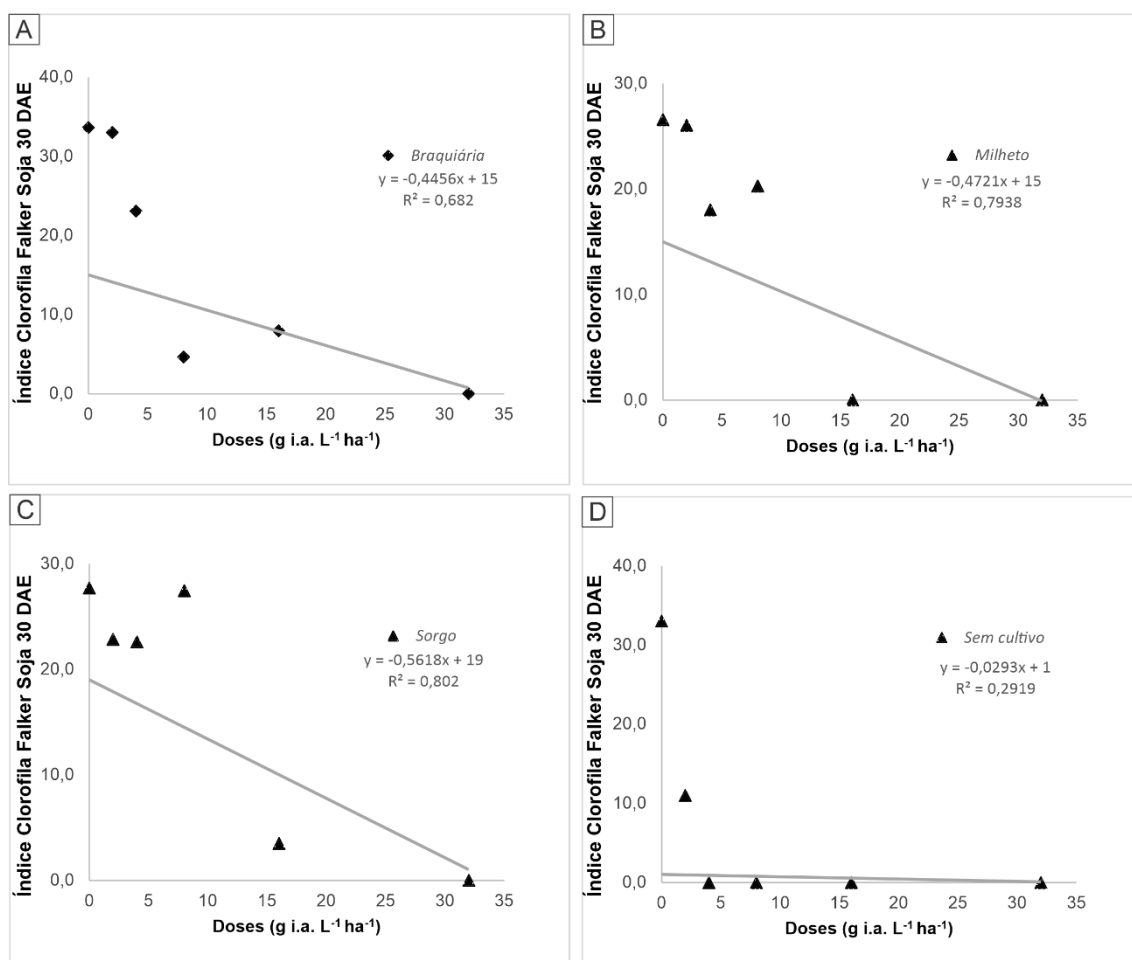


Figura 30 - Índice relativo de clorofila Falker aos 30 DAE da espécie bioindicadora (soja) em função das doses de herbicida com solo cultivado com (A) Braquiária, (B) Milheto, (C) Sorgo, (D) Sem Cultivo.

A testemunha sem cultivo reforçou que na presença da menor dose do herbicida já foi identificada diferença estatística inferior em relação ao solo livre de resíduos do produto.

Dessa forma, o cultivo das espécies fitorremediadoras demonstrou ações que remediaram a ação fitotóxica do picloram no que se refere ao teor de clorofila. Nas doses de 2, 4 e 8 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹ os tratamentos cultivados obtiveram resultados superiores à testemunha sem cultivo, com exceção do solo cultivado com sorgo na dose de 8 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹. A partir da dose de 16 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹, todos os tratamentos tiveram seus valores próximos a zero por consequência da morte de plantas de soja.

Alguns autores observaram redução da taxa fotossintética e da condutância estomática ao analisar o efeito de herbicidas auxínicos em mostarda (KHAN et al., 2002).

4.2.3. Análise visual de fitointoxicação

Na análise visual de fitointoxicação das espécies fitorremediadoras foi observado diferença estatística para a interação entre os fatores de cultura de solo e doses de herbicida em sua análise de variância, pelo teste F a 5% de probabilidade, nas avaliações realizadas aos 15 e 30 DAE.

Os sistemas de cultivo foram comparados pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade aos 15 e 30 DAE dentro de cada nível de dose (Figura 31).

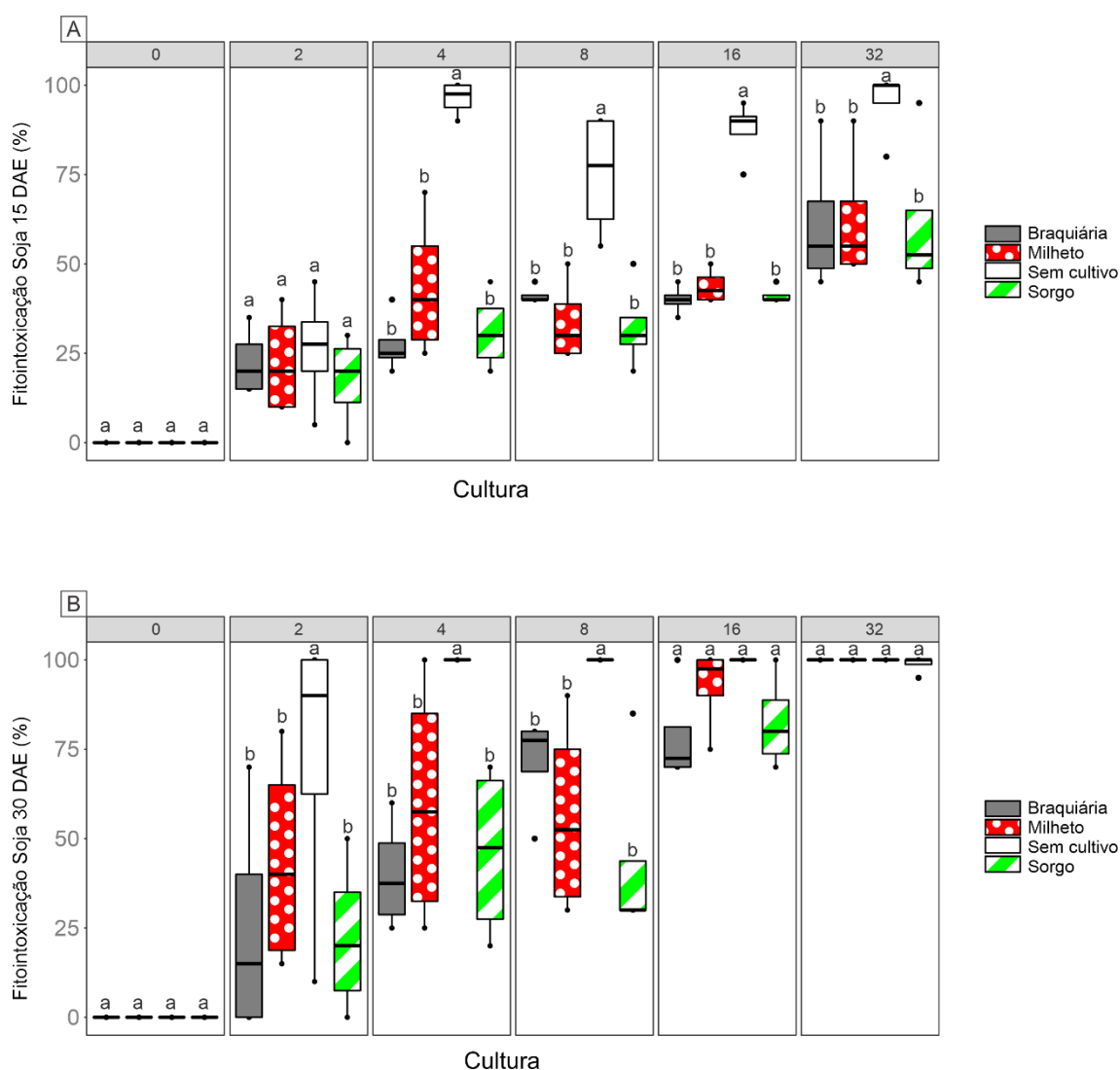


Figura 31 - Análise visual de fitointoxicação da espécie bioindicadora (soja) em função das culturas cultivadas aos (A) 15 DAE e (B) 30 DAE. Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância 0,05.

As doses foram ajustadas ao modelo quadrático de regressão aos 15 e 30 DAE de acordo com cada sistema de cultivo (Figura 32 e Figura 33).

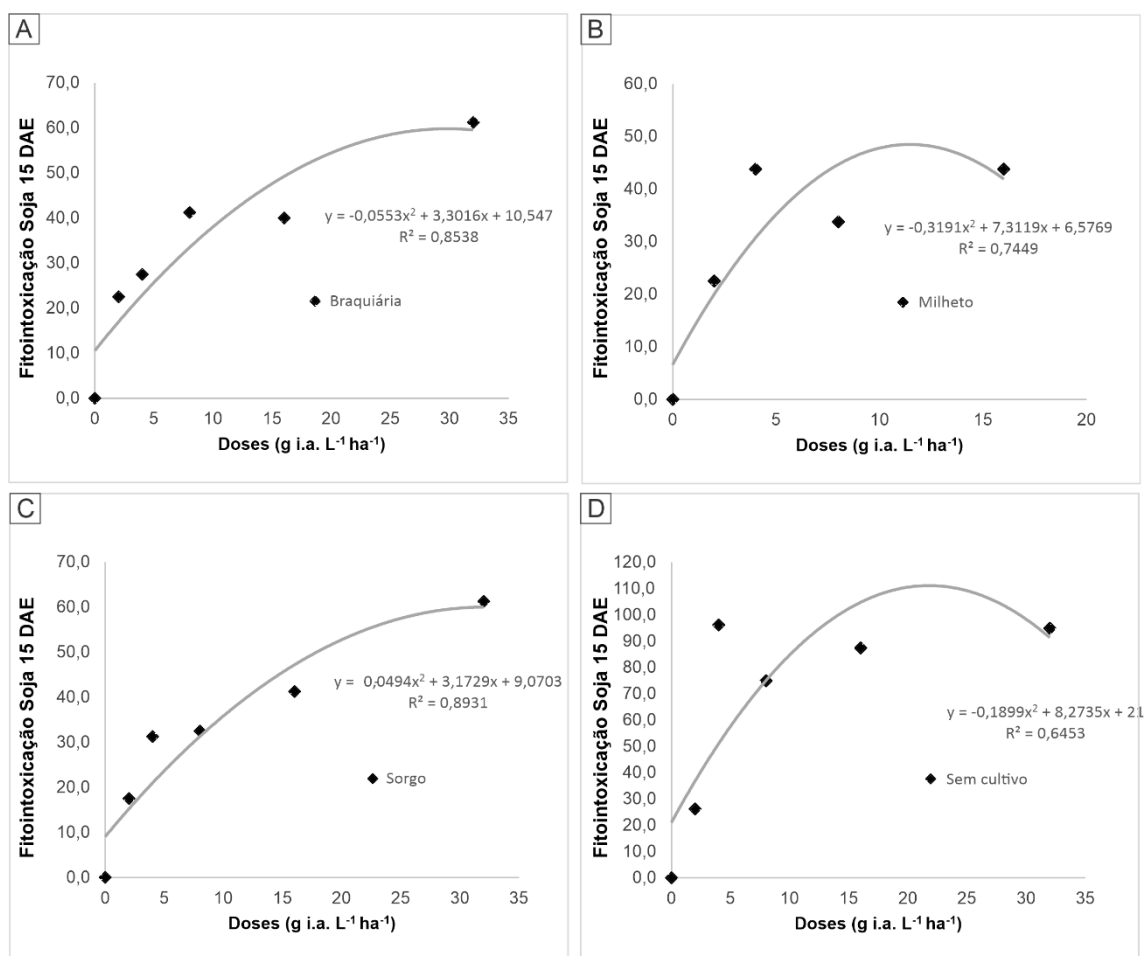


Figura 32 - Análise visual de fitointoxicação aos 15 DAE da espécie bioindicadora (soja) em função das doses de herbicida com solo cultivado com (A) Braquiária, (B) Milheto, (C) Sorgo, (D) Sem Cultivo.

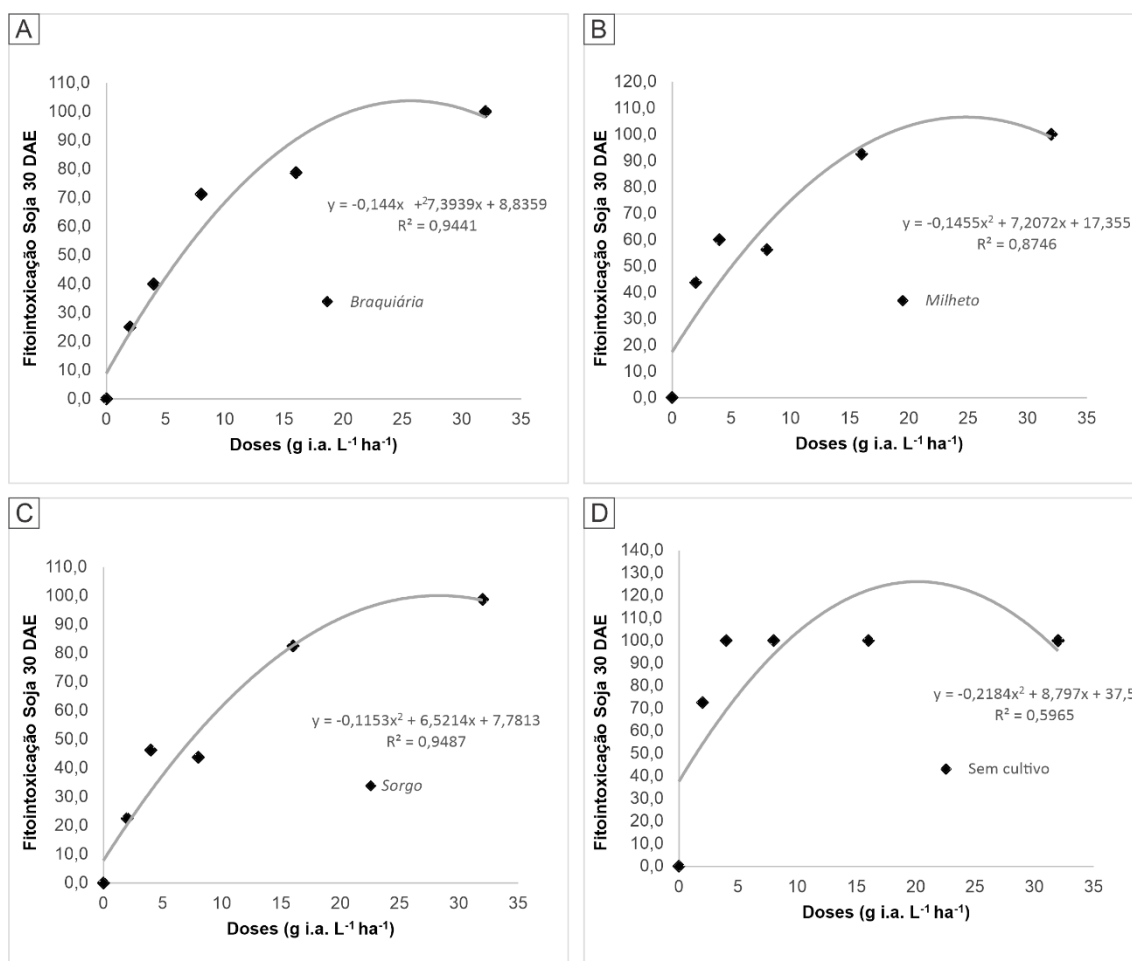


Figura 33 - Análise visual de fitointoxicação aos 30 DAE da espécie bioindicadora (soja) em função das doses de herbicida com solo cultivado com (A) Braquiária, (B) Milheto, (C) Sorgo, (D) Sem Cultivo.

Aos 15 DAE já foi possível observar visualmente o efeito nocivo do picloram na cultura da soja onde constatou-se morte absoluta das plantas (100% na escala visual) nos vasos que tiveram aplicação de herbicida e não haviam sido cultivados. Aos 30 DAE, a partir da dose de 2 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹, a média de sintomas já era superior a 90% de injúrias sentidas pelas plantas.

Esse resultado pode ser observado por Assis et al. (2010a), Assis et al. (2010b) onde encontraram elevada fitotoxicidade em plantas de soja cultivadas após a atuação das plantas de *Eleusine coracana*, independentemente da lâmina de reposição de água aplicada no solo, onde reforçam a alta sensibilidade da planta ao produto, mesmo em doses baixas.

Mesmo assim, fica evidente o trabalho realizado pelas espécies em atenuar a presença do herbicida no picloram de forma a ser menos assimilado pela cultura sensível ao produto. Em solos plantados com o sorgo e o milheto foi

observado poucos sintomas nas culturas de soja quando aplicado a dose de 2 g i.a. $L^{-1} ha^{-1}$, dose correspondente à dose utilizada comercialmente, com médias entre 25% e 35% de fitointoxicação visual, respectivamente.

Nos vasos onde foi aplicado as doses de 4, 8 e 16 g i.a. $L^{-1} ha^{-1}$ os solos tratados com essas culturas, foi possível avaliar sinais entre moderado a graves de injúrias percebidas pela soja, mas que não haviam causado a morte total das plantas.

A braquiária demonstrou comportamento semelhante, mas foi verificada média de taxa de fitointoxicação abaixo de 40% nas doses de 2 e 4 g i.a. $L^{-1} ha^{-1}$.

Carmo et al., (2008c) observou efeitos similares, na toxicidade média das plantas de soja onde ocorreu redução de 43,75% dos sintomas, nível esse que muitas vezes não é suficiente para ocasionar perdas na produtividade de grãos.

Aos 30 DAE se observou comportamento similar na resposta das espécies fitorremediadoras em reduzir os efeitos do picloram na cultura bioindicadora. Contudo, foi constatado maiores danos às plantas de soja devido ao fato de estarem em maior tempo de exposição ao produto no solo, principalmente nos tratamentos com doses mais elevadas.

Nos vasos tratados com sorgo e com milheto, foi encontrado médias abaixo de 50% de fitointoxicação para as doses 2, 4 e 8 g i.a. $L^{-1} ha^{-1}$.

Ainda assim, pode-se observar redução significativa nos sintomas percebidos pela soja, nos tratamentos com cultivo prévio de plantas até à aplicação da dose de 8 g i.a. $L^{-1} ha^{-1}$, demonstrando a ação fitorremediadora das espécies vegetais avaliadas.

Assis et al (2010a) relataram que a melhoria da fitorremediação é significativa apenas quando a contaminação do solo com o herbicida não é elevada.

Vale ressaltar que em todas as doses avaliadas as espécies fitorremediadoras apresentaram médias inferiores aos observados pela testemunha de solo sem cultivo. A figura 34 mostra a estrutura de plantas de soja de acordo com cada dose e cultivo.



Figura 34 - Estrutura de plantas de soja de acordo com as doses de herbicida e separadas por tratamento de solo cultivado com (A) Braquiária, (B) Milheto, (C) Sorgo, (D) Sem Cultivo

4.2.4. Massa fresca e seca da parte aérea e das raízes

Não foi observado diferença estatística para a interação entre os fatores de culturas e doses de herbicida pelo teste F a 5% de probabilidade, em sua análise de variância, no acúmulo de massa da parte aérea e das raízes da espécie bioindicadora.

Ao analisar o efeito isolado das culturas, não houve diferença estatística entre os tratamentos para as variáveis de massa fresca e seca da parte aérea (Figura 35), quando comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Porém foi possível verificar que houve redução de até 30% no acúmulo de massa nos vasos que não tiveram cultivo.

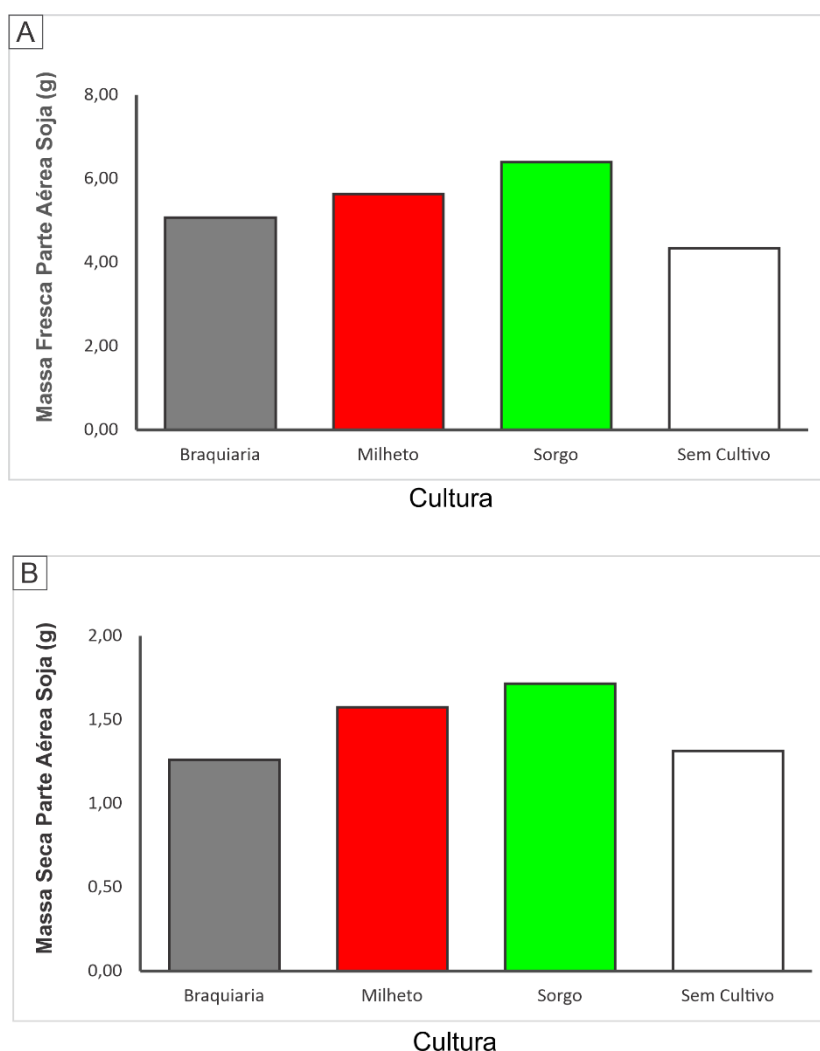


Figura 35 - A) Massa fresca da parte aérea e (B) Massa seca da parte aérea da espécie bioindicadora (soja) em função das culturas (Braquiária, Milheto, Sorgo e Solo Sem Cultivo). Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância 0,05.

Quando analisadas as doses (Figura 36), houve redução nas médias obtidas pelas plantas nos tratamentos em que houve aplicação do herbicida onde foram ajustados ao modelo quadrático de regressão.

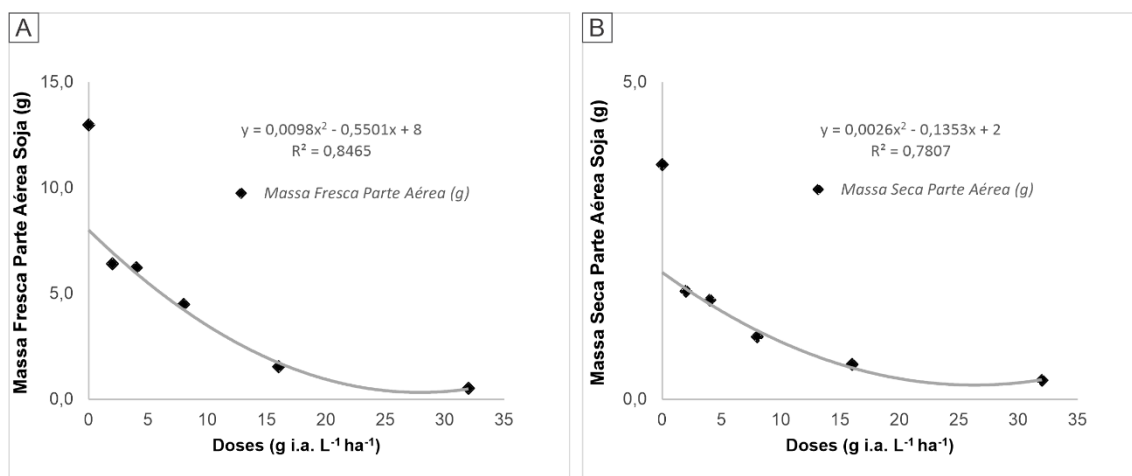


Figura 36 - (A) Massa fresca da parte aérea e (B) Massa seca da parte aérea da espécie bioindicadora (soja) em função das doses de herbicida.

As doses de 16 e 32 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹ registraram os menores resultados com valores bem próximos de zero, principalmente pelo fato de sobrar pouca matéria vegetal ainda não decomposta. As demais doses obtiveram resultados ainda inferiores aos da testemunha sem aplicação.

Esses resultados corroboram com Assis et al (2010a), onde verificaram que a técnica de fitorremediação avaliada empregando-se plantas da espécie *E. coracana* e com os resultados de Assis et al (2010b) em que empregaram plantas de capim-tanzânia, não foi eficiente em garantir pleno acúmulo de massa verde e seca pelas plantas de soja, principalmente em doses mais altas.

Da mesma forma, Timossi et al. (2020) observaram redução dos valores de massa fresca e massa seca de soja de acordo com aumento das doses do herbicida picloram ao avaliarem os efeitos residuais de herbicidas auxínicos em soja.

Analisando separadamente o fator de culturas para a variável de massa seca das raízes observou-se que os maiores valores de massa foram encontrados quando cultivado o sorgo e o milho quando comparados pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade (Figura 37).

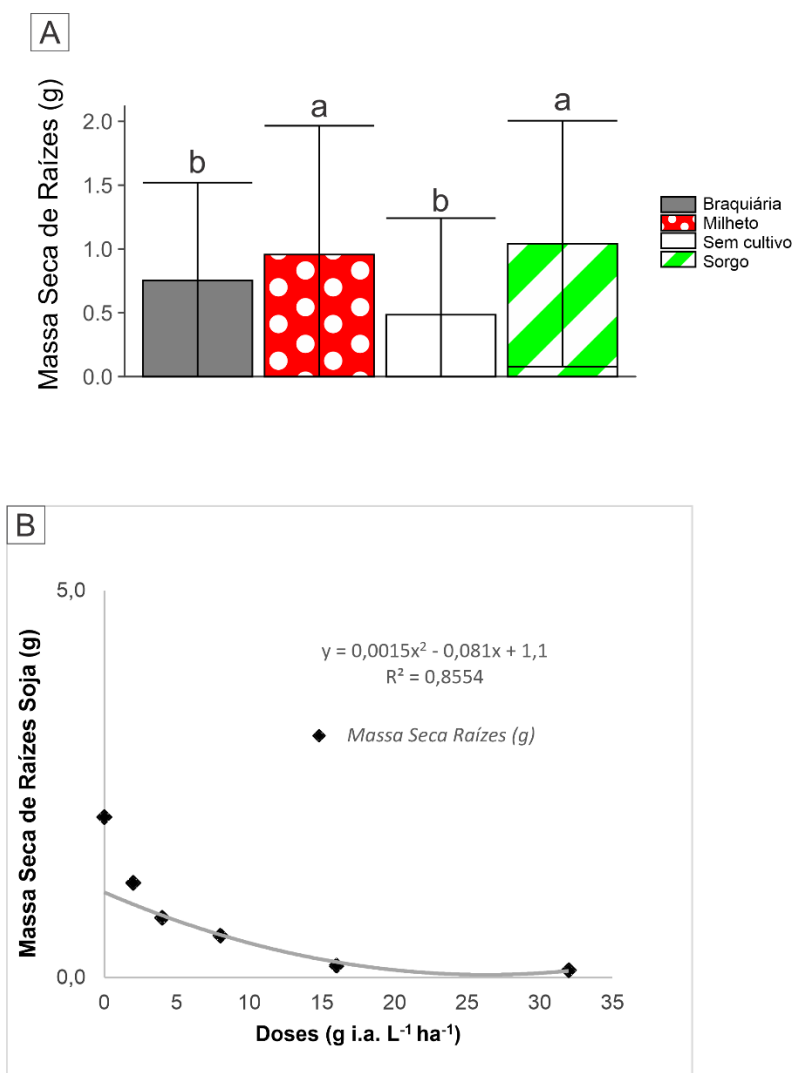


Figura 37 - Massa fresca das raízes da espécie bioindicadora (soja) em (A) função das culturas (B) função das doses de herbicida. Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância 0,05.

Os resultados isolados em função do fator das doses de herbicida permitiram identificar redução na formação de raízes a partir da dose de 2 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹, onde os resultados foram ajustados ao modelo quadrático de regressão.

Nos solos aplicados com as doses de 4 e 8 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹, foi constatado menor incremento de massa de raízes, mas que ainda foi superior aos encontrados pelas doses de 16 e 32 g i.a. L⁻¹ ha⁻¹ onde quase não foi encontrado material para análise com valores próximos a zero.

Franco et al. (2014), analisando a fitorremediação de solos com picloram por *Uroclhoa brizantha*, e Carmo et al. (2008b), trabalhando com diferentes épocas de cultivo de *Panicum maxim*, obtiveram resultados satisfatórios em acúmulo de massa da matéria seca nas plantas bioindicadoras à medida que que aumentaram os dias de permanência das espécies fitorremediadoras.

5. CONCLUSÃO

As espécies fitorremediadoras braquiária, milho e sorgo apresentaram resistência ao herbicida picloram sem sintomas graves de intoxicação e comprometimento das características fisiológicas.

As espécies fitorremediadoras demonstraram potencial em atenuar os efeitos do picloram sobre a cultura sensível (soja) nas doses aplicadas de acordo com a recomendação comercial, mesmo em um curto período de 90 dias.

6. REFERÊNCIAS

ABREU, V. S. et al. Uso de agrotóxicos e equipamentos de proteção individual (E.P.I.) nas propriedades de agricultores familiares de Tartarugalzinho, estado do Amapá. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer** - Goiânia, v.11 n.21; p. 1872, 2015.

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 299-352.

ALENCAR, C.A.B.; CÓSER, A.C.; MARTINS, C.E.; OLIVEIRA, R.A. Altura de capins e cobertura do solo sob adubação nitrogenada, irrigação e pastejo nas estações do ano irrigação e pastejo nas estações do ano. **Acta Scientiarum, Agronomy**, Maringá, v. 32, n.1, p. 21-27, 2010.

ALVES, E. Novas evidências sobre a migração rural-urbana. In: GOMES, M.F.M; COSTA, F. A. (Ed.). **(Des) Equilíbrio econômico & Agronegócio**. Viçosa, MG: UFV: DER, 1999.

ARAÚJO, A. C. P.; NOGUEIRA, D. P.; AUGUSTO, L. G. S. Impacto dos praguicidas na saúde: estudo da cultura de tomate. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 309-313, 2000.

ARMAS, E. D.; MONTEIRO, R. T. R. Uso de agrotóxicos em cana-de-açúcar na bacia do Rio Corumbá e o risco de poluição hídrica. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 6, p. 975-982, 2005.

ASSIS, E.C. et al. Leaching of Picloram in ultisol under different rainfall volumes. **Planta Daninha**, v.29, p.1129-1136, 2011.

ASSIS, R. L. et al. Fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram por plantas de capim pé de galinha gigante. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.11, p.1131–1135, 2010a.

ASSIS, R. L. et al. Fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram por plantas de *panicum maximum* em função do teor de água no solo. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.30, n.5, p.845-853, set./out. 2010b.

BELO, A.F.; et al. Atividade fotossintética de plantas cultivadas em solo contaminado com picloram. *Planta Daninha, Viçosa*, v.29, n.4, p.885-892, 2011.

BONFIM-SILVA, Edna Maria; Silva, Tonny José Araújo. Coleta de Solo - **Análise de Fertilidade**. Universidade Federal do Mato Grosso. Programa em Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEAgri/UFMT) e do Grupo de Práticas em Água e Solo (GPAS). Rondonópolis – MT. 2011.

BRAGA, R. R.; et al. Atividade microbiana de solos contaminados com picloram e cultivados com *Urochloa brizantha*. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 302-314, 2013.

BRITO, G. Z. et al. Lixiviação do herbicida fluroxypyr+ picloram em função do regime hídrico simulado. **Pesquisas agrárias e ambientais Volume VII**. Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora. Cap 3 p. 30-36. 2021

BUNGENSTAB, D. J. Sistemas de integração lavoura pecuária-floresta: a produção sustentável. 2. ed. Campo Grande: **Embrapa Gado de Corte**, 2012. 239 p.

BUSO, W.H.D. et al. Utilização do sorgo forrageiro na alimentação animal. **PUBVET**, Londrina, V. 5, N. 23, Ed. 170, Art. 1145, 2011.

CARMO, M. L. et al. Influência do período de cultivo de *Panicum maximum* (cultivar Tanzânia) na fitorremediação de solo contaminado com picloram. *Planta Daninha, Viçosa*, v. 26, n. 2, p. 315-322, 2008b.

CARMO, M. L. et al. Influência do período de cultivo do capim-pé-de-galinha gigante (*eleusine coracana*) na fitorremediação de solo contaminado com picloram. *Planta Daninha, Viçosa-MG*, v. 26, n. 3, p. 601-609, 2008c.

CARMO, M. L. et al. Seleção de plantas para fitorremediação de solos contaminados com picloram. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v. 26, n. 2, p. 301-313, 2008a.

CARVALHO, L. B. **Herbicidas**. Editado pelo autor, Lages - SC, vi, 62 p., 2013b.

CARVALHO, L. B. **Plantas Daninhas**. Editado pelo autor, Lages - SC, vi, 82 p., 2013a.

CAVALCANTE, J. T.; FERREIRA, P. V.; CUNHA, J. L. X. L.; SILVA JÚNIOR, A. B.; SILVA, M. T.; CARVALHO, I. D. E. Períodos de interferência de plantas daninhas em genótipos de batata-doce. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 26, n. 4, p.640-656, 2017.

CEPEA – CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. PIB Agro Cepea - USP/CNA, 2021. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/>>. Acesso em: 18 mar. 2022.

CHAVES, L. H. G., MESQUITA, E. F., ARAUJO, D. L., FRANÇA, C. P. Acúmulo e distribuição de cobre e zinco em mamoneira cultivar BRS Paraguaçu e crescimento da planta. **Engenharia-Ambiental** -Espírito Santo do Pinhal, v. 7(3), p. 263-277, 2010.

COSTA, N. V. et al. Métodos de controle de plantas daninhas em sistemas orgânicos: breve revisão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 1, p. 25-44, 2018.

CUNNINGHAM, S. D.; ANDERSON, T. A.; SCHWAB, A. P. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. **Adv. Agron.**, v. 56, p. 55-114, 1996.

DANTAS, G.F. et al. Produtividade e qualidade da brachiaria irrigada no outono/inverno. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**., Jaboticabal, v.36, n.3, p.469 - 481, maio/junho, 2016.

D'ANTONINO, L.; et al. Lixiviação do picloram em Argissolo-Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes valores de pH. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 589-600, 2009.

DE OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. Biologia e manejo de plantas daninhas. **Omnipax**, Curitiba, 22 ed., 348 p., 2011.

DE PAULA, D. F. et al. Técnicas para evitar a deriva e volatilização de herbicidas. In: DE LA TORRE, K. A. P. Organizador – Desenvolvimento Sustentável, Interdisciplinaridade e Ciências Ambientais 2. **Atena**, Ponta Grossa - PR: Atena, cap. 10, p. 89 – 116, 2021.

DIAS-FILHO, M. B. Diagnóstico das pastagens no Brasil. **Documentos/ Embrapa Amazônia Oriental**. Belém - PA, 2014. 36 p.

EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL. Report of the 3rd and 4rd meetings of EWRC Committee of methods in weed research. **Weed Research**, Oxford, v. 4, n. 1, p. 88, 1964.

FENNIMORE, S. A.; SLAUGHTER, D. C.; SIEMENS, M. C.; LEON, R. G.; SABER, M. N. Technology for automation of weed control in specialty crops. **Weed Technology**, v.30, n.4, p.823-837, 2016.

FRANCESCHI, M. et al. Comportamento do 2,4-D + picloram em Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.16, n.3, p.238-245, jul./set. 2017.

FRANCESCHI, M. et al. Lixiviação do herbicida 2,4-d + picloram em latossolo vermelho-amarelo Distrófico. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer** - Goiânia, v.11 n.22; p. 2152, 2015.

FRANCO M. H. R. et al. Características fisiológicas do feijoeiro cultivado em solos após fitorremediação do picloram. *Rev. Bras. Herb.*, v.14, n.4, p.315-325, out./dez. 2015.

GASQUES, J. G. et al. Produtividade total dos fatores e transformações da agricultura brasileira: análise dos dados dos censos agropecuários. In: GASQUES, J. G.; VIEIRA FILHO, J. E. R.; NAVARRO, Z. (Org.). **A agricultura brasileira: desempenho, desafios e perspectivas**. Brasília: Ipea, 2010. p. 19-44.

GWYNE, D. C.; MURRAY, R. B. **Weed biology and control in agriculture and horticulture**. London: Batsford Academic and Educational, 1985. 258 p.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS RENOVÁVEIS. Painéis de informações de agrotóxicos. Disponível em: < <http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/paineis-de-informacoes-de-agrotoxicos>>. Acesso em 05 mai. 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo agropecuário 2017, 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 18 mar. 2022.

INDEA - Instituto de Defesa Agropecuária de Mato Grosso. Pecuária de MT quebra novo recorde e rebanho atinge 32,7 milhões de cabeças. Disponível em: < <http://www.indea.mt.gov.br/-/18851655-pecuaria-de-mt-quebra-novo-recorde-e-rebanho-atinge-32-7-milhoes-de-cabecas>>. Acesso em: 05 mai. 2022.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Agrotóxicos no Brasil: Padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória. **Texto para discussão/**. Brasília: Rio de Janeiro: Ipea, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9371/1/td_2506.pdf>. Acesso em: 19/03/2022.

KHAN, N. A. et. Al. Samiullah. Auxin and defoliation effects on photosynthesis and ethylene evolution in mustard. *Scientia Horticulturae*, v.96, n.1, p.43-51, 2002.

LAMELO, F. P. VIDAL R. A. Fitorremediação: plantas como agentes de despoluição? **Pesticidas: r. ecotoxicol. e meio ambiente**, Curitiba, v. 17, jan./dez. 2007

LORENZI, H. Plantas Daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 3ª Edição. Nova Odessa, SP. **Instituto Plantarum**, 2000.n. 2, p. 9-10, 2007.

MACHADO, A. C. R.; MOCHI, A.; MONTEIRO, A. C. Crop optimization and pre-steps standardization to get a *Bipolaris euphorbiae*-based bioherbicide. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, n.4, p.392-399, 2013.

MADALÃO, J. C. et al. Susceptibilidade de espécies de plantas com potencial de fitorremediação do herbicida sulfentrazone. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 60, n.1, p. 111-121, jan/fev, 2013.

MARCHI G. et al. Herbicidas: mecanismo de ação e uso. **Documentos/Embrapa Cerrados**. Planaltina - DF, 2008. 36 p.

MARQUES, R.; AGUIAR, C. R. C.; SILVA, J. J. L. S. Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 35, n. 1, p. 1-11, 2011.

MELO, M. S. C.; ROSA, L. E.; BRUNHARO, C. A. D. C. G., NICOLAI, M., CHRISTOFFOLETI, P. J. Alternativas para o controle químico de capim-amargoso (*Digitaria insularis*) resistente ao glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 11, n. 2, p. 195-203, 2012.

MOOJEN, EDUARDO LONDERO et al. Produção animal em pastagem de milheto sob diferentes níveis de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 2145-2149, 1999.

NATIONAL RISK MANAGEMENT RESEARCH LABORATORY (US). **Introduction to phytoremediation**. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, EPA/600/R-99/107, feb. 2000.

OLIVEIRA, F. C. S. de. **Interferência das plantas daninhas na produtividade e nutrição da cultura do milho verde em São Luís-MA**. 2018. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2018.

OLIVEIRA, G. S. et al. Matocompetição em pastagem de *Panicum maximum* BRS Tamani. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, e42010414388, 2021.

OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. Controle de plantas daninhas: métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia. **Embrapa Milho e Sorgo-Livro técnico (INFOTECA-E)**, 2018.

OLIVEIRA, M. F.; WENDLING I. J. Uso e manejo de herbicidas em pastagens. **Documentos/Embrapa Milho e Sorgo**. Sete Lagoas, 2013. 48p.

PEDREIRA, Carlos Guilherme Silveira; MELLO, ACL de; OTANI, Lyssa. O processo de produção de forragem em pastagens. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 772-807, 2001.

PELLEGRINI, L. G. et al. Diferentes métodos de controle de plantas indesejáveis em pastagem nativa. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 5, p. 1247-1254, 2007.

PEREIRA, L. S. et al. INTERFERÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS EM PASTAGEM DE *Urochloa brizantha* cv. Marandu. **Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v.28, n.1, p.29-41, 2019.

PEREIRA, W.; MELO, W. F.de. **Manejo das Plantas Espontâneas no Sistema de Produção Orgânica de Hortaliças**. Circular Técnica da Embrapa Hortaliças, 2008. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPH-2009/34841/1/ct_62.pdf>. Acesso em 11 abr. 2022.

PILON-SMITS, E. Phytoremediation. **Annual review of plant biology**, v 56, p. 15-39, 2005.

PIRES, F.R. et al. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.21, n.2, p.335-341, 2003.

PIRES, F.R. et al. Fitorremediação de solos contaminados com Tebuthiuron utilizando-se espécies cultivadas para adubação verde. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 23, n. 4, p. 711-717, 2005.

PITELLI, R. A. Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.4, n.12, p.1 – 24, set. 1987.

PITELLI, R. A. Competição entre plantas daninhas e plantas cultivadas. In: Monquero, P. A. **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**: Rima, cap. 3, 61-81, 2014.

PROCÓPIO, S. O. et al. Características fisiológicas das culturas de soja e feijão e de três espécies de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 211-216, 2004.

PROCÓPIO, S. O. et al. Fitorremediação de solo contaminado com picloram por capim-pé-de-galinha gigante (*Eleusine coracana*). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2517-2524, 2008.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, <<http://www.R-project.org/>>. (2018).

REIS, R. A. et al. Suplementação como estratégia de produção de carne de qualidade em pastagens tropicais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 3, p. 642-655, 2012.

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

SAIBRO, J.C.; MARASCHIN, G.E.; BARRETO, I.L. Avaliação do comportamento produtivo de cultivares de sorgo, milho e milheto forrageiros no Rio Grande do Sul. **Anuário Técnico do IPZFO**, v.3, n.1, p.290-304, 1976.

SANTOS, H. G.; et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353p

SANTOS, L. B. O. et al. Determination of picloram in waters by sequential injection chromatography with UV detection. *J. Braz. Chem. Soc.*, v. 21, n. 8, p. 1530-1536, 2010.

SANTOS, M.V. et al. Eficácia e persistência no solo de herbicidas utilizados em pastagem. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 24, n. 2, p. 391-398, 2006.

SCRAMIN, S.; SKORUPA, L. A.; MELO, I. S. Utilização de plantas na remediação de solos contaminados por herbicidas – levantamento da flora existente em áreas de cultivo de cana-de-açúcar. In: MELO, I. S. et al. **Biodegradação**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2001. p. 369-371.

SILVA T. J. et al. Fitorremediação de Solos Contaminados com Metais: Panorama Atual e Perspectivas de uso de Espécies Florestais. **Rev. Virtual Quim.** v. 11 n. 1, p. 18-34, 2019.

SILVA, A. A.; SILVA, J. F. Tópicos em manejo de plantas daninhas. **UFV**: Viçosa, 2007. 367 p.

SILVA, A. G.; REZENDE, P. M.; GRIS, C. F.; GOMES, L. L.; BOTREL, E. P. Consórcio sorgo-soja. IX. Influência de sistemas de cortes na produção de forragens de sorgo e soja consorciados na linha e de sorgo em monocultivo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 2, p.451-461, 2003.

SILVA, M. C. C.; BRAUN, H.; COELHO, F. S. Manejo e controle de plantas daninhas na cultura da batata. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.1, n.1, 2011.

SILVA, S. C. Fundamentos para o manejo do pastejo de plantas forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum*. **Simpósio sobre manejo estratégico da pastagem**, v. 2, p. 347-385, 2004.

TIMOSSI, P. C. et al. Efeito residual de herbicidas na cultura do crame em sucessão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, p. 277-284, 2013

TIMOSSI, P. C.; GAZARINI, A. M.; QUEIROZ, B. B. T.; GONÇALVES, D. C.; ALMEIDA, D. P.; ARAÚJO, R. O. B.; TEXEIRA, I. R. Efeito residual de herbicidas auxínicos em soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 19, n. 3. 2020.

VASCONCELLOS, M. C. et al. Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo. **Estud. Biol., Ambiente Divers.** v. 34, p. 261-267, jul./dez. 2012.

VILAR, F.C. R. et al. Plantas daninhas e suas potencialidades medicinais. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.8, n.2, p.13020-13036, 2022.

VOLL, E.; FERREIRA, A. C. B.; GAZZIERO D. L. P.; ADEGAS, F. S. Tecnologia de aplicação de herbicidas. **Agência Embrapa de informações técnicas- AGEITEC**. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em 18 de março de 2022.

WICKHAM, H. - ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. (2009).

ZHAO, G.W.; WANG, J.H. Effect of auxin on mesocotyl elongation of dark-grown maize under different seeding depths. **Russian Journal of Plant Physiology**, v.57, n.1, p.79- 86, 2010.