

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI -
UFVJM**

Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal

Cícero Teixeira da Silva

**POTENCIAL FITORREMEIADOR DE PLANTAS DE COBERTURA E
PRODUÇÃO DE BIOETANOL**

**DIAMANTINA-MG
2019**

Cícero Teixeira da Silva

**POTENCIAL FITORREMEIADOR DE PLANTAS DE COBERTURA E PRODUÇÃO
DE BIOETANOL**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Produção Vegetal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, área de concentração Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. José Barbosa dos Santos

Coorientador: Prof. Dr. Leandro Galon.

Coorientador: Prof. Dr. Evander Alves Ferreira

DIAMANTINA-MG

2019

Ficha Catalográfica – Sistema de Bibliotecas/UFVJM

Bibliotecário

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

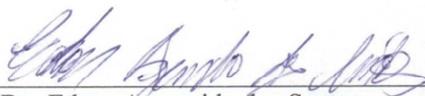
| | |
|-------|--|
| S586p | <p>Silva, Cícero Teixeira. Potencial fitorremediador de plantas de cobertura e produção de bioetanol / Cícero Teixeira Silva. – Diamantina, 2019. 120 p. : il.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. José Barbosa dos Santos</p> <p>Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.</p> <p>1. Agricultura sustentável. 2. Cromatografia. 3. Fitorremediação. 4. Herbicida residual. I.Santos, José Barbosa dos. II. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 628.5</p> |
|-------|--|

**POTENCIAL FITORREMEIADOR DE PLANTAS DE COBERTURA E
PRODUÇÃO DE BIOETANOL**

Cícero Teixeira da Silva

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Produção Vegetal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, área de concentração Produção Vegetal, para obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA EM 10 / 05 / 2019



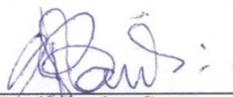
Prof. Dr. Edson Aparecido dos Santos
Universidade Federal de Uberlândia – UFU



Prof. Dr. Evander Alves Ferreira
Faculdade de Ciências Agrárias - UFVJM



Profa. Dra. Marcela Azevedo Magalhães
Faculdade de Ciências Agrárias - UFVJM



Prof. Dr. José Barbosa dos Santos - UFVJM
Presidente

**Diamantina, MG.
2019**

OFEREÇO

A Deus, aos Anjos, aos Santos, que nos momentos de dificuldade e alegria sempre estão ao nosso lado. Aos meus pais, minhas irmãs, minha esposa, meu filho e aos meus amigos.

DEDICO

A todos os brasileiros, em especial aos agricultores, aos educadores, aos índios, aos excluídos da sociedade, às pessoas mais simples e humildes.

AGRADECIMENTOS

Aos Professores:

- ✓ Dr. José Barbosa dos Santos – UFVJM
- ✓ Dr. Evander Alves Ferreira – UFVJM
- ✓ M.Sc. Alisson José Eufrágio de Carvalho – IFMG/SJE
- ✓ Dra. Márcia Vitória – UFVJM
- ✓ Dr. Eulogio Castro Galiano – UJA / Espanha
- ✓ Dr. Daniel Valadão Silva – UFERSA
- ✓ Dr. Leandro Galon – UFFS

Aos pesquisadores:

- ✓ José Antônio Rojas Chamorro - UJA / Espanha
- ✓ Gabriela Madureira Barroso – UFVJM
- ✓ Márcio Marques - UFVJM
- ✓ Cinthia Maethê Holz – UFSS
- ✓ A todos os membros do Grupo de pesquisa INOVAHERB

Aos Grupos de Pesquisa:

- ✓ Grupos de Pesquisa em Manejo Sustentável de Plantas Daninhas – INOVAHERB/UFVJM
- ✓ Tecnologia de Trabalho com Fitorremediação – TETRAFITO/IFMG SJE

Aos colaboradores:

- ✓ Minha esposa Renata Ribeiro Teixeira da Silva
- ✓ Aos meus pais José Osvaldo da Silva e Maria Edilcea Teixeira da Silva
- ✓ Meus amigos

Técnicos Administrativos

- ✓ Josimar Rodrigues Oliveira (UFVJM)
- ✓ Paulo Eduardo Rabelo (UFVJM)
- ✓ Às secretárias do Departamento de Agronomia (UFVJM)
- ✓ Funcionários Terceirizados

As Universidades:

- ✓ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
- ✓ Universidade de Jaen – UJA
- ✓ Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA
- ✓ Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Ao Instituto Federal de Minas Gerais-IFMG

- ✓ Campus São João Evangelista

Aos Financiadores:

- ✓ Program de Pós Graduação em Produção Vegetal – UFVJM
- ✓ Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES
- ✓ Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais - FAPEMIG
- ✓ Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.”

Ao Povo brasileiro

Se a gente fica nervoso, a vida é um mar de espinhos. Se a gente fica calmo, a vida é um mar de rosas. É só acreditar que dará certo...

(José Osvaldo da Silva, meu pai)

RESUMO

O objetivo dessa pesquisa foi selecionar espécies forrageiras capazes de fitorremediar áreas com resíduos de diclosulam, bem como investigar o potencial uso de suas biomassas na produção de bioetanol de segunda geração, como opção de valor agregado ao processo produtivo ao longo do ano agrícola. Para isso, três ensaios foram montados. Foi estimada a produção de etanol das plantas de cobertura cultivadas em solos com resíduos do diclosulam bem como o potencial remediador, em quatro condições edafoclimáticas do Brasil (Couto de Magalhães de Minas, Diamantina e São João Evangelista em Minas Gerais e Erechim no Rio Grande do Sul). A concentração dos resíduos do herbicida diclosulam no solo de cada ambiente, foi estimada por análises cromatográficas, após o cultivo prévio das plantas de cobertura. A conversão da biomassa energética para biocombustíveis foi avaliada por meio da cooperação técnica científica entre a UFVJM e a Universidade de Jaén (Espanha). Os resultados desta pesquisa evidenciaram que a capacidade fitorremediadora das espécies está diretamente ligada às condições edafoclimáticas do ambiente. As espécies com maior potencial para programas de fitorremediação associada à produção de bioetanol em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e regiões com clima *Cwb* são: *Avena sativa*, *Canavalia ensiformis* e *Mucuna aterrima*. Em regiões com clima *Cwa* com resíduos de diclosulam em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, as espécies mais promissoras para programas de fitorremediação são: *Avena sativa* e *Canavalia ensiformis*. Para regiões com clima *Cwa* e com resíduos de diclosulam em Argissolo Amarelo Eutrófico as espécies com maior potencial fitorremediador são: *Avena sativa*, *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformis* e *Mucuna aterrima*. As espécies *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* e *Vicia sativa* não são recomendadas para programas de fitorremediação em áreas com resíduo do herbicida diclosulam em Latossolo Vermelho distrófico e regiões que possuem o clima *Cfa*. A conversão da biomassa energética para biocombustíveis como agregação de valor às plantas de cobertura cultivadas em eventuais áreas contaminadas com resíduos do diclosulam é viável e deve ser considerada nos programas de fitorremediação de áreas com resíduos de herbicidas. A necessidade de otimização de uso das áreas agrícolas é imediata e isso envolve sequências de cultivos que permitam maior lucratividade, pelo uso adequado de adubos e sementes, além dos demais insumos, incluindo os herbicidas. A presente pesquisa demonstrou a viabilidade de algumas espécies vegetais no processo de rotação de culturas capazes de diminuir o resíduo do diclosulam no solo em diferentes regiões brasileiras e ao mesmo tempo apresentou o potencial das espécies fitorremediadoras para uso no seguimento energético. Verificou-se que a dinâmica de persistência do diclosulam foi influenciada pelas condições edafoclimáticas.

Palavras-chave: Bioenergia. Biomassa. Diclosulam. Etanol. Solos brasileiros.

ABSTRACT

The objective of this research was to select forage species capable of phytoremediating areas with dichlosulam residues, as well as to investigate the potential use of their biomasses in the production of second generation bioethanol, as an added value option to the productive process throughout the agricultural year. For this, three tests were set up. It was estimated the ethanol production of cover crops cultivated in soils with residues of diclosulam as well as the remedial potential, in four soil and climatic conditions of Brazil (Couto de Magalhães de Minas, Diamantina and São João Evangelista in Minas Gerais and Erechim in Rio Grande do South). The concentration of the herbicide residues diclosulam in the soil of each environment was estimated by chromatographic analysis, after the previous cultivation of the cover plants. And the conversion of energy biomass to biofuels was evaluated through scientific technical cooperation between the UFVJM and the University of Jaen (Spain). The results of this research evidenced that the phytoremediative capacity of the species is directly linked to the edaphoclimatic conditions of the environment. The species with the highest potential for phytoremediation programs associated to the production of bioethanol in Arenosols Quartzipsamments and regions with *Cwb* climate are: *Avena sativa*, *Canavalia ensiformis* and *Mucuna aterrima*. In regions with *Cwa* climate with residues of diclosulam in Oxisols Red Yellow Dystrophic, the most promising species for phytoremediation programs are: *Avena sativa* and *Canavalia ensiformis*. For regions with *Cwa* climate and with dichlosulam residues in Ultisols Yellow Eutrophic, the species with the highest phytoremediation potential are: *Avena sativa*, *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformis* and *Mucuna aterrima*. The species *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* and *Vicia sativa* are not recommended for phytoremediation programs in areas with residue of the herbicide diclosulam in Ultisols Red Dystrophic and regions that have the *Cfa* climate. The conversion of energy biomass to biofuels as value added to cover crops grown in eventual areas contaminated with dichlosulam residues is feasible and should be considered in the phytoremediation programs of areas with herbicide residues. The need to optimize the use of the agricultural areas is immediate and this involves sequences of crops that allow greater profitability, through the proper use of fertilizers and seeds, besides the other inputs, including the herbicides. The present research demonstrated the viability of some plant species in the rotation process of crops able to decrease the residue of diclosulam in soil in different Brazilian regions and at the same time presented the potential of the phytoremediate species for use in energy monitoring. The dynamics of persistence of diclosulam was found to be influenced by edaphoclimatic conditions.

Key words: Bioenergy. Biomass. Diclosulam. Ethanol. Brazilian soils.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 02 – FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS COM RESÍDUO DE DICLOSULAM USANDO ESPÉCIES CULTIVADAS NO INVERNO

- Figura 01** – Intoxicação (%) de herbicida às espécies de *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus*, *Vicia sativa* e sem cultivo aos 7 e 28 dias após a emergência em função da aplicação de doses de diclosulam.
- Figura 02** – Área foliar (cm²) das espécies *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus*, *Vicia sativa* e sem cultivo aos 28 dias após a emergência em função da aplicação de doses de diclosulam.
- Figura 03** – Massa seca da parte aérea (g/vaso) das espécies de *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus*, *Vicia sativa* e sem cultivo aos 28 dias após a emergência em função da aplicação de doses de diclosulam.
- Figura 04** – Massa seca do sistema radicular (g/vaso) das espécies de *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus*, *Vicia sativa* e sem cultivo aos 28 dias após a emergência em função da aplicação de doses de diclosulam.
- Figura 05** – Intoxicação (%) em plantas de girassol, aos 7 e 28 dias após a emergência, em função do cultivo prévio de *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus*, *Vicia sativa* e sem cultivo após a aplicação de doses de diclosulam.
- Figura 06** – Massa seca (g/vaso) da parte aérea de plantas de *Helianthus annuus* aos 28 dias após a emergência, em função do cultivo prévio *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus*, *Vicia sativa* e sem cultivo após a aplicação de doses de diclosulam.
- Figura 07** – Intoxicação (%) aos 20 e 40 dias após a emergência, em função do cultivo de *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus*, *Vicia sativa* e sem cultivo após a aplicação da dose de 30 g ha⁻¹ de diclosulam. Sendo que na dose 0 de diclosulam não houve intoxicação.
- Figura 08** – Massa seca parte aérea (kg/ha) aos 40 DAS de *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus*, *Vicia sativa* e sem cultivo após a aplicação da dose de 30 g ha⁻¹ de diclosulam.
- Figura 09** – Intoxicação do *Helianthus annuus* (%) em função do cultivo prévio de *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus*, *Vicia sativa* e sem cultivo após a aplicação da dose de 30 g ha⁻¹ de diclosulam. Sendo que na dose 0 de diclosulam não houve intoxicação.

CAPÍTULO 03 - CAPACIDADE REMEDIADORA DE PLANTAS DE COBERTURA PARA O HERBICIDA DICLOSULAM EM CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DIFERENTES

- Figura 01** – Resíduos do diclosulam ($\mu\text{g kg}^{-1}$ de solo) em amostras de Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico de áreas agrícolas do município de Couto de Magalhães de Minas-MG, na Estação Experimental da UFVJM, cultivadas com plantas de cobertura por 60 dias, após a aplicação de 30 g/ha do herbicida.
- Figura 02** – Resíduos do diclosulam ($\mu\text{g kg}^{-1}$ de solo) em amostras de Neossolo Quartzarênico Órtico típico da Estação Experimental do Campus JK da UFVJM Diamantina-MG cultivadas com plantas de cobertura por 60 dias, após a aplicação de 30 g/ha do herbicida.
- Figura 03** – Resíduos do diclosulam ($\mu\text{g kg}^{-1}$ de solo) em amostras de solo de áreas agrícolas do município de São João Evangelista-MG, cultivadas com plantas de cobertura por 60 dias, após a aplicação de 30 g/ha do herbicida.
- Figura 04** – Resíduos do diclosulam ($\mu\text{g kg}^{-1}$ de solo) em amostras de solo de áreas agrícolas do município de Erechim/RS, cultivadas com plantas de cobertura por 60 dias, após a aplicação de 30 g/ha do herbicida.
- Figura 05** – Resíduos de diclosulam ($\mu\text{g kg}^{-1}$ de solo) em diferentes solos brasileiros: Couto de Magalhães de Minas-MG (Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico); São João Evangelista-MG (Argissolo Amarelo Eutrófico); Diamantina-MG (Neossolo Quartzarênico Órtico típico); Erechim-RS (Latossolo Vermelho Distrófico).
- Figura 06** – Intoxicação (%) aos 20 e 40 dias após a emergência, em função do cultivo de *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus*, *Vicia sativa* e sem cultivo após a aplicação da dose de 30 g ha⁻¹ de diclosulam. Sendo que na dose 0 de diclosulam não houve intoxicação.
- Figura 07** – Massa seca parte aérea (kg/ha) aos 40 DAS de *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus*, *Vicia sativa* e sem cultivo após a aplicação da dose de 30 g ha⁻¹ de diclosulam.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 01 - BIOENERGIA COMO VALOR AGREGADO A PLANTAS DE COBERTURA PARA REMEDIAÇÃO DO SOLO COM RESÍDUOS DE DICLOSULAM

- Tabela 01** – Análise química e física do solo da área experimental localizada no Setor de produção de forrageiras do Departamento de Zootecnia da UFVJM/ Diamantina-MG
- Tabela 02** – Relação de plantas de cobertura, dados de espaçamento, densidade, taxa de germinação e profundidade de plantio das espécies usadas em estudo para fitorremediação de solo com resíduos do diclosulam (30 g/ha). Diamantina-MG
- Tabela 03** – Teores de clorofilas A e B, relação Fv/Fm e taxa de transporte de elétrons das plantas de coberturas cultivadas em solo com resíduos de diclosulam (30 g/ha), avaliação realizada aos 20 dias após a semeadura (DAS). Diamantina-MG
- Tabela 04** – Taxa de cobertura do solo (%) e produção de biomassa das plantas de cobertura cultivadas em solo com resíduos de diclosulam (30 g/ha), avaliação realizada aos 40 dias após a semeadura (DAS). Diamantina-MG
- Tabela 05** – Composição dos extratos, celulose, hemicelulose, lignina e grupos acetil da biomassa da parte aérea das plantas de cobertura cultivadas em solo com resíduos de diclosulam (30 g/ha), coletadas aos 40 dias após a semeadura (DAS). Diamantina-MG
- Tabela 06** – Composição dos extratos, celulose, hemicelulose, lignina e grupos acetil da biomassa da parte aérea das plantas de coberturas cultivadas em solo com resíduos de diclosulam (30 g/ha), coletadas aos 60 dias após a semeadura (DAS). Diamantina-MG
- Tabela 07** – Comparação de resultados de produção total de açúcares fermentáveis em função das espécies de cobertura e presença de resíduos do herbicida diclosulam (30 g/ha). Diamantina-MG
- Tabela 08** - Produtividade de massa seca, Celulose, Glucose em (t/ha), percentagem de Celulose, Glucose e produtividade de etanol de Glucose em (t/ha) da biomassa de plantas de cobertura cultivadas em solo com resíduos de diclosulam (30 g/ha) coletadas aos 40 e 60 dias após a semeadura (DAS). Diamantina-MG
- Tabela 09** - Produtividade de Hemicelulose, Xilose, etanol de Xilose, etanol de Glucose mais Xilose em (t/ha), percentagem de Hemicelulose, Xilose e produtividade de etanol em m³/ha da biomassa de plantas de cobertura cultivadas em solo com resíduos de diclosulam (30 g/ha) coletadas aos 40 e 60 dias após a semeadura (DAS). Diamantina-MG

Tabela 08 – Dados meteorológicos nas épocas de coleta de espécies de cobertura 20,40 e 60 dias após a semeadura (DAS), Diamantina-MG

CAPÍTULO 02 – FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS COM RESÍDUO DE DICLOSULAM USANDO ESPÉCIES CULTIVADAS NO INVERNO

Tabela 01 – Análise química física do solo do Experimento, localização: área experimental da UFSS - Erechim-RS

CAPÍTULO 03 - CAPACIDADE REMEDIADORA DE PLANTAS DE COBERTURA PARA O HERBICIDA DICLOSULAM EM CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DIFERENTES

Tabela 01 – Características do clima (segundo classificação de Köppen-Geiger), época de plantio, tipo de solo, teor de matéria orgânica (MO, em %) e plantas de cobertura dos locais de montagem das unidades experimentais para avaliação do potencial de fitorremediação do solo com resíduos do herbicida diclosulam

Tabela 02 – Valores observados aos 50 dias após plantio para clorofilas e número de folhas por planta de cobertura em solo com resíduos do herbicida diclosulam (30 g/ha) cultivado em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico na Estação Experimental da UFVJM em Couto de Magalhães de Minas-MG

Tabela 03 – Valores observados aos 90 dias após plantio para taxa de cobertura do solo, intoxicação (Int.) visual, altura de plantas e matéria seca de parte aérea por planta de cobertura em solo com resíduos do herbicida diclosulam (30 g/ha) cultivado em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico na Estação Experimental da UFVJM em Couto de Magalhães de Minas-MG

Tabela 04 – Taxa de cobertura do solo (%) e produção de biomassa das plantas de cobertura cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico com resíduos de diclosulam (30 g/ha), avaliação realizada aos 40 dias após a semeadura (DAS). Na Estação Experimental do Campus JK da UFVJM em Diamantina-MG

Tabela 05 – Valores observados aos 50 dias após plantio para clorofilas e número de folhas por planta de cobertura em solo com resíduos do herbicida diclosulam (30 g/ha) cultivado em Argissolo Amarelo Eutrófico na Estação Experimental do IFMG em São João Evangelista-MG

Tabela 06 – Valores observados aos 90 dias após plantio para taxa de cobertura do solo, intoxicação (Int.) visual, altura de plantas e matéria seca de parte aérea das plantas de cobertura em solo com resíduos do herbicida diclosulan (30 g/ha) cultivado em Argissolo Amarelo Eutrófico na Estação Experimental do IFMG em São João Evangelista-MG

Tabela 07 – Tabela de correlação de Pearson da quantidade de resíduos de diclosulam em solo com pousio e solo com cultivo de plantas de cobertura em função de atributos das análises de solo das quatro localidades

Tabela 08 – Análise química física do solo do Experimento, localização: Estação Experimental da UFVJM em Couto de Magalhães de Minas-MG

Tabela 09 - Análise química física do solo do Experimento, localização: Estação Experimental do IFMG em São João Evangelista-MG

Tabela 10 - Análise química e física do solo da área experimental localizada no Setor de produção de forrageiras do Departamento de Zootecnia da UFVJM em Diamantina-MG

Tabela 11 - Análise química física do solo do Experimento, localização: área experimental da UFSS em Erechim-RS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------------------|---|
| % | Porcentagem. |
| µg | Micrograma. |
| ALS | Herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase. |
| C.V. | Coefficiente de variação. |
| Cfa | Clima subtropical úmido, verão quente e inverno com precipitações. |
| cm ² | Centímetro quadrado. |
| cmol _c | Centimol de carga. |
| CO ₂ | Dióxido de Carbono. |
| CTC (T) | Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0. |
| CTC (t) | Capacidade de Troca Catiônica Efetiva. |
| Cwa | Clima subtropical de inverno seco. |
| Cwb | Clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno. |
| dag | Decagrama. |
| dm ³ | Decímetro cúbico. |
| ETR | Taxa de transporte de elétrons – µmols elétrons m ⁻² s ⁻¹ . |
| F0 | Fluorescência inicial da clorofila <i>a</i> . |
| Fm | Fluorescência máxima. |
| g | Gramas. |
| ha | Hectare. |
| HPLC | Cromatografia líquida de alta eficiência. |
| ISNa | Índice de Saturação de Sódio. |
| kg | Quilograma. |
| Kow | Coefficiente de partição octanol-água. |
| L | Litro. |
| log | Logaritmo. |
| m | Índice de Saturação de Alumínio. |
| m ² | Metro quadrado. |
| m ³ | Metros cúbicos. |
| mg | Miligramas. |
| MG | Estado de Minas Gerais. |
| mm | Milímetros. |
| MO | Matéria orgânica. |
| °C | Graus Celsius. |
| p<0,05 | Probabilidade de erro experimental. |
| pH | Potencial hidrogeniônico. |
| pKa | Constante de equilíbrio de ionização do ácido. |
| ppm | Partes por milhão. |
| P-rem | Fósforo Remanescente. |
| PV | Pressão de vapor. |
| RS | Estado do Rio Grande do Sul. |
| SB | Soma de Bases Trocáveis. |
| Sw | Solubilidade em água. |
| t | Tonelada. |
| t½ | Meia-vida |
| V | Índice de Saturação de Bases. |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO..... | 9 |
| ABSTRACT..... | 10 |
| LISTA DE FIGURAS..... | 11 |
| CAPÍTULO 02 – FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS COM RESÍDUO DE DICLOSULAM USANDO ESPÉCIES CULTIVADAS NO INVERNO | 11 |
| LISTA DE TABELAS..... | 13 |
| CAPÍTULO 01 - BIOENERGIA COMO VALOR AGREGADO A PLANTAS DE COBERTURA PARA REMEDIAÇÃO DO SOLO COM RESÍDUOS DE DICLOSULAM..... | 13 |
| CAPÍTULO 02 – FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS COM RESÍDUO DE DICLOSULAM USANDO ESPÉCIES CULTIVADAS NO INVERNO | 14 |
| INTRODUÇÃO GERAL..... | 19 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 24 |
| CAPÍTULO 01 - BIOENERGIA COMO VALOR AGREGADO A PLANTAS DE COBERTURA PARA REMEDIAÇÃO DO SOLO COM RESÍDUOS DE DICLOSULAM..... | 29 |
| Resumo: | 29 |
| ABSTRACT..... | 30 |
| Summary:..... | 30 |
| INTRODUÇÃO | 31 |
| MATERIAL E MÉTODOS | 33 |
| RESULTADOS..... | 35 |
| DISCUSSÃO | 39 |
| CONCLUSÕES | 42 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 43 |
| CAPÍTULO 02 – FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS COM RESÍDUO DE DICLOSULAM USANDO ESPÉCIES CULTIVADAS NO INVERNO | 58 |
| Resumo: | 58 |
| ABSTRACT..... | 59 |
| INTRODUÇÃO | 60 |
| MATERIAL E MÉTODOS | 62 |
| RESULTADOS..... | 63 |
| DISCUSSÃO | 65 |
| CONCLUSÕES | 66 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 67 |

| | |
|--|-----|
| CAPITULO 03 - CAPACIDADE REMEDIADORA DE PLANTAS DE COBERTURA PARA O HERBICIDA DICLOSULAM EM CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DIFERENTES | 78 |
| Resumo: | 78 |
| ABSTRACT..... | 79 |
| Summary:..... | 79 |
| INTRODUÇÃO | 80 |
| MATERIAL E MÉTODOS | 81 |
| RESULTADOS..... | 83 |
| DISCUSSÃO | 86 |
| CONCLUSÕES | 91 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 93 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 114 |

ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Imagem 01: Quantificação dos açúcares lignocelulósicos realizado na Universidade de Jaén (UJA) <i>campus</i> Las Lagunillas, no Centro de Estudos Avançados em Energia e Meio Ambiente, Jaén-Espanha..... | 116 |
| Imagem 02: Experimento conduzido no campo Experimental de Forragicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) <i>campus</i> JK em Diamantina-MG..... | 117 |
| Imagem 03: Experimento conduzido na Área Experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) <i>campus</i> Erechim-RS..... | 118 |
| Imagem 04: Experimento conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) em Couto Magalhães de Minas-MG..... | 119 |
| Imagem 05: Experimento conduzido na Área Experimental do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG SJE) <i>campus</i> São João Evangelista-MG..... | 120 |

INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura é a base para o desenvolvimento sustentável de todas as nações, porque é por meio dela que se obtém o alimento essencial à humanidade. O cenário mundial em relação à distribuição dos alimentos aponta para maiores desvantagens para os povos mais pobres, segundo a FAO, 2018 uma em cada nove pessoas no planeta (821 milhões de pessoas) foi vítima da fome em 2017. Este cenário pode piorar em função do crescimento populacional estimado de 9,5 bilhões de pessoas em 2050 (ONU, 2018).

Neste contexto, o Brasil destaca-se mundialmente, tendo em vista que cerca de 30% do território nacional está disponível para agropecuária, cerca de 2.544.000 km², ou seja, mais de 1/3 do total mundial e mais de três vezes a área necessária para atender às necessidades alimentares do mundo (EMBRAPA, 2014).

O Brasil já está entre os principais países produtores de alimentos e bioenergia no mundo (Oliveira Bordonal, *et al.*, 2015). Dentre os produtos agrícolas de maior peso na balança comercial brasileira destacam-se a soja e a cana-de-açúcar. A soja é a principal oleaginosa cultivada no mundo. Segundo o Departamento de Agricultura Americano, 2018 o Brasil passou a ser o maior produtor de soja do mundo, com 33% de toda produção mundial, logo em seguida vêm os Estados Unidos com 32,85% e, posteriormente, a Argentina com 15,80%. Juntos, estes três países são responsáveis por 81,65% da safra mundial. A produção mundial de soja para a safra 2018/2019 será de 354,54 milhões de toneladas. O complexo da soja correspondeu a 34,49% das exportações do agronegócio brasileiro no ano de 2019 (Agrostat, 2019).

A cultura da cana-de-açúcar é importante para a economia do país pela forte movimentação do faturamento no setor industrial (CONAB, 2018). O Brasil ocupa atualmente a posição de maior produtor mundial de cana e de maior produtor de açúcar, sendo responsável por 62% das exportações de açúcar de cana no mundo, e conquista, cada vez mais, o mercado externo com o uso do biocombustível como alternativa energética (MAPA, 2016). No caso do etanol, o país é o segundo maior produtor (ranking liderado pelos Estados Unidos) (UNICA, 2019; APROBIO, 2019). A da cana-de-açúcar pode ser utilizada em várias processos indústrias como: produção de açúcar, álcool, fármacos, ração animal, adubos orgânicos e seus subprodutos e resíduos são utilizados para geração de energia elétrica (EMBRAPA, 2018).

Outro fator relacionado ao desempenho da agricultura brasileira é o consumo de agrotóxicos. O Brasil é o maior consumidor de pesticidas do mundo, com crescimento de 291% entre 2000 e 2014. A classe de agrotóxico mais importante, em volume, é denominada herbicida. (Sindiveg, 2018). A classe dos herbicidas compreende diferentes compostos sendo, muitos deles, potencialmente perigosos para o solo, água, ar e culturas (Hvezdová *et al.*, 2018).

Mesmo quando aplicados corretamente, apenas uma quantidade menor atinge seus alvos, o restante representa potencial contaminante a curto ou longo prazo, com uma ampla gama de possíveis impactos negativos (Hvezdová *et al.*, 2018), sendo uma das principais fontes de contaminação do solo (Wang *et al.*, 2018).

Dentre os impactos negativos causados pelo uso dos herbicidas, o aumento dos casos de resistência de plantas daninhas, em função da pressão de seleção gerada pelo uso intensivo dos herbicidas pode comprometer a produção agrícola. Segundo a Embrapa, 2018 o aumento da incidência de plantas daninhas resistentes a herbicidas tem elevado o custo de produção do agricultor.

A resistência das plantas daninhas aos herbicidas pode ser associada a diversos fatores tais como: uso indiscriminado de um mesmo herbicida, uso de produtos com o mesmo mecanismo de ação (Christoffoleti, 2016; Silva, 2017), estratégias de manejo equivocadas, utilização de máquinas e implementos agrícolas oriundos de regiões que apresentam histórico de resistência (EMBRAPA 2018). Segundo relatos de produtores do Oeste baiano, falhas no controle químico de biótipos de *Conyza* spp, *Digitaria insularis* e *Eleusina indica* em lavouras de soja foram observadas (Costa et al., 2017).

A utilização de herbicidas aplicados em pré-emergência, com efeito residual é uma das alternativas para o manejo de plantas daninhas (Radosevich et al., 2007). Segundo Carvalho et al., 2000 o uso de herbicidas pré-emergentes, que permitem efeito residual no solo, pode reduzir a infestação de plantas daninhas na cultura implantada e, conseqüentemente, proporcionar economia nos custos de controle.

As vantagens associadas a estes herbicidas são: controle de plantas daninhas por maior tempo, o menor número de aplicações com conseqüente redução no custo de produção. No entanto, o intenso uso de herbicidas pode constituir um problema na rotação de culturas ou em cultivos integrados. Herbicidas com efeito residual restringem as opções de cultivo sequenciais (Cholette et al., 2017; Cornelius and Bradley, 2017) e podem causar efeitos tóxicos, conhecidos como *carryover*, às culturas cultivadas em sucessão na mesma área, levando à redução do crescimento, da produtividade e da qualidade dos produtos colhidos (Artuzi & Contieiro, 2006; Soltani et al., 2011; Dan et al., 2012).

A persistência de um herbicida no solo é dependente de características físico-químicas da molécula, como a constante de equilíbrio de ionização do ácido (pKa), o coeficiente de partição octanol-água (Kow), a solubilidade em água (Sw), a pressão de vapor (PV), bem como de características inerentes ao solo, como a granulometria, o pH, a capacidade tampão, a mineralogia, o teor de matéria orgânica e a atividade microbiana, além das condições climáticas (Mancuso et

al., 2011). Pode-se inferir que herbicidas de maior persistência no solo podem apresentar maior efeito residual, tendo assim potencial para prejudicar cultivos posteriores e agroecossistemas (Gonçalves et al., 2018).

Alguns herbicidas convencionalmente utilizados no Brasil possuem destacado efeito residual no solo. São exemplos os herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS), que interrompem a síntese de aminoácidos ramificados valina, leucina e isoleucina entre eles trifloxysulfuron-sodium (Santos et al., 2006; Guerra et al., 2011), imazaquin e imazethapyr (Ulbrich et al., 1998) e diclosulam (Lavorenti et al., 2017) entre outros.

Neste contexto, o herbicida diclosulam adquire relevância estratégica para o controle de plantas daninhas nas culturas da soja e cana-de-açúcar. Este herbicida tem sido uma das principais alternativas para o controle de *Conyza canadenses* resistentes ao glifosato, principalmente durante o manejo de outono ou durante a pré-emergência da soja (Melo et al., 2012; Constantin et al., 2013). O uso de herbicidas residuais permite o controle de diversos fluxos de emergência e a alternância de mecanismos de ação (López-Ovejero et al., 2013).

A aplicação do diclosulam pode promover a redução da interferência de plantas daninhas nas fases iniciais do crescimento, contribuindo para um controle mais efetivo das plantas daninhas na soja (Oliveira Neto et al., 2013).

O herbicida diclosulam [N-(2,6-dichlorophenyl)-5-ethoxy-7-fluoro[1,2,4]triazolo[1,5-c]pyrimidine-2-sulfonamide] pertence ao grupo químico pirimidina sulfonanilidas é altamente tóxico e perigoso ao ambiente, registrado no Brasil para aplicação em soja e cana-de-açúcar (Oliveira, 2011; Brasil, 2019). Este herbicida merece destaque, pois as culturas da cana-de-açúcar e soja ocupam grandes áreas agrícolas e são fundamentais para o agronegócio brasileiro.

A meia-vida ($t_{1/2}$) do diclosulam pode variar entre 16 a 54 dias em estudos realizados em solos paranaenses, argentinos e americanos (Yoder et al., 2000). Em diferentes sistemas de semeadura, os valores de meia-vida encontrados foram de 67 dias, para o sistema de semeadura direta, e de 87 dias, para o sistema de semeadura convencional (Lavorenti et al., 2017). No entanto, algumas espécies podem apresentar maior sensibilidade a esse herbicida, sendo que em bula comercial há restrição de cultivo de brássicas e girassol, nesse último caso, informada carência de 18 meses (MAPA, 2019). O produto comercial do diclosulam nos Estados Unidos da América é Strongarm[®] e lá, a restrição para os cultivos em sucessão para arroz e sorgo são de 18 meses, algodão 10 meses, beterraba e girassol 30 meses, trigo e cevada 4 meses (Dow AgroSciences, 2019).

A degradação do diclosulam no solo é favorecida pela atividade microbiana (Rodrigues e Almeida, 2019), e as condições que favorecem o aumento na atividade microbiana são as mesmas

que favorecem a degradação de pesticidas, tais como: temperatura, umidade e aeração (Monqueiro, 2013).

Segundo Guareschi e Pereira (2015), a rotação de culturas é um princípio fundamental do Sistema de Plantio Direto. As plantas de cobertura geram uma camada de palha sobre a superfície do solo que ajudam na manutenção da umidade, diminuição das oscilações de temperatura do solo, facilitam a infiltração de água, promovem a ciclagem de nutrientes, diminuem a incidência de plantas daninhas, aumentam a matéria orgânica e melhoram as características físicas, químicas e biológicas do solo (Viola, et al., 2013). Isso cria um sistema sustentável, que viabiliza práticas conservacionistas do solo (Anselmo et al., 2014).

No entanto, o sistema de rotação de culturas pode estar comprometido em função do aumento da utilização de herbicidas com efeito residual no solo, que pode prejudicar o desenvolvimento das plantas cultivadas em sucessão com as principais culturas agrícolas brasileiras.

Neste contexto, a fitorremediação é uma importante ferramenta para minimizar o impacto causado pelo residual de herbicidas no solo (Madalão et al., 2012). Ela é definida como uso de plantas capazes de remover, conter ou degradar poluentes (Adki et al., 2014), dentre eles, os herbicidas. Apresenta como vantagens os baixos custos operacionais e de investimento, geração mínima de degradação e estabilização da área a ser descontaminada (Chaves et al., 2010). Plantas de cobertura estão sendo selecionadas como remediadoras em locais com resíduo de herbicidas (Lin et al. 2011; Franco et al., 2014; Sanchez et al. 2017), incluindo o diclosulam (Monquero et al., 2013).

Agregar valor ao processo de remoção de contaminantes químicos residuais no solo através da fitorremediação com posterior utilização da biomassa das plantas cobertura para produção de bioenergia, pode ser uma alternativa sustentável, tendo em vista que uso da biomassa para fins energéticos, em particular, para obtenção de biocombustíveis pode substituir ou complementar os derivados do petróleo (Díaz-Chávez, 2015). Segundo Ren21, 2017 o cultivo de espécies para produção de bioenergia é crescente e aponta tendências de expansão para novos países.

O processo de produção de bioetanol a partir de biomassas lignocelulósicas está baseado na conversão dos açúcares procedentes da celulose e hemicelulose mediante a fermentação com microrganismos específicos (Garcia, 2014). Os combustíveis de segunda geração são produzidos a partir de uma ampla variedade de biomassa lignocelulósica. A segunda geração é chamada de biocombustível avançado, pois é abundante, acessível, sustentável e obtido de fontes renováveis e baixo custo de produção (Demibras, 2009; Escobar et al., 2009; Monlau et al., 2015). Além disso,

não interferem com a produção de alimentos e permitem uma considerável redução na demanda de insumos energéticos na etapa de produção agrícola, melhorando os índices de sustentabilidade dos biocombustíveis (Lora et al., 2012).

Dentre as características que devem ser avaliadas em culturas dedicadas à produção de bioenergia estão a taxa de crescimento, a resposta à competição por luz, o hábito de ramificação, a espessura de caule/colmo e a composição de parede celular (EMBRAPA, 2010).

O objetivo dessa pesquisa foi selecionar plantas de cobertura capazes de fitorremediar áreas com resíduos de diclosulam, bem como investigar o potencial uso de suas biomassas na produção de etanol, como opção de valor agregado ao processo produtivo ao longo do ano agrícola. Para isso, três ensaios foram montados. No primeiro, estimou-se a produção de etanol pelas plantas de cobertura cultivadas em solos com resíduos do diclosulam em cooperação técnica científica entre a UFVJM e a Universidade de Jaén-Espanha. No segundo, avaliou-se o desenvolvimento de espécies adaptadas à região sul do Brasil nas épocas do inverno. No terceiro, o potencial remediador de diversas espécies (em quatro condições edafoclimáticas), estimado pelo cultivo prévio e posterior análise cromatográfica dos resíduos de diclosulam nas amostras de solo de cada condição edafoclimáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADKI, V.S., JADHAV, J.P., BAPAT, V.A. 2014. **At the cross roads of environmental pollutants and phytoremediation: a promising bio remedial approach** 23(2): 125-140.

AGROSTAT. **Estatísticas do Comércio Exterior do agronegócio brasileiro: complexo da soja**, MAPA, 2019. Disponível em: <http://indicadores.agricultura.gov.br/index.htm>

ANSELMO, J. L.; COSTA, D. S.; SÁ, M. E. **Plantas de cobertura para Região de Cerrado: Plantas de cobertura**, n. 25, p.149-154, 2013-2014.

APROBIO. **Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil: Quão competitiva é a produção de biocombustíveis no Brasil e nos Estados Unidos**, 2019. Disponível <https://aprobio.com.br/2019/03/11/quao-competitiva-e-a-producao-de-biocombustiveis-no-brasil-e-nos-estados-unidos/>

ARTUZI, J. P.; CONTIERO, R. L. **Herbicidas aplicados na soja e produtividade do milho em sucessão: Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1119-1123, 2006. doi: 10.1590/S0100-204X2006000700007

BRASIL. **Ministério da Agricultura e do Abastecimento-MAPA: Agrofit- Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Disponível: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: junho de 2019.

CARVALHO, F. T. de; CAVAZZANA, M. A.. Eficácia de herbicidas no manejo de plantas daninhas para o plantio direto de soja. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 1, n. 2, p. 167-172, ago. 2000. ISSN 2236-1065.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento: Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, safra 2017/2018, terceiro levantamento**. Acesso em: 19 fev.2018.

CONSTANTIN J, OLIVEIRA JR RS, OLIVEIRA NETO AM, BLAINSKI E, GUERRA N. **Manejo da buva na entressafra: fundamentos e recomendações para manejo**. Curitiba: Omnipax; 2013. p.41-61.

CORNELIUS, C.D., BRADLEY, K.W., 2017. **Carryover of Common Corn and Soybean Herbicides to Various Cover Crop Species: Weed Technology** 31, 21–31. <https://doi.org/10.1614/WT-D-16-00062.1>

COSTA, A. G. F.; SILVA, A. F.; KARAM, D.; ADEGAS, F. S.; SILVA, W. T. da; PERINA, F.; CARDOSO, G. D.; TERRA, M. A.; VALE, L. S. do; MELO, N. M. da C. **Levantamento da percepção de plantas daninhas resistentes ao glyphosate nos Estados de Mato Grosso, Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia: Congresso Brasileiro De Algodão, 11., 2017, Maceió. Inovação e rentabilidade da cotonicultura: livro de resumos**. Brasília, DF: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, 2017.

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**, 7(3):263-277, 2010.

CHOLETTE, T.B., SOLTANI, N., HOOKER, D.C., ROBINSON, D.E., SIKKEMA, P.H., 2017. **Effect of soybean and winter wheat herbicides on oilseed radish establishment and growth.** *Can. J. Plant Sci.* 97, 1175–1184. <https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0023>

CHRISTOFFOLETI, P. J. et al. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas: Termos e definições importantes.** p. 11-32, set. 2016.

DAN, H. A.; DAN, L. G. M.; BARROSO, A. L. L.; OLIVEIRA NETO, A. M.; GUERRA, N. **Resíduos de herbicidas utilizados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão:** *Caatinga*, v. 25, n. 1, p. 86-91, 2012

DEMIBRAS; A. **Biorefineries: current activities and future developments.** *Energy Conversion and Management*, v 50, n. 11, p 2780-2801, 2009.

DÍAZ-CHÁVEZ, R. **Assessing sustainability for biomass energy production and use.** *The biomass assessment handbook: Energy for a sustainable environment* (pp. 181-209). New York: Routledge, Taylor & Francis Group, 2015.

DOW AGROSCIENCES INDUSTRIAL Ltda. **Bula_AGROFIT_Spider 840 WG_2019_11; Registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA sob nº 19116.** <http://www.adapar.pr.gov.br/arquivos/File/defis/DFI/Bulas/Herbicidas/spider840wg260218.pdf>

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Cana-de-açúcar.** 2018 Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/Abertura.html>.

EMBRAPA. **Embrapa monitoramento por satélite 2014: Resumo** Disponível em <<http://www.alcance.cnpm.embrapa.br>.

EMBRAPA. **Levantamento da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Oeste Baiano / Alexandre Ferreira da Silva... [et al.].** – Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2018. 11 p. : il. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 220). Disponível em: <https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>

EMBRAPA. **A importância da lignina para a produção de etanol de Segunda geração / Cynthia Maria Borges Damasceno. [et al.]:** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 35 p. : il. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 108).

ESCOBAR, J.C; LORA, E.S.; VENTURINI, O.J; YANEZ, E.E.; CASTILLO, E.F.; ALMAZAN, O. **Biofueles: Environment, technology and food security:** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 13, n. 6-7, p. 1275-1287, 2009.

FAO. Food And Agriculture Organization Og The United Nations: **Estatistical Pocketbook 2015.** Disponível em: Acesso em 15 de maio 2018.

FRANCO, M.H.R., FRANÇA, A.C., ALBUQUERQUE, M.T., SCHIAVON, N.C., VARGAS, G.N. **Fitorremediação de solos contaminados com picloram por Urochloa brizantha:** *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 2014.

GARCÍA, A., GONZÁLEZ ALRIOLS, M., & LABIDI, J. **Evaluation of different lignocellulosic raw materials as potential alternative feedstocks in biorefinery processes.** *Industrial Crops and Products*, 53, 102-110, 2014.

GONÇALVES et al.; **Atividade residual de herbicidas nas culturas do milho e da soja**: Revista Ciências Agrárias., v. 61, 2018,. DOI.org/10.22491/rca.2018.2570

GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G. CERRADO. **O que vem sendo realmente praticado**: A Granja, n.795, p.71-73, mar. 2015.

GUERRA, N, OLIVEIRA JR, R.S, CONSTANTIN, J, OLIVEIRA NETO, A.M, SANTOS, G, & JUMES, T.M.C. **Persistência de trifloxysulfuron-sodium e pyriithiobac-sodium em diferentes tipos de solo**. Planta Daninha, 2011.
Disponível em <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582011000300022>

HVĚZDOVÁ, P. KOSUBOVÁ, M. KOŠÍKOVÁ, K.E. SCHERR, Z. ŠIMEK, L. BRODSKÝ, M. ŠUDOMA, L. ŠKULCOVÁ, M. SÁŇKA, M. SVOBODOVÁ, L. KRKOŠKOVÁ, J. VAŠÍČKOVÁ, N. NEUWIRTHOVÁ, L. BIELSKÁ, J. **Hofman Currently and recently used pesticides in Central European arable soils**Sci: Total Environ, 2018., pp. 613-614, 10.1016/j.scitotenv.2017.09.049

LAVORENTI, A., ROCHA, A. A., PRATA, F., REGITANO, J. B., TORNISIELO, V. L., & PINTO, O. B. **Comportamento do diclosulam em amostras de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto e convencional**: Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2017.
Disponível em <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000100019>

LÓPEZ-OVEJERO RF, SOARES DJ, OLIVEIRA WS, FONSECA LB, BERGER GU, SOTERES JK, CHRISTOFFOLETI PJ. **Residual herbicides in weed management for glyphosate resistant soybean in Brazil**. Planta Daninha. 2013;31(4):947-59.

LORA, E.E.S.; VENTURINE, O.J. **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Editora Interciencia , 2012.

LIN, C., LERCH, R.N., KREMER, R.J., GARRETT, H.E. **Stimulated rhizodegradation of atrazine by selected plant species**: Journal of Environmental Quality Abstract- Bioremediation and Biodegradation, 2011.

MADALÃO, J.C.; PIRES, F. R.; NASCIMENTO; A.F.; CHAGAS, K.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PROCÓPIO, S. O. **Fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone em função do tempo de cultivo de Canavalia ensiformis**: Agro@mbiente On-line, v. 10, p. 36-43, 2016.

MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. **Efeito residual de herbicidas no solo: “carryover”**: Revista Brasileira de Herbicidas, v. 10, n. 2, p. 151-164, 2011. DOI: 10.7824/rbh.v10i2.106

MAPA- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO: **Cultura Cana-de-açúcar**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-deacucar>. Acesso em 04 de janeiro de 2016.

MELO MSC, ROSA LE, BRUNHARO CACG, NICOLAI M, CHRISTOFFOLETI PJ. **Alternativas para o controle químico de capim-amargoso (*Digitaria insularis*) resistente ao glyphosate**. Rev Bras Herb. 2012;11(2):195-203.

MONLAU, F.; SAMBUSITI C.; ANTONIOU N.; BARAKAT A.; ZABANIOTOU A. **A new concept for enhancing energy recovery from agricultural residues by coupling anaerobic digestion and pyrolysis process:** Applied Energy, 148, p. 32-38, 2015.

MONQUERO, P.A., CÔRREA, M.C., BARBOSA, L.N., GUTIERREZ, A., HIRATA, A.C.S. **Seleção de espécies de adubos verdes visando à fitorremediação de diclosulam.** Planta Daninha, 2013.

OLIVEIRA BORDONAL, R., LAL, R., ALVES AGUIAR, D., DE FIGUEIREDO, E.B., ITO PERILLO, L., ADAMI, M., THEODOR RUDORFF, B.F., LA SCALA, N., 2015. **Greenhouse gas balance from cultivation and direct land use change of recently established sugarcane (*Saccharum officinarum*) plantation in south-central Brazil:** Renewable and Sustainable Energy Reviews 52, 547–556. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.137>

OLIVEIRA NETO AM, CONSTANTIN J, OLIVEIRA JR RS, GUERRA N, BRAZ GBP, VILELA LMS et al. **Sistemas de dessecação em áreas de trigo no inverno e atividade residual de herbicidas na soja:** Rev Bras Herb. 2013;12:14-22.

OLIVEIRA JR, R. S. **Mecanismos de Ação de Herbicidas.** *Biologia e Manejo de Plantas Daninhas:* Capítulo 7, 171-173 p., 2011.

ONU. **World urbanization prospects:** The United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, Population Estimates and Projections Section, 2018.

RADOSEVICH, S. R.; HOLT, J. S.; GHERSA, C. M. **Ecology of weeds and invasive plants: relationship to agriculture and natural resource management:** John Wiley & Sons, 2007.

REN 21. **Renewables 2017 Global Status Report.** Paris: REN21 Secretariat. Acesso em fevereiro de 2018. Disponível <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf>.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas:** Londrina: Iapar, 2019.
SÁNCHEZ, V., LÓPEZ-BELLIDO, F.J., CAÑIZARES, P., RODRIGUEZ, L. **Assessing the phytoremediation potential of crop and grass plants for atrazine-spiked soils.** Chemosphere, 2017.

SÁNCHEZ, V., LÓPEZ-BELLIDO, F.J., CAÑIZARES, P., RODRIGUEZ, L. **Assessing the phytoremediation potential of crop and grass plants for atrazine-spiked soils.** Chemosphere, 2017.

SANTOS et al. **Fitorremediação de solo contaminado Trifloxysulfuron-sodium por diferentes densidades populacionais de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L). DC.)** 2006
<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v30n3/v30n3a09>

SILVA, A. F. Da et al. **Percepção da ocorrência de plantas daninhas resistentes a herbicidas por produtores de soja-milho safrinha no Estado de Mato Grosso.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, abr. 2017. 26 p. ISSN 1518-4277 (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 209)

SINDIVEG. Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal. **O que você precisa saber sobre defensivos agrícolas**, 2018.

Disponível em: <<http://sindiveg.org.br/wp-content/uploads/2018/08/>

SOLTANI, N.; MASHHADI, R. H.; MESGARAN, M. B.; COWBROUGH, M.; TARDIF, F. J.; CHANDLER, K.; SWANTON, C. J.; SIKKEMA, P. H. **The effect of residual corn herbicides on injury and yield of soybean seeded in the same season**: Canadian Journal of Plant Science, v. 91, n. 3, p. 571-576, 2011. doi: 10.4141/cjps10110.

ULBRICH, ADOLFO V., RODRIGUES, BENEDITO N., & LIMA. **Efeito residual dos herbicidas imazaquin e imazethapyr, aplicados na soja, sobre o milho safrinha**. Planta Daninha, 1998. 16(2), 137-147. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-83581998000200007>

UNICA- União da Indústria de Cana-de-açúcar. Setor sucroenergético. **Mapa de Produção, 2019**. Disponível em: <http://www.unica.com.br/mapa-da-producao/>.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agricultural Supply and Demand Estimates (Wasde 577)**, 2018. Disponível em: <http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/current/wasde/wasde-05-11-2018.pdf>. Acesso em: 10/mai/2018

VIOLA, RICARDO et al. **Adubação verde e nitrogenada na cultura do trigo em plantio direto**: Bragantia, Campinas, v. 72, n. 1, p. 90-100, Mar. 2013.

YODER, R. N. et al. **Aerobic metabolism of diclosulam on US and South American soils**: Journal of agricultural and food chemistry, v. 48, n. 9, p. 4335-4340, 2000.

WANG, Q., LI, C., PANG, Z., WEN, H., ZHENG, R., CHEN, J., MA, X., QUE, X. **Effect of grass hedges on runoff loss of soil surface-applied herbicide under simulated rainfall in Northern China**. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2018.

CAPÍTULO 01 - BIOENERGIA COMO VALOR AGREGADO A PLANTAS DE COBERTURA PARA REMEDIAÇÃO DO SOLO COM RESÍDUOS DE DICLOSULAM

Resumo: O objetivo do trabalho foi avaliar plantas de cobertura potencialmente fitorremediadoras de resíduos do herbicida diclosulam no solo e quantificar a produção de etanol de segunda geração destas plantas. Foram avaliadas as características fisiológicas, a produção de biomassa, a taxa de cobertura, a produção de açúcares fermentáveis da biomassa e a produção de etanol das plantas de cobertura em solo com resíduos de diclosulam 40 e 60 dias após a semeadura, na dose comercial de 30 g ha⁻¹. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 8x2, sendo o primeiro fator constituído pelas plantas de cobertura *Avena sativa*, *Canavalia ensiformes*, *Crotalaria ochroleuca*, *Mucuna aterrima*, *Panicum maximum*, *Pennisetum glaucum*, *Raphanus sativus* e *Urochloa decumbens* e o segundo, pela presença ou não do herbicida diclosulam no solo. A presença do herbicida diclosulam no solo diminuiu a produção de massa seca das espécies avaliadas e aumentou a produção de etanol em alguns casos. Conclui-se que as espécies com maior potencial para programas de fitorremediação e produção de bioetanol de segunda geração em solos com resíduos do diclosulam são: *A. sativa*, *C. ensiformis* e *M. aterrima*.

Palavras-Chave: Agricultura sustentável. Agroenergia. Fitorremediação. Persistência.

ABSTRACT

Summary: The objective of this work was to evaluate potential phytoremediation plants of residues of the diclosulam herbicide in the soil and to quantify the second generation ethanol production of these plants. The physiological characteristics, the biomass production, the coverage rate, the biomass fermentable sugars production and the ethanol production of the cover plants in soil with residues of diclosulam 40 and 60 days after sowing at the commercial dose of 30 g ha⁻¹. The experimental design was in randomized blocks with four replications. The treatments were arranged in an 8x2 factorial scheme, being the first factor constituted by the cover plants *Avena sativa*, *Canavalia ensiformes*, *Crotalaria ochroleuca*, *Mucuna aterrima*, *Panicum maximum*, *Pennisetum glaucum*, *Raphanus sativus* and *Urochloa decumbens* and the second, by the presence or not of the diclosulam herbicide not only. The presence of the diclosulam herbicide in the soil decreased the dry mass production of the evaluated species and increased the ethanol production in some cases. It is concluded that the species with the greatest potential for phytoremediation programs and production of second generation bioethanol in soils with residues of diclosulam are *A. sativa*, *C. ensiformis* and *M. aterrima*.

Keywords: Agroenergy. Persistence. Phytoremediation. Sustainable agriculture.

INTRODUÇÃO

O cultivo de espécies para produção de bioenergia é crescente e aponta tendências de expansão para novos países (Ren21, 2017). A produção global de bioetanol, por exemplo, aumentou mais de 100% entre 2007 e 2016 (Ahmad Dar et al., 2018). Estados Unidos, Brasil e China lideram a produção mundial de biocombustíveis a partir do etanol (Qin et al., 2018). O Brasil apresentou avanço na produção de bioenergia nos últimos anos, sendo o segundo maior produtor de biocombustíveis. (Oliveira Bordonal et al., 2015; Bento et al., 2018).

O uso da biomassa para fins energéticos, em particular, para obtenção de biocombustíveis pode substituir ou complementar os derivados do petróleo (Díaz-Chávez, 2015). Nesse contexto, existem quatro grupos principais de biomassa que podem ser utilizados para produção de biocombustíveis: oleaginosas, açucaradas, amiláceas e lignocelulósicas (Vassilev y col., 2013; Garcia, 2014). O processo de produção de bioetanol de segunda geração a partir de biomassas lignocelulósicas está baseado na conversão dos açúcares procedentes da celulose e hemicelulose mediante a fermentação com microrganismos específicos (Romero-García, 2016; Castro et al., 2017).

Em algumas situações observa-se conflito entre produção de biomassa e/ou biocombustíveis com a produção de alimentos (Schroder et al., 2018; Humpenoder et al., 2018; Venghaus e Acosta, 2018). A soja e a cana-de-açúcar são exemplos de cultivos destinados à produção de alimentos como farelo, óleo, proteína e açúcar, bem como biocombustíveis (Zuanazzi e Mayorga, 2010). Lora et al., (2012) argumenta que a produção de biocombustíveis de segunda geração, não interfere com a produção de alimentos. Outros autores também destacam este argumento, considerando que os biocombustíveis de segunda geração são produzidos através da biomassa lignocelulósica, chamado de biocombustível avançado, pois é abundante, acessível, sustentável e obtido de fontes renováveis e de baixo custo de produção (Demibras, 2009; Escobar et al., 2009; Monlau et al., 2015).

Desde 2008 o Brasil se destaca como maior consumidor mundial de produtos fitossanitários e representa cerca de 20% do total do mundo (Albuquerque et al., 2016). Somente nas culturas da soja e da cana-de-açúcar estão registradas 106 herbicidas para o controle de plantas daninhas (Brasil, 2019). Essas duas culturas, juntas, respondem por 42 milhões de hectares em área para cultivo no Brasil (CONAB, 2017). Porém, o intenso uso de herbicidas pode constituir um problema na rotação de culturas ou em cultivos integrados, pois a deposição de agrotóxicos residuais no solo é efetiva fonte de contaminação (Wang et al., 2018).

Herbicidas com efeito residual restringem as opções de cultivo sequenciais (Cholette et al., 2017; Corneliu et al., 2017) e podem causar efeitos tóxicos, conhecidos como *carryover*, às

culturas cultivadas em sucessão na mesma área, levando à redução do crescimento, da produtividade e da qualidade dos produtos colhidos (Artuzi & Contieiro, 2006; Soltani et al., 2011; Dan et al., 2012).

Com o aumento dos casos de resistência de plantas daninhas ao controle químico (Costa et al., 2017) os herbicidas com efeito residual no solo, podem ser estratégicos para o modelo produtivo atual. Estes herbicidas permitem o controle de diversos fluxos de emergência e a alternância de mecanismos de ação (López-Ovejero et al., 2013).

Neste contexto, o herbicida diclosulam adquire relevância para o controle de plantas daninhas nas culturas da soja e cana-de-açúcar. Este herbicida tem sido uma das principais alternativas para o controle de *Conyza canadenses* resistentes ao glifosato, principalmente durante o manejo de outono ou durante a pré-emergência da soja (Melo et al., 2012; Constantin et al., 2013). A aplicação do diclosulam evita o fluxo de emergência e promove a redução de plantas daninhas nas fases iniciais da soja e cana, contribuindo para um controle mais efetivo destas plantas (Oliveira Neto et al., 2013; Santos et al., 2016).

O herbicida diclosulam pertence ao grupo das triazolopirimidinas, é altamente tóxico e perigoso ao ambiente, registrado no Brasil para aplicação em soja e cana-de-açúcar (Oliveira, 2011; Brasil, 2019). Esse herbicida apresenta efeito residual que pode variar em função da umidade, teor de argila e matéria orgânica do solo (Lavorenti et al., 2003). A soja não poderá ser rotacionada com as seguintes culturas de outono plantadas imediatamente após a sua colheita: girassol, sorgo e brássicas sendo que, o girassol só poderá ser plantado 18 meses após a colheita da soja (Brasil, 2019).

Para mitigar estes efeitos danosos dos herbicidas residuais no solo, a fitorremediação pode ser uma estratégia viável, por apresentar baixos custos operacionais e de investimento, geração mínima de degradação e estabilização da área a ser descontaminada (Chaves et al., 2010). A fitorremediação é definida como uso de plantas associadas ou não a microrganismos que são capazes de remover, conter ou degradar diferentes tipos de poluentes dentre eles, os herbicidas (Adki et al., 2014).

A utilização da biomassa de plantas fitorremediadoras para a produção de bioenergia é uma alternativa que pode agregar recurso financeiro em áreas com resíduos do herbicida diclosulam, que impede a rotação de culturas que são sensíveis a este herbicida. Plantas de cobertura estão sendo selecionadas como remediadoras em locais com resíduo de herbicidas (Lin et al. 2011; Franco et al., 2014; Sanchez et al. 2017), incluindo o diclosulam (Monquero et al., 2013).

As plantas de cobertura fitorremediadoras detêm potencial para produção de bioenergia, pela biomassa lignocelulósica, o que agrega valor ecológico e econômico ao sistema produtivo. Além das características fitorremediadoras das espécies utilizadas em programas de fitorremediação, a taxa de crescimento, a resposta à competição por luz, o hábito de ramificação, a espessura de caule/colmo e a composição de parede celular devem ser consideradas quando a biomassa for destinada para a produção de biocombustíveis de segunda geração (EMBRAPA, 2010).

Para a escolha das espécies avaliadas neste trabalho foram considerados ensaios preliminares com diclosulam (Monquero et al., 2013), além de testes realizados pelo grupo de pesquisa INOVAHERB, relativos a capacidade fitorremediadora de algumas espécies de interesse. Foram realizadas avaliações fisiológicas aos 40 e 60 dias após a semeadura para avaliar a capacidade fitorremediadora das espécies quando cultivadas a campo. Amostras da biomassa da parte aérea foram coletadas para a quantificação dos açúcares lignocelulósicos e analisadas na Universidade de Jaén-ES.

O objetivo do trabalho foi avaliar plantas de cobertura potencialmente fitorremediadoras de resíduos diclosulam no solo e quantificar a produção de etanol de segunda geração destas plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campo experimental de Forragicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) *campus* JK em Diamantina-MG, durante o outono, entre os meses março e maio de 2016. O clima do local do experimento é mesotérmico, Cwb na classificação de Köppen, com verões amenos e úmidos, invernos frios e secos. Durante a execução do experimento a temperatura média foi de 21°C (Inmet, 2016).

O solo do experimento (Tabela 01) foi classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico, apresenta classificação textural tipo areia-franca conforme classificação da (Embrapa, 2006).

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 8x2, sendo o primeiro fator constituído pelas plantas de cobertura *Avena sativa* L., *Canavalia ensiformes* L., *Crotalaria ochroleuca* L., *Mucuna aterrima* L., *Panicum maximum* L., *Pennisetum glaucum* L., *Raphanus sativus* L. e *Urochloa decumbens* L. e o segundo, pela presença ou não do herbicida diclosulam no solo. O espaçamento utilizado e a densidade de sementes por área foram realizados em função de cada espécie (Tabela 02). Testes de germinação foram realizados para todas as espécies no Laboratório de Manejo

Integrado de Plantas Daninhas, pertencente ao Grupo de Pesquisa INOVAHERB da UFVJM. Após a semeadura as parcelas experimentais mantiveram-se irrigadas.

As parcelas experimentais possuíam dimensões de 3,0 x 2,5 m. Para o plantio das espécies, realizou-se o preparo convencional do solo (aração e gradagem). A adubação foi realizada segundo as exigências nutricionais de cada espécie e a calagem foi feita em área total para elevar a saturação por bases a 60%, conforme recomendado pelo manual da adubação e calagem (Novais et al., 2007).

O herbicida diclosulam foi aplicado com dois bicos tipo leque, por meio de pulverizador de ar comprimido equipado com um bocal de jato plano TT11002 calibrado para fornecer 150L ha⁻¹ de volume de pulverização. A dose aplicada foi de 35,7 g ha⁻¹ do produto comercial Spider 840 WG (equivalente a 30 g ha⁻¹ do diclosulam) um dia antes da semeadura das espécies.

Avaliações fisiológicas das plantas foram realizadas no terço médio da lâmina foliar adulta, correspondente à quarta ou quinta folha totalmente expandida, contando da base para o meristema apical, aos 20 dias após a aplicação dos herbicidas. As medições da fluorescência da clorofila foram realizadas após 30 minutos de adaptação ao escuro, sendo realizadas no período matutino, com emissão de pulsos de luz saturante de 0,3 segundos, sob frequência de 0,6 kHz, permitindo a determinação da fluorescência inicial da clorofila *a* (F0 – elétrons quantum⁻¹), fluorescência máxima (Fm – elétrons quantum⁻¹), a razão entre a fluorescência variável e fluorescência máxima da *clorofila a* (Fv/Fm) e a taxa de transporte de elétrons (ETR – μmols elétrons m⁻² s⁻¹). As mensurações foram realizadas com o auxílio do aparelho JUNIOR-PAM, colocado na região mediana da lamina foliar, no lado adaxial, em um dos lados do limbo foliar, ou de um dos folíolos, evitando a nervura central da planta (Ferreira et al., 2015).

Aos 40 dias após semeadura (DAS), a estimativa da porcentagem de cobertura vegetal foi realizada com base em escala de valor de zero a cem (onde zero equivale à ausência de plantas na parcela e cem equivale à parcela totalmente coberta por plantas) de acordo a metodologia proposta pela SBCPD (1995) (Tabela 04).

A coleta das amostras das plantas de cobertura para quantificação dos açúcares da biomassa ocorreu aos 40 DAS para as espécies: *A. sativa*, *C. ensiformes*, *M. aterrima* e *P. glaucum* e aos 60 DAS para as espécies: *C. ochroleuca*, *P. maximum*, *R. sativus* e *U decumbens*. Esta diferenciação nas épocas de coleta se fez necessário em virtude dos diferentes estágios fenológicos das espécies avaliadas. Foram coletados cinco indivíduos no centro da parcela e em seguida, lavados em água corrente e água destilada e acondicionadas na estufa de circulação de ar forçado a 70°C até atingir peso constante para posterior moagem em peneira com crivo de 5mm.

Estas amostras foram embaladas a vácuo, seladas e encaminhadas para o Departamento de Engenharia Química, Ambiental e dos Materiais da Universidade de Jaén–Espanha, onde se realizou a quantificação dos açúcares lignocelulósicos. Estas análises foram viabilizadas em função da cooperação técnica científica entre a UFVJM e a Universidade de Jaén, que através do programa *Erasmus* permitiu que o doutorando, responsável por esta pesquisa acompanha-se *in loco* os processos químicos de quantificação dos açúcares contidos na biomassa lignocelulósica das espécies avaliadas nesta pesquisa.

A caracterização dos açúcares da biomassa foi realizada conforme procedimento descrito por NREL (2012). Os açúcares monoméricos foram quantificados (após a hidrólise, 30 min, 120°C, 3% de ácido sulfúrico) e o teor de manitol for determinado por HPLC em extrato aquoso produzido na etapa de quantificação dos extrativos ("Extrativos em biomassa"). Os líquidos de caracterização sólida foram centrifugados e filtrados através de membranas de 0,45 µm (Gelman Sciences, Inc., Michigan, EUA) e analisados por HPLC para análise quantitativa de hidratos de carbono. O sistema de HPLC (Waters, Milford, EUA) foi equipado com um detector de índice de refração (modelo 2414). Uma coluna de análise de carboidratos CARBOsep CHO-782 Pb (Transgenomic, Inc., Omaha, EUA) operando a 70°C com água ultrapura como fase móvel (0,6 ml/min) foi usada para os açúcares monoméricos (arabinose, galactose, glicose, manose e xilose) e determinações de manitol. O teor de ácido acético foi analisado por HPLC em um sistema Hewlett-Packard 1100 (Palo Alto, CA, EUA) equipado com detector de índice de refração. A separação foi realizada com uma coluna Aminex HPX-87H (Bio-Rad, Hercules, CA, EUA) operando a 65°C com 5 mm de ácido sulfúrico como eluente a uma taxa de fluxo de 0,6 ml/min.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias significativas, comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância, utilizando o programa estatístico SISVAR.

RESULTADOS

Observou-se efeito do herbicida nos tratamentos, verificado pela comparação dos resultados na presença e na ausência do diclosulam.

O teor de *clorofila a* entre as plantas de cobertura não foi influenciado pelo herbicida. O teor de *clorofila b* foi alterado em plantas cultivadas em solo com diclosulam. Esse fato foi observado para *C ochroleuca*, *P maximum* e *R sativus*, que mostraram menores valores nos teores de *clorofila b* quando submetidos ao diclosulam (Tabela 03).

A relação fluorescência variável/fluorescência máxima (relação Fv/Fm) foi semelhante entre espécies. Contudo, essa variável, comparada nas espécies tratadas ou não pelo herbicida, foi menor para *C. ochroleuca*, *P. maximum* e *R. sativus* (Tabela 03).

A taxa de transporte de elétrons (ETR) foi diferente entre as espécies avaliadas, sendo maior para *A. sativa*, *C. ochroleuca*, *P. glaucum* e *U. decumbens* em solo sem herbicida. As espécies *C. ochroleuca*, *P. maximum* e *R. sativus* apresentaram queda em ETR em plantas cultivadas em solo com resíduos do diclosulam (Tabela 03).

Avena sativa, *C. ensiformes* e *M. aterrima* não apresentaram variações na taxa de cobertura do solo em função da presença do herbicida aos 40 DAS (Tabela 04). Para as demais espécies, a taxa de cobertura do solo foi afetada negativamente pela presença do herbicida.

Após a caracterização dos açúcares manométricos das biomassas avaliadas, não foi detectada a presença de manitol nas espécies nas duas épocas avaliadas. Ao avaliar a concentração de açúcares no componente não estrutural das células aos 40 e 60 DAS (Tabelas 5 e 6) observa-se que a Glucose foi o açúcar de maior ocorrência. Ainda nesta fração não estrutural da célula, a variação na concentração dos açúcares em função da presença do herbicida ocorreu apenas aos 40 DAS (Tabela 5).

Avena sativa e *M. aterrima* tiveram a concentração de celulose acrescida em função da presença do herbicida aos 40 DAS (Tabela 05). *Pennisetum glaucum* obteve a maior concentração de celulose na ausência do herbicida e *C. ensiformes* não sofreu alteração na concentração de celulose em função da presença ou ausência do herbicida aos 40 DAS (Tabela 05). As maiores concentrações de celulose aos 40 DAS (Tabela 05) na presença de herbicida foram observadas para as espécies *A. sativa*, *C. ensiformes*, *M. aterrima* e *P. Glaucum*.

Aos 60 DAS (Tabela 06) as espécies *C. ochroleuca*, *P. maximum*, *R. sativus* e *U. decumbens* apresentaram as maiores concentrações de celulose na ausência do herbicida.

A concentração de glucose na presença do herbicida aos 40 DAS (Tabela 05) foi superior quando comparado ao tratamento sem herbicida nas espécies *A. sativa* e *C. ensiformes*. Já aos 60 DAS, a concentração de glucose foi maior na ausência do herbicida em todas as espécies (Tabela 06). Ainda nesta época, quando na presença do herbicida, as espécies com maiores concentrações de Glucose foram *C. ochroleuca*, *P. maximum* e *R. sativus*.

Ao se avaliar a concentração de hemicelulose aos 40 e 60 DAS (Tabela 05 e 06) verificou-se que a presença do herbicida não alterou a concentração de hemicelulose para as espécies, exceto para *A. sativa* que aos 40 DAS (Tabela 05) obteve acréscimo na concentração de hemicelulose em função da presença do herbicida, sendo esta espécie juntamente com *P. glaucum*

produziram as maiores concentrações de hemicelulose nesta época. Já aos 60 DAS (Tabela 06) a espécie com maior concentração de hemicelulose na presença do herbicida foi *U. decumbens*.

No entanto, dentro da composição estrutural dos açúcares que compõem a hemicelulose houve variação na concentração dos açúcares em função da presença do herbicida aos 40 e 60 DAS (Tabela 05 e 06). Nestas duas épocas o açúcar de maior ocorrência foi a Xilose, sendo que aos 40 DAS (Tabela 05) *A. sativa* e *M. aterrima* tiveram as maiores concentrações de Xilose na presença do herbicida, *P. Glaucum* na ausência e *C. ensiformes* a concentração deste açúcar foi igual na presença e ausência do herbicida. Já aos 60 DAS (Tabela 06) a maior concentração de Xilose na presença do herbicida foi observada na espécie *U. decumbens* seguida da espécie *P. maximum*.

Aos 40 DAS (Tabela 05) a espécie com menor concentração de lignina foi *C. ensiformes* na presença do herbicida e a única espécie aos 40 DAS (Tabela 05) que não sofreu alteração na concentração de lignina em função da presença do herbicida foi *A. sativa*. *Mucuna aterrima* teve sua concentração de lignina aumentada em função do herbicida e *P. glaucum* diminuída (Tabela 05).

Para os componentes estruturais da célula (celulose e hemicelulose) *A. sativa* está contida no grupo com maior concentração de Glucose, Xilose, Galactose e Arabinose (Tabela 05). *Canavalia ensiformes* obteve baixas concentrações de celulose, Glucose e hemicelulose quando comparada as demais espécies, porém produziu a menor concentração de lignina e ácido acético (Tabela 05). *Mucuna aterrima* teve suas concentrações de celulose, açúcares da hemicelulose aumentadas em função da presença do herbicida, com tudo observa-se aos 40 DAS à produção de lignina foi aumentada em função da presença do herbicida (Tabela 05).

Aos 60 DAS à presença do herbicida aumentou a concentração de lignina para todas as espécies, exceto para *C. ochroleuca* que não apresentou diferença nas concentrações de lignina em função da presença ou ausência do herbicida. A menor concentração de lignina na presença do herbicida foi na espécie *P. maximum*. As demais espécies na presença do herbicida tiveram concentrações de lignina estatisticamente iguais (Tabela 06).

As espécies com menor concentração de ácido acético na presença do herbicida aos 40 DAS (Tabela 05) foi *C. ensiformes* e *A. sativa* foi a única espécie que não sofreu alteração na concentração deste ácido em função da presença ou ausência do herbicida.

A concentração de ácido acético foi maior na presença do herbicida na espécie *C. ochroleuca* e *R. sativus* aos 60 DAS (Tabela 06). *Panicum maximum* não sofreu alteração na concentração de ácido acético (Tabela 06).

Aos 40 DAS (Tabela 07), as espécies *A. sativa* e *P. glaucum* na presença do herbicida, produziram as maiores concentrações de açúcares fermentáveis, seguidas das espécies *M. aterrima* e *C. ensiformes*. O diclosulam não influenciou a concentração total destes açúcares nas espécies *A. sativa*, *C. ensiformes* e *M. aterrima*. Para as espécies avaliadas aos 60 DAS (Tabela 07) na presença do herbicida as maiores concentrações de açúcares foram observadas nas espécies *C. ochroleuca*, *P. maximum* e *U. decumbens*, sendo que estas espécies não diferiram entre si. *Panicum maximum* foi à única espécie que não sofreu alteração na concentração total de açúcares em função da presença ou a ausência do herbicida.

A presença do herbicida diclosulam no solo diminuiu a produção de massa seca para todas as espécies avaliadas exceto: *C. ensiformis* e *M. aterrima* aos 40 DAS (Tabela 08). Na presença do herbicida, a produção de etanol de glucose foi maior do que na ausência para as espécies: *Avena sativa*, *M. aterrima* e *C. ensiformes* com as seguintes produtividades respectivamente 1,079; 0,044; 0,025 t/ha (Tabela 08). Aos 60 DAS na presença do herbicida a espécie *U. decumben* obteve a maior produção de etanol glucose com 0,433 t/ha seguida por *P. maximum*, *C. ochroleuca* e *R. sativus* com 0,184; 0,162 e 0,110 t/ha respectivamente (Tabela 08).

A produtividade de hemicelulose na presença do herbicida aos 40 DAS para as espécies *A. sativa* e *P. glaucum* foram de 6.187 e 2.711 t/ha respectivamente. Aos 60 DAS *U. decumbens* e *P. maximum* produziram 3,58 e 0,989 t/ha de hemicelulose (Tabela 09). Aos 40 DAS a produção de etanol de Xilose foi maior na presença do herbicida para todas as espécies exceto *P. glaucum*. Já aos 60 DAS todas as espécies avaliadas produziram mais etanol de Xilose na ausência do herbicida (Tabela 09).

Aos 40 DAS, na presença do herbicida, a produção de etanol foi maior do que na ausência, exceto *P. glaucum*. *Avena sativa*, *P. glaucum*, *M. aterrima* e *C. ensiformes* produziram respectivamente 1,901; 0,994; 0,060 e 0,035; m³ de etanol/ha (Tabela 09). Aos 60 DAS observou-se que a maior produção de etanol ocorreu na ausência do herbicida para todas as espécies avaliadas. Aos 60 DAS *R. sativus*, *U. decumbens*, *P. maximum* e *C. ochroleuca* produziram na presença do herbicida 0,166; 0,920; 0,328 e 0,239 m³ de etanol/ha. *Avena sativa* e *P. glaucum* produziram mais etanol dentre todas as espécies avaliadas na presença do herbicida, seguidas pela por *U. decumbens*, *P. maximum* e *C. ochroleuca* (Tabela 09).

As plantas de cobertura coletadas aos 40 DAS produziram mais etanol do que as plantas coletadas aos 60 DAS (Tabela 09).

DISCUSSÃO

A análise da fisiologia das plantas confirmou o potencial fitorremediador das plantas de cobertura para ambientes com resíduos do herbicida diclosulam (Tabelas 03 e 04). Clorofila *a* e clorofila *b* possuem papéis distintos e a variação de valores pode ser caracterizada como resultante da variabilidade genética entre as espécies. Souza et al. (2009), ao estudarem cultivares de cana-de-açúcar submetidas a sulfentrazone, imazapic, isoxaflutole, clomazone e ametryn + trifloxysulfuron-sodium, aplicados em pós-emergência, observaram diferenças nos teores de clorofila entre cultivares, considerando esse fator como atributo genético. Os autores também não observaram, 60 dias após a aplicação dos herbicidas, redução no teor de clorofila *a*.

Em todos os tratamentos avaliados os valores da relação Fv/Fm permaneceram dentro da faixa 0,75 a 0,85. Essa faixa indica ausência de danos provocados pelo herbicida ao aparato fotossintético das espécies avaliadas. O valor da relação Fv/Fm foi proporcional ao rendimento quântico da fase fotoquímica da fotossíntese (Butler e Kitajima, 1975). Declínio da relação Fv/Fm é indicador do dano fotoinibitório quando plantas estão sujeitas a estresses do ambiente (seca e frio, por exemplo) ou proporcionado por poluentes ou herbicidas (Ferreira et al., 2015). Os valores de Fv/Fm para as plantas de cobertura indicam bom estado fisiológicos, sem qualquer efeito de estresse proporcionado pela aplicação do diclosulam.

Por outro lado, a *ETR* proporciona informações importantes sobre a eficiência quântica da fase fotoquímica e dissipação de calor. Esse indicador é importante para a fotossíntese das plantas e, em última análise, a produtividade, pois é utilizada para fornecer energia e reduzir o poder de assimilação de CO₂ (Murchie; Lawson, 2013). Importante salientar que o herbicida diclosulam afetou negativamente as espécies *C. ochroleuca*, *P. maximum* e *R. sativus*, reduzindo os valores de *ETR* em relação às parcelas cultivadas na ausência do herbicida. Dessa forma, pode-se presumir que a baixa alocação de matéria seca e taxa de cobertura do solo por essas espécies podem ser consequências do efeito sobre a taxa de transporte dos elétrons.

O diclosulam, por ser um herbicida inibidor da enzima ALS, apresenta efeito indireto no aparato fotossintético. Esse herbicida pertence ao grupo das triazolopirimidinas sulfonamidas que competem com o aminoácido leucina pela ligação à acetolactato sintase afetando a síntese de proteínas (Marchioretto e Magro, 2017). Foi possível distinguir dois grupos de plantas para as análises fitotécnicas quanto à sensibilidade ao diclosulam. As espécies *A. sativa*, *C. ensiformis* e *M. aterrima* não foram afetadas pelos resíduos do herbicida. As demais espécies apresentaram menores valores de taxa de cobertura e alocação de matéria seca quando cultivadas em solo contaminado. Esse resultado é interessante, pois, a aplicabilidade da fitorremediação como inovação tecnológica de limpeza de áreas com resíduos do diclosulam dependerá não somente da

capacidade remediadora da espécie vegetal, mas também da sua viabilidade competitiva frente às demais espécies daninhas na área. Os resultados fisiológicos associados aos de produção de biomassa foram fundamentais para seleção das espécies que seguiram para as análises de potencial bioenergético. O material lignocelulósico é formado por tecidos que são constituídos por células com parede celular, cujas formas e tamanhos variam com a espécie de planta e tecido histológico onde está inserida (Fengel; Wegener, 1989). A variação na proporção destes componentes lignocelulósicos (celulose, hemicelulose e lignina), depende da espécie vegetal de origem, do tecido, da idade da planta, da fase de crescimento e da camada da parede celular (Rodrigues, 2007). Além disso, as peculiaridades dos produtos gerados a partir da biomassa estão diretamente relacionadas com o processo utilizado na sua transformação (Embrapa Agroenergia, 2013).

A coleta dos materiais ocorreu em épocas distintas, com variação da temperatura e umidade (Tabela 10). A amplitude térmica durante as avaliações foi em média de 15°C entre os períodos diurnos e noturnos (Tabela 10). Segundo (Larcher, 2000) a variação de qualquer fator ambiental, a partir da condição ideal, não provoca necessariamente estresse em plantas devido à plasticidade e capacidade de aclimação dos vegetais. O estresse inicia-se com a restrição ou variação imprevisível dos fatores biótico e/ou abióticos que prejudicam o desempenho de alguma função vital para a planta e tem como consequência a perturbação da homeostase fisiológica, o que pode ter interferido na biossíntese dos componentes da parede celular, tais como celulose, hemicelulose, pectina e lignina, que dependem do fornecimento de açúcares que foram fixados pelo processo fotossintético (Taz et al., 2017).

O acúmulo dos aminoácidos e açúcares livres pode ser originado da restrição à síntese de proteínas e da hidrólise das reservas de amido, podendo ser também oriundos de distúrbios ocasionados pela deficiência de água nos tecidos do floema, diminuindo a sua translocação para outros órgãos da planta (Carvalho, 2005). O que pode ter ocorrido em função do solo ser arenoso e com pouca capacidade de retenção de água, mesmo com suplementação via irrigação. Bioquimicamente, as plantas alteram o metabolismo de diversas maneiras, para ajustarem-se aos estresses ambientais, incluindo a produção de compostos osmorreguladores, tais como a prolina (aminoácido) e glicina betaína (amina quaternária) (Taz et al., 2017).

A variação na concentração dos açúcares estruturais pode ocorrer em função destas variações ambientais quando na ausência do herbicida. No entanto, quando estas plantas foram submetidas à presença do herbicida pode-se associar a variação da concentração dos açúcares estruturais além do fator ambiental, o efeito do estresse causado pelo herbicida diclosulam, que atua inibindo a enzima acetolactato sintase (ALS), a qual é essencial para a síntese de aminoácidos valina, leucina e isoleucina (Fartyal et al., 2018).

Se por um lado, maior tempo de cultivo proporciona menor disponibilidade de resíduos (Madalão et al., 2016), por outro lado, menor número de dias após a semeadura permite plantas menos lignificadas. A lignina por ser um composto polifenólico da parede celular, pode interferir diretamente com a hidrólise enzimática da celulose, por deixar às microfibras fisicamente menos acessíveis as enzimas (Damasceno et al., 2010; Van der Weijde et al., 2013). Além disso, após ocorrer sua hidrólise, são liberados compostos fenólicos que juntamente com ácidos fracos e derivados de furano promovem uma inibição na etapa de fermentação, diminuindo o crescimento e a produtividade dos microrganismos por interferir na duplicação do DNA e causar mutações (Siqueira, 2015), acarretando um menor rendimento na produção de etanol (Palmqvist; Hahn-Hädergal, 2000).

Na biomassa lignocelulósica há componentes considerados não essenciais à composição da parede celular (extratos), são substâncias oriundas do metabolismo celular, tais como açúcares, compostos aromáticos, ceras, ácidos graxos, resinas. Normalmente estão associados a propriedades como cor, odor, sabor. Ainda há na biomassa compostos inorgânicos denominados de cinzas, que persistem mesmo depois da queima dos materiais em altas temperaturas como os carbonatos, exalatos e silicatos. Estas frações não estruturantes da célula representam 2 a 8% da massa total em base seca, contudo depende do tipo da natureza da biomassa (Carvalho et al., 2005).

Para que a celulose e a hemicelulose possam liberar os açúcares estruturais componentes da parede celular é necessária uma etapa de pré-tratamento para fragmentar a estrutura cristalina da lignocelulose a fim de remover a lignina, como esta etapa é a mais cara na produção de etanol a partir de materiais lignocelulósicos, a interação entre os carboidratos da parede celular e a lignina deve ser reduzida para que haja conversão biológica da celulose em açúcares fermentáveis (Wyman et al., 2005; Pacheco et al., 2014). Assim, para a seleção de espécies fitorremediadoras do herbicida diclosulam e que possuam potencial para produção de biocombustível de segunda geração é preciso considerar além das características fitorremediadoras a composição da biomassa lignocelulósica. Preconiza-se que a espécie selecionada tenha altas concentrações de celulose para obtenção de Glucose, baixa concentração de lignina e pouca produção de ácido acético, que dificultam o processo de extração de açúcares e diminuem a eficiência da fermentação via microrganismos.

CONCLUSÕES

As espécies *Crotalaria ochroleuca*, *Panicum maximum*, *Raphanus sativus* e *Urochloa decumbens* não são indicadas para a produção de bioenergia em áreas com resíduos do herbicida diclosulam.

O diclosulam não compromete a concentração de açúcares fermentáveis das espécies avaliadas aos 40 DAS, exceto *Pennisetum glaucum*.

As espécies com maior potencial para programas de fitorremediação associada à produção de bioetanol são *Avena sativa*, *Canavalia ensiformis* e *Mucuna Aterrima*.

A produção de etanol é maior nas plantas de cobertura, quando há menor lignificação da biomassa.

Dentre todas as espécies avaliadas *Avena sativa* produziu a maior quantidade de etanol na presença do herbicida.

A conversão da biomassa energética para biocombustíveis como agregação de valor às forrageiras cultivadas em eventuais áreas contaminadas com resíduos do diclosulam é viável e deve ser considerada nos programas de fitorremediação de áreas com resíduos de herbicidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADKI, V.S., JADHAV, J.P., BAPAT, V.A. **At the cross roads of environmental pollutants and phytoremediation: a promising bio remedial approach**, 2014.

AHMAD DAR, R., AHMAD DAR, E., KAUR, A., GUPTA PHUTELA, U. **Sweet sorghum-a promising alternative feedstock for biofuel production**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.066>

ALBUQUERQUE, A.F., RIBEIRO, J.S., KUMMROW, F., NOGUEIRA, A.J.A., MONTAGNER, C.C., UMBUZEIRO, G.A. **Pesticides in Brazilian freshwaters: a critical review**. Environ. Sci.: Processes Impacts, 2016.

<https://doi.org/10.1039/C6EM00268D>

ARTUZI, J. P.; CONTIERO, R. L. **Herbicidas aplicados na soja e produtividade do milho em sucessão**: Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 41, n. 7, p. 1119-1123, 2006. doi: 10.1590/S0100-204X2006000700007

BENTO, C.B., FILOSO, S., PITOMBO, L.M., CANTARELLA, H., ROSSETTO, R., MARTINELLI, L.A., DO CARMO, J.B. **Impacts of sugarcane agriculture expansion over low-intensity cattle ranch pasture in Brazil on greenhouse gases**. Journal of Environmental Management, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.085>

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO-MAPA. **Agrofit-Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**.

Disponível: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: Abril de 2019.

BUTLER, W.L.; KITAJIMA, M. In: **Proceedings of the 3rd International Congress on Photosynthesis**. (ed.) Avron, M. Elsevier, Amsterdam. 1975.

CARVALHO, C.J.R. **Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [S. parahyba var. amazonicum] e *Schizolobium parahyba* [Schizolobium parahybum] à deficiência hídrica**. Árvore, 2005.

CARVALHO, W. et al. **Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira**. Química Nova, 2005.

CASTRO, C.A. DE O., RESENDE, R.T., KUKI, K.N., CARNEIRO, V.Q., MARCATTI, G.E., CRUZ, C.D., MOTOIKE, S.Y. **High-performance prediction of macauba fruit biomass for agricultural and industrial purposes using Artificial Neural Networks**. Industrial Crops and Products 108, 806–813, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.07.031>

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, 2010.

CHOLETTE, T.B., SOLTANI, N., HOOKER, D.C., ROBINSON, D.E., SIKKEMA, P.H. **Effect of soybean and winter wheat herbicides on oilseed radish establishment and growth**. Can. J.

Plant Sci. 2017.

<https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0023>

CONAB-COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acesso em abril de 2017.

CORNELIUS, C.D., BRADLEY, K.W. **Carryover of Common Corn and Soybean Herbicides to Various Cover Crop Species**. Weed Technology, 2017. <https://doi.org/10.1614/WT-D-16-00062.1>

CONSTANTIN J, OLIVEIRA JR RS, OLIVEIRA NETO AM, BLAINSKI E, GUERRA N. **Manejo da buva na entressafra: fundamentos e recomendações para manejo**. Curitiba: Omnipax; 2013.

COSTA, A. G. F.; SILVA, A. F.; KARAM, D.; ADEGAS, F. S.; SILVA, W. T. da; PERINA, F.; CARDOSO, G. D.; TERRA, M. A.; VALE, L. S. do; MELO, N. M. da C. **Levantamento da percepção de plantas daninhas resistentes ao glyphosate nos Estados de Mato Grosso, Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia**: Congresso Brasileiro De Algodão, 11., 2017, Maceió. Inovação e rentabilidade da cotonicultura: livro de resumos. Brasília, DF: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, 2017.

DAMASCENO, C. M. B.; SOUSA, S. M. DE; NODA, R. W.; PARRELLA, R. A. DA C.; SCHAFFERT, R. E.; MAGALHAES, J. V. **A importância da lignina para a produção de etanol de segunda geração**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.

DAN, H. DE A., DAN, L.G. DE M., BARROSO, A.L. DE L., PROCÓPIO, S. DE O., JÚNIOR, O., DE, R.S., BRAZ, G.B.P., ALONSO, D.G. **Bioactivity of herbicides used to soybean on sunflower crop in succession**. Ciência Rural, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000081>

DEMIBRAS; A. **Biorefineries: current activities and future developments**. Energy Conversion and Management, v 50, n. 11, p 2780-2801, 2009.

DÍAZ-CHÁVEZ, R. **Assessing sustainability for biomass energy production and use. The biomass assessment handbook: Energy for a sustainable environment** (pp. 181-209). New York: Routledge, Taylor & Francis Group, 2015.

EMBRAPA AGROENERGIA. **Biomassa para química verde**. Brasília, 2013.

EMBRAPA. **A importância da lignina para a produção de etanol de Segunda geração / Cynthia Maria Borges Damasceno. [et al.]**: Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 108), 2010.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro, 2006. ISBN 85-85864-19-2

ESCOBAR, J.C; LORA, E.S.; VENTURINI, O.J; YANEZ, E.E.; CASTILLO, E.F.; ALMAZAN, O. **Biofuelles: Environment, technology and food security**: Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 13, n. 6-7, p. 1275-1287, 2009.

FARTYAL, D., AGARWAL, A., JAMES, D., BORPHUKAN, B., RAM, B., SHERI, V., AGRAWAL, P.K., ACHARLY, V.M.M., REDDY, M.K. **Developing dual herbicide tolerant transgenic rice plants for sustainable weed management**. Scientific Reports, 2018.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin: Walter de Gruyter, 1989.

FERREIRA, E.A., MATOS, C.C., BARBOSA, E.A., SILVA, D.V., SANTOS, J.B., PEREIRA, G.A.M., FARIA, A.T., SILVA, C.T., **Respostas fisiológicas da mandioca à aplicação de herbicidas**. Semina, 2015.

FRANCO, M.H.R., FRANÇA, A.C., ALBUQUERQUE, M.T., SCHIAVON, N.C., VARGAS, G.N. **Fitorremediação de solos contaminados com picloram por *Urochloa brizantha***. Pesquisa Agropecuária Tropical, 2014.

GARCÍA, A., GONZÁLEZ ALRIOLS, M., & LABIDI, J. **Evaluation of different lignocellulosic raw materials as potential alternative feedstocks in biorefinery processes**. Industrial Crops and Products, 2014.

HUMPENÖDER, F., POPP, A., BODIRSKY, B.L., WEINDL, I., BIEWALD, A., HERMANN LOTZE-CAMPEN, DIETRICH, J.P., KLEIN, D., KREIDENWEIS, U., MÜLLER, C., SUSANNE ROLINSKI, STEVANOVIC, M. **Large-scale bioenergy production: how to resolve sustainability trade-offs?** Environ. Res. Lett, 2018. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9e3b>

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia: Estação Meteorológica Diamantina-MG, 2016.

LAVORENTI, A. et al. **Comportamento do diclosulam em amostras de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto e convencional**. R. Bras. Ci. Solo, v. 27, n. 2, p. 183-190, 2003.

LÓPEZ-OVEJERO RF, SOARES DJ, OLIVEIRA WS, FONSECA LB, BERGER GU, SOTERES JK, CHRISTOFFOLETI PJ. **Residual herbicides in weed management for glyphosate resistant soybean in Brazil**. Planta Daninha. 2013.

LORA, E.E.S.; VENTURINE, O.J. **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Editora Interciencia , 2012.

LIN, C., LERCH, R.N., KREMER, R.J., GARRETT, H.E. **Stimulated rhizodegradation of atrazine by selected plant species**. Journal of Environmental Quality Abstract- Bioremediation and Biodegradation, 2011.

MADALÃO, J.C. ; PIRES, F. R. ; NASCIMENTO. A.F. ; CHAGAS, K. ; CARGNELUTTI FILHO, A. ; PROCÓPIO, S. O. **Fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone em função do tempo de cultivo de *Canavalia ensiformis***. Agro@mbiente On-line, v. 10, p. 36-43, 2016.

MARCHIORETTO, L.R., MAGRO, T.D. **Weed control and crop selectivity of post-emergence herbicides in common beans.** Ciência Rural, 2017.

MELO MSC, ROSA LE, BRUNHARO CACG, NICOLAI M, CHRISTOFFOLETI PJ. **Alternativas para o controle químico de capim-amargoso (*Digitaria insularis*) resistente ao glyphosate.** Rev Bras Herb. 2012.

MONLAU, F.; SAMBUSITI C.; ANTONIOU N.; BARAKAT A.; ZABANIOTOU A. **A new concept for enhancing energy recovery from agricultural residues by coupling anaerobic digestion and pyrolysis process:** Applied Energy, 148, p. 32-38, 2015.

MONQUERO, P.A., CÔRREA, M.C., BARBOSA, L.N., GUTIERREZ, A., HIRATA, A.C.S. **Seleção de espécies de adubos verdes visando à fitorremediação de diclosulam.** Planta Daninha, 2013.

MURCHIE, ERIK H.; LAWSON, TRACY. **Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications.** Journal of experimental botany, v. 64, n. 13, p. 3983-3998, 2013.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (NREL). **Biomass Compositional Analysis Laboratory Procedures.** Washington D.C., EE.UU, 2012.
<https://www.nrel.gov/bioenergy/biomass-compositional-analysis.html>

NOVAIS, R.F.; VENEGAS, V.H.A.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.; REINALDO, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade de solo.** Editora UFV, Viçosa, 1ª Ed., 2007.

OLIVEIRA BORDONAL, R., LAL, R., ALVES AGUIAR, D., DE FIGUEIREDO, E.B., ITO PERILLO, L., ADAMI, M., THEODOR RUDORFF, B.F., LA SCALA, N. **Greenhouse gas balance from cultivation and direct land use change of recently established sugarcane (*Saccharum officinarum*) plantation in south-central Brazil.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.137>

OLIVEIRA JR, R. S. **Mecanismos de Ação de Herbicidas.** Biologia e Manejo de Plantas Daninhas. Capítulo 7, 171-173 p., 2011.

OLIVEIRA NETO AM, CONSTANTIN J, OLIVEIRA JR RS, GUERRA N, BRAZ GBP, VILELA LMS et al. **Sistemas de dessecação em áreas de trigo no inverno e atividade residual de herbicidas na soja:** Rev Bras Herb, 2013.

PACHECO, T. F.; GONÇALVES1, S. B.; MACHADO1, C. M. M.; PARRELLA. R. A. C. **Avaliação do bagaço e biomassa de genótipos de sorgo sacarino para a produção de etanol celulósico.** Embrapa Agroenergia, Embrapa Milho e Sorgo, 2014.

PALMQVIST, E.; HAHN-HÄGERDAL, B. FERMENTATION OF LIGNOCELLULOSIC HYDROLYSATES. **Inhibitors and mechanisms of inhibition.** Bioresource Technology, [s.l.], v. 74, n. 1, p.25-33, 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0960-8524\(99\)00161-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0960-8524(99)00161-3)

QIN, Z., ZHUANG, Q., CAI, X., HE, Y., HUANG, Y., JIANG, D., LIN, E., LIU, Y., TANG, Y., WANG, M.Q. **Biomass and biofuels in China:** Toward bioenergy resource potentials and their

impacts on the environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.073>

REN21. **Renewables 2017 Global Status Report**. Paris: REN21 Secretariat, 2017. Disponível <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf>.

RODRIGUES, F. A. **Avaliação da tecnologia de hidrólise ácida de bagaço de cana**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, 2007.

ROMERO-GARCÍA, J.M., **Tesis doctoral: La biomasa del olivar como fuente energética y de bioproductos**. avances hacia la biorrefinería del olivar, Jaén, 2016.

SÁNCHEZ, V., LÓPEZ-BELLIDO, F.J., CAÑIZARES, P., RODRIGUEZ, L. **Assessing the phytoremediation potential of crop and grass plants for atrazine-spiked soils**. *Chemosphere*, 2017.

SANTOS, T.T.M.; TIMOSSI, P.C.T.; LIMA, S.F.; GONÇALVES, D.C.; SANTANA, M.V. **Associação dos herbicidas diclosulam e glyphosate na dessecação visando o controle residual de plantas daninhas na cultura da soja**. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v.15, n.2, p.138-147, 2016.

SBCPD - SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS.
Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina: 1995

SCHRÖDER, P., BECKERS, B., DANIELS, S., GNÄDINGER, F., MAESTRI, E., MARMIROLI, N., MENCH, M., MILLAN, R., OBERMEIER, M.M., OUSTRIERE, N., PERSSON, T., POSCHENRIEDER, C., RINEAU, F., RUTKOWSKA, B., SCHMID, T., SZULC, W., WITTERS, N., SAEBO, A. **Intensify production, transform biomass to energy and novel goods and protect soils in Europe** —A vision how to mobilize marginal lands. *Science of The Total Environment*, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.209>

SIQUEIRA, M. R. **Efeito dos produtos de hidrólise de materiais lignocelulósicos sobre a produção de H₂ por fermentação**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pósgraduação em Química, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2015.

SOLTANI, N.; MASHHADI, R. H.; MESGARAN, M. B.; COWBROUGH, M.; TARDIF, F. J.; CHANDLER, K.; SWANTON, C. J.; SIKKEMA, P. H. **The effect of residual corn herbicides on injury and yield of soybean seeded in the same season**: *Canadian Journal of Plant Science*, v. 91, n. 3, p. 571-576, 2011.
doi: 10.4141/cjps10110.

SOUZA, J. R. et al. **Tolerância de cultivares de cana-de-açúcar a herbicidas aplicados em pós-emergência**. *Bragantia*, v. 68, n. 4, p. 941-951, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

VAN DER WEIJDE, T.; ALVIM KAMEI, C. L.; TORRES, A. F.; VERMERRIS, W.; DOLSTRA, O.; VISSER, R. G.; TRINDADE, L. M. **The potential of C4 grasses for cellulosic biofuel production.** *Frontiers in Plant Science*, v. 4, 2013.

VASSILEV, S. V., BAXTER, D., & VASSILEVA, C. G. **An overview of the behaviour of biomass during combustion:** Part I. phase-mineral transformations of organic and inorganic matter, 2013.

VENGHAUS, S., ACOSTA, L. **To produce or not to produce: an analysis of bioenergy and crop production decisions based on farmer typologies in Brandenburg, Germany.** *Reg Environ Change*, 2018.
<https://doi.org/10.1007/s10113-017-1226-1>

WANG, Q., LI, C., PANG, Z., WEN, H., ZHENG, R., CHEN, J., MA, X., QUE, X. **Effect of grass hedges on runoff loss of soil surface-applied herbicide under simulated rainfall in Northern China.** *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018.

WYMAN, C. E.; DALE, B. E.; ELANDER, R. T.; HOLTZAPPLE, M.; LADISCH, M. R.; LEE, Y. Y. **Coordinated development of leading biomass pretreatment technologies.** *Bioresource Technology*, Essex, v. 96, p. 1959-1966, 2005.

ZUANAZZI, J.A.S., MAYORGA, P. **Phytoproducts and economic development.** *Química Nova*, v. 33, 2010.
<https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000600037>

Tabela 01 - Análise química e física do solo da área experimental localizada no Setor de produção de forrageiras do Departamento de Zootecnia da UFVJM/ Diamantina-MG

| pH | P | K | Na | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | SB | CTC(t) | CTC(T) |
|--|-------|--------------------|---|------------------|------------------------------------|--|--------------|------------------------------------|--------|--------|
| H ₂ O | | mg/dm ³ | | | cmol _c /dm ³ | | | cmol _c /dm ³ | | |
| 5,5 | 0,9 | 19 | | 0,9 | 0,4 | 0 | 1,98 | 1,35 | 1,35 | 3,33 |
| V | m | ISNa | MO | P-rem | Zn | Fe | Mn | Cu | B | S |
| | | dag/Kg | | mg/L | | mg/dm ³ | | | | |
| 41 | 0 | | 1,86 | 28,4 | 0,4 | 103,9 | 4,4 | 0,3 | 0,2 | |
| Granulometria | | | Classificação Textural | | | | Tipo de Solo | | | |
| Argila | Silte | Areia | Areia-franca | | | | Arenoso | | | |
| % | % | % | | | | | | | | |
| 5 | 12 | 83 | Classificação Segundo Embrapa 2006 | | | | | | | |
| Neossolo Quartzarênico Ótico Típico | | | | | | | | | | |
| pH em água, KCl e CaCl - Relação 1:2,5 | | | | | | CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva | | | | |
| P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1 | | | | | | CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0 | | | | |
| Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L | | | | | | V = Índice de Saturação de Bases | | | | |
| H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0 | | | | | | m = Índice de Saturação de Alumínio | | | | |
| B - Extrator água quente | | | | | | ISNa - Índice de Saturação de Sódio | | | | |
| S - Extrator - Fosfato monocálcico em ácido acético | | | | | | Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na ₂ Cr ₂ O ₇ 4N + H ₂ SO | | | | |
| SB = Soma de Bases Trocáveis | | | | | | 10N | | | | |
| | | | | | | P-rem = Fósforo Remanescente | | | | |

Tabela 02 - Relação de plantas de cobertura, dados de espaçamento, densidade, taxa de germinação e profundidade de plantio das espécies usadas em estudo para fitorremediação de solo com resíduos do diclosulam (30 g/ha). Diamantina-MG

| Espécie | Nome científico | Espaçamento plantio entre linhas (cm x cm) | Densidade de sementes por m ² | Taxa de Germinação (%) | Profundidade de Plantio (cm) |
|-------------------|------------------------------|--|--|------------------------|------------------------------|
| Aveia branca | <i>Avena sativa</i> | 25 | 248 | 95 | 1 |
| Feijão de porco | <i>Canavalia ensiformis</i> | 50 | 14 | 90 | 2 |
| Milheto | <i>Pennisetum glaucum</i> | 25 | 200 | 95 | 1,5 |
| Mucuna preta | <i>Mucuna aterrima</i> | 50 | 4 | 95 | 2 |
| Nabo forrageiro | <i>Raphanus sativus</i> | 25 | 52 | 95 | 2 |
| <i>Braquiária</i> | <i>Urochloa decumbens</i> | 20 | 200 | 90 | 1 |
| Mombaça | <i>Panicum maximum</i> | 25 | 80 | 90 | 1 |
| Crotalaria | <i>Crotalaria ochroleuca</i> | 50 | 80 | 90 | 2 |

*A semeadura foi realizada manualmente.

Tabela 03 - Teores de clorofilas a e b, relação Fv/Fm e taxa de transporte de elétrons das plantas de coberturas cultivadas em solo com resíduos de diclosulam (30 g/ha), avaliação realizada aos 20 dias após a semeadura (DAS). Diamantina-MG

| Espécies | Clorofila A | | Clorofila B | | Relação Fv/Fm | | Taxa de transporte de elétrons (ETR) | |
|------------------------------|-------------|----------|-------------|----------|---------------|---------|--------------------------------------|----------|
| | C/H | S/H | C/H | S/H | C/H | S/H | C/H | S/H |
| <i>Avena sativa</i> | 44,33 aA | 44,90 aA | 15,73 aA | 17,00 aA | 0,83 aA | 0,79 bA | 16,93 aB | 21,38 aA |
| <i>Canavalia ensiformis</i> | 46,48 aA | 46,60 aA | 14,60 aA | 17,23 aA | 0,81 aA | 0,83 aA | 19,30 aB | 19,65 aB |
| <i>Pennisetum glaucum</i> | 42,30 aA | 45,00 aA | 14,30 aA | 15,18 aA | 0,83 aA | 0,82 aA | 21,93 aA | 23,85 aA |
| <i>Mucuna aterrima</i> | 43,83 aA | 43,00 aB | 10,53 aB | 11,00 aB | 0,79 aA | 0,76 aA | 22,13 aA | 18,13 aB |
| <i>Raphanus sativus</i> | 44,08 aA | 47,63 aA | 11,89 bB | 15,33 aA | 0,78 bA | 0,84 aA | 10,00 bC | 13,75 aB |
| <i>Urochloa decumbens</i> | 43,90 aA | 40,98 aA | 10,38 aB | 11,53 aB | 0,82 aA | 0,82 aA | 26,38 aA | 24,55 aA |
| <i>Panicum maximum</i> | 47,11 aA | 42,13 aA | 9,55 bB | 11,98 aB | 0,78 bA | 0,82 aA | 10,10 bC | 22,30 aA |
| <i>Crotalaria ochroleuca</i> | 45,66 bA | 45,15 aA | 10,45 bB | 13,05 aB | 0,77 bA | 0,84 aA | 10,00 bC | 18,83 aB |
| CV(%) | 6,42 | | 18,00 | | 3,08 | | 27,28 | |

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não difere entre si pelo Teste F a 5% de probabilidade de erro e maiúscula na coluna não difere entre si pelo Critério de Agrupamento do Teste Tukey (p<0,05) de probabilidade de erro. C/H = com herbicida; S/H = sem herbicida

Tabela 04 - Taxa de cobertura do solo (%) das plantas de cobertura cultivadas em solo com resíduos de diclosulam (30 g/ha⁻¹), avaliação realizada aos 40 dias após a semeadura (DAS). Diamantina-MG

| Espécies | Cobertura do solo (%) | |
|------------------------------|-----------------------|------|
| | C/H | S/H |
| <i>Avena sativa</i> | 43 a | 53 a |
| <i>Canavalia ensiformis</i> | 24 a | 15 a |
| <i>Pennisetum glaucum</i> | 26 b | 83 a |
| <i>Mucuna aterrima</i> | 15 a | 23 a |
| <i>Raphanus sativus</i> | 5 b | 40 a |
| <i>Urochloa decumbens</i> | 8 b | 25 a |
| <i>Panicum maximum</i> | 5 b | 23 a |
| <i>Crotalaria ochroleuca</i> | 5 b | 27 a |
| C.V. (%) | 26,96 | |

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não difere entre si pelo Teste F a 5% de probabilidade de erro pelo Critério de Agrupamento do Teste Tukey (p<0,05) de probabilidade de erro. C/H = com herbicida; S/H = sem herbicida

Tabela 05 - Composição dos extratos, celulose, hemicelulose, lignina e grupos acetil da biomassa da parte aérea das plantas de cobertura cultivadas em solo com resíduos de diclosulam (30 g/ha), coletadas aos 40 dias após a semeadura (DAS). Diamantina-MG

| Espécie vegetal | <i>Avena sativa</i> | | <i>Canavalia ensiformis</i> | | <i>Pennisetum glaucum</i> | | <i>Mucuna aterrima</i> | |
|-------------------------------|---------------------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|------------|------------------------|------------|
| | C/H | S/H | C/H | S/H | C/H | S/H | C/H | S/H |
| | -----%----- | | | | | | | |
| Extratos: | 28,83±0,20 | 31,55±0,34 | 35,13±0,38 | 36,04±0,56 | 26,40±0,33 | 26,58±0,30 | 34,91±0,44 | 36,66±0,29 |
| • Glucose | 3,14±0,41 | 3,90±0,13 | 1,12±0,12 | 1,05±0,01 | 2,04±0,03 | 2,49±0,24 | 3,28±0,12 | 3,95±0,34 |
| • Xilose | nd | nd | 1,67±0,30 | 1,72±0,08 | nd | nd | nd | nd |
| • Galactose | 0,14±0,04 | 0,12±0,04 | 0,87±0,05 | 0,70±0,02 | 0,33±0,01 | 0,20±0,04 | 0,45±0,05 | 0,51±0,06 |
| • Arabinose | 1,25±0,40 | 1,54±0,85 | nd | nd | nd | nd | nd | nd |
| • Grupo o-acila | 0,24±0,03 | 0,26±0,02 | 0,34±0,05 | 0,30±0,01 | 0,17±0,01 | 0,13±0,04 | 0,16±0,01 | 0,16±0,01 |
| Celulose: | 23,18±1,29 | 21,22±0,23 | 13,84±0,56 | 12,71±0,85 | 26,1±0,82 | 28,01±0,5 | 17,68±0,04 | 16,67±0,06 |
| • Glucose | 25,46±1,42 | 23,34±0,25 | 15,23±0,62 | 13,98±0,93 | 28,71±0,9 | 30,81±0,55 | 19,45±2,16 | 18,00±0,20 |
| Hemicelulose | 17,33±0,85 | 16,28±0,08 | 6,13±0,22 | 6,27±0,68 | 17,07±0,93 | 18,53±0,68 | 7,11±0,75 | 5,81±0,92 |
| • Xilose | 16,61±0,78 | 15,54±0,03 | 4,08±0,20 | 3,96±0,25 | 15,99±0,87 | 17,84±0,61 | 4,28±0,37 | 3,46±0,43 |
| • Galactose | 0,76±0,12 | 0,81±0,09 | 1,59±0,02 | 1,85±0,07 | 0,74±0,03 | 0,79±0,09 | 1,98±0,22 | 1,60±0,16 |
| • Arabinose | 2,19±0,06 | 2,02±0,02 | 1,21±0,03 | 1,23±0,44 | 2,44±0,04 | 2,29±0,07 | 0,79±0,10 | 0,64±0,14 |
| Lignina ácido solúvel (LAS) | 2,85±0,07 | 2,72±0,10 | 2,72±0,24 | 3,15±0,31 | 2,59±0,05 | 2,10±0,01 | 2,94±0,16 | 2,83±0,32 |
| Lignina ácido insolúvel (LAI) | 8,37±0,26 | 8,17±0,20 | 4,61±0,65 | 6,99±0,27 | 8,34±0,02 | 9,63±0,20 | 9,11±0,17 | 7,91±0,12 |
| Lignina Total (LAS+LAI) | 11,22±0,33 | 10,89±0,30 | 7,33±0,89 | 10,14±0,58 | 10,93±0,07 | 11,73±0,21 | 12,05±0,33 | 10,74±0,44 |
| Cinzas: | 4,33±0,79 | 3,79±0,02 | 11,93±1,89 | 13,11±0,48 | 17,88±0,88 | 4,58±0,58 | 7,00±0,32 | 7,67±0,27 |
| Cinzas ácido insolúvel | 0,50±0,07 | 0,56±0,06 | 0,25±0,01 | 0,21±0,09 | 0,75±0,15 | 0,44±0,12 | 0,37±0,02 | 0,39±0,04 |
| Grupos acetil: ácido acético | 1,15±0,02 | 1,10±0,03 | 0,76±0,03 | 0,70±0,02 | 1,11±0,09 | 1,74±0,01 | 0,85±0,01 | 0,67±0,12 |

C/H = com herbicida; S/H = sem herbicida.

Tabela 06 - Composição dos extratos, celulose, hemicelulose, lignina e grupos acetil da biomassa da parte aérea das plantas de coberturas cultivadas em solo com resíduos de diclosulam (30 g/ha), coletadas aos 60 dias após a semeadura (DAS). Diamantina-MG

| Espécie vegetal | <i>Raphanus sativus</i> | | <i>Urochloa decumbens</i> | | <i>Panicum maximum</i> | | <i>Crotalaria ochroleuca</i> | |
|-------------------------------|-------------------------|------------|---------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------------|------------|
| | C/H | S/H | C/H | S/H | C/H | S/H | C/H | S/H |
| | -----%----- | | | | | | | |
| Extratos: | 20,85±1,76 | 14,18±0,48 | 30,32±1,18 | 25,97±0,32 | 29,41±0,10 | 24,39±0,26 | 17,91±0,37 | 16,84±0,52 |
| • Glucose | 0,97±0,04 | 0,96±0,02 | 2,6±0,05 | 3,03±0,54 | 3,69±0,35 | 4,24±0,28 | 1,34±0,04 | 1,24±0,10 |
| • Xilose | nd | nd | nd | nd | nd | Nd | 0,35±0,10 | 0,28±0,03 |
| • Galactose | 0,51±0,01 | 0,53±0,09 | 1,22±0,02 | 1,00±0,30 | nd | Nd | 0,51±0,07 | 0,40±0,09 |
| • Arabinose | 1,06±0,13 | 0,96±0,05 | nd | nd | nd | nd | nd | nd |
| • Grupo o-acila | 0,20±0,05 | 0,25±0,03 | 0,17±0,05 | 0,10±0,03 | 0,12±0,01 | 0,09±0,03 | 0,10±0,02 | 0,15±0,03 |
| Celulose: | 27,53±1,32 | 32,03±1,55 | 22,77±1,76 | 26,46±0,84 | 26,28±0,49 | 28,13±0,25 | 31,89±0,10 | 33,90±1,33 |
| • Glucose | 30,29±1,45 | 35,24±1,70 | 25,05±1,94 | 29,10±0,92 | 28,91±0,54 | 30,95±0,27 | 35,08±0,11 | 37,29±1,46 |
| Hemicelulose | 15,24±1,12 | 16,07±0,63 | 24,04±0,75 | 25,44±1,70 | 20,78±1,52 | 20,17±0,64 | 16,98±0,25 | 17,49±0,77 |
| • Xilose | 13,17±0,98 | 14,49±0,46 | 19,95±0,69 | 21,90±1,89 | 18,41±1,47 | 17,11±0,39 | 13,03±0,15 | 14,80±1,20 |
| • Galactose | 1,94±0,27 | 1,92±0,19 | 2,28±0,10 | 2,36±0,01 | 1,82±0,14 | 1,68±0,15 | 2,85±0,01 | 2,49±0,06 |
| • Arabinose | 0,97±0,01 | 0,43±0,00 | 4,87±0,27 | 4,43±0,04 | 3,20±0,10 | 3,96±0,18 | 0,96±0,11 | 0,72±0,06 |
| • Manose | 1,07±0,01 | 1,22±0,05 | nd | nd | nd | nd | 2,28±0,01 | 1,65±0,25 |
| Lignina ácido solúvel (LAS) | 1,88±0,17 | 1,70±0,02 | 1,88±0,17 | 1,99±0,03 | 2,72±0,24 | 1,91±0,02 | 1,94±0,14 | 2,03±0,09 |
| Lignina ácido insolúvel (LAI) | 12,54±0,37 | 10,37±0,10 | 12,54±0,37 | 9,92±0,11 | 10,61±0,00 | 10,37±0,10 | 13,07±1,01 | 14,63±1,16 |
| Lignina Total (LAS+LAI) | 14,42±0,54 | 12,07±0,12 | 14,42±0,54 | 11,91±0,14 | 13,33±0,24 | 12,28±0,12 | 15,01±1,15 | 16,66±1,25 |
| Cinzas: | 2,10±0,36 | 2,27±0,10 | 2,21±0,12 | 2,27±0,10 | 3,05±0,01 | 3,01±0,05 | 1,38±0,20 | 1,26±0,32 |
| Cinzas ácido insolúvel | 0,09±0,02 | 0,49±0,09 | 0,19±0,02 | 0,25±0,09 | 0,36±0,03 | 0,49±0,09 | 0,14±0,04 | 0,16±0,02 |
| Grupos acetil: ácido acético | 2,48±0,02 | 2,34±0,02 | 1,20±0,02 | 1,51±0,04 | 0,96±0,01 | 1,03±0,04 | 2,31±0,03 | 2,03±0,09 |

C/H = com herbicida; S/H = sem herbicida

Tabela 07 - Comparação de resultados de produção total de açúcares fermentáveis em função das espécies de cobertura e presença de resíduos do herbicida diclosulam (30 g/ha). Diamantina-MG

| Cultivo em solo com resíduos de diclosulam | <i>Avena sativa</i> | <i>Canavalia ensiformis</i> | <i>Pennisetum glaucum</i> | <i>Mucuna aterrima</i> |
|---|---|-----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| | ----- <i>Biomassa coletada aos 40 dias após semeadura</i> ----- | | | |
| Sim | 49,58±1,84Aa | 25,77±0,72Ca | 50,25±0,98Ab | 30,23±1,62Ba |
| Não | 47,27±1,17Ba | 24,49±0,87Da | 54,42±1,09Aa | 28,96±1,14Ca |
| | <i>Raphanus sativus</i> | <i>Urochloa decumbens</i> | <i>Panicum maximum</i> | <i>Crotalaria ochroleuca</i> |
| ----- <i>Biomassa coletada aos 60 dias após semeadura</i> ----- | | | | |
| Sim | 48,91±1,49Bb | 55,97±1,13Ab | 56,03±2,06Aa | 54,12±0,48Ab |
| Não | 55,74±0,86Ba | 61,82±2,78Aa | 57,94±1,00Ba | 58,97±1,54ABa |

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas na coluna para cada época de coleta de biomassa, não diferem entre si pelo teste F a 5 % de probabilidade de erro. C/H = com herbicida; S/H = sem herbicida

Tabela 08 - Produtividade de massa seca, Celulose, Glucose em (t/ha), percentagem de Celulose, Glucose e produtividade de etanol de Glucose em (t/ha) da biomassa de plantas de cobertura cultivadas em solo com resíduos de diclosulam (30 g/ha) coletadas aos 40 e 60 dias após a semeadura (DAS). Diamantina-MG

| Plantas de Cobertura | Produtividade de massa seca (t/ha) | % Celulose | Produtividade de Celulose (t/ha) | % Glucose na Celulose | Produtividade de Glucose (t/ha) | Rendimento de Glucose em etanol | Produtividade de etanol de Glucose (t/ha) |
|-------------------------------|------------------------------------|------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|---|
| Com herbicida (40 DAS) | | | | | | | |
| <i>Avena sativa</i> | 35.704 | 23.180 | 8.276 | 25.560 | 2.115 | 0.510 | 1.079 |
| <i>Canavalia ensiformis</i> | 2.349 | 13.840 | 0.325 | 15.230 | 0.050 | 0.510 | 0.025 |
| <i>Pennisetum glaucum</i> | 15.881 | 26.100 | 4.145 | 28.710 | 1.190 | 0.510 | 0.607 |
| <i>Mucuna Aterrima</i> | 2.525 | 17.680 | 0.446 | 19.450 | 0.087 | 0.510 | 0.044 |
| Com herbicida (60 DAS) | | | | | | | |
| <i>Raphanus sativus</i> | 2.584 | 27.530 | 0.711 | 30.290 | 0.215 | 0.510 | 0.110 |
| <i>Urochloa decumbens</i> | 14.890 | 22.770 | 3.391 | 25.050 | 0.849 | 0.510 | 0.433 |
| <i>Panicum maximum</i> | 4.759 | 26.280 | 1.251 | 28.910 | 0.362 | 0.510 | 0.184 |
| <i>Crotalaria ochroleuca</i> | 2.847 | 31.890 | 0.908 | 35.080 | 0.318 | 0.510 | 0.162 |
| Sem herbicida (40 DAS) | | | | | | | |
| <i>Avena sativa</i> | 41.566 | 21.220 | 8.820 | 23.340 | 2.059 | 0.510 | 1.050 |
| <i>Canavalia ensiformis</i> | 1.774 | 12.710 | 0.226 | 13.980 | 0.032 | 0.510 | 0.016 |
| <i>Pennisetum glaucum</i> | 44.681 | 28.010 | 12.515 | 30.810 | 3.856 | 0.510 | 1.967 |
| <i>Mucuna Aterrima</i> | 1.874 | 16.670 | 0.312 | 18.000 | 0.056 | 0.510 | 0.029 |
| Sem herbicida (60 DAS) | | | | | | | |
| <i>Raphanus sativus</i> | 19.292 | 32.030 | 6.179 | 35.240 | 2.178 | 0.510 | 1.111 |
| <i>Urochloa decumbens</i> | 52.596 | 26.460 | 13.917 | 29.100 | 4.050 | 0.510 | 2.065 |
| <i>Panicum maximum</i> | 29.423 | 28.130 | 8.277 | 30.950 | 2.562 | 0.510 | 1.306 |
| <i>Crotalaria ochroleuca</i> | 7.553 | 33.900 | 2.561 | 37.290 | 0.955 | 0.510 | 0.487 |

Rendimento de etanol de glucose conforme Demirbas et al., 2005

Densidade do etanol anidro 789Kg/m³

Tabela 09 - Produtividade de Hemicelulose, Xilose, etanol de Xilose, etanol de Glucose mais Xilose em (t/ha), percentagem de Hemicelulose, Xilose e produtividade de etanol em m³/ha da biomassa de plantas de cobertura cultivadas em solo com resíduos de diclosulam (30 g/ha) coletadas aos 40 e 60 dias após a semeadura (DAS). Diamantina-MG

| Plantas de Cobertura | % Hemicelulose | Produtividade de Hemicelulose (t/ha) | % Xilose na Hemicelulose | Produtividade de Xilose (t/ha) | Rendimento de Xilose em etanol | Produtividade de etanol de Xilose (t/ha) | Produtividade de etanol de Glucose + Xilose (t/ha) | Produtividade de etanol (m ³ /ha) |
|-------------------------------|----------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|--|--|
| Com herbicida (40 DAS) | | | | | | | | |
| <i>Avena sativa</i> | 17.330 | 6.187 | 16.610 | 1.028 | 0.410 | 0.421 | 1.500 | 1.901 |
| <i>Canavalia ensiformis</i> | 6.130 | 0.144 | 4.080 | 0.006 | 0.410 | 0.002 | 0.028 | 0.035 |
| <i>Pennisetum glaucum</i> | 17.070 | 2.711 | 15.990 | 0.433 | 0.410 | 0.178 | 0.785 | 0.994 |
| <i>Mucuna aterrima</i> | 7.110 | 0.180 | 4.280 | 0.008 | 0.410 | 0.003 | 0.047 | 0.060 |
| Com herbicida (60 DAS) | | | | | | | | |
| <i>Raphanus sativus</i> | 15.240 | 0.394 | 13.170 | 0.052 | 0.410 | 0.021 | 0.131 | 0.166 |
| <i>Urochloa decumbens</i> | 24.040 | 3.580 | 19.950 | 0.714 | 0.410 | 0.293 | 0.726 | 0.920 |
| <i>Panicum maximum</i> | 20.780 | 0.989 | 18.410 | 0.182 | 0.410 | 0.075 | 0.259 | 0.328 |
| <i>Crotalaria ochroleuca</i> | 16.980 | 0.483 | 13.030 | 0.063 | 0.410 | 0.026 | 0.188 | 0.239 |
| Sem herbicida (40 DAS) | | | | | | | | |
| <i>Avena sativa</i> | 16.280 | 6.767 | 15.540 | 1.052 | 0.410 | 0.431 | 1.481 | 1.877 |
| <i>Canavalia ensiformis</i> | 6.270 | 0.111 | 3.960 | 0.004 | 0.410 | 0.002 | 0.018 | 0.023 |
| <i>Pennisetum glaucum</i> | 18.530 | 8.279 | 17.840 | 1.477 | 0.410 | 0.606 | 2.572 | 3.260 |
| <i>Mucuna aterrima</i> | 5.810 | 0.109 | 3.460 | 0.004 | 0.410 | 0.002 | 0.030 | 0.038 |
| Sem herbicida (60 DAS) | | | | | | | | |
| <i>Raphanus sativus</i> | 16.070 | 3.100 | 14.490 | 0.449 | 0.410 | 0.184 | 1.295 | 1.641 |
| <i>Urochloa decumbens</i> | 25.440 | 13.380 | 21.900 | 2.930 | 0.410 | 1.201 | 3.267 | 4.140 |
| <i>Panicum maximum</i> | 20.170 | 5.935 | 17.110 | 1.015 | 0.410 | 0.416 | 1.723 | 2.183 |
| <i>Crotalaria ochroleuca</i> | 17.490 | 1.321 | 14.800 | 0.196 | 0.410 | 0.080 | 0.567 | 0.719 |

Rendimento de etanol de Xilose conforme Ningam, P.S. et al., 2011

Densidade do etanol anidro 789Kg/m³

Tabela 10 - Dados meteorológicos nas épocas de coleta de espécies de cobertura 20,40 e 60 dias após a semeadura, Diamantina-MG

| Data Coletas | Temperatura Máxima | Temperatura Mínima | Umidade Relativa |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | Graus Celsius | Graus Celsius | % |
| 20 DAS 18/04/16 | 26,6 | 10,4 | 61,50 |
| 40 DAS 8/05/16 | 25,7 | 9,4 | 68,00 |
| 60 DAS 28/05/16 | 23,4 | 9,7 | 72,25 |

Fonte: BDMEP – INMET; Estação Meteorológica Diamantina-MG

CAPÍTULO 02 – FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS COM RESÍDUO DE DICLOSULAM USANDO ESPÉCIES CULTIVADAS NO INVERNO

Resumo: Objetivou-se determinar o potencial fitorremediador de espécies de inverno cultivadas em solos contaminados com diclosulam. Foram instalados dois ensaios na cidade Erechim-RS com espécies cultivadas no inverno. No primeiro, em casa de vegetação, o diclosulam foi aplicado no solo nas doses 0; 24; 48 e 96 g ha⁻¹ onde foi cultivado as espécies *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* e *Vicia sativa*, além de uma testemunha sem o cultivo prévio. No ensaio a campo foram implantadas tais espécies aplicando-se a dose de 30 g ha⁻¹ de diclosulam, além das testemunhas sem aplicação e um tratamento sem a presença de cultivo. As espécies *A. strigosa* e *L. albus* apresentaram a maior tolerância ao herbicida diclosulam. No entanto, nenhuma das culturas testadas se mostrou eficiente para a fitorremediação do diclosulam no solo testado. Conclui-se que no inverno, na região sul do Brasil, as espécies avaliadas não são capazes de descontaminar resíduo do diclosulam em Latossolo Vermelho Distrófico.

Palavras-chave: Biorremediação. Espécies de Cobertura. Herbicida. Residual.

ABSTRACT

Summary: The objective was to determine the phytoremediation potential of winter species cultivated in soils contaminated with diclosulam. Two trials were installed in the city Erechim-RS with species cultivated in the winter. In the first one, in greenhouse, the diclosulam was applied in the soil at doses 0; 24; 48 and 96 g ha⁻¹ where the species *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* and *Vicia sativa* were cultivated, in addition to a control without previous cultivation. In the field trial, these species were implanted by applying the 30 g ha⁻¹ dose of diclosulam, in addition to the controls without application and a treatment without the presence of culture. Species *A. strigosa* and *L. albus* showed the highest tolerance to the herbicide diclosulam. However, none of the tested crops proved to be efficient for the phytoremediation of diclosulam in the soil tested. It is concluded that in winter, in the southern region of Brazil, the evaluated species are not able to decontaminate the residue of diclosulam in Oxisols Red Dystrophic

Keywords: Bioremediation. Herbicide. Residual. Species of Coverage.

INTRODUÇÃO

O manejo de plantas daninhas empregado atualmente é visto como problemático, em virtude da pressão de seleção gerada pelo uso intensivo de herbicidas, que seleciona plantas resistentes às principais moléculas utilizadas no controle químico (Heap, 2018; Chiapinotto et al. 2017). Isto pode intensificar o uso de doses excessivas de herbicidas que possuem alto efeito residual e persistência no solo (Lavorenti et al. 2003) aumentando os custos com a manejo das plantas daninhas (Adegas et al., 2017). Herbicidas com efeito residual restringem as opções de cultivo sequenciais (Cholette et al., 2017; Cornelius and Bradley, 2017) e podem causar efeitos tóxicos, conhecidos como *carryover*, às culturas cultivadas em sucessão na mesma área, levando à redução do crescimento, da produtividade e da qualidade dos produtos colhidos (Artuzi & Contieiro, 2006; Soltani et al., 2011; Dan et al., 2012).

Com o aumento dos casos de resistência de plantas daninhas ao controle químico (Costa et al., 2017) os herbicidas com efeito residual no solo, podem ser estratégicos para o modelo produtivo atual. Estes herbicidas permitem o controle de diversos fluxos de emergência e a alternância de mecanismos de ação (López-Ovejero et al., 2013).

Neste contexto, o herbicida diclosulam adquire relevância para o controle de plantas daninhas nas culturas da soja e cana-de-açúcar. Este herbicida tem sido uma das principais alternativas para o controle de *Conyza canadenses* resistentes ao glifosato, principalmente durante o manejo de outono ou durante a pré-emergência da soja (Melo et al., 2012; Constantin et al., 2013). A aplicação do diclosulam evita o fluxo de emergência e promove a redução de plantas daninhas nas fases iniciais da soja e cana, contribuindo para um controle mais efetivo destas plantas (Oliveira Neto et al., 2013; Santos et al., 2016).

O herbicida diclosulam pertence ao grupo das triazolopirimidinas, é altamente tóxico e perigoso ao ambiente, registrado no Brasil para aplicação em soja e cana-de-açúcar (Oliveira Jr, 2011; Brasil, 2019). Esse herbicida apresenta efeito residual que pode variar em função da umidade, teor de argila e matéria orgânica do solo (Lavorenti et al., 2003). A soja não poderá ser rotacionada com as seguintes culturas de outono plantadas imediatamente após a sua colheita: girassol, sorgo e brássicas sendo que, o girassol só poderá ser plantado 18 meses após a colheita da soja (Brasil, 2019). O produto comercial do diclosulam nos Estados Unidos da América é Strongarm[®] e lá, a restrição para os cultivos em sucessão para arroz e sorgo são de 18 meses, algodão 10 meses, beterraba e girassol 30 meses, trigo e cevada 4 meses (Dow AgroSciences, 2019).

Para mitigar estes efeitos danosos dos herbicidas residuais no solo, a fitorremediação pode ser uma estratégia viável, por apresentar baixos custos operacionais e de investimento,

geração mínima de degradação e estabilização da área a ser descontaminada (Chaves et al., 2010).

A fitorremediação é definida como uso de plantas associadas ou não a microrganismos que são capazes de remover, conter ou degradar diferentes tipos de poluentes dentre eles, os herbicidas (Adki et al., 2014). Desta maneira, o emprego de plantas e comunidades microbianas associadas à rizosfera para degradar, isolar ou imobilizar poluentes no solo, são a base fitorremediação (Pires et al., 2003, Santos et al., 2007). Porém, estudos relacionados com a fitorremediação esbarraram em algumas dificuldades, como por exemplo, a concentração que o contaminante se encontra no solo requerendo maior tempo para descontaminação, condições climáticas adversas que podem afetar o desenvolvimento de algumas espécies fitorremediadoras, tipo e pH do solo (Alves, 2016).

Cabe salientar que as plantas estão expostas a uma variedade de estresses que podem alterar seu metabolismo e desenvolvimento, alterando ciclos celulares e moleculares. As respostas a esses fatores estressantes podem ser desencadeadas por sinais primários ou secundários, dependendo do fator que o desencadeou. Esses fatores podem ser a seca, elevada salinidade, temperaturas extremas, radiação ultravioleta, deficiência de nutrientes, alta luminosidade, metais pesados, hipóxia e agrotóxicos (Flowers et al., 2000; Zhu, 2002; Chagas, 2007).

As culturas de invernos por estarem sujeitas a maiores estresses ambientais, sejam pelas menores temperaturas, estresse hídrico, e menor exposição à luz solar, podem ficar mais sensíveis à exposição dos herbicidas e conseqüentemente menor capacidade fitorremediadora. Como a eliminação dos herbicidas do solo é decorrente de uma série de fatores edafoclimáticas, além das características físico-químicas da molécula, pesquisas em condições ambientais mais severas devem ser priorizadas (Vivian et al. 2006; Oliveira Júnior et al. 2006).

O clima em Erechim-RS, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, o qual se caracteriza por ser um clima subtropical úmido, com temperatura média anual de 18,5°C, os dias mais frios do ano são em julho, com média de 10°C. Segundo Alves, (2016) poucos são os estudos na área da fitorremediação de solos contaminados por herbicidas, em especial no Estado do Rio Grande do Sul.

Para seleção das espécies a serem utilizadas na fitorremediação diversas características devem ser consideradas, inclusive a ampla distribuição geográfica (Nunes e Vidal, 2009). As espécies utilizadas nesta pesquisa foram selecionadas por apresentarem importância agrícola para o Estado do Rio Grande do Sul, onde são utilizadas como pastagens, cobertura do solo ou para a produção de grãos no inverno.

O objetivo desta pesquisa é selecionar espécies vegetais cultivadas no inverno, para serem utilizadas em programas de fitorremediação de solos contaminados com resíduos do herbicida diclosulam.

MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos foram conduzidos em casa de vegetação e na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul-UFFS, na cidade de Erechim-Rs durante os meses junho à agosto do ano 2017. Foram utilizadas as espécies: *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* e *Vicia sativa*, além de uma testemunha sem cultivo, para identificar qual apresenta potencial remediador ao herbicida diclosulam (Spider® 840 WG, 840 g/kg i. a., WG, Dow AgroSciences).

No experimento realizado em casa de vegetação, foram aplicadas doses de diclosulam no solo, em pré-emergência (0; 24; 48 e 96 g ha⁻¹) para posterior cultivo das espécies: *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* e *Vicia sativa*, além de uma testemunha sem o cultivo prévio. As unidades experimentais foram constituídas por vasos de polietileno com capacidade para 8 dm³, preenchidos com solo proveniente de área livre da aplicação de herbicidas. O solo utilizado no experimento foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico conforme (Embrapa, 2006). A correção da fertilidade do solo foi efetuada com base na análise química (Tabela 01) de acordo com as recomendações técnicas para as culturas envolvidas nos ensaios (Rolas, 2016).

Um dia antes da semeadura das espécies aplicou-se o herbicida, utilizando-se pulverizador costal de precisão, equipado com quatro pontas de pulverização da série TT 110.02, o qual pulverizou um volume de calda de 150 L ha⁻¹ por vaso. A irrigação foi controlada diariamente nas unidades experimentais.

Aos 7 e 28 dias após a emergência das plantas (DAE) avaliou-se a intoxicação visual (%), a área foliar (cm²/vaso) e a massa seca da parte aérea e do sistema radicular (g/vaso). Para avaliar a intoxicação visual dos herbicidas sobre as plantas foram atribuídas notas percentuais, sendo zero (0%) aos tratamentos com ausência de injúrias e cem (100%) para a morte total de acordo a metodologia proposta pela SBCPD (1995). A área foliar foi aferida com medidor portátil de área foliar modelo CI-203 BioScience em cinco plantas de cada tratamento. Após a determinação da área foliar as plantas foram acondicionadas em sacos de papel, realizou-se também a coleta do sistema radicular, alocando-se estes dois materiais para secagem em estufa com circulação forçada de ar, a temperatura de 60±5°C, até o material atingir massa constante para aferir-se a massa seca da parte aérea e do sistema radicular das espécies.

Deixou-se o solo secar em estufa por cinco dias e na sequência efetuou-se a semeadura de 10 sementes de *Helianthus annuus* por vaso. Após a germinação foi realizado o desbaste deixando apenas cinco plantas por vaso. Foram avaliadas a intoxicação visual e a massa seca das plantas aos 7 e 28 dias.

No experimento realizado a campo, foram implantadas seis espécies de cobertura de solo e produtoras de grãos: *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* e *Vicia sativa*, aplicando-se a dose de 30 g ha⁻¹ de diclosulam um dia antes da semeadura, além das testemunhas sem aplicação e um tratamento sem a presença de cultivo. Para aplicação do herbicida utilizou-se um pulverizador costal de precisão, equipado com quatro pontas de pulverização da série TT 110.02. O volume de calda aplicado foi de 150 L ha⁻¹

O experimento foi constituído de faixas, sendo que cada faixa possuía uma espécie de cobertura. As unidades experimentais foram planejadas com 7,5 m², cada. A densidade de semeadura foi ajustada de acordo com as recomendações de cada cultura. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 6x2, sendo o primeiro fator constituído pelas plantas de cobertura e o segundo, pela presença ou não do herbicida diclosulam no solo.

Aos 20 e 40 dias após a emergência das plantas (DAE) avaliou-se: a intoxicação visual e coletou-se a massa seca. Realizou-se a dessecação das culturas com glyphosate 2 L ha⁻¹ e na sequência as culturas foram roçadas e semeado o *Helianthus annuus* como planta bioindicadora de herbicida no solo. Na cultura do *Helianthus annuus* avaliou-se intoxicação visual aos 30 DAE.

Os dados foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, quando significativas aplicou-se regressões lineares ou não lineares para avaliar o efeito das doses dos herbicidas sobre as espécies estudadas no experimento em casa de vegetação. Para os dados obtidos a campo, após análise de variância e, sendo as médias significativas, testes comparativos por Tukey foram feitos e foi calculado o desvio padrão dos resultados. Ressalta-se que não foram efetuadas as comparações entre as espécies por elas naturalmente apresentarem diferenças. Todos os testes foram efetuados a 5% de significância.

RESULTADOS

Experimento em casa de vegetação

Avaliando os resultados apresentados do experimento realizado em casa de vegetação observou-se efeito significativo das doses de diclosulam sobre as variáveis das culturas avaliadas (Figuras 1, 2, 3, 4 e 5).

Os resultados encontrados para intoxicação visual sobre *Avena strigosa* e *Lupinus albus* demonstraram um aumento de 79,5% e 28,25% respectivamente, na maior dose aplicada do herbicida, em comparação com a metade da dose aos 7 DAE (Figura 01). Já aos 28 DAE a intoxicação atingiu níveis máximos de 33,75 e 92,5% para as mesmas culturas (Figura 01). As demais espécies apresentaram intoxicação elevada, com morte de 99% das plantas (Figuras 1 e 4).

As espécies testadas apresentaram resultados diferentes entre si quanto à tolerância e perdas ocasionadas por esse herbicida. *Avena strigosa* e *L. albus* obtiveram menores perdas para a variável área foliar (AF) (Figura 2).

Para a massa seca da parte aérea (MSPA) das culturas observou-se que *A. strigosa* e *L. albus* apresentaram redução de 20,96 e 3,34 g respectivamente, comparadas à testemunha com o dobro da dose testada (Figura 03). Por meio da avaliação da massa seca do sistema radicular (MSSR) das plantas confirmou-se que *A. strigosa* e *L. albus* demonstram tolerância superior às outras espécies testadas, apresentando menores perdas (Figura 04).

As plantas de *H. annuus* submetidas às doses do herbicida avaliadas aos 7 e 28 DAE, não apresentaram diferenças significativas com relação as espécies cultivadas anteriormente (Figuras 5). Mantendo-se níveis elevados de intoxicação visual e redução significativa na MSPA com a morte da maioria das plantas já na metade da dose testada (Figura 06).

Experimento realizado em campo

Verificou-se que apenas a *A. strigosa* tolerou a dose de 30 g ha⁻¹ de diclosulam com valores de intoxicação visual de 45% aos 20 DAE e de 47,5% aos 40 DAE (Figura 07). Para a espécie *L. albus* a intoxicação ficou próxima aos 90% tanto aos 20 como aos 40 DAE (Figura 07). As demais espécies avaliadas se mostraram muito sensíveis ao herbicida, apresentando intoxicação visual de 100% e com isso a morte das plantas (Figura 07).

Na avaliação da MSPA a espécie *A. strigosa*, na presença do herbicida, obteve produção próxima de 2,0 t ha⁻¹ no entanto, quando se avalia a produção de MSPA para esta mesma espécie na ausência do herbicida, verificou-se acréscimo de mais de 2 t ha⁻¹ (Figura 08). As espécies *L. multiflorum* e *L. albus* tiveram a produção de MSPA reduzida em 90% em função da presença do herbicida (Figura 08). As demais espécies avaliadas não produziram MSPA (Figura 08).

Ao avaliar o *H. annuus* que foi semeado na sequência não se observou diferença quanto ao manejo realizado pelas culturas antecessoras e os valores da intoxicação alcançaram os 99% (Figura 9).

DISCUSSÃO

As perdas em área foliar (AF) da *A. strigosa* e *L. albus* podem estar diretamente correlacionadas com a intoxicação visual. A relação entre baixa intoxicação e menores perdas no acúmulo da AF foi evidenciada ao trabalhar com ensaio de fitorremediação na utilização de imazapic + imazapyr nas doses de 140 e 280 g ha⁻¹ (Belarmiro et al., 2012).

Avena strigosa e *L. albus* demonstram tolerância superior às outras espécies testadas, quando avaliadas pela MSPA e MSSR. A tolerância de *L. albus* já foi comprovada para os ingredientes ativos diclosulam, fomesafen e sulfentrazone, mesmo quando expostas às doses elevadas (Alves, 2016).

Plantas de *H. annuus* avaliadas aos 7 e 28 DAE, no solo cultivado com as espécies potencialmente fitorremediadoras apresentaram elevados níveis de intoxicação visual. Resultado semelhante foi encontrado por Brighenti et al. (2002), ao trabalharem com persistência e intoxicação visual de diclosulam em *H. annuus* com cultivo prévio de soja. Estes autores observaram redução total no estande das plantas de *H. annuus* realizando a semeadura 60 e 90 dias após a aplicação. De acordo com Lavorenti et al. (2003), a meia vida desse herbicida é de 67 dias para o sistema de plantio direto, fato que comprova a alta persistência no solo, sendo poucas espécies capazes de tolerar o resíduo. Segundo Cobucci et al. (2004), o diclosulam apresenta solubilidade em água de 124 ppm, ocasionando alta lixiviação do produto alocado sobre a palhada para o solo, mesmo com elevados valores de biomassa.

A remediação utiliza o microbioma do solo associado às espécies fitorremediadoras para extrair ou degradar os resíduos de herbicidas no solo (Peterson et al., 2016) e no inverno a atividade desses microrganismos é reduzida (Isobe et al., 2018) devido às menores temperaturas (Price et al., 2004), o que pode ocasionar uma diminuição no potencial fitorremediador das espécies de inverno. Como a principal via de degradação do herbicida diclosulam no solo é a microbiota (Rodrigues e Almeida, 2019), provavelmente as espécies testadas tiveram a sua capacidade fitorremediadora prejudicada pelos fatores climáticos. A baixa capacidade remediadora das espécies testadas foi evidenciada pela a morte das plantas bioindicadoras de *H. annuus* semeadas em sucessão, comprovando atividade residual do diclosulam, mesmo após considerado período de cultivo das espécies potencialmente fitorremediadoras.

CONCLUSÕES

Avena strigosa e *L. albus* foram às culturas que apresentaram maior tolerância ao herbicida diclosulam.

Nenhuma das culturas de inverno testada se mostrou eficientes para a fitorremediação de resíduos do herbicida diclosulam no solo.

É necessário testar mais espécies de inverno com potencial fitorremediador para resíduos do herbicida diclosulam no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEGAS, F. S.; VARGAS, L.; GAZZIERO, D. L. P.; KARAM, D.; SILVA, A. F. DA; AGOSTINETTO, D. **Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Circular Técnica nº 132 Embrapa Soja, Londrina-PR, 2017.
- ADKI, V.S., JADHAV, J.P., BAPAT, V.A. **At the cross roads of environmental pollutants and phytoremediation: a promising bio remedial approach**, 2014.
- ALVES, C. **Seleção de espécies com potencial para fitorremediação de solo contaminado com herbicidas inibidores da PROTOX**. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental. Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim-RS, 2016.
Disponível em <https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/1540/1/ALVES.PDF>
- ARTUZI, J. P.; CONTIERO, R. L. **Herbicidas aplicados na soja e produtividade do milho em sucessão**: Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 41, n. 7, p. 1119-1123, 2006. doi: 10.1590/S0100-204X2006000700007
- BELARMINO, J.G.; GALON, L., GUIMARÃES, S.; ZANDONÁ, R.; LIMA, A.; BASTIAN, M.; SILVA, A. **Seleção de espécies vegetais para fitorremediar solo contaminado com imazapic + imazapyr**. In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, SBCPD, v. 28, p. 158-162, 2012.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO-MAPA. **Agrofit-Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Disponível: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: Janeiro de 2019.
- BRIGHENTI, A.; MORAES, J.; OLIVEIRA JR, R. S.; GOMES, J. **Persistência e fitotoxicidade de herbicidas, aplicados na soja, sobre o girassol safrinha**: Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, n. 4, p. 559-565, 2002.
- CHAGAS, R.M. **Alterações fotossintéticas e respostas oxidativas em plantas de cana-deaçúcar (Saccharum officinarum L.) tratadas com paraquat**. Dissertação, Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
- 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, 2010.
- CHIAPINOTTO, D. M.; SCHAEGLER, C. E.; FERNANDES, J. P. S, ANDRES, A.; LAMEGO, F.L. **Cross-resistance of rice flatsedge to als-inhibiting herbicides**: Planta Daninha, Viçosa, MG, v. 35, p. 1-12, 2017.
- CHOLETTE, T.B., SOLTANI, N., HOOKER, D.C., ROBINSON, D.E., SIKKEMA, P.H. **Effect of soybean and winter wheat herbicides on oilseed radish establishment and growth**. Can. J. Plant Sci. 97, 1175–1184, 2017.
<https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0023>

COBUCCI, T.; PORTELA, C. M. O.; SILVA, W.; NETO MONTEIRO, A. **Performance of residual herbicides applied in pre planting in dry bean crop: Planta Daninha**, v. 22, n. 4, p. 591-596, 2004.

CORNELIUS, C.D., BRADLEY, K.W. **Carryover of Common Corn and Soybean Herbicides to Various Cover Crop Species**. *Weed Technology* 31, 21–31, 2017.
<https://doi.org/10.1614/WT-D-16-00062>.

CONSTANTIN J, OLIVEIRA JR RS, OLIVEIRA NETO AM, BLAINSKI E, GUERRA N. **Manejo da buva na entressafra: fundamentos e recomendações para manejo**. Curitiba: Omnipax, 2013.

COSTA, A. G. F.; SILVA, A. F.; KARAM, D.; ADEGAS, F. S.; SILVA, W. T. da; PERINA, F.; CARDOSO, G. D.; TERRA, M. A.; VALE, L. S. do; MELO, N. M. da C. **Levantamento da percepção de plantas daninhas resistentes ao glyphosate nos Estados de Mato Grosso, Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia: Congresso Brasileiro De Algodão, Maceió-AL**. Inovação e rentabilidade da cotonicultura: livro de resumos. Brasília, DF: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, 2017.

DAN, H. A.; DE MORAES DAN, L. G.; DE LEMOS BARROSO, A. L.; DE OLIVEIRA NETO, A. M.; GUERRA, N. **Resíduos de herbicidas utilizados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão: Revista Caatinga**, v.25, n.1, p.86-91, 2012.

DOW AGROSCIENCES INDUSTRIAL Ltda. **Bula_AGROFIT_Spider 840 WG_2019_11; Registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA sob nº 19116**. <http://www.adapar.pr.gov.br/arquivos/File/defis/DFI/Bulas/Herbicidas/spider840wg260218.pdf>

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro, 2006.
ISBN 85-85864-19-2

FLOWERS, T.J. et al. **QTL: their place in engineering tolerance of rice to salinity: Journal of Experimental Botany**. 2000.

HEAP, I. **The international survey of herbicide resistant weeds**. *Weedscience*, 2018.
Disponível em: <http://www.weedscience.org>

ISOBE, K., OKA, H., WATANABE, T., TATENO, R., URAKAWA, R., LIANG, C., & SHIBATA, H. **High soil microbial activity in the winter season enhances nitrogen cycling in a cool-temperate deciduous forest**. *Soil Biology and Biochemistry*, 124, 90-100, 2018.

LAVORENTI, A.; PRATA, F.; REGITANO, J. B. **Comportamento de pesticidas em solos: fundamentos**. In: Curi, N. et al. *Tópicos especiais em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.335- 400, 2003.

LÓPEZ-OVEJERO RF, SOARES DJ, OLIVEIRA WS, FONSECA LB, BERGER GU, SOTERES JK, CHRISTOFFOLETI PJ. **Residual herbicides in weed management for glyphosate resistant soybean in Brazil**. *Planta Daninha*. 2013.

MELO MSC, ROSA LE, BRUNHARO CACG, NICOLAI M, CHRISTOFFOLETI PJ. **Alternativas para o controle químico de capim-amargoso (*Digitaria insularis*) resistente ao glyphosate.** Rev Bras Herb. 2012.

NUNES, A. L.; VIDAL, R. A. **Seleção de plantas quantificadoras de herbicidas residuais:** Pesticidas: revista de ecotoxicologia e meio ambiente, v.19, n.1, p.19-28, 2009.

OLIVEIRA Jr, R. S.; MARCHIORI Jr, O.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Influência do período de restrição hídrica na atividade residual de isoxaflutole no solo.** Planta Daninha, v 24, n.4, p.733-740, 2006.

OLIVEIRA JR, R. S. **Mecanismos de Ação de Herbicidas.** Biologia e Manejo de Plantas Daninhas. Capítulo 7, 171-173 p., 2011.

OLIVEIRA NETO AM, CONSTANTIN J, OLIVEIRA JR RS, GUERRA N, BRAZ GBP, VILELA LMS et al. **Sistemas de dessecação em áreas de trigo no inverno e atividade residual de herbicidas na soja:** Rev Bras Herb, 2013.

PETERSON MA, MCMASTER SA, RIECHERS DE, SKELTON J, STAHLMAN P W. 2, **4-D past, present, and future: a review.** Weed Technology 30(2) 303-345, 2016.
DOI: 10.1614/WT-D-15-00131.1.

PIRES, F.R. et al. **Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas.** Planta Daninha, 21;2; 335-341, 2003.

PRICE, P. B., & SOWERS, T. **Temperature dependence of metabolic rates for microbial growth, maintenance, and survival.** Proceedings of the National Academy of Sciences, 101(13), 4631-4636, 2004.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas.** Londrina: Grafmarke, 2019.

ROLAS- Rede oficial de laboratórios de análise de solo e de tecido vegetal. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016.

SANTOS, E.A. et al. **Fitoestimulação por *Stizolobium aterrimum* como processo de remediação de solo contaminado com trifloxysulfuron-sodium:** Planta Daninha, 25:259-65, 2007.

SANTOS, T.T.M.; TIMOSSI, P.C.T.; LIMA, S.F.; GONÇALVES, D.C.; SANTANA, M.V. **Associação dos herbicidas diclosulam e glyphosate na dessecação visando o controle residual de plantas daninhas na cultura da soja.** Revista Brasileira de Herbicidas, v.15, n.2, p.138-147, 2016.

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

SOLTANI, N.; MASHHADI, R. H.; MESGARAN, M. B.; COWBROUGH, M.; TARDIF, F. J.; CHANDLER, K.; SWANTON, C. J.; SIKKEMA, P. H. **The effect of residual corn**

herbicides on injury and yield of soybean seeded in the same season: Canadian Journal of Plant Science, v. 91, n. 3, p. 571-576, 2011.
doi: 10.4141/cjps10110.

VIVIAN, R.; REIS, M. R.; JAKELAITIS, A.; SILVA, A. F.; GUIMARÃES, A. A.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A. **Persistência de sulfentrazone em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar.** Planta Daninha, v.24, n.4, p.741-750, 2006.

ZHU, J. **Salt and drought stress signal transduction in plants:** Annual Review Plant Biology; 53:247–273, 2002.

Tabela 01 - Análise química física do solo do Experimento, localização: área experimental da UFSS em Erechim-RS

| pH | P | K | Na | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | SB | CTC(t) | CTC(T) |
|------------------------------------|-------|--------------------|------------------------|------------------|------------------------------------|------------------|--------------------|------------------------------------|--------|--------|
| H ₂ O | | mg/dm ³ | | | cmol _c /dm ³ | | | cmol _c /dm ³ | | |
| 4,8 | 6,3 | 180 | 17 | 5,1 | 3,3 | 0,9 | 8,7 | 8,67 | 9,8 | 17,37 |
| V | m | ISNa | MO | P-rem | Zn | Fe | Mn | Cu | B | S |
| | | dag/Kg | | mg/L | mg/dm ³ | % | mg/dm ³ | | | |
| 49,91 | 9,4 | 3,31 | | | 1,4 | 0,18 | 75 | 4,6 | - | 39,2 |
| Granulometria | | | Classificação Textural | | | | Tipo de Solo | | | |
| Argila | Silte | Areia | Franco - argiloso | | | | Textura média | | | |
| % | % | % | | | | | | | | |
| 26,8 | 17,13 | 56,07 | | | | | | | | |
| Classificação Segundo Embrapa 2006 | | | | | | | | | | |
| Latossolo Vermelho Distrófico | | | | | | | | | | |

Diagnóstico para acidez do solo e calagem
 "pH em água 1:1; Ca, Mg, Al, e Mn trocáveis extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e CTC a pH 7,0."
 Diagnóstico para macronutrientes e recomendação de adubação NPK-S
 "Argila determinada pelo método do densímetro; MO por digestão úmida e P, K, Na, Zn e Cu determinados pelo método de Mehlich I."

Diagnóstico para micronutrientes e relações molares
 "S-SO₄ extraído com CaHPO₄ 500 mg L⁻¹ de P" e B extraído com água quente."

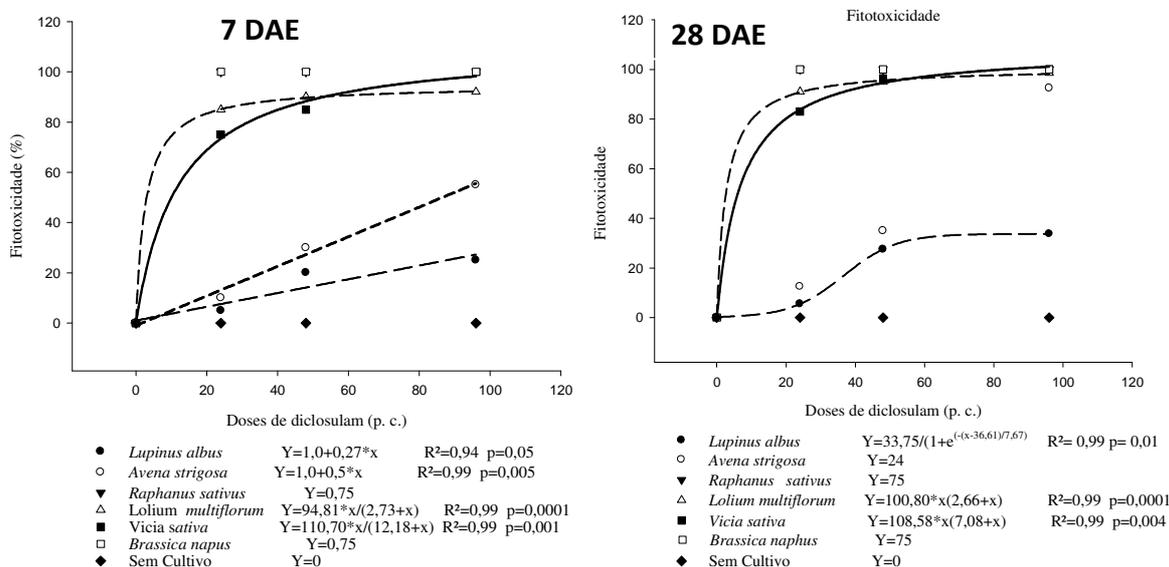


Figura 01 - Intoxicação visual (%) observada para as espécies *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* e *Vicia sativa* e sem cultivo aos 7 e 28 dias após a emergência em função da aplicação de doses de diclosulam.

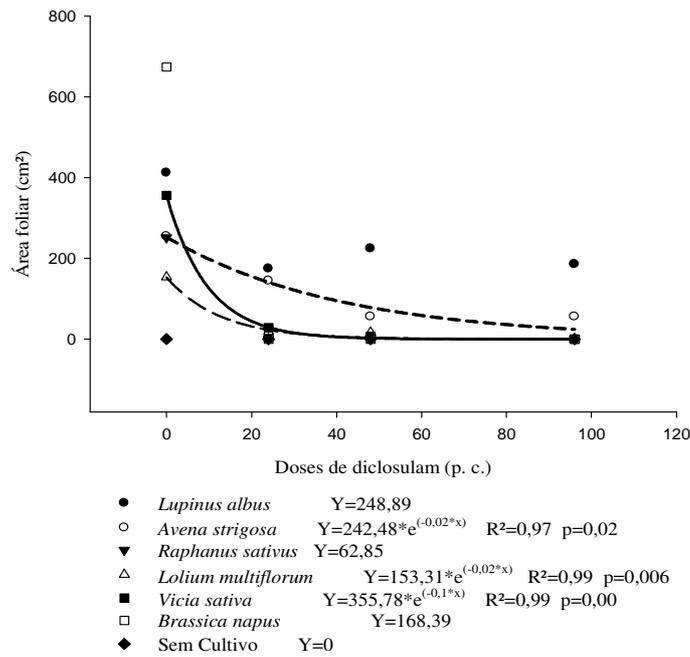


Figura 02 - Área foliar (cm²) das espécies *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* e *Vicia sativa* e sem cultivo aos 28 dias após a emergência em função da aplicação de doses de diclosulam.

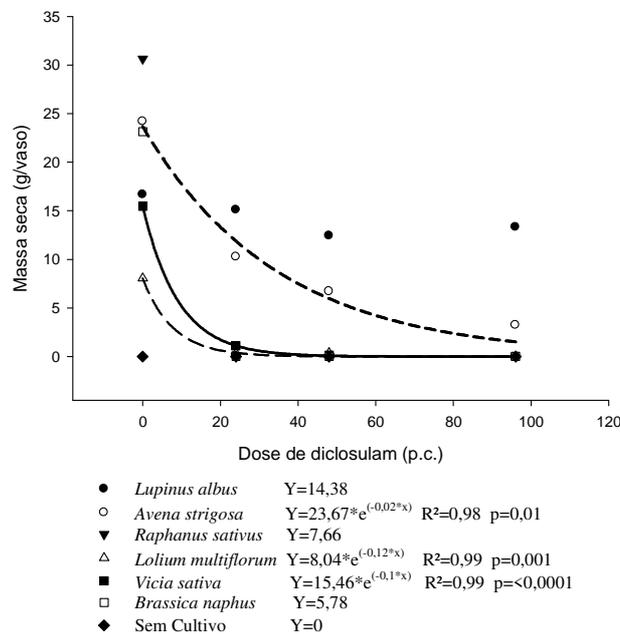


Figura 03 - Massa seca da parte aérea (g/vaso) das espécies de *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* e *Vicia sativa* e sem cultivo aos 28 dias após a emergência em função da aplicação de doses de diclosulam.

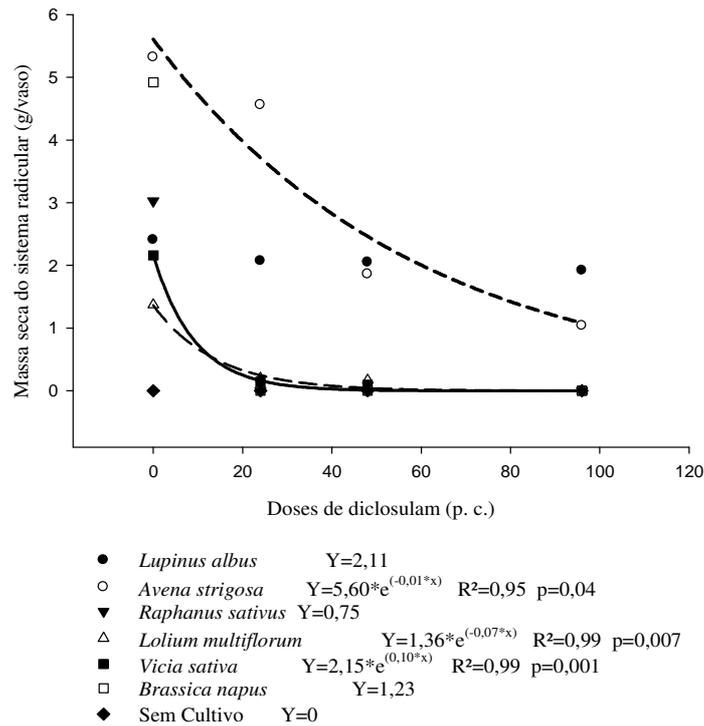


Figura 04 - Massa seca do sistema radicular (g/vaso) das espécies de *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* e *Vicia sativa* e sem cultivo aos 28 dias após a emergência em função da aplicação de doses de diclosulam.

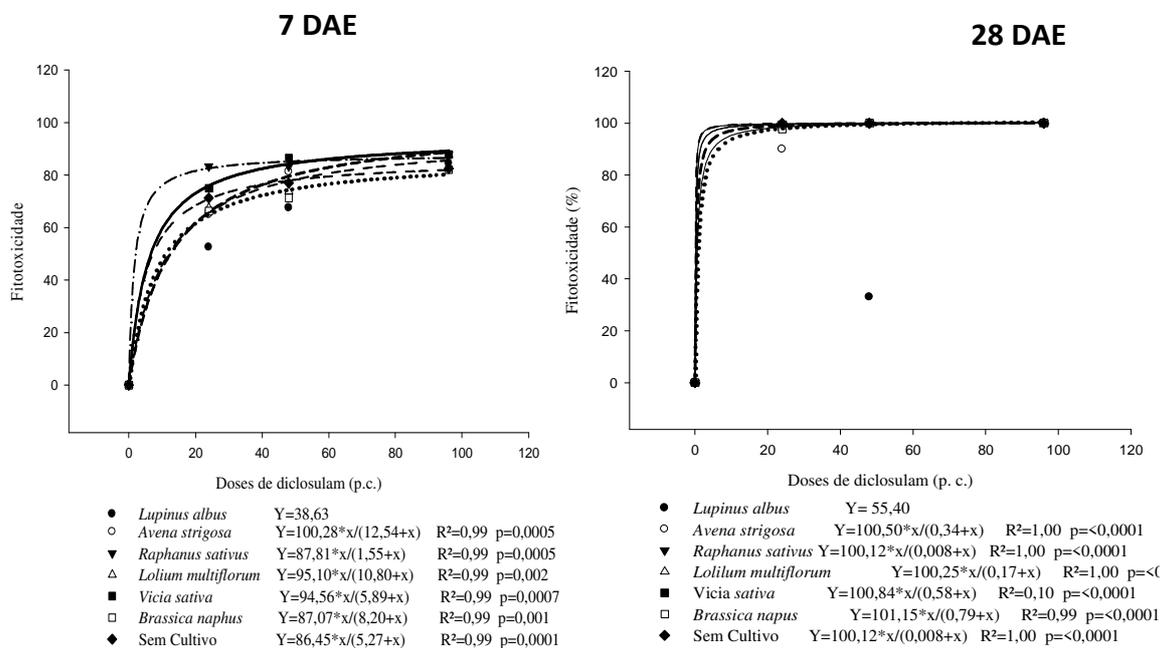


Figura 05 - Intoxicação (%) em plantas de girassol (*Helianthus annuus*), aos 7 e 28 dias após a emergência, em função do cultivo prévio de *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* e *Vicia sativa* e sem cultivo após a aplicação de doses de diclosulam.

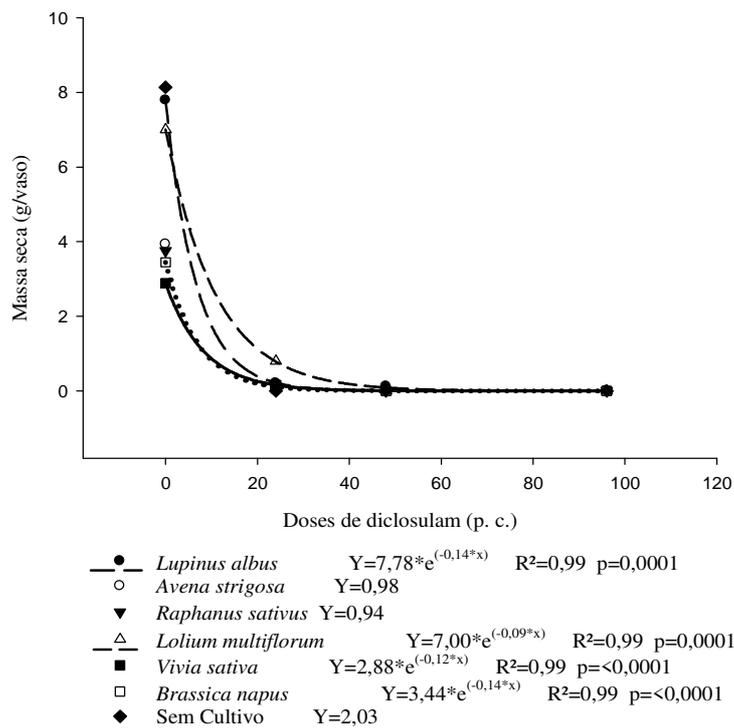


Figura 06 - Massa seca (g/vaso) da parte aérea de plantas de girassol (*Helianthus annuus*) aos 28 dias após a emergência, em função do cultivo prévio *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* e *Vicia sativa* e sem cultivo após a aplicação de doses de diclosulam.

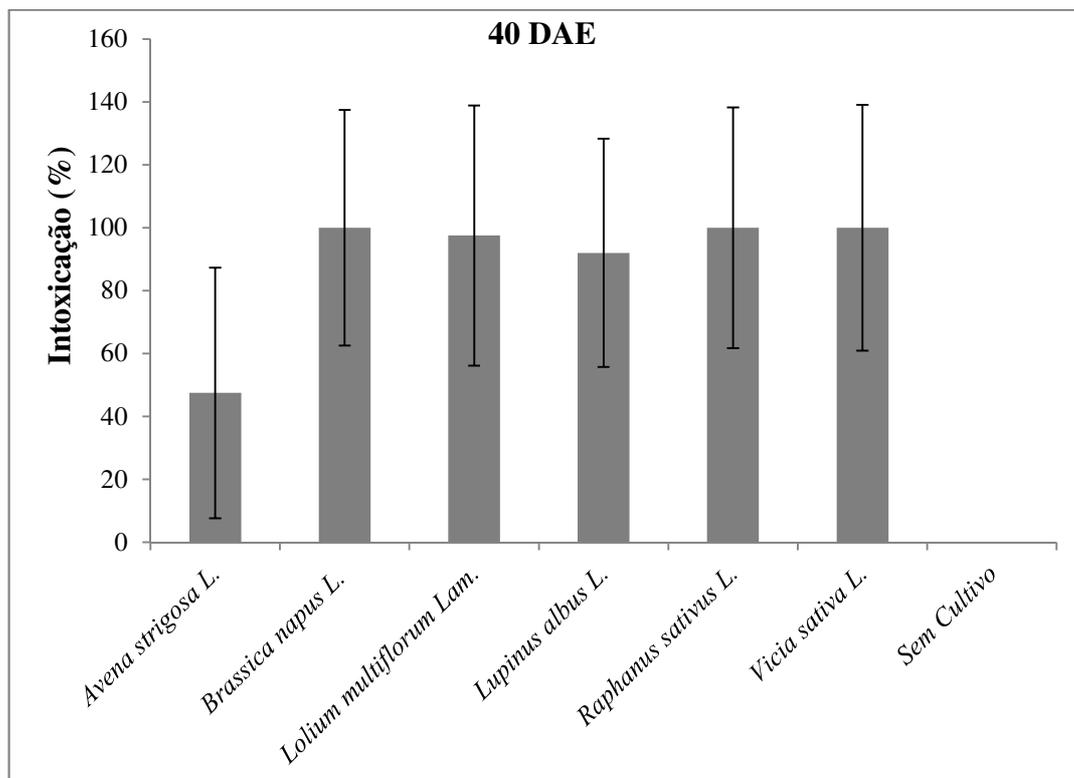
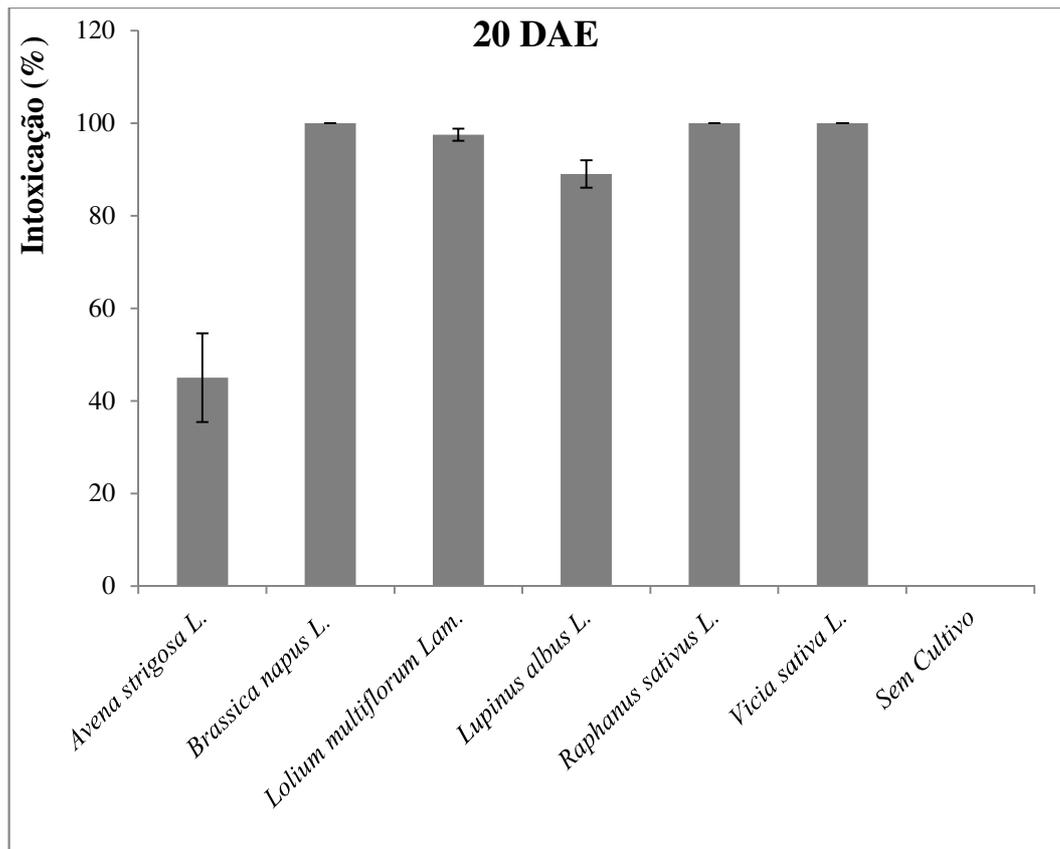


Figura 07 - Intoxicação (%) aos 20 e 40 dias após a emergência, em função do cultivo de *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* e *Vicia sativa* e sem cultivo após a aplicação da dose de 30 g ha⁻¹ de diclosulam. Sendo que na dose 0 de diclosulam não houve intoxicação

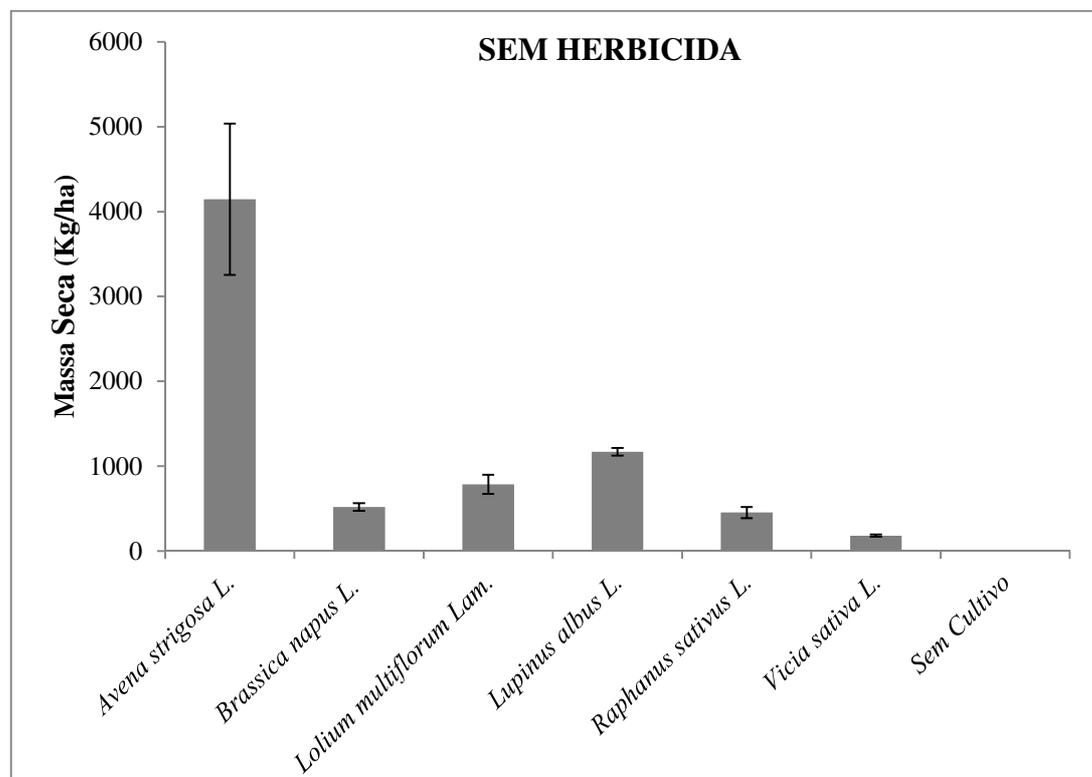
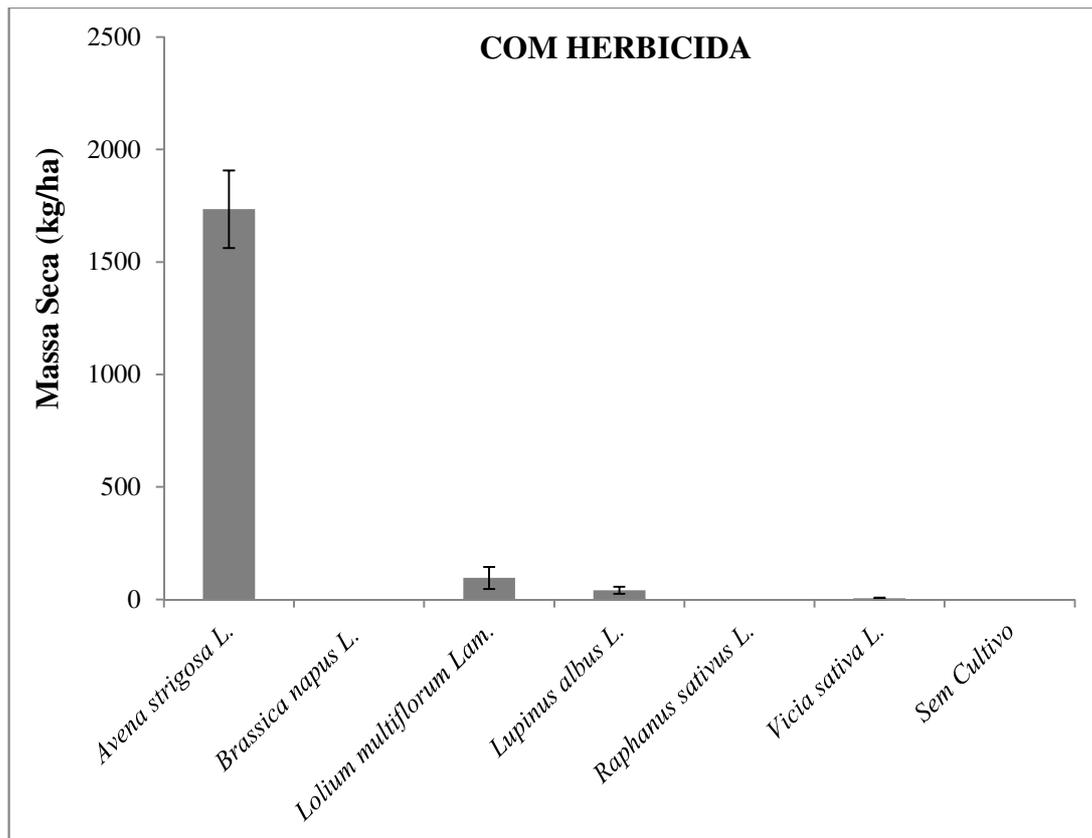


Figura 08 - Massa seca parte aérea (kg/ha) aos 40 DAS de *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* e *Vicia sativa* e sem cultivo após a aplicação da dose de 30 g ha⁻¹ de diclosulam.

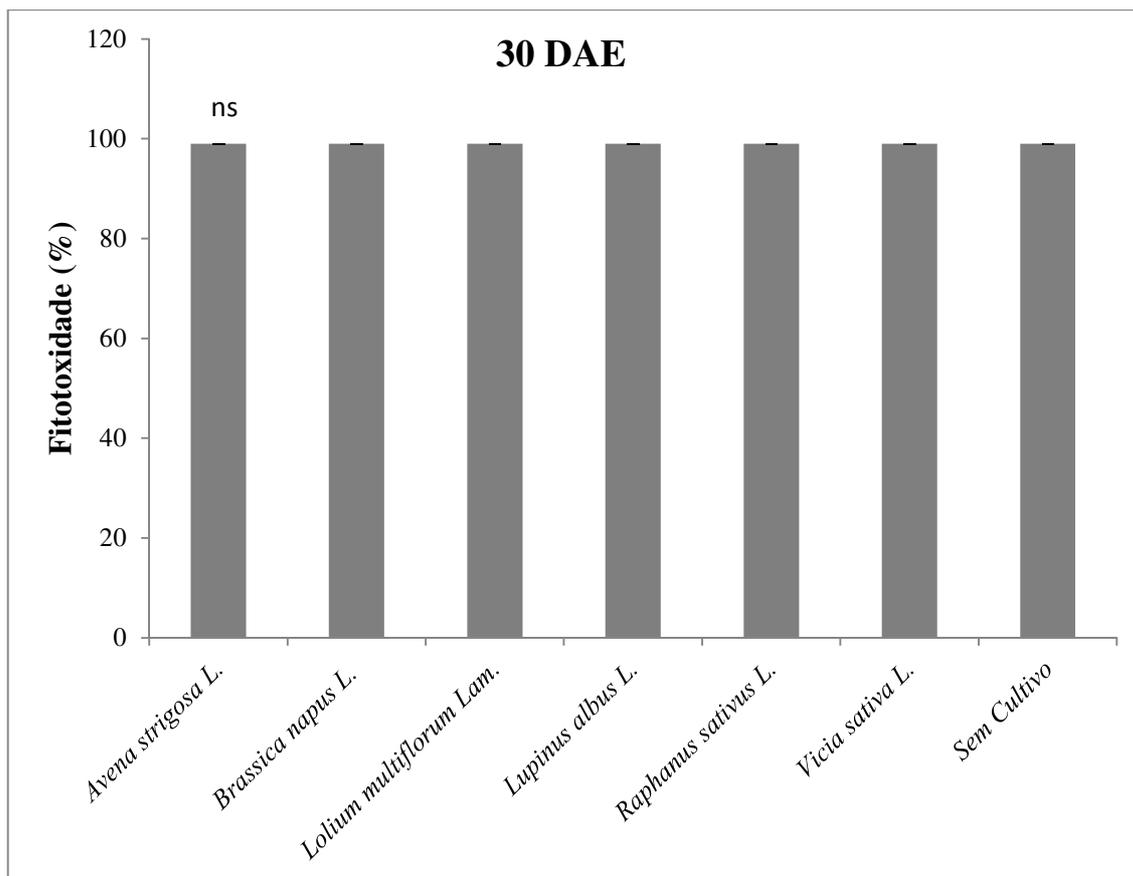


Figura 09 - Intoxicação do *Helianthus annuus* (%) em função do cultivo prévio de *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* e *Vicia sativa* e sem cultivo após a aplicação da dose de 30 g ha⁻¹ de diclosulam. Sendo que na dose 0 de diclosulam não houve intoxicação.

CAPITULO 03 - CAPACIDADE REMEDIADORA DE PLANTAS DE COBERTURA PARA O HERBICIDA DICLOSULAM EM CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DIFERENTES

Resumo: O objetivo do trabalho foi avaliar a capacidade remediadora de plantas de cobertura ao herbicida diclosulam em quatro localidades brasileiras com condições edafoclimáticas diferentes. Os ensaios foram conduzidos em: Couto Magalhães de Minas-MG; Diamantina-MG; São João Evangelista-MG e Erechim-RS. Os tratamentos locais foram dispostos em esquema fatorial $n \times 2$ sendo o primeiro fator n constituído pelo número de espécies vegetais em cada localidade e o segundo, pela presença ou não do herbicida diclosulam no solo (dose 30 g ha⁻¹). Foram avaliadas as características fisiológicas, biomassa e taxa de cobertura de quinze espécies potencialmente fitorremediadoras. Aos 60 dias após plantio, coletaram-se amostras de solo retiradas das áreas experimentais para determinação dos resíduos por meio de análise de cromatografia. Os resíduos de herbicida no solo correlacionaram-se positivamente com pH do solo, teor de matéria orgânica, quantidade de alumínio, silte e saturação por alumínio. Concluiu-se que: a capacidade fitorremediadora das espécies está ligada às condições edafoclimáticas do ambiente alvo. *Avena sativa*, *Canavalia ensiformis* e *Mucuna aterrima* são espécies com potencial para programas de fitorremediação em áreas com resíduos do herbicida diclosulam em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e clima Cwb; *Avena sativa* e *Canavalia ensiformis* são espécies com potencial para programas de remediação em áreas com resíduos do herbicida diclosulam em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico e clima Cwa. Em Argissolo Amarelo Eutrófico e regiões com clima Cwa, *A. sativa*, *Cajanus cajan*, *C. ensiformis* e *M. aterrima* foram às espécies com maior potencial para programas de fitorremediação em áreas com resíduos do herbicida diclosulam. As espécies *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* e *Vicia sativa* não são recomendadas para programas de fitorremediação em áreas com resíduo do herbicida diclosulam em Latossolo Vermelho distrófico e regiões que possuem o clima Cfa.

Palavras-Chave: Clima. Cromatografia. Fitorremediação. Solos.

ABSTRACT

Summary: The objective of this work was to evaluate the remedial capacity of cover crops to diclosulam herbicide in four Brazilian locations with different soil and climatic conditions. The trials were conducted in: Couto Magalhães de Minas-MG; Diamantina-MG; São João Evangelista-MG and Erechim-RS. The treatments were arranged in factorial scheme $n \times 2$, the first factor being constituted by the number of plant species in each locality and the second, by the presence or not of diclosulam herbicide in soil (dose 30 g ha^{-1}). The physiological characteristics, biomass and coverage rate of fifteen potentially phytoremediate species were evaluated. At 60 days after planting, soil samples were collected from the experimental areas to determine the residues by means of chromatography analysis. The herbicide residues in the soil correlated positively with soil pH, organic matter content, amount of aluminum, silt and saturation by aluminum. It is concluded that: the phytoremediative capacity of the species is linked to the edaphoclimatic conditions of the target environment. *Avena sativa*, *Canavalia ensiformis* and *Mucuna aterrima* are species with potential for phytoremediation programs in areas with residues of the herbicide diclosulam in Arenosols Quartzipsamments and *Cwb* climate; *Avena sativa* and *Canavalia ensiformis* are species with potential for remediation programs in areas with residues of the herbicide diclosulam in Oxisols Red Yellow Dystrophic and *Cwa* climate. *Avena sativa*, *Cajanus cajan*, *C. ensiformis* and *M. aterrima* were the species with the greatest potential for phytoremediation programs in areas with residues of the herbicide diclosulam. The species *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* and *Vicia sativa* are not recommended for phytoremediation programs in areas with residue of the herbicide diclosulam in Ultisols Red Dystrophic and regions that have the *Cfa* climate.

Key words: Climate. Chromatography. Phytoremediation. Soil.

INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca como maior consumidor de fitossanitários do mundo, comercializando cerca de 20% do total desses produtos (Albuquerque et al., 2016). Dentre os agrotóxicos, os herbicidas são os de maior utilização, correspondendo a 45% dos agroquímicos comercializados anualmente (Franco-Bernardes et al., 2017). Esses agrotóxicos são eficazes e economicamente viáveis para o controle de plantas daninhas em culturas agronômicas, sistemas agroflorestais e na recuperação de áreas degradadas (Gianessi, 2013). A soja e a cana-de-açúcar somam 42 milhões de hectares para cultivo no Brasil (CONAB, 2017), somente para essas culturas estão registrados 106 princípios ativos (Brasil, 2018).

O diclosulam é um herbicida pertencente ao grupo das triazolopirimidinas, mais utilizado nas culturas de soja e cana-de-açúcar (Oliveira, 2011; Brasil, 2018). Esse herbicida inibe a enzima acetolactatosintase (ALS) que é essencial para a síntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina (Xu et al., 2015). Sua solubilidade em água depende do pH, varia de 100 mg kg⁻¹ (em pH entre 5 e 7) a 4000 mg kg⁻¹ (em pH 9). O pKa da molécula é de 4.09 a 20°C, indicando sua predominância na forma aniônica em valores de pH característicos de solos agricultáveis (Lavorenti et al., 2003). Seus valores de logKow variam de -0.448 (em pH 9) a 1.42 (em pH 5), indicando baixa hidrofobicidade (Yoder et al., 2000). O diclosulam é um herbicida ionizável de caráter ácido (Christoffoleti et al., 2008), apresenta longo efeito residual, variando em função da umidade, teor de argila e matéria orgânica do solo (Lavorenti et al., 2003). Os principais fatores que influenciam sua sorção no solo são os teores de umidade e matéria orgânica (Rodrigues & Almeida, 2019).

O efeito residual do diclosulam beneficia o controle do banco de sementes nas áreas onde é aplicado (Santos et al., 2016), porém, dificulta a sucessão de espécies sensíveis como girassol e brássicas (Pandolfo et al., 2016).

O comportamento dos herbicidas no ambiente não é determinado, somente, pelas características físico-químicas dos produtos. Os atributos do solo; os fatores ambientais e as práticas adotadas nos sistemas de cultivo, também afetam o comportamento dos herbicidas no ambiente (Pacheco, L. C. P. S, 2017)

Uma alternativa para otimizar a sucessão de culturas sensíveis em áreas com aplicação do diclosulam é o cultivo de plantas de cobertura remediadoras deste herbicida (Monquero et al., 2013). A fitorremediação é definida como uso de plantas associadas ou não a microrganismos que são capazes de remover, acumular ou degradar poluentes (Adki et al., 2014), dentre eles, os herbicidas. Esta técnica apresenta baixos custos operacionais e de

investimento, geração mínima de degradação e estabilização da área a ser descontaminada (Chaves et al., 2010).

O objetivo do trabalho foi avaliar a capacidade remediadora de plantas de cobertura ao herbicida diclosulam em quatro localidades brasileiras com condições edafoclimáticas diferentes.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em campo, entre os anos de 2016 e 2018, em quatro localidades do Brasil com condições edafoclimáticas descritas na (Tabela 01). O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições para cada localidade. Em cada local, os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial $n \times 2$ sendo o primeiro fator constituído pelo número de espécies vegetais em cada localidade (Tabela 01) e o segundo, pela presença ou não do herbicida diclosulam no solo. Nas parcelas em pousio, havia presença de espécies daninhas. O espaçamento utilizado e a densidade de sementes por área foram realizadas em função de cada espécie. Essas espécies foram selecionadas em ensaios preliminares (Monquero et al., 2013; Matte et al. 2019; Souza et al., 2017). Testes de germinação foram realizados para todas as espécies. Todos os demais cuidados fitossanitários foram devidamente empregados.

Em todas as localidades, as parcelas experimentais possuíam dimensões de 3,0 x 2,5 m. Para o plantio das espécies, realizou-se o preparo convencional do solo (aração seguida de gradagem). A adubação foi realizada segundo as exigências nutricionais de cada espécie e a calagem foi feita em área total para elevar a saturação por bases a 60%, conforme recomendado pelo manual da adubação e calagem (Novais et al., 2007). Para os experimentos da região Sudeste e para região Sul a correção da fertilidade do solo foi efetuada com base nas recomendações técnicas para as culturas envolvidas nos ensaios (Rolas, 2016).

O herbicida diclosulam foi aplicado por meio de pulverizador de ar comprimido equipado com um bocal de jato plano TT11002 calibrado para fornecer 150L ha⁻¹ de volume de pulverização. A dose aplicada foi de 35,7 g ha⁻¹ do produto comercial Spider 840 WG (equivalente a 30 g ha⁻¹ do diclosulam) um dia antes da semeadura das espécies.

A alocação de matéria seca da parte aérea foi avaliada em todos os experimentos e em Erechim-RS, incluiu-se a massa seca das raízes. Cobertura do solo e *clorofila a e b* foram avaliadas nas áreas experimentais de Couto Magalhães de Minas-MG, Diamantina-MG e São João Evangelista-MG. A intoxicação das plantas foi avaliada em Erechim-RS, Couto de Magalhães-MG e São João Evangelista-MG e nestas duas últimas, também foi aferido a altura das plantas e o número de folhas.

Aos 60 dias após plantio (DAS), foram coletadas amostras de solo retiradas das áreas experimentais. Estas amostras foram encaminhadas para Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA, para determinação dos resíduos do diclosulam no solo.

O instrumento LC-MS/MS consistiu de um sistema de cromatografia líquido de ultra alta performance (UHPLC) (Shimadzu) acoplado a um espectrômetro de massa triplo quadrupolo da Shimadzu (modelo LCMS-8040) operado no modo de ionização por eletrospray positivo (ESI+). O UHPLC é equipado com uma coluna Restek (Pinnacle DB AQ C18 de tamanho 50 x 2,1 mm, com partículas de 1,9 µm), incluindo duas bombas LC - 30AD, um desgaseificador DGU – 20A_{5R}, um auto - sampler Sil - 30AC, um forno de coluna CTO - 30AC e um CBM –20A controlador.

Após otimização dos parâmetros instrumentais para obter o máximo de sensibilidade, as condições adotadas para a determinação do composto estudado em cada matriz considerada foram as seguintes: modo de eluição envolvendo condição isocrática com uma fase móvel binária composto por ácido fórmico a 0,1% em água (fase móvel A) e acetona (fase móvel B), na proporção de 40 para 60%, respectivamente. Bombeando um fluxo de 0,3 ml/min. O volume de injeção foi de 5 µL e a temperatura do gerenciador de amostras foi ajustada para 15°C.

Os parâmetros do sistema LC-MS / MS foram os seguintes: temperatura da coluna, 40°C; tensão de interface, 4,5 kV; temperatura da linha de dessolvatação, 250 °C; fluxo de gás nitrogênio de nebulização, 3 L / min; temperatura do bloco de calor, 400; fluxo de gás nitrogênio de secagem, 15 L / min; gás argônio de colisão, 230 kPa. A interface ESI foi operada em modo positivo (ESI +) e o espectrômetro de massa em monitoramento de reações múltiplas (MRM), o íon precursor com *m/z* de 406,00 e dois íons produtos, o de maior intensidade foi usada para quantificação (*m/z* 253,1 > 161,10), e o segundo usado para confirmação (*m/z* 253,1 > 378,10).

| Íon precursor m/z | Íon produto m/z | Dwell time (msec) | Q1 Pre Bias (V) | CE | Q3 Pre Bias (V) |
|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-------|--------------------|
| 405,90 | 161,10 | 100,0 | -29,0 | -37,0 | -30,0 |
| 406,00 | 378,10 | 100,0 | -19,0 | -16,0 | -19,0 |

Os resultados obtidos em cada região foram submetidos à análise de variância, sendo as médias significativas, comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância, utilizando o programa estatístico SISVAR. Para testar a presença ou ausência de herbicida, a análise de

variância foi utilizada, mediante teste F. Foi verificado o desvio padrão das médias obtidas para confecção dos gráficos. Entre as regiões realizou-se teste de correlação de Pearson da quantidade de resíduos de diclosulam em solo com pousio e solo com cultivo de espécies forrageiras em função de atributos das análises de solo das quatro localidades.

RESULTADOS

Experimento 1

Na Estação Experimental da UFVJM, em Couto Magalhães de Minas-MG, no solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVAD) e clima Cwa, os menores resíduos do diclosulam foram observados onde foi cultivada a espécie *C. ensiformes* e na parcela em pousio. A espécie *M. aterrina* foi a menos eficiente na retirada de resíduos do herbicida neste solo. *Avena sativa* e *U. decumbens* também reduziram significativamente os resíduos de diclosulam (Figura 1).

Os resultados fisiológicos observados demonstraram que as espécies *C. ochroleuca*, *H. annuus*, *P. maximum*, *P. glaucum* e *R. Sativus* não se desenvolveram na presença do herbicida diclosulam na dose 30g ha⁻¹ (Tabelas 02 e 03). Aos 50 dias após a semeadura (DAS), para as espécies que toleraram a presença do herbicida, não houve variação na concentração de *clorofila a*, exceto para espécie *H. annuus*. Para *clorofila b* ocorreu o contrário, em quase todas as espécies houve variação, exceto para as espécies *C. cajan* e *M. aterrima* (Tabela 2).

O número de folhas das espécies avaliadas na presença do herbicida, na maior parte dos casos foi menor quando comparado na ausência do diclosulam (Tabela 02). As espécies *A. sativa* e *C. cajan* tiveram a maior taxa de cobertura do solo (CS%) na presença do herbicida aos 90 DAS (Tabela 03). Para espécie *A. sativa* não foi observado variação na taxa de cobertura do solo. A espécie com maior produção de massa seca da parte aérea (MSPA) foi *A. sativa* com 2.472 kg ha⁻¹. *Cajanus cajan*, *C. ensiformes*, *M. aterrima* e *U. decumbens* produziram 87,3; 303,1; 579,4; 254,8 kg ha⁻¹ de massa seca, respectivamente.

Experimento 2

Os resultados observados no experimento conduzido na Estação Experimental do Campus JK da UFVJM em Diamantina-MG no solo classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico (NQOt), cultivados com *C. cajan*, *C. ensiformes* e *C. ochroleuca* havia menos resíduos de diclosulam se comparados às outras espécies (Figura 2). Nas parcelas cultivadas com *M. aterrima*, *U. decumbens* e onde o solo estava em pousio, observou-se as maiores

concentrações de resíduos do herbicida, sendo que estas médias foram iguais estatisticamente (Figura 02).

Aos 40 dias após a semeadura (DAS) observou-se que: a porcentagem de cobertura do solo (CS%) na presença do herbicida foi maior para *A. sativa*. *Canavalia ensiformes*, *P. glaucum* e *M. aterrima* não apresentaram diferença significativa para esta variável quando comparado na presença e ausência do herbicida. *Avena sativa* e *C. ensiformes* tiveram resultados semelhantes para CS% na presença e ausência do herbicida. Em solo com diclosulam a CS% foi diminuída para *C. ochroleuca* (de 27 para 5%), *P. maximum* (de 23 para 5%), *P. glaucum* (de 83 para 26%), *R. sativus* (de 40 para 5%) e *U. decumbens* (de 25 para 8%) (Tabela 4).

Para à alocação de biomassa observou-se que não houve diferença na presença e ausência do herbicida para as espécies *A. sativa*, *C. ensiformes* e *M. aterrima*. *Raphanus sativus*, *U. decumbens*, *P. maximum* e *C. ochroleuca* tiveram perdas significativas na alocação de biomassa, quando cultivadas em solo com resíduos de diclosulam (Tabela 04).

Experimento 3

Na área experimental de São João Evangelista-MG, no solo classificado como Argissolo Amarelo Eutrófico (AAE), observou-se que o cultivo com *C. cajan* ocasionou menor quantidade de resíduo de diclosulam. A concentração do resíduo de diclosulam na parcela onde havia *C. cajan*, foi em média 50% menor do que os valores observados para as demais espécies. *Avena sativa*, *C. ensiformes* e *M. aterrima* apresentaram valores estatisticamente iguais. O solo mantido em pousio reduziu significativamente o valor do resíduo do herbicida, maior apenas que *C. cajan* (Figura 3).

As espécies *C. ochroleuca*, *H. annuus*, *P. maximum*, *P. glaucum* e *R. sativus* não se desenvolveram na presença do herbicida diclosulam (Tabelas 05 e 06). Aos 50 DAS para espécies que toleram a presença do herbicida no solo, não foram observadas modificações na concentração de *clorofila a* e *b*, exceto a espécie *U. decumbens* (Tabela 05). Com relação ao número de folhas as espécies *A. sativa*, *C. ensiformes* e *M. aterrima* não apresentaram variação em função do efeito residual do herbicida no solo (Tabela 05). Já em relação à cobertura do solo avaliada aos 90 DAS, somente a espécie *U. decumbens* apresentou decréscimo em função da presença do herbicida. Para as demais espécies não houve variação (Tabela 06). A espécie com maior produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) na presença do herbicida foi *A. sativa* com 3.218,6 kg ha⁻¹ (Tabela 06). *Cajanus cajan*, *C. ensiformes*, *M. aterrima* e *U. decumbens* produziram 155,5; 808,1; 1.893,6; 41,7 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 06).

Resultados Experimento 4

Os resultados observados na Estação Experimental da UFSS em Erechim-RS no solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (LVD), cultivado com *R. sativus* teve o menor resíduo de herbicida comparado às outras espécies. *Avena strigosa*, *B. napus*, *L. multiflorum*, *L. albus* e onde se manteve o pousio tiveram resultados semelhantes. *Vicia sativa* foi a mais ineficiente no processo de remediação deste solo, com valor aproximadamente quatro vezes maior do que *R. sativus* (Figura 4).

Verificou-se que apenas a *A. strigosa* tolerou a dose trabalhada de 30 g ha⁻¹ de diclosulam com valores de intoxicação de 45% aos 20 DAE e de 47,5% aos 40 DAE (Figura 06). Para a espécie *L. albus* os valores de intoxicação ficaram próximos aos 90% tanto aos 20 como aos 40 DAE (Figura 06). As demais espécies avaliadas se mostraram muito sensíveis ao herbicida, apresentando intoxicação de 100% e com isso a morte das plantas (Figura 06).

Na avaliação da MSPA a espécie *A. strigosa*, na presença do herbicida, obteve uma produção próximo de 2 ton ha⁻¹ no entanto, quando se avalia a produção de MSPA para esta mesma espécie na ausência do herbicida, verificou-se um acréscimo de mais de 2 t ha⁻¹ (Figura 07). As espécies *L. albus* e *L. multiflorum* tiveram a produção de MSPA reduzida em 90% em função da presença do herbicida (Figura 07). As demais espécies avaliadas não produziram MSPA (Figura 07).

A quantidade de resíduos do herbicida diclosulam em solo com pousio teve alto grau de correlação positiva com a quantidade de matéria orgânica, potássio, pH e silte do solo. Nos solos onde foram cultivadas as plantas de cobertura os resíduos de herbicidas tiveram maiores graus de correlações positivas com pH do solo, teor de matéria orgânica, quantidade de alumínio, silte e saturação por alumínio. As correlações entre os teores de matéria orgânica e pH do solo foram maiores onde se manteve o pousio (Tabela 7).

Na avaliação dos diferentes solos brasileiros verificou-se a quantidade de resíduo de diclosulam foi menor no Neossolo Quartzarênico Órtico típico e maior no Argissolo Amarelo Eutrófico (Figura 5).

DISCUSSÃO

A menor concentração do resíduo de diclosulam em solo LVAD e clima Cwa (Estação Experimental em Couto Magalhães de Minas-MG), foi observada nas parcelas cultivadas com as espécies *C. ensiformis*, *A. sativa* e *U. decumbens* e na parcela em pousio. *Avena sativa* obteve a maior produção de (MSPA e CS%) e *U. decumbens*, a menor produção de MSPA.

Observa-se que os resíduos do herbicida diclosulam, nesta Estação Experimental, pouco afetaram o desenvolvimento da parte aérea da espécie *A. sativa*, o que pode ter conferido a esta espécie maior capacidade fotossintética, em comparação as demais plantas avaliadas, e com isto, conseguir remover maior quantidade de resíduos do solo. Alves, (2017) ao selecionar espécies com potencial para fitorremediação de solo contaminado com herbicidas inibidores da PROTOX, demonstraram que *A. sativa* foi à espécie com as mais baixas alterações no sistema antioxidante com a exposição aos herbicidas fomesafen e sulfentrazone. Vendruscolo, (2013) ao selecionar espécies para programas de fitorremediação de cobre no solo, evidenciou entre outras espécies, que *A. sativa* produziu elevadas quantidades de massa seca e acumulou elevadas concentrações de cobre no sistema radicular, apresentando potencial para serem utilizadas em programas de fitoestabilização de cobre.

A espécie *U. decumbens*, teve perdas significativas da parte aérea, quando cultivada em solo classificado como LVAD com resíduo do herbicida e clima Cwa, no entanto conseguiu remover substancialmente este resíduo do solo. Provavelmente em função das características de suas raízes fasciculadas, que detém maior área de rizosfera se comparada às espécies *A. sativa* e *C. ensiformis*. A remediação na rizosfera pode ser realizada através de processos ativos realizados pelas plantas e/ou micro-organismos que irão afetar a biodisponibilidade do contaminante. Segundo Pilon-Smith, (2005) os herbicidas podem ser fitoestabilizados na rizosfera de forma passiva, através da prevenção de erosão, através do controle hidráulico realizado pelas raízes e através da adsorção do contaminante à superfície da raiz, impedindo a mobilidade das moléculas de herbicidas.

Segundo Mengel, (2001) espécies do gênero *Brachiaria*, modificam algumas características do solo devido a alterações na rizosfera, decorrentes de modificações no balanço iônico naquela fração do solo. As raízes desta espécie podem excretar substâncias orgânicas no solo, que são capazes de afetar os fatores físicos, químicos e biológicos do solo rizosférico (Moreira; Siqueira, 2002). Os contaminantes orgânicos podem ser degradados na rizosfera através da liberação radicular de enzimas da planta (lacases, desalogenases, nitroreduases, nitrilases e peroxidases) ou através da fitoestimulação da degradação microbiana (Schnoor et

al., 1995). Desta forma, pode ter ocorrido uma interação entre a rizosfera da *Brachiaria* e os resíduos do diclosulam, favorecendo a diminuição da sua concentração no solo.

As variações fisiológicas observadas na concentração de clorofila *b* e na queda da produção do número de folhas das espécies cultivadas em solo com resíduo do herbicida podem ser resultantes da interferência indireta do herbicida no aparelho fotossintético, em função da inibição da enzima acetolactato sintase (ALS) que é essencial para a síntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina (Rodrigues; Almeida, 2019). Com a diminuição da produção destes aminoácidos, que são componentes essenciais das proteínas requeridas para produção de novas células (Singh & Shaner, 1995; Marchi et al., 2008) as plantas com danos fisiológicos não se desenvolveram na presença do herbicida. Além disso, a clorofila *a* e clorofila *b* possuem papéis distintos e a variação de valores pode ser caracterizada como resultante da variabilidade genética entre as espécies (Taz et al., 2017).

Souza et al. (2009), ao estudarem cultivares de cana-de-açúcar submetidas a sulfentrazone, imazapic, isoxaflutole, clomazone e ametryn + trifloxysulfuron-sodium, aplicados em pós-emergência, observaram diferenças nos teores de clorofila entre cultivares, considerando esse fator como atributo genético. Os autores também não observaram, 60 dias após a aplicação dos herbicidas, redução no teor de clorofila *a*.

Avena sativa e *C. ensiformis* foram efetivas para redução da concentração de resíduos de diclosulam em três ambientes distintos: LVAD e clima Cwa, NQOt e clima Cwb e AAE e clima Cwa. Diversos autores demonstraram a capacidade fitorremediadora da espécie *C. ensiformis*. Segundo Ferraço et al., (2017) esta espécie foi promissora para fitorremediação de solos com resíduos sulfentrazone. Pires et al., (2003) avaliaram a intoxicação visual, altura, massa seca da parte aérea e raízes de diversas espécies potencialmente fitorremediadoras ao herbicida tebuthiuron, entre elas *C. ensiformis*, que tolerou a dose 0,5 kg ha⁻¹ deste herbicida. Em solo contaminado pelo herbicida trifloxysulfuron-sodium o cultivo prévio de *C. ensiformis* nas densidades populacionais de 8, 20 ou 32 plantas m² promoveu a remediação deste herbicida (Santos, et al., 2006).

A redução da concentração dos resíduos de diclosulam nas parcelas em pousio, onde havia plantas daninhas, foi significativa em todas as áreas experimentais, exceto em Diamantina-MG, onde solo do experimento detinha características que favoreciam dessorção do herbicida, aumentando a sua concentração na solução do solo e conseqüentemente controle mais efetivo das plantas daninhas. A sorção é um dos principais processos que afetam o destino do herbicida no solo, sendo ela, que determinará a persistência ou não do herbicida na matriz do solo e o quanto eficaz na sua função será esse herbicida (Wauchope et al., 2002).

Para os herbicidas ácidos (diclosulam), o pH da solução e o teor de carbono orgânico do solo são os principais atributos correlacionados com o potencial de sorção (Oliveira Jr & Regitano, 2009) que é baixo em solos arenosos. Melo et al. (2010), comparando solos argilosos com diferentes texturas e teores de matéria orgânica, observaram controle máximo do bioindicador em solo de textura arenosa com baixo teor de matéria orgânica, indicando menor sorção das moléculas do herbicida e, conseqüentemente, elevada disponibilidade na solução de solos arenosos.

A redução da concentração dos resíduos de diclosulam nas parcelas em pousio, onde havia comunidade de plantas daninhas, pode estar relacionada à agressividade das plantas daninhas na colonização da área, maior eficiência na utilização dos recursos (água, nutrientes do solo e luz), maior diversidade genética das espécies, maior densidade de plantas por m², capacidade produzir exsudados radiculares que modificam as condições físicas e químicas do solo rizosférico (Oliveira, M. F. et al., 2011; Monquero et al., 2014).

A maior concentração de diclosulam na solução do solo (Estação Experimental em Diamantina-MG), associado às condições climáticas específicas desta área, quando comparada aos fatores edafoclimáticas da Estação Experimental de Couto Magalhães de Minas-MG, podem explicar o comportamento desfavorável à fitorremediação da *U. decumbens* cultivada em Diamantina-MG. Nesta área, os resíduos do diclosulam no solo causaram severos danos fisiológicos a *U. decumbens*, e as concentrações deste herbicida no solo se manterão elevadas nas parcelas cultivadas com esta espécie.

Para as demais espécies cultivadas em solo classificado como NOQt e clima Cwb (Estação Experimental em Diamantina-MG), verificou-se reduções acentuadas na taxa de cobertura do solo e na alocação de biomassa da parte aérea, observadas para as espécies *C. ochroleuca*, *P. maximum*, *P. glaucum*, *R. sativus* e *U. decumbens* quando cultivadas em solo com resíduos do herbicida. A paralização do crescimento da parte aérea e a redução do sistema radicular, em função da sensibilidade ao diclosulam (Rodrigues; Almeida, 2019), evidencia-se a não eficácia destas espécies para programas de fitorremediação de diclosulam neste ambiente.

A espécie *Cajanus cajan* se mostrou eficiente na fitorremediação de solos classificado como AAE com resíduos de diclosulam e clima Cwa (Estação Experimental em São João Evangelista-MG). Resultado semelhante foi observado por (Monquero, et al., 2013) ao trabalharem com seleção de espécies de adubos verdes visando à fitorremediação de resíduos de diclosulam em Latossolo Vermelho Distroférico.

Na Estação Experimental em São João Evangelista-MG, as espécies que tiveram a maior produção de matéria seca da parte aérea, foram responsáveis pela menor concentração de

resíduos de diclosulam no solo, indicando uma correlação positiva entre a produção de biomassa e capacidade fitorremediadora.

A menor concentração de resíduos de diclosulam no solo classificado como LVD e clima Cfa (Estação Experimental em Erechim-RS), foi observada onde foram cultivadas as espécies *L. albus*, *B. napus*, *L. multiflorum* e *R. sativus*, estas espécies apresentaram fitotoxicidade próxima de 100% e produção de MSPA reduzida em mais de 90% em função da presença do herbicida. A menor concentração do resíduo do herbicida no solo onde estas espécies foram cultivadas ocorreu provavelmente pela ação dos microrganismos do solo. Diversos autores afirmam que a degradação do diclosulam é favorecida pela atividade microbiana (Senseman et al., 2007; Monquero, 2013; Rodrigues et al., 2019),

Como a fitorremediação utiliza o microbioma do solo associado às espécies fitorremediadoras para extrair ou degradar os resíduos de herbicidas no solo (Peterson et al., 2016), é possível que, mesmo no inverno, período de menor atividade microbiana (Isobe et al., 2018), os microrganismos do solo tenham degradado os resíduos do diclosulam. Silva et al., (2014) descreveram que a população microbiana responsável pela degradação biológica dos herbicidas é representada principalmente por fungos e bactérias, sendo esses microrganismos mais abundantes nas camadas superficiais do solo.

Considerando que, o solo onde foi realizado este experimento tem elevada capacidade de reter o diclosulam nas camadas mais superficiais em função das suas características físicas e químicas, é provável que, a biodegradação do diclosulam via ação dos microrganismos tenha sido efetiva.

Avena strigosa tolerou a dose 30 g ha⁻¹ do diclosulam, no entanto a concentração dos resíduos do herbicida no solo permaneceu elevada em comparação com as outras espécies. As demais espécies avaliadas foram muito sensíveis ao diclosulam. Resultado semelhante foi observado por Matte et al. (2019), verificaram que atividade residual do diclosulam em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico sobre o algodoeiro em sucessão com a soja, acarretou intoxicação de aproximadamente 5% aos 14, 20 e 27 dias após a semeadura. Dan et al. (2011), descobriram que a atividade residual do diclosulam causaram dano ao milho aos 120 dias após a aplicação pré-emergência em soja no Latossolo Vermelho distroférico argiloso.

O alto grau de correlação do diclosulam com a matéria orgânica, pH, potássio e saturação por alumínio do solo, observados nesta pesquisa, esta em consonância com a literatura. Segundo os autores (Kuckuk et al., 1997; Stevenson, 1982; Stearman et al., 1989) a maior capacidade de sorção da matéria orgânica está relacionada, principalmente, com sua elevada área superficial específica e presença de vários grupos funcionais, como carboxilas,

hidroxilas e aminas, estruturas alifáticas e aromáticas. Velini, (1992) e Santos & Camargo, (1999) afirmam que nos solos de regiões tropicais, devido à baixa capacidade sorçiva dos minerais de argila, a matéria orgânica do solo tem sido o principal fator relacionado à sorção de íons e pesticidas.

A menor concentração de resíduos do diclosulam em solos arenosos (Estação Experimental em Diamantina-MG) observadas nesta pesquisa pode estar relacionada com as características químicas do diclosulam e sua dinâmica no ambiente, uma vez que este herbicida é fortemente influenciado pelo teor de umidade, pH, teor de argila e matéria orgânica do solo (Lavorenti et al., 2003; Oliveira e Brighenti, 2011). Durga Devi et al. (2015) verificaram menor lixiviação de oxyfluorfen em solo rico em matéria orgânica e textura argilosa, comparado com solo arenoso e com baixos teores de matéria orgânica.

Em solos arenosos o diclosulam fica disponível durante mais tempo na solução do solo, e conseqüentemente maior probabilidade de ser lixiviado. Segundo Marchese, (2007) a lixiviação do herbicida no solo depende da extensão dos processos sortivos, visto que, quanto maior a intensidade de sorção, menor será a mobilidade do herbicida no perfil do solo. A quantidade do herbicida sorvido aos constituintes do solo é diretamente proporcional à superfície específica do material coloidal (Koskinen & Harper, 1990). A sorção do herbicida controla a quantidade de moléculas disponíveis na solução do solo e determina a persistência, a lixiviação, a mobilidade e a biodisponibilidade do herbicida no ambiente (Arsego, 2009).

O fato de o diclosulam ficar mais fortemente retido em solos argilosos pode dificultar o emprego da fitorremediação. Segundo Gonçalves et al.,(2018) o maior efeito residual dos herbicidas no solo pode prejudicar cultivos posteriores em agroecossistemas.

Nas Estações Experimentais em Couto Magalhães de Minas-MG, São João Evangelista-MG e Erechim-RS, onde foram observadas as maiores concentrações dos resíduos de diclosulam no solo, observa-se correlação direta com os teores de argila destes solos. Segundo Christoffoleti et al., (2008) a argila é a fração mineral que mais contribui para a sorção dos herbicidas, devido à sua alta superfície específica. Nos solos do Cerrado (Estação Experimental em Couto Magalhães de Minas-MG e São João Evangelista-MG) há predomínio de óxidos de (Fe e Al colóides trocadores de cátions) e caulinita (colóides trocadores de ânions). Estes minerais possibilitam a formação de sítios adsorptivos para formas aniônicas de compostos orgânicos (Regitano et al., 1997; Vivian et al., 2007), o que favorece a sorção do diclosulam no solo.

Um resultado importante evidenciado por esta pesquisa é que, a capacidade remediadora das espécies é alterada pelas condições edafoclimáticas do ambiente alvo.

As variações fisiológicas observadas nas espécies avaliadas e a diferenciação da capacidade fitorremediadora, podem ser atribuídas além do efeito do herbicida, à heterogeneidade das Estações Experimentais, no que tange o clima, o solo e seus microrganismos associados. Pacheco, L. C. P. S., (2017) ao pesquisar atividade de herbicidas pré-emergentes em solos do cerrado, na presença e ausência de resíduos orgânicos, verificou que atividade dos herbicidas clomazone, diclosulam, oxyfluorfen e sulfentrazone varia em função do tipo de solo, o que compromete a eficiência dos herbicidas em função das condições edafoclimáticas.

Fatores como luz, temperatura, disponibilidade hídrica, salinidade e as condições edáficas podem atuar como limitantes para o estabelecimento e crescimento das diferentes espécies vegetais (Machado et al., 2005; Silva et al., 2007), o que pode explicar a plasticidade fenotípica das espécies, expressas em termos de mudanças morfológicas e fisiológicas (Taz et al., 2017; Aranda et. al., 2001). Estas variações fisiológicas causadas em função das condições edafoclimáticas do ambiente associada à concentração do herbicida na solução solo, alteraram significativamente o potencial fitorremediador das espécies avaliadas.

CONCLUSÕES

A capacidade fitorremediadora das plantas de cobertura esta ligada às condições edafoclimáticas do ambiente alvo.

As variações fisiológicas das plantas de cobertura potencialmente fitorremediadoras ocorreram em função dos resíduos do herbicida diclosulam no solo e das condições edafoclimáticas.

O efeito residual do herbicida diclosulam é menor em solos arenosos e maior em solos argilosos.

Avena sativa, *Canavalia ensiformis* e *Mucuna Aterrima* são espécies com potencial para programas de fitorremediação em áreas com resíduos do herbicida diclosulam em Neossolo Quartzarênico Órtico típico e clima Cwb;

Avena sativa e *Canavalia ensiformis* são espécies com potencial para programas de fitorremediação em áreas com resíduos do herbicida diclosulam em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico e clima Cwa.

Em Argissolo Amarelo Eutrófico e regiões com clima Cwa, *Avena sativa*, *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformis* e *Mucuna Aterrima* foram às espécies com maior potencial para programas de fitorremediação em áreas com resíduos do herbicida diclosulam;

As espécies *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* e *Vicia sativa* não são recomendadas para programas de fitorremediação em áreas com resíduo do herbicida diclosulam em Latossolo Vermelho distrófico e regiões que possuem o clima Cfa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADKI, V.S., JADHAV, J.P., BAPAT, V.A. **At the cross roads of environmental pollutants and phytoremediation: a promising bio remedial approach**,2014.

ALBUQUERQUE, A.F., RIBEIRO, J.S., KUMMROW, F., NOGUEIRA, A.J.A., MONTAGNER, C.C., UMBUZEIRO, G.A. **Pesticides in Brazilian freshwaters: a critical review**. Environ. Sci.: Processes Impacts, 2016.
<https://doi.org/10.1039/C6EM00268D>

ALVES, CARLA: Dissertação de Mestrado. **Seleção de espécies com potencial para fitorremediação de solo contaminado com herbicidas inibidores da PROTOX**. Erechim, 2017.

Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/1540>

ARANDA, I; BERGASA, L.; GIL, L.; PARDOS, J. **Effects of relative irradiance on the leaf structure of *Fagus sylvatica* L: seedlings planted in the understory of a *Pinus sylvestris* L. stand after thinning**. Annals Forestry Sciences, v. 58, n. 6, p. 673-680, 2001.

ARSEGO, I. B. **Sorção dos herbicidas diuron e hexazinone em solos de texturas contrastantes**. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal)- Faculdade Ciências Agronomia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento-MAPA. Agroofit- **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**.

Disponível: http://agroofit.agricultura.gov.br/agroofit_cons/principal_agroofit_cons. Acesso em: Abril de 2018.

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, 7(3):263-277, 2010.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; OVEJERO, R. F. L.; DAMIN, V.; CARVALHO, S. J. P. de; NICOLAI, M. **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: 2008.

CONAB-COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acesso em abril de 2017.

DAN HA, DAN LGM, BARROSO ALL, PROCÓPIO SO, OLIVEIRA Jr RS, ASSIS R.L., et al. **Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja sobre o milheto cultivado em sucessão**: Planta Daninha; 29(2):437-45, 2011.

DURGA DEVI, K. M.; ABRAHAM, C. T.; UPASANA, C. N. **Leaching behaviour of four herbicides in two soils of Kerala**. Indian Journal of Weed Science, v. 47, n. 2, p. 193– 196, 2015.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**: Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. – Rio de Janeiro, 2006.
ISBN 85-85864-19-2

F.R. PIRES; C.M. SOUZA; A.A. SILVA; M.E.L.R. QUEIROZ; S.O. PROCÓPIO; J.B. SANTOS; E.A. SANTOS; P.R.CECON: **Seleção de plantas com potencial para fitorremediação de tebuthiuron.** Revista Planta daninha. V.21. N.3. A.2003.

FERRAÇO, M.; PIRES, F. R.; BELO, A. F.; FILHO, A. C.; BONOMO, R. **Efeito da densidade populacional de *Canavalia ensiformis* na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone**. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. Revista Ciência Agronômica, v. 48, n. 1, p. 32-40, jan-mar, 2017.
[Disponível em: http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20170004](http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20170004)

FRANCO-BERNARDES, M.F., ROCHA, O.P., PEREIRA, L.C., TASSO, M.J., MEIRELES, G., OLIVEIRA, D.P. DE, DORTA, D.J. **The herbicides trifluralin and tebuthiuron have no genotoxic or mutagenic potential as evidenced by genetic tests:** Environ Sci Pollut Res 24, 24029–24037, 2017.
<https://doi.org/10.1007/s11356-017-9966-5>

GIANESSI LP. **The increasing importance of herbicides in worldwide crop production:** Pest Management Science 69(10): 1099-1105, 2013.
DOI: 10.1002/ps.3598.

GONÇALVES et al.; **Atividade residual de herbicidas nas culturas do milho e da soja:** Revista Ciências Agrárias ., v. 61, 2018.
DOI.org/10.22491/rca.2018.2570

ISOBE, K., OKA, H., WATANABE, T., TATENO, R., URAKAWA, R., LIANG, C., & SHIBATA, H. **High soil microbial activity in the winter season enhances nitrogen cycling in a cool-temperate deciduous forest:** Soil Biology and Biochemistry, 124, 90-100, 2018.

KOSKINEN, W. C.; HARPER, S. S. The retention process: mechanisms. In: CHENG, H. H. (ed.) **Pesticides in the soil environment: processes, impacts, and modeling.** Madison: Soil Sci. Soc. Am., Inc, p.530, 1990.

KUCKUK, R.; HILL, W.; NOLTE, J.; DAVIES, A. N. **Preliminary investigations into the interactions of herbicides with aqueous humic substances.** Pestic. Sci., v. 51, p. 450-454, 1997.

LAVORENTI, A. et al. **Comportamento do diclosulam em amostras de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto e convencional:** R. Bras. Ci. Solo, v. 27, n. 2, p. 183-190, 2003.

LAVORENTI, A.; PRATA, F.; REGITANO, J. B. **Comportamento de pesticidas em solos: fundamentos.** In: Curi, N. et al. Tópicos especiais em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003.

MACHADO, E. C.; SCHMIDT, P. T.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO, R. V. **Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005.

MARCHESE, L. **Sorção/dessorção e lixiviação do herbicida ametrina em solos canavieiros tratados com lodo de esgoto**. Dissertação (Mestrado em Ciências) Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S.; GUIMARÃES, T. G. **Herbicidas: mecanismo de ação e uso**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2008

MATTE, W.D.; CAVALIERI, S.D.; PEREIRA, C.S.; IKEDA, F.S.; COSTA, W.B. **Residual activity of diclosulam applied to soybean on cotton crop in succession**: Revista Planta Daninha; v37, 2019.

Doi: 10.1590/S0100-83582019370100016.

Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/v37/0100-8358-PD-37-e019181370.pdf>

MELO, C. A. D.; MEDEIROS, W. N.; TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; TIBURCIO, R. A. S.; FERREIRA, L. R. **Lixiviação de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen no perfil de três solos**. Planta Daninha, Viçosa-MG, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2010b.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition. 5.ed. Dordrecht**: Kluwer Academic Publishers, 2001.

MONQUERO, P.A., CÔRREA, M.C., BARBOSA, L.N., GUTIERREZ, A., HIRATA, A.C.S. **Seleção de espécies de adubos verdes visando à fitorremediação de diclosulam**. Planta Daninha 31(1): 127-135, 2013.

MONQUERO, P.A.; HIRATA, A.C.S. Comportamento de herbicida nas plantas. In: MONQUERO, P. A. (Org. e Ed.) **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. São Carlos: Rima Editora, p. 129-144, 2014.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**: Editora UFLA, Lavras-MG, 2002

NOVAIS, R.F.; VENEGAS, V.H.A.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.; REINALDO, R.B. & NEVES, J.C.L. 2007. **Fertilidade de solo**. Editora UFV, Viçosa, 1ª Ed., 2007.

OLIVEIRA JR, R. S. **Mecanismos de Ação de Herbicidas. Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Capítulo 7, 171-173 p., 2011.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; REGITANO, J. B. Dinâmica de pesticidas no solo. In: MELO V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo: parte II, aplicações**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 187-248, 2009.

OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. **Comportamento dos herbicidas no ambiente. Biologia e manejo de plantas daninhas**: Curitiba: Ominipax, v. 20, 2011.

PACHECO, L. C. P. S. **Atividade de herbicidas pré-emergentes em solos do cerrado, na presença e ausência de resíduos orgânicos**: Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017

PANDOLFO, C.E., PRESOTTO, A., CARBONELL, F.T., URETA, S., POVERENE, M., CANTAMUTTO. **Transgenic glyphosate-resistant oilseed rape (Brassica napus) as an**

invasive weed in Argentina: detection, characterization, and control alternatives. Environmental Science and Pollution Research, 23(23): 24081-24091, 2016.

PETERSON MA, MCMASTER SA, RIECHERS DE, SKELTON J, STAHLMAN P W. **2, 4-D past, present, and future: a review:**. Weed Technology 30(2) 303-345, 2016.
DOI: 10.1614/WT-D-15-00131.1.

PILON-SMITH, E. **Phytoremediation**. Annual Reviews Plant Biology, v. 56, p. 15-39, 2005.

REGITANO, J. B.; BISCHOFF, M.; LEE, L. S.; REICHERT, J. M.; TURCO, R. F. **Retention of imazaquin in soil**. Environ. Toxicol. Chem., v. 16, p. 397-404, 1997

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. Londrina: Grafmarke, 2019.

ROLAS- REDE OFICIAL DE LABORATÓRIOS DE ANÁLISE DE SOLO E DE TECIDO VEGETAL. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016.

SANTOS, J. B.; PROCÓPIO, S. O.; PIRES, F. R., SILVA, A.A.; SANTOS, E.A. **Fitorremediação de solo contaminado com trifloxysulfuron-sodium por diferentes densidades populacionais de feijão-de-porco (Canavalia ensiformis (L). DC.)**. Ciência e Agrotecnologia, v. 30, p. 444-449, 2006.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre-RS: Genesis, p.508, 1999.

SANTOS, T.T.M.; TIMOSSI, P.C.T.; LIMA, S.F.; GONÇALVES, D.C.; SANTANA, M.V. **Associação dos herbicidas diclosulam e glyphosate na dessecação visando o controle residual de plantas daninhas na cultura da soja:** Revista Brasileira de Herbicidas, v.15, n.2, p.138-147, 2016.

SENSEMAN, S.A. **Herbicide handbook**. Weed Science Society of America, 2007.

SCHNOOR, J.L.; LICHT, L.A.; MCCUTCHEON, S.C.; WOLFE, N.L.; CARREIRA, L.H. **Phytoremediation of organic and nutriente contaminants**. Environmental Science Technology, v. 29, p.318-23, 1995.

SILVA, B. M. S; LIMA, J. D.; DANTAS, V. A. V.; MORAES, W. S.; SABONARO, D. Z. **Efeito da luz no crescimento de mudas de Hymenaea parvifolia Huber:** Revista Árvore, v. 31, n. 6, p. 1019-1026, 2007.

SILVA, A.A.; D'ANTONINO, L.; VIVIAN, R.; OLIVEIRA JR., R.S. Comportamento de herbicida no solo. In: MONQUERO, P. A. (Org. e Ed.) **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. São Carlos: Rima Editora, p. 129-144, 2014.

SINGH, G. K.; SHANER, D. L. **Biosynthesis of branched chain amino acids: From test tube to field**. Plant Cell., v. 7, p. 935-944, 1995.

SOUZA, CAMILA DA COSTA BARROS. **Fitorremediação de solos com resíduo do herbicida diclosulam**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto

de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

<https://tede.ufrjr.br/jspui/handle/jspui/2439>

SOUZA, J. R. et al. **Tolerância de cultivares de cana-de-açúcar a herbicidas aplicados em pós-emergência.** *Bragantia*, v. 68, n. 4, p. 941-951, 2009.

STEARMAN, G. K.; LEWIS, R. J.; TORTEROLLI, L. J.; TYLER, D. D. **Herbicides reactivity of soil organic matter fractions in no-tilled and tilled cotton.** *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 53, p. 1690-1694, 1989.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions.** New York, EUA: Interscience, p.418, 1982.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal.* 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

VELINI, E. D. Comportamento de herbicidas no solo. In: VELINI, E.D.; GOTO, R.; KIMOTO, T. (Org.). **Simpósio nacional sobre manejo integrado de plantas daninhas em hortaliças.** 1. Anais, p. 44-64. Botucatu: FCA / UNESP, 1992.

VENDRUSCOLO, DIOGO. Dissertação de Mestrado: **Seleção de Plantas para fitorremediação de solo contaminado com cobre.** Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

[Disponível em: http://repositorio.ufsm.br/handle/1/5568](http://repositorio.ufsm.br/handle/1/5568)

VIVIAN, R.; QUEIROZ, M. E. L. R.; JAKELAITIS, A.; GUIMARÃES, A. A.; REIS, M. R.; CARNEIRO, P. M.; SILVA, A. A. **Persistência e lixiviação de ametryn e trifloxysulfuron-sodium em solo cultivado com cana-de-açúcar.** *Planta Daninha*, v. 25, n. 1, p. 111-124, 2007.

YODER, R.N. et al. **Aerobic metabolism of diclosulam on U.S. and South American soils:** *Journal of Agriculture Food Chemistry*, v. 48, p. 4335-4340, 2000.

XU, J. et al. **A multiresidue analytical method for the detection of seven triazolopyrimidine sulfonamide herbicides in cereals, soybeans and soil using the modified QUECHERS method and UHPLC – MS/MS.** *Anal. Methods*, v. 7, p. 9791-9799, 2015.

WAUCHOPE, R.D.; YEH, S.; LINDERS, J.B.H.J.; KLOSKOWSKI, R.; TANAKA, K.; RUBIN, B.; KATAYAMA, A.; KÖRDEL, W.; GERSTL, Z.; LANE, M.; UNSWORTH, J.B. **Review Pesticide soil sorption parameters: theory, measurement, uses, limitations and reliability.** *Pest Management Science*, v. 58, p. 419-445, 2002.

Tabela 01 - Características do clima (segundo classificação de Köppen-Geiger), época de plantio, tipo de solo, teor de matéria orgânica (MO, em %) e plantas de cobertura dos locais de montagem das unidades experimentais para avaliação do potencial de fitorremediação do solo com resíduos do herbicida diclosulam

| Localidade | Clima | Época de plantio | Tipo de solo | MO | Espécies cultivadas a campo |
|--------------------------------|-------|------------------|---------------------------------------|------|--|
| Couto de Magalhães de Minas-MG | Cwa | 01/06/17 | Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico | 1,86 | <i>Avena sativa</i> <i>Cajanus cajan</i> <i>Canavalia ensiformes</i> <i>Crotalaria ochroleuca</i> <i>Helianthus annuus</i> <i>Mucuna aterrima</i> <i>Panicum maximum</i> <i>Pennisetum glaucum</i> <i>Raphanus sativus</i> <i>Urochloa decumbens.</i> |
| Diamantina-MG | Cwb | 15/04/16 | Neossolo Quartzarênico Órtico típico | 1,86 | <i>Avena sativa</i> <i>Canavalia ensiformes</i> <i>Crotalaria ochroleuca</i> <i>Mucuna aterrima</i> <i>Panicum maximum</i> <i>Pennisetum glaucum</i> <i>Raphanus sativus</i> <i>Urochloa decumbens</i> |
| Erechim-RS | Cfa | 11/08/17 | Latossolo Vermelho Distrófico | 3,31 | <i>Avena strigosa</i> <i>Brassica napus</i> <i>Lolium multiflorum</i> <i>Lupinus albus</i> <i>Raphanus sativus</i> <i>Vicia sativa</i> |
| São João Evangelista MG | Cwa | 12/05/17 | Argissolo Amarelo Eutrófico | 0,87 | <i>Avena sativa.</i> <i>Cajanus cajan.</i> <i>Canavalia ensiformes</i> <i>Crotalaria ochroleuca.</i> <i>Helianthus annuus</i> <i>Mucuna aterrima</i> <i>Panicum maximum</i> <i>Pennisetum glaucum</i> <i>Raphanus sativus</i> <i>Urochloa decumbens</i> |

*Classificação Climática segundo Köppen-Geiger: Cwa – Clima subtropical de inverno seco; Cwb - Clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno; Cfa - Clima subtropical úmido, verão quente e inverno com precipitações.

Tabela 02 - Valores observados aos 50 dias após plantio para clorofilas e número de folhas por planta de cobertura em solo com resíduos do herbicida diclosulam (30 g/ha) cultivado em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico na Estação Experimental da UFVJM em Couto de Magalhães de Minas-MG

| Espécie forrageira | Clorofila A | | Clorofila B | | Número de folhas | |
|------------------------------|-------------|----------|-------------|--------|------------------|--------|
| | C/H | S/H | C/H | S/H | C/H | S/H |
| <i>Raphanus sativus</i> | 0Bb | 27.54Aa | 0Bb | 6.58Aa | 0Ab | 5.92Aa |
| <i>Canavalia ensiformis</i> | 33.97Aa | 30.35Aa | 11.63Aa | 9.15Ab | 0.5Ab | 1.9Ba |
| <i>Cajanus cajan</i> | 24.55Aa | 15.04Ba | 7.18Aa | 5.77Aa | 1.5Aa | 2.0Ba |
| <i>Urochloa decumbens</i> | 0Bb | 9.7Ba | 0Bb | 2.48Ba | 0Ab | 1.97Ba |
| <i>Crotalaria ochroleuca</i> | 0Bb | 20.72 Aa | 0Bb | 5.35Aa | 0Ab | 2.0Ba |
| <i>Mucuna aterrima</i> | 31.59Aa | 27.9Aa | 8.67Aa | 8.19Aa | 1.5Aa | 1.95Ba |
| <i>Panicum maximum</i> | 0Bb | 4.8Ba | 0Bb | 1.33Ba | 0Aa | 0Ba |
| <i>Pennisetum glaucum</i> | 0Bb | 13.84 Ba | 0Bb | 3.49Ba | 0Ab | 2.83Ba |
| <i>Helianthus annuus</i> | 8.59Bb | 31.61Aa | 2.49Bb | 8.99Aa | 0Ab | 4.67Aa |
| <i>Avena sativa</i> | 24.6Aa | 28.74Aa | 6.19Ab | 9.44Aa | 1Ab | 2.58Aa |
| C.V.(%) | 6,66 | | 9,11 | | 42,52 | |

Médias seguidas letras iguais, para cada variável, maiúsculas na coluna, não diferem entre si, segundo critério de agrupamento Scott e Knott (1974); minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste F, ambos a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 03 - Valores observados aos 90 dias após plantio para taxa de cobertura do solo, intoxicação (Int.) visual, altura de plantas e matéria seca de parte aérea por de planta de cobertura em solo com resíduos do herbicida diclosulam (30 g/ha) cultivado em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico na Estação Experimental da UFVJM em Couto de Magalhães de Minas-MG

| Espécies | Cobertura do solo (%) | | Int. visual (%) | Altura (cm) | | Matéria seca de parte aérea (kg/ha) | |
|------------------------------|-----------------------|---------|-----------------|-------------|---------|-------------------------------------|-----------|
| | C/H | S/H | C/H | C/H | S/H | C/H | S/H |
| <i>Raphanus sativus</i> | 0Bb | 100Aa | 100A | 0Bb | 15.2Ca | 0Db | 12631.7Aa |
| <i>Canavalia ensiformis</i> | 26.2Bb | 47.5Ba | 68.7A | 15.7Ab | 18.7Cb | 303.1Cb | 1614.7Ca |
| <i>Cajanus cajan</i> | 65Ab | 55Ba | 75A | 20.8Ab | 29.5Cb | 87.3Cb | 1582.6Ca |
| <i>Urochloa decumbens</i> | 3.7Bb | 97.5Aa | 100A | 0Bb | 29.5Cb | 254,8Cb | 2555.9Ca |
| <i>Crotalaria ochroleuca</i> | 0Bb | 80Aa | 85A | 0Bb | 51.8Bb | 0Db | 1435.2Ba |
| <i>Mucuna aterrima</i> | 68.7 | 83.75Ab | 95A | 34.7Ab | 54.3Bb | 579.4Bb | 1476.9Ca |
| <i>Panicum maximum</i> | 0Bb | 76.2Aa | 0B | 0Bb | 16.4Cb | 0Db | 1620.5Ca |
| <i>Pennisetum glaucum</i> | 0Bb | 93.7Aa | 25B | 0Bb | 53.2Bb | 0Db | 2442.1Ca |
| <i>Helianthus annuus</i> | 0Bb | 100Aa | 100A | 0Bb | 102.2Ab | 0Db | 9087.0Ba |
| <i>Avena sativa</i> | 100Aa | 100Aa | 78A | 49.3Ab | 97.8Ab | 2472.8Ab | 13068.7Aa |
| C.V. (%) | 37,44 | | 11,75 | 33,59 | | 28,65 | |

Médias seguidas letras iguais, para cada variável, maiúsculas na coluna, não diferem entre si, segundo critério de agrupamento Scott e Knott (1974); minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste F, ambos a 5% de probabilidade de erro.

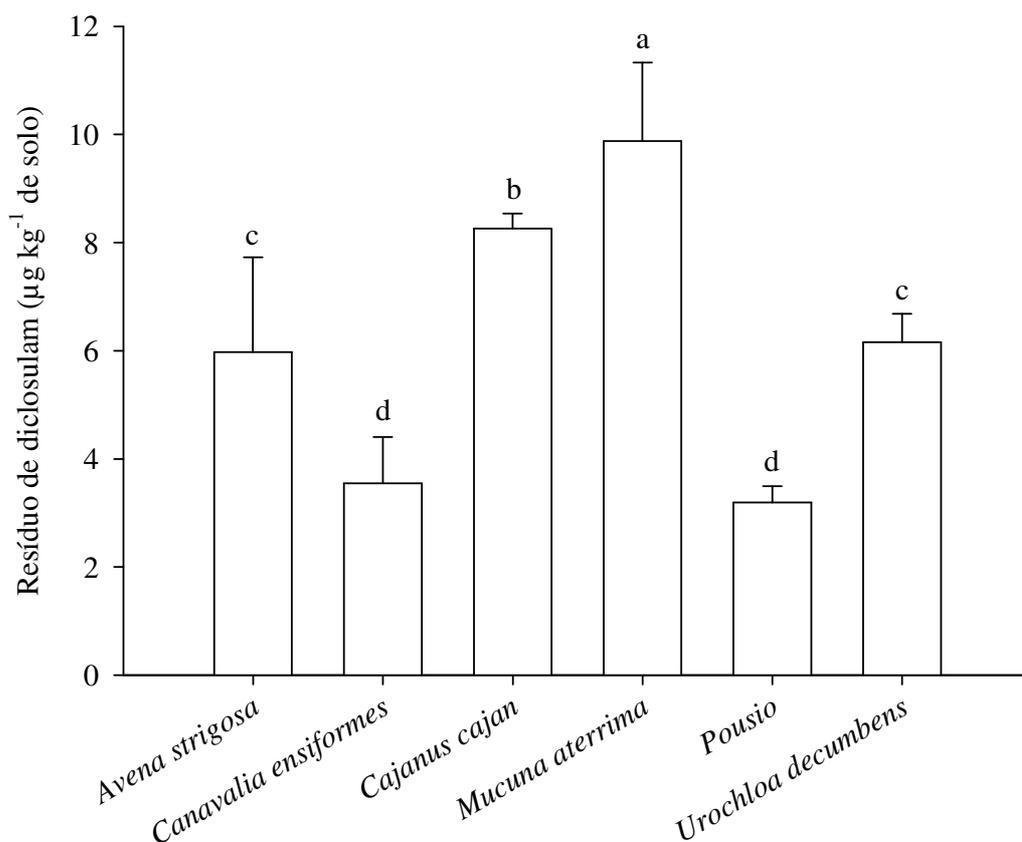


Figura 01 - Resíduos do diclosulam ($\mu\text{g kg}^{-1}$ de solo) em amostras de Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico de áreas agrícolas do município de Couto de Magalhães de Minas-MG, na Estação Experimental da UFVJM, cultivadas com plantas de cobertura por 60 dias, após a aplicação de 30 g/ha do herbicida.

Tabela 04 - Taxa de cobertura do solo (%) e produção de biomassa das plantas de cobertura cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico com resíduos de diclosulam (30 g/ha), avaliação realizada aos 40 dias após a semeadura (DAS). Na Estação Experimental do Campus JK da UFVJM Diamantina-MG

| Plantas de Cobertura | Cobertura do solo (%) | | Alocação de matéria seca da parte aérea (g) das amostras coletadas | |
|------------------------------|-----------------------|--------|--|-----------|
| | C/H | S/H | C/H | S/H |
| <i>Avena sativa</i> | 43 a A | 53 a B | 17,48 a A | 20,35 a B |
| <i>Canavalia ensiformis</i> | 24 a B | 15 a C | 27,60 a A | 20,85 a B |
| <i>Pennisetum glaucum</i> | 26 b B | 83 a A | 15,55 b A | 43,75 a A |
| <i>Mucuna aterrima</i> | 15 a B | 23 a C | 19,78 a A | 14,68 a B |
| <i>Raphanus sativus</i> | 5 b C | 40 a B | 2,53 b B | 18,89 a B |
| <i>Urochloa decumbens</i> | 8 b C | 25 a C | 7,29 b B | 25,75 a B |
| <i>Panicum maximum</i> | 5 b C | 23 a C | 4,66 b B | 28,81 a B |
| <i>Crotalaria ochroleuca</i> | 5 b C | 27 a C | 6,69 b B | 17,75 a B |
| C.V. (%) | 26,96 | | 6,42 | |

Médias seguidas letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, para cada variável, não diferem entre si, respectivamente segundo critério de agrupamento Scott e Knott (1974) e pelo teste F. C/H: com resíduo do diclosulam; S/H: sem resíduo do diclosulam.

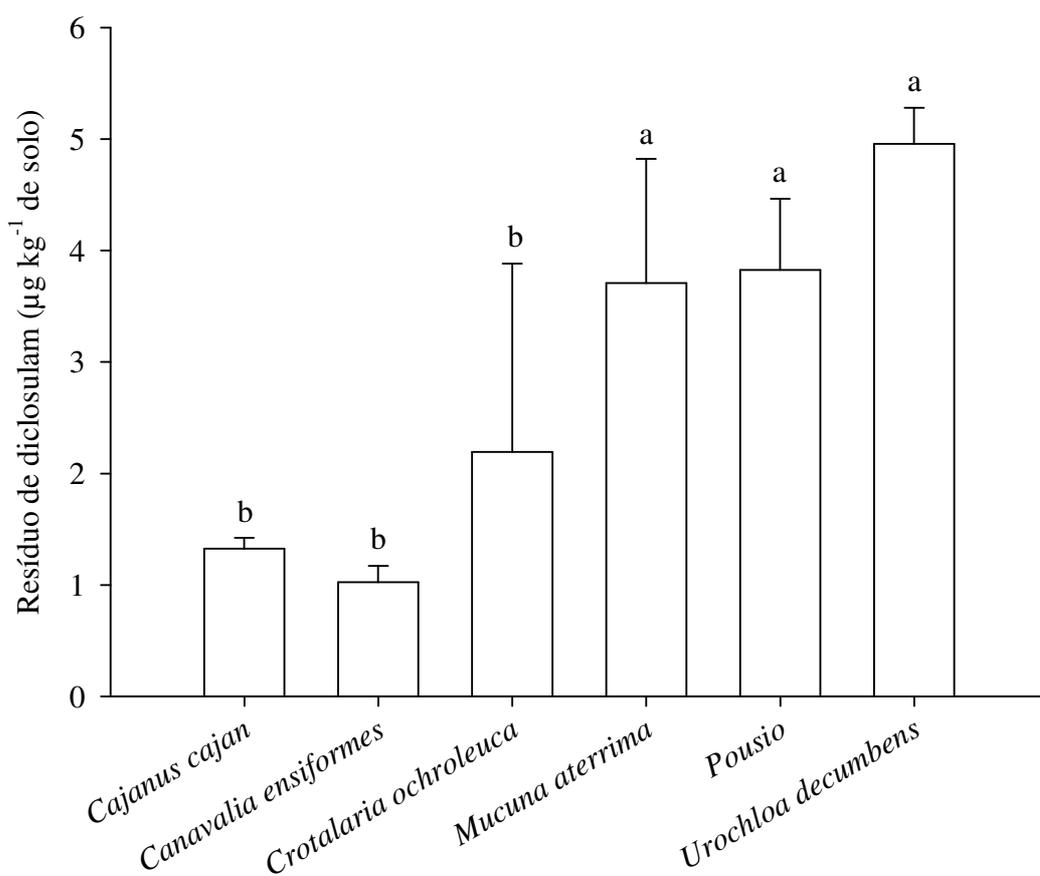


Figura 2 – Resíduos do diclosulam ($\mu\text{g kg}^{-1}$ de solo) em amostras de Neossolo Quartzarênico Órtico típico da Estação Experimental do Campus JK da UFVJM Diamantina-MG cultivadas com plantas de cobertura por 60 dias, após a aplicação de 30 g/ha do herbicida.

Tabela 05 - Valores observados aos 50 dias após plantio para clorofilas e número de folhas, por planta de cobertura em solo com resíduos do herbicida diclosulam (30 g/ha) cultivado em Argissolo Amarelo Eutrófico na Estação Experimental do IFMG – São João Evangelista-MG

| Espécie forrageira | Clorofila A | | Clorofila B | | Número de folhas | |
|------------------------------|-------------|---------|-------------|---------|------------------|----------|
| | C/H | S/H | C/H | C/H | S/H | C/H |
| <i>Raphanus sativus</i> | 0Bb | 32.46Aa | 0Bb | 9.8Ba | 0Bb | 6.83Ba |
| <i>Canavalia ensiformis</i> | 39.13Aa | 37.98Aa | 21.16Aa | 19.14Aa | 4.42Aa | 6.67Ba |
| <i>Cajanus cajan</i> | 36.69Aa | 35.49Aa | 16.3Ba | 14.88Ba | 8.5Ab | 11.75 Ba |
| <i>Urochloa decumbens</i> | 10.2Bb | 28.26Aa | 2.33Bb | 8.35Ba | 2.5Bb | 4.25Ba |
| <i>Crotalaria ochroleuca</i> | 0Bb | 31.78Aa | 0Bb | 9.86Ba | 0Bb | 19.33Aa |
| <i>Mucuna aterrima</i> | 35.91Aa | 35.93Aa | 14.23Ba | 15.19Ba | 22Aa | 21Aa |
| <i>Panicum maximum</i> | 0Bb | 25.93Aa | 0Bb | 7.21Ba | 0Bb | 4.75Ba |
| <i>Pennisetum glaucum</i> | 0Bb | 27.98Aa | 0Bb | 8.13Ba | 0Bb | 5.67Ba |
| <i>Helianthus annuus</i> | 0Bb | 29.13Aa | 0Bb | 8.58Ba | 0Bb | 10.5Ba |
| <i>Avena sativa</i> | 33.73Aa | 35.56Aa | 13.66Ba | 16.55Ba | 4.0Aa | 5.08Ba |
| C.V. (%) | 7.13 | | 9,58 | | 33 | |

Médias seguidas letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, para cada variável, não diferem entre si, respectivamente segundo critério de agrupamento Scott e Knott (1974) e pelo teste F. C/H: com resíduo do diclosulam; S/H: sem resíduo do diclosulam.

Tabela 06 - Valores observados aos 90 dias após plantio para taxa de cobertura do solo, intoxicação (Int.) visual, altura de plantas e matéria seca de parte aérea das plantas de coberutra em solo com resíduos do herbicida diclosulan (30 g/ha) cultivado em Argissolo Amarelo Eutrófico na Estação Experimental do IFMG em São João Evangelista-MG

| Espécies | Cobertura do solo (%) | | Int. visual (%) | Altura (cm) | | Matéria seca de parte aérea (kg/ha) | |
|------------------------------|-----------------------|---------|-----------------|-------------|---------|-------------------------------------|------------|
| | C/H | S/H | C/H | C/H | S/H | C/H | S/H |
| <i>Raphanus sativus</i> | 0Bb | 100Aa | 100Aa | 0Bb | 27Ba | 0Eb | 5.191,5Cb |
| <i>Canavalia ensiformis</i> | 81.25Aa | 91.25Aa | 18.13Ba | 22.63Ab | 112.4Aa | 808,1Cb | 1.744,8Da |
| <i>Cajanus cajan</i> | 67.5Aa | 86.25Aa | 20Ba | 17.88Aa | 19.63Ca | 155,5Db | 519,1Da |
| <i>Urochloa decumbens</i> | 7,5Bb | 88.75Aa | 90Aa | 49.75Aa | 51.13Ba | 41,7Db | 3.030,2Da |
| <i>Crotalaria ochroleuca</i> | 0Bb | 85Aa | 100Aa | 0Bb | 40.38Ba | 0Eb | 1.482,6Da |
| <i>Mucuna aterrima</i> | 92.5Aa | 87.5Aa | 22.5Ba | 34,7Ab | 54.33Ba | 1.893,6Ba | 2.150,1Da |
| <i>Panicum maximum</i> | 0Bb | 77.5Aa | 100Aa | 0Bb | 58.13Ba | 0Eb | 2.925,9Da |
| <i>Pennisetum glaucum</i> | 0Bb | 85Aa | 50Ba | 0Bb | 56.13Ba | 0Eb | 6.863,4Ca |
| <i>Helianthus annuus</i> | 0Bb | 80Aa | 100Aa | 0Bb | 76.63Ba | 0Eb | 10.931,9Ba |
| <i>Avena sativa</i> | 90Aa | 98.75Aa | 46.25Ba | 16,75Ab | 55.67Ba | 3.218,6Ab | 15.063,9Aa |
| C.V. (%) | 32 | | 24 | 15 | | 29,8 | |

Médias seguidas letras iguais, para cada variável, maiúsculas na coluna, não diferem entre si, segundo critério de agrupamento Scott e Knott (1974); minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste F, ambos a 5% de probabilidade de erro.

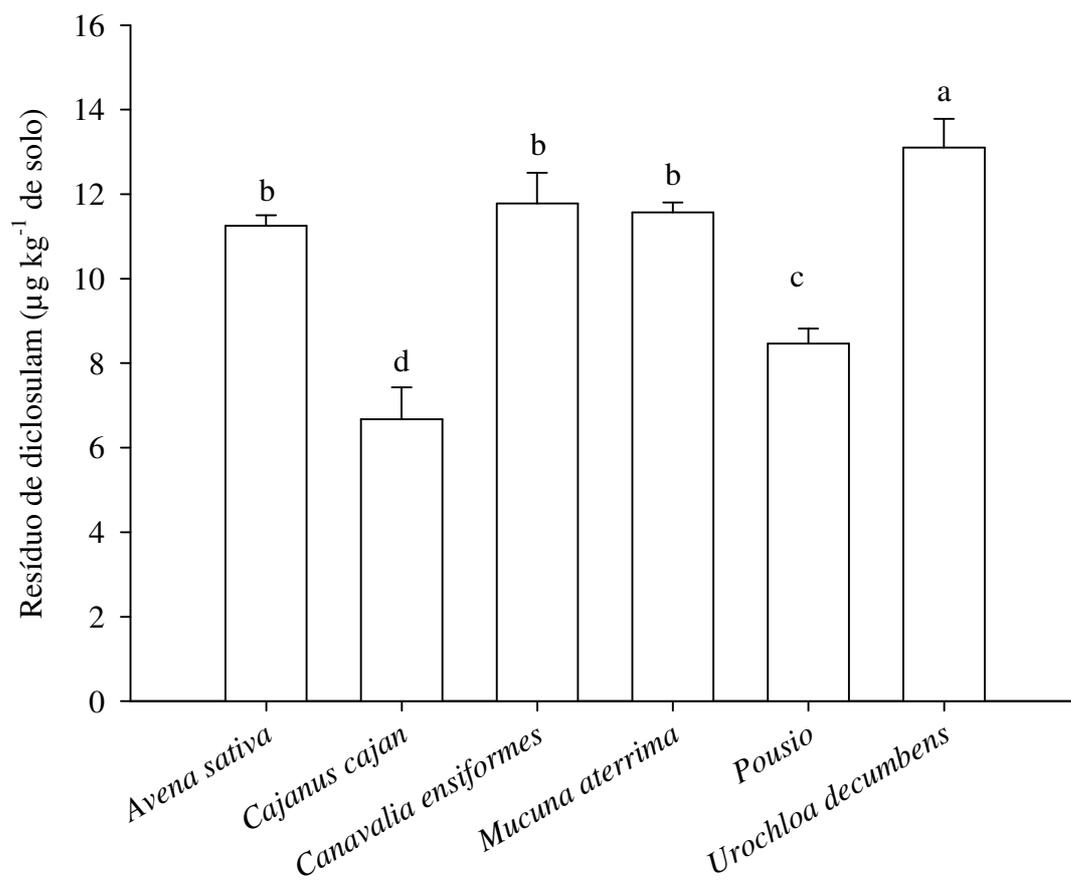


Figura 3 - Resíduos do diclosulan ($\mu\text{g kg}^{-1}$ de solo) em amostras de solo de áreas agrícolas do município de São João Evangelista-MG, cultivadas com plantas de cobertura por 60 dias, após a aplicação de 30 g/ha do herbicida.

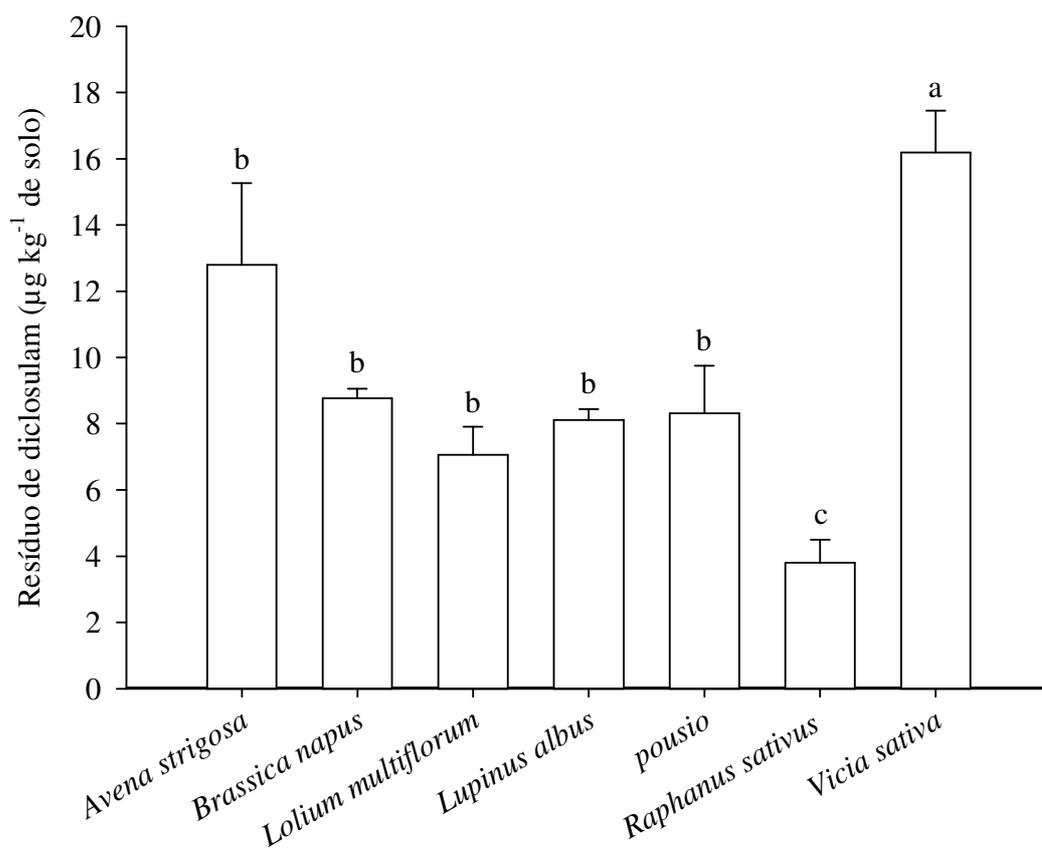


Figura 4 – Resíduos do diclosulam ($\mu\text{g kg}^{-1}$ de solo) em amostras de solo de áreas agrícolas do município de Erechim-RS, cultivadas com plantas de cobertura por 60 dias, após a aplicação de 30 g/ha do herbicida.

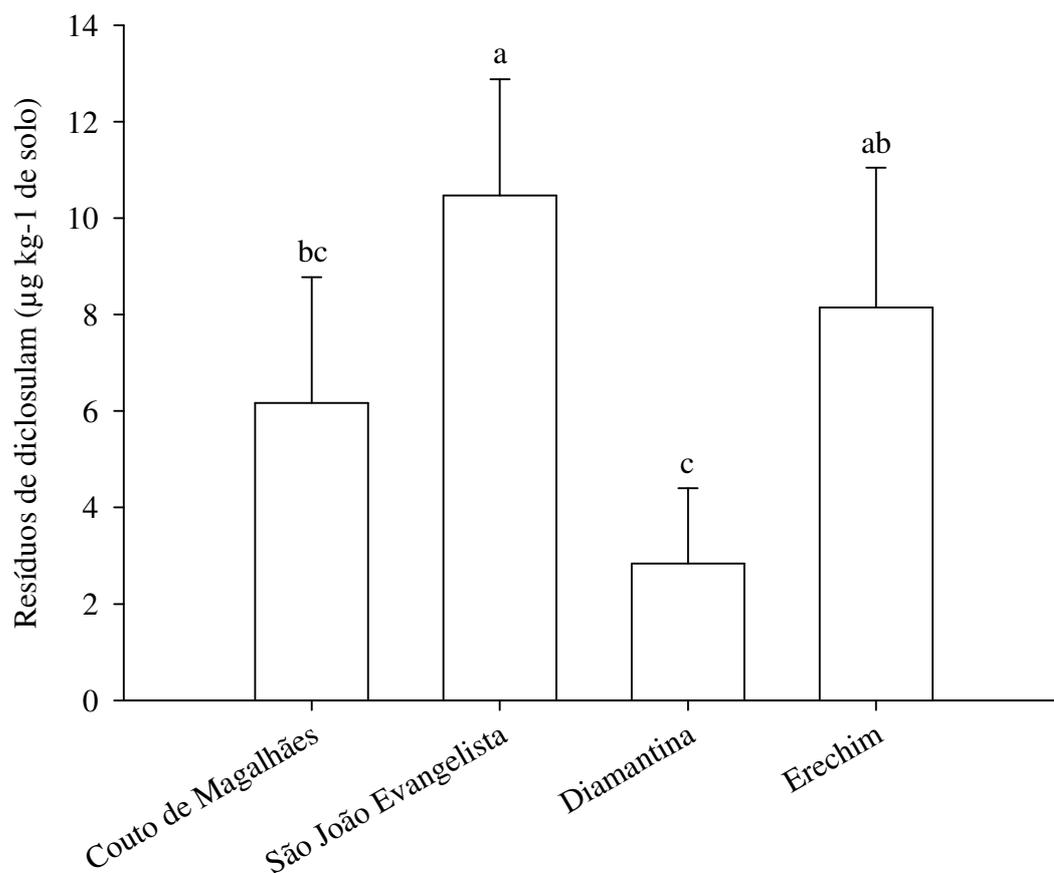


Figura 05. Resíduos de diclosulam ($\mu\text{g kg}^{-1}$ de solo) em diferentes solos brasileiros: Couto de Magalhães de Minas-MG (Latosolo Vermelho Amarelo Distrófico); São João Evangelista-MG (Argissolo Amarelo Eutrófico); Diamantina-MG (Neossolo Quartzarênico Órtico típico); Erechim-RS (Latosolo Vermelho Distrófico).

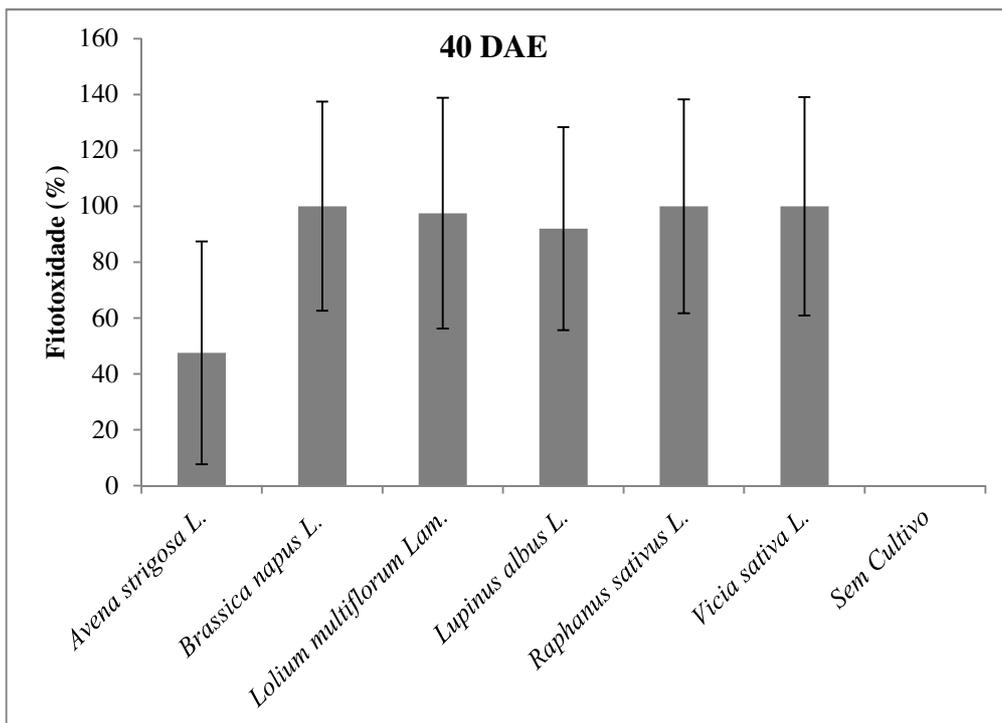
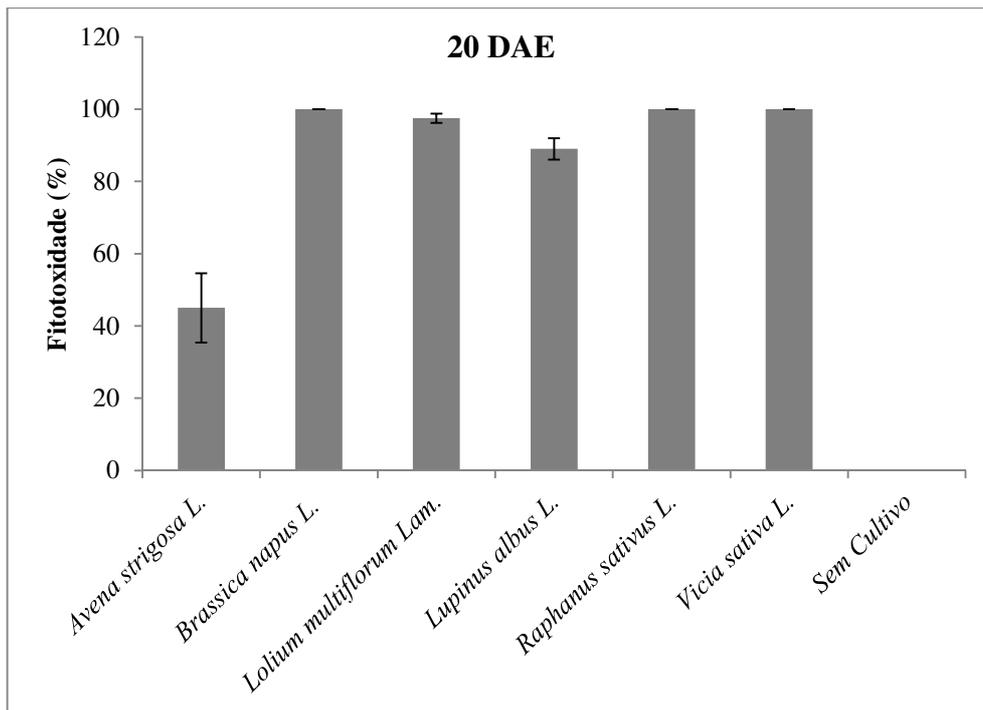


Figura 06 - Intoxicação (%) aos 20 e 40 dias após a emergência, em função do cultivo de *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* e *Vicia sativa* e sem cultivo após a aplicação da dose de 30 g ha⁻¹ de diclosulam. Sendo que na dose 0 de diclosulam não houve intoxicação.

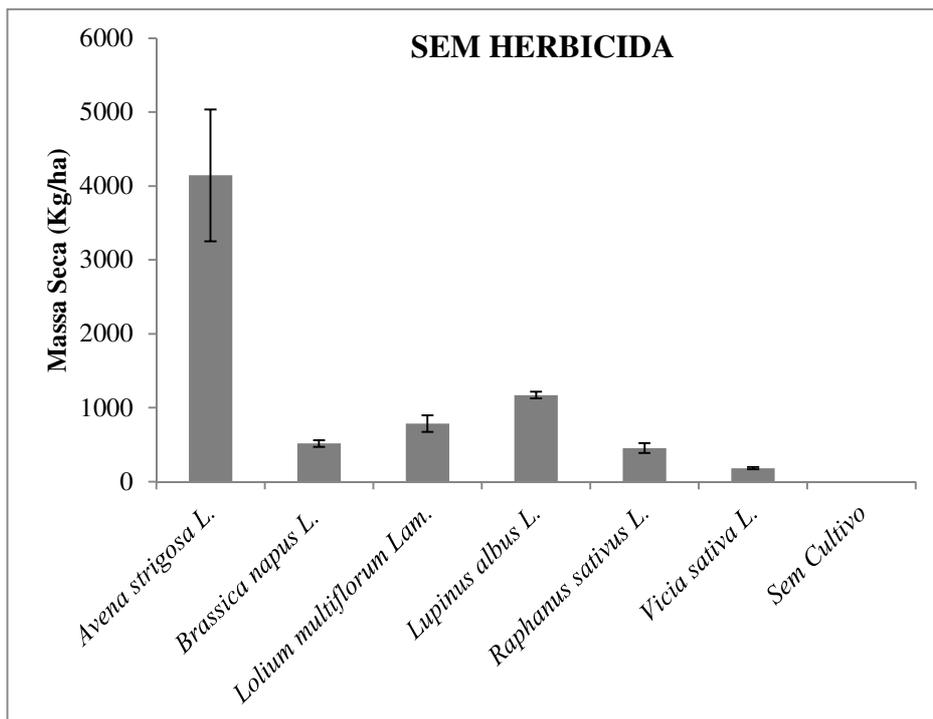
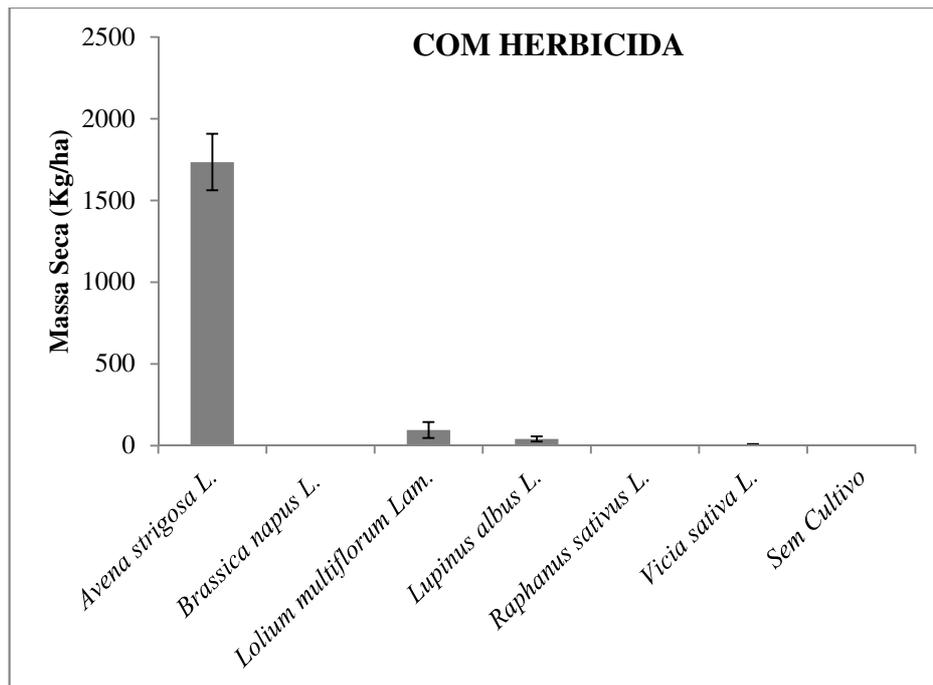


Figura 07 - Massa seca parte aérea (kg/ha) aos 40 DAS de *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, *Raphanus sativus* e *Vicia sativa* e sem cultivo após a aplicação da dose de 30 g ha⁻¹ de diclosulam.

Tabela 07 - Correlação de Pearson da quantidade de resíduos de diclosulam em solo com pousio e solo com cultivo de plantas de cobertura em função de atributos das análises de solo das quatro localidades

| Atributos do solo | Correlação de Pearson | |
|-------------------|-----------------------|---------------------|
| | Resíduo pousio | Resíduo forrageiras |
| pH | 0,8802 | 0,7257 |
| MO | 0,9721 | 0,8050 |
| P | 0,2568 | 0,1485 |
| K | 0,7809 | 0,5685 |
| Ca | 0,2626 | 0,4641 |
| Mg | 0,2822 | 0,4953 |
| Al | 0,6390 | 0,7382 |
| H+Al | 0,4641 | 0,6734 |
| SB | 0,3608 | 0,5753 |
| ctc | 0,3652 | 0,5778 |
| CTC | 0,3884 | 0,6018 |
| V | 0,0451 | 0,1722 |
| M | 0,4851 | 0,8460 |
| areia | 0,4011 | 0,5027 |
| argila | 0,3632 | 0,4744 |
| silte | 0,8587 | 0,9281 |

Tabela 08 - Análise química física do solo do Experimento, localização: Estação Experimental da UFVJM em Couto de Magalhães de Minas-MG

| pH | P | K | Na | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | SB | CTC(t) | CTC(T) |
|--|--------------------|--------|--|------------------------------------|--|--------------------|------------------------------------|-----|--------|--------|
| H ₂ O | mg/dm ³ | | | cmol _c /dm ³ | | | cmol _c /dm ³ | | | |
| 5,4 | 2,1 | 110 | | 1,0 | 0,4 | 0,1 | 2,31 | 1,6 | 1,78 | 3,99 |
| V | m | ISNa | MO | P-rem | Zn | Fe | Mn | Cu | B | S |
| % | | dag/Kg | | mg/L | | mg/dm ³ | | | | |
| 42 | 6 | | 1,86 | 27,5 | 0,4 | 58,8 | 186,5 | 1,2 | 0,1 | |
| Granulometria | | | Classificação Textural | | | | Tipo de Solo | | | |
| Argila | Silte | Areia | Franco-Arenosa | | | | Textura Média | | | |
| % | % | % | | | | | | | | |
| 15 | 23 | 62 | Classificação Segundo Embrapa 2006: | | | | | | | |
| Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico | | | | | | | | | | |
| pH em água, KCl e CaCl - Relação 1:2,5 | | | | | CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva | | | | | |
| P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1 | | | | | CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0 | | | | | |
| Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L | | | | | V = Índice de Saturação de Bases | | | | | |
| H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0 | | | | | m = Índice de Saturação de Alumínio | | | | | |
| B - Extrator água quente | | | | | ISNa - Índice de Saturação de Sódio | | | | | |
| S - Extrator - Fosfato monocálcico em ácido acético | | | | | Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na ₂ Cr ₂ O ₇ 4N + H ₂ SO 10N | | | | | |
| SB = Soma de Bases Trocáveis | | | | | P-rem = Fósforo Remanescente | | | | | |

Tabela 09 - Análise química física do solo do Experimento, localização: Estação Experimental do IFMG em São João Evangelista-MG

| pH | P | K | Na | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | SB | CTC(t) | CTC(T) |
|---|-------|--------------------|------------------------------------|------------------|--|------------------|---------------|------------------------------------|--------|--------|
| H ₂ O | | mg/dm ³ | | | cmol _c /dm ³ | | | cmol _c /dm ³ | | |
| 5,9 | 18,64 | 60 | | 2,05 | 0,95 | 0 | 2,03 | 3,15 | 3,15 | 5,18 |
| V | m | ISNa | MO | P-rem | Zn | Fe | Mn | Cu | B | S |
| | | dag/Kg | | mg/L | mg/dm ³ | | | | | |
| 60 | 0 | | 0,87 | 42,94 | - | - | - | - | - | - |
| Granulometria | | | Classificação Textural | | | | Tipo de Solo | | | |
| Argila | Silte | Areia | Franco-agilo-arenosa | | | | Textura Média | | | |
| % | % | % | | | | | | | | |
| 24 | 11 | 65 | Classificação Segundo Embrapa 2006 | | | | | | | |
| Argissolo Amarelo Eutrófico | | | | | | | | | | |
| pH em água - Relação 1:2,5 | | | | | CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0 | | | | | |
| P - K - Extrator Mehlich 1 | | | | | V = Índice de Saturação de Bases | | | | | |
| Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1N | | | | | m = Índice de Saturação de Alumínio | | | | | |
| H + Al - Extrator: SMP | | | | | P-rem = Fósforo Remanescente | | | | | |
| SB = Soma de Bases Trocáveis | | | | | Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na ₂ Cr ₂ O ₇ 4N + H ₂ SO | | | | | |
| CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva | | | | | SO 10N | | | | | |

Tabela 10 - Análise química e física do solo da área experimental localizada no Setor de produção de forrageiras do Departamento de Zootecnia da UFVJM em Diamantina-MG

| pH | P | K | Na | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | SB | CTC(t) | CTC(T) |
|--|-------|--------------------|------------------------------------|------------------|--|------------------|--------------|------------------------------------|--------|--------|
| H ₂ O | | mg/dm ³ | | | cmol _c /dm ³ | | | cmol _c /dm ³ | | |
| 5,5 | 0,9 | 19 | | 0,9 | 0,4 | 0 | 1,98 | 1,35 | 1,35 | 3,33 |
| V | m | ISNa | MO | P-rem | Zn | Fe | Mn | Cu | B | S |
| | | dag/Kg | | mg/L | mg/dm ³ | | | | | |
| 41 | 0 | | 1,86 | 28,4 | 0,4 | 103,9 | 4,4 | 0,3 | 0,2 | |
| Granulometria | | | Classificação Textural | | | | Tipo de Solo | | | |
| Argila | Silte | Areia | Areia-franca | | | | Arenoso | | | |
| % | % | % | | | | | | | | |
| 5 | 12 | 83 | Classificação Segundo Embrapa 2006 | | | | | | | |
| Neossolo Quartzarênico Ótico Típico | | | | | | | | | | |
| pH em água, KCl e CaCl - Relação 1:2,5 | | | | | CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva | | | | | |
| P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1 | | | | | CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0 | | | | | |
| Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L | | | | | V = Índice de Saturação de Bases | | | | | |
| H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0 | | | | | m = Índice de Saturação de Alumínio | | | | | |
| B - Extrator água quente | | | | | ISNa - Índice de Saturação de Sódio | | | | | |
| S - Extrator - Fosfato monocálcico em ácido acético | | | | | Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na ₂ Cr ₂ O ₇ 4N + H ₂ SO | | | | | |
| SB = Soma de Bases Trocáveis | | | | | 10N | | | | | |
| | | | | | P-rem = Fósforo Remanescente | | | | | |

Tabela 11 - Análise química física do solo do Experimento, localização: área experimental da UFSS em Erechim-RS

| pH | P | K | Na | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | SB | CTC(t) | CTC(T) |
|--|-------|--------------------|---|------------------|---|-------------------------------|---------------|------------------------------------|--------|--------|
| H ₂ O | | mg/dm ³ | | | cmol _c /dm ³ | | | cmol _c /dm ³ | | |
| 4,8 | 6,3 | 180 | 17 | 5,1 | 3,3 | 0,9 | 8,7 | 8,67 | 9,8 | 17,37 |
| V | m | ISNa | MO | P-rem | Zn | Fe | Mn | Cu | B | S |
| % | | dag/Kg | | mg/L | mg/dm ³ | % | | mg/dm ³ | | |
| 49,91 | 9,4 | 3,31 | | | 1,4 | 0,18 | 75 | 4,6 | - | 39,2 |
| Granulometria | | | Classificação Textural | | | | Tipo de Solo | | | |
| Argila | Silte | Areia | Franco - argiloso | | | | Textura Média | | | |
| % | % | % | | | | | | | | |
| 26,8 | 17,13 | 56,07 | Classificação Segundo Embrapa 2006 | | | | | | | |
| | | | | | | Latossolo Vermelho Distrófico | | | | |
| Diagnóstico para acidez do solo e calagem | | | | | Diagnóstico para micronutrientes e relações | | | | | |
| "pH em água 1:1; Ca, Mg, Al, e Mn trocáveis | | | | | molares | | | | | |
| extraídos com KCl 1 mol L ⁻¹ e CTC a pH 7,0." | | | | | "S-SO ₄ | | | | | |
| Diagnóstico para macronutrientes e recomendação | | | | | extraído com CaHPO ₄ | | | | | |
| de adubação NPK-S | | | | | 500 mg L ⁻¹ de P" e B extraído com água quente." | | | | | |
| "Argila determinada pelo método do densímetro; | | | | | | | | | | |
| MO por digestão úmida e P, K, Na, Zn e Cu | | | | | | | | | | |
| determinados pelo método de Mehlich I." | | | | | | | | | | |

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O herbicida diclosulam é utilizado na agricultura brasileira, principalmente nas culturas da soja e cana-de-açúcar, que juntas são cultivadas em mais de 40 milhões de hectares. Como este herbicida apresenta acentuado efeito residual no solo, o que impede o cultivo em sucessão de espécies sensíveis, prejuízos econômicos e danos ambientais às áreas agrícolas, são uma preocupação do setor agrícola brasileiro.

Entre as espécies avaliadas nesta pesquisa, algumas foram mais tolerantes ao herbicida. Evidenciou-se variação no comportamento das espécies testadas em função das condições edafoclimáticas de cada localidade, provavelmente pelo clima e tipo de solo. Assim, a prática de uso do diclosulam na região Sul do Brasil deve ser mais criteriosamente avaliada, pois é esperado maior poder residual desse herbicida, dificultando eventual descontaminação, notadamente no inverno. Constatou-se que solos mais argilosos retêm os resíduos do herbicida por mais tempo, quando comparados com solos arenosos.

A agricultura brasileira atualmente depende do uso de herbicidas para manter os atuais níveis de produção, com isso é provável que o uso do diclosulam, seja mantido ainda, por muitos anos nos campos agrícolas. A necessidade de otimização de uso das áreas é imediata e isso envolve sequências de cultivos que permitam maior lucratividade pelo uso adequado de adubos e sementes, além dos demais insumos, incluindo os herbicidas.

Para otimizar a sucessão de plantas numa mesma área agrícola, a adoção de espécies tolerantes aos resíduos de herbicidas deve ser preconizada. A pesquisa com novas fitorremediadoras deve ser continuada e a opção de agregação de valor ao processo produtivo como a produção de etanol sugerida nesta Tese deve ser fomentada. A fitorremediação é uma tecnologia ainda em estudos, e para sua adequada aceitação e implantação, pesquisas direcionadas para cada região brasileira, visando a seleção de espécies com aptidão local, que levem em consideração todas as diferenças edafoclimáticas devem ser incentivadas.

Há evidências de que a fitorremediação fará parte do pacote de ações no roteiro de atividades agrícolas em várias regiões produtoras do Brasil, notadamente para as culturas da cana-de-açúcar e soja. A presente pesquisa demonstrou a viabilidade de algumas espécies vegetais no processo de rotação de culturas capazes de diminuir o resíduo do diclosulam no solo e ao mesmo tempo apresentando potencial para uso no seguimento energético. Espera-se dificuldade para que plantas operativas das usinas, hoje da cadeia produtiva do álcool a partir da cana, possam ser adaptadas a novas espécies vegetais visando diversificação do material de origem.

Contudo, o objetivo dessa pesquisa foi apresentar o potencial de novos cultivos que, a priori, seriam feitos pelos benefícios da cobertura das áreas, bem como potencial fitorremediador, para agora servirem também à oferta de matéria prima à produção de bioetanol de segunda geração.

Novos estudos devem considerar a dinâmica de persistência do diclosulam ao longo do ano e das condições edafoclimáticas, pois essa alteração foi observada nesta pesquisa e altera significativamente a prática da fitorremediação.

ANEXOS

Imagem 01: Quantificação dos açúcares lignocelulósicos realizado na Universidade de Jaén (UJA) *campus* Las Lagunillas, no Centro de Estudos Anvaçados em Energia e Meio Ambiente, Jaén-Espanha.



Legenda: (A) professores da Universidade de Jaén e doutorandos de diversas nacionalidades que estavam trabalhando no Centro de Estudos Anvaçados em Energia e Meio Ambiente, durante a execução do experimento. (B) Prof. Dr. Eulogio Castro Galiano responsável pela condução do experimento na Universidade de Jaén e o doutorando Cícero Teixeira. (C) doutorando Cícero Teixeira e pesquisadores da UJA operando o Reator utilizado para o pré-tratamento de materiais lignocelulósicos. (D) doutorando Cícero Teixeira e o pesquisador Jose Antonio Rojas, quantificando a concentração de açúcares lignocelulósicos através de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência. (E) à esquerda material lignocelulósico após tratamento no reator e direita material in natura. (F) Oliveira centenária nas mediações do *campus*-UJA.

Imagem 02: Experimento conduzido no campo Experimental de Forragicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) *campus* JK em Diamantina-MG.



Legenda: (A) Grupo de Pesquisa INOVAHERB, à direita da foto Prof. Dr. José Barbosa dos Satos. (B) Aplicação do herbicida diclosulam pelo doutorando Cícero Teixeira, sob a supervisão do orientador. (C) plantio das plantas de cobertura. (D e E) parcelas com e sem herbicida aos 60 DAS. (F) avaliação dos teores de clorofilas A e B e relação Fv/Fm pelo Prof. Dr. Evander Alves, com apoio de pesquisadores do INOVAHERB (G) vista da colaboradora Renata Teixeira (esposa) nas parcelas com plantio de girassol utilizado como bioindicadoras de resíduos de diclosulam no solo. (H) avaliação fitotécnica das plantas de girassol pelo doutorando Cícero Teixeira.

Imagem 03: Experimento conduzido na Área Experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) *campus* Erechim-RS.



Legenda: (A) grupo de pesquisa có-responsável pela condução do experimento na UFFS sob orientação do Prof. Dr. Leandro Galon (segundo da direita para esquerda) e destaque da presença da pesquisadora Cinthia Maethê Holz responsável pela coleta dos dados de campo. (B) vista geral da área experimental antes do plantio das plantas de cobertura. (C) parcela com resíduo de diclosulam à esquerda e à direita com resíduo do herbicida aos 40 DAS cultivada com *Avena strogosa*. (D) cultivo de girassol como espécie biodindicadora, à esquerda sem resíduo do diclosulam e à direita com resíduo do herbicida.

Imagem 04: Experimento conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) em Couto Magalhães de Minas-MG.



Legenda: (A e B) parcelas com e sem herbicida aos 20 DAS. (C, D e E) parcelas com e sem herbicida aos 40 DAS. (F) visita na área experimental de Pedro Teixeira da Silva (filho do doutorando Cícero).

Imagem 05: Experimento conduzido na Área Experimental do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG SJE) *campus* São João Evangelista-MG.



Legenda: (A) visita do Prof. Dr. José Barbosa dos Santos junto com o Prof. Ms. Alisson José Eufrágio na área experimental. (B) parcela com resíduo de diclosulam aos 20 DAS cultivada com plantas de cobertura. (C) parcela com resíduo de diclosulam à frente, e a ao fundo, sem herbicida cultivada com *Avena sativa* aos 40 DAS. (D) vista geral do experimento aos 40 DAS. (E) à esquerda parcela sem herbicida e à direita parcela com resíduo de diclosulam aos 40 DAS. (F) integrantes do grupo de pesquisa TETRAFITO, na colheita do experimento com a presença do doutorando Cícero Teixeira e do Prof. Ms. Alisson José Eufrágio.