



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
CURSO DE AGRONOMIA**

DOUGLAS ALESSANDRO HABOSKI

**ESPÉCIES CULTIVADAS NO INVERNO COM POTENCIAL FITORREMEDIADOR
DE SOLOS CONTAMINADOS COM HERBICIDAS**

ERECHIM

2023

DOUGLAS ALESSANDRO HABOSKI

**ESPÉCIES CULTIVADAS NO INVERNO COM POTENCIAL FITORREMEIADOR
DE SOLOS CONTAMINADOS COM HERBICIDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) – *Campus* Erechim, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: D. Sc. Leandro Galon

ERECHIM

2023

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Haboski, Douglas Alessandro
ESPÉCIES CULTIVADAS NO INVERNO COM POTENCIAL
FITORREMEIADOR DE SOLOS CONTAMINADOS COM HERBICIDAS /
Douglas Alessandro Haboski. -- 2023.
36 f.

Orientador: D. Sc. Leandro Galon

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Agronomia, Erechim, RS, 2023.

1. Despoluição de solo. 2. Mistura de herbicidas. 3.
Biorremediação. 4. Fitorremediação. I. Galon, Leandro,
orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III.
Título.

DOUGLAS ALESSANDRO HABOSKI

**ESPÉCIES CULTIVADAS NO INVERNO COM POTENCIAL FITORREMEDIADOR
DE SOLOS CONTAMINADOS COM HERBICIDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) – *Campus* Erechim, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Este trabalho de conclusão foi defendido e aprovado pela banca em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. D. Sc. Leandro Galon – UFFS
Orientador

Prof. Dr. Hugo Von Linsingen Piazzetta – UFFS
Avaliador

Prof. Dra. Sandra Maria Maziero – UFFS
Avaliadora

ESPÉCIES CULTIVADAS NO INVERNO COM POTENCIAL FITORREMEIADOR DE SOLOS CONTAMINADOS COM HERBICIDAS

RESUMO: A fitorremediação é uma técnica de despoluição de áreas contaminadas que vem ganhando destaque nos últimos anos, sendo uma forma econômica, simples e eficiente para a retirada principalmente de herbicidas do solo. Diante disso, objetivou-se com esse trabalho avaliar o potencial das espécies de coberturas semeadas no inverno para fitorremediar solo tratado com os herbicidas diuron, sulfentrazone e diuron + sulfentrazone. O experimento foi conduzido a campo, em delineamento de blocos casualizados, arranjado em esquema fatorial, com quatro repetições. Foram aplicados os herbicidas diuron (490 g ha^{-1}), sulfentrazone (245 g ha^{-1}) e diuron + sulfentrazone ($490 + 245 \text{ g ha}^{-1}$) em pré-emergência das espécies fitorremediadoras (aveia preta - *Avena stibosa*, ervilhaca - *Vicia sativa*, centeio - *Secale cereale*, nabo - *Raphanus sativus*, trigo-mourisco - *Fagopyrum esculentum*, azevém - *Lolium multiflorum*, tremoço - *Lupinus albus*, as misturas de aveia preta + ervilhaca + centeio + nabo + azevém) e o solo sem cultivo. Aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a emergência (DAE) foram realizadas as avaliações de fitotoxicidade das espécies. Aos 75 DAE as espécies foram seccionadas rente ao solo, postas em sacos de papel *kraft*, secas em estufas para determinar a massa seca da parte aérea (g). Na segunda etapa foram semeadas as espécies bioindicadoras da despoluição do solo, as culturas do girassol e do sorgo. No girassol e sorgo, aos 55 dias após a semeadura (DAS) foram analisadas as trocas gasosas e na colheita determinou-se o peso de mil grãos e a produtividade de grãos. O diuron causou menor fitotoxicidade a todas as espécies testadas como potencialmente fitorremediadoras de solo. A ervilhaca e o tremoço demonstraram menor fitotoxicidade ao diuron, sulfentrazone e diuron + sulfentrazone podendo serem usadas como fitorremediadoras de solo. A produção de massa seca da parte aérea do centeio não foi afetada pela aplicação dos herbicidas testados. As trocas gasosas do sorgo e do girassol demonstram comportamento alternado frente ao uso dos herbicidas e das coberturas de inverno com potencial fitorremediador. O peso de mil grãos do girassol foi maior ao se usar o tremoço e o trigo-mourisco como plantas despoluidoras de solo para a testemunha sem herbicida e o uso de diuron, respectivamente. A maior produtividade de grãos do girassol ocorreu ao solo descoberto para a testemunha sem aplicação de herbicidas, o tremoço para uso do sulfentrazone e a aveia preta ao se aplicar o diuron + sulfentrazone. De maneira geral, o sulfentrazone foi o tratamento que apresentou maiores efeitos negativos, afetando o peso de mil grãos do sorgo em relação aos demais herbicidas. As maiores produtividades de grãos do sorgo foram obtidas na testemunha sem herbicida, para o diuron, sulfentrazone e diuron + sulfentrazone ao se usar como coberturas despoluidoras o trigo-mourisco, o azevém, a mistura de espécies e aveia preta, respectivamente.

Palavras chave: Despoluição do solo. Mistura de herbicidas. Biorremediação. Fitorremediação.

CULTIVATED WINTER SPECIES WITH PHYTOREMEDIATION POTENTIAL FOR SOILS CONTAMINATED WITH HERBICIDES

ABSTRACT: Phytoremediation is a technique for depollution of contaminated areas that has been gaining prominence in recent years, being an economical, simple and efficient way to remove mainly herbicides from the soil. Therefore, the objective of this work was to evaluate the potential of cover crops sown in winter to phytoremediate soil treated with the herbicides diuron, sulfentrazone and diuron + sulfentrazone. The experiment was carried out in the field, in a randomized block design, arranged in a factorial scheme, with four replications. The herbicides diuron (490 g ha⁻¹), sulfentrazone (245 g ha⁻¹) and diuron + sulfentrazone (490 + 245 g ha⁻¹) were applied in pre-emergence of phytoremediating species (black oat - *Avena stigosa*, vetch - *Vicia sativa*, rye - *Secale cereale*, turnip - *Raphanus sativus*, buckwheat - *Fagopyrum esculentum*, ryegrass - *Lolium multiflorum*, lupine - *Lupinus albus*, mixtures of black oats + vetch + rye + turnip + ryegrass) and uncultivated soil. At 7, 14, 21, 28 and 35 days after emergence (DAE) phytotoxicity assessments of the species were carried out. At 75 DAE the species were sectioned close to the ground, placed in kraft paper bags, dried in ovens to determine the dry mass of the aerial part (g). In the second stage, the species that are bioindicators of soil depollution were sown, the sunflower and sorghum crops. In sunflower and sorghum, at 55 days after sowing (DAS) gas exchanges were analyzed and at harvest the weight of a thousand grains and grain yield were determined. Diuron caused less phytotoxicity to all species tested as potential soil phytoremediators. Vetch and lupine showed less phytotoxicity to diuron, sulfentrazone and diuron + sulfentrazone and can be used as soil phytoremediators. Dry mass production of rye shoots was not affected by the application of the tested herbicides. The gaseous exchanges of sorghum and sunflower show alternating behavior against the use of herbicides and winter coverings with phytoremediation potential. The weight of a thousand seeds of sunflower was higher when using lupine and buckwheat as soil depolluting plants for the control without herbicide and the use of diuron, respectively. The highest sunflower grain yield occurred in bare soil for the control without herbicide application, lupine for sulfentrazone use and black oats when diuron + sulfentrazone was applied. In general, sulfentrazone was the treatment that showed the greatest negative effects, affecting the thousand-grain weight of sorghum compared to other herbicides. The highest sorghum grain yields were obtained in the control without herbicide, for diuron, sulfentrazone and diuron + sulfentrazone when using buckwheat, ryegrass, mixture of species and black oats as depolluting covers, respectively.

Keywords: Soil decontamination. Herbicide mixture. Bioremediation. Phytoremediation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Espécies com potencial fitorremediador de solo, densidades, plantas m ⁻² e espaçamento utilizado para as coberturas com potencial fitorremediador. UFFS, Erechim-RS.	30
Tabela 2. Fitotoxicidade (%) das coberturas com potencial fitorremediador dos 7 e 14 dias após emergência (DAE). UFFS, Erechim-RS.....	31
Tabela 3. Fitotoxicidade (%) das coberturas com potencial fitorremediador dos 21 aos 28 dias após emergência (DAE). UFFS, Erechim-RS.....	31
Tabela 4. Fitotoxicidade (%) aos 35 dias após emergência (DAE) e massa seca da parte aérea das coberturas com potencial fitorremediadoras em função da aplicação de herbicidas. UFFS, Erechim-RS.....	32
Tabela 5. Taxa fotossintética (A) e condutância estomática dos vapores de água (Gs) do girassol em função da aplicação de herbicidas e uso de plantas com potencial fitorremediador de solo. UFFS, Erechim-RS.	32
Tabela 6. Concentração interna de CO ₂ (Ci) e taxa transpiratória (E) do girassol em função da aplicação de herbicidas e uso de plantas com potencial fitorremediador de solo. UFFS, Erechim-RS.....	33
Tabela 7. Eficiência do uso da água (EUA) do girassol e taxa fotossintética (A) do sorgo em função da aplicação de herbicidas e uso de plantas com potencial fitorremediador de solo. UFFS, Erechim-RS.....	33
Tabela 8. Condutância estomática dos vapores de água (Gs) e concentração interna de CO ₂ (Ci) do sorgo em função da aplicação de herbicidas e uso de plantas com potencial fitorremediador de solo. UFFS, Erechim-RS.....	34
Tabela 9. Taxa de transpiratória (E) e eficiência do uso da água (EUA) do sorgo em função da aplicação de herbicidas e uso de plantas com potencial fitorremediador de solo. UFFS, Erechim-RS.....	34
Tabela 10. Peso de mil grãos (g) e produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) do girassol em função de espécies fitorremediadoras e herbicidas. UFFS, Erechim-RS.	35
Tabela 11. Peso de mil grãos (g) e produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) do sorgo em função de espécies fitorremediadoras e herbicidas. UFFS, Erechim-RS.	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. MATERIAL E MÉTODOS	13
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4. CONCLUSÃO	24
REFERÊNCIAS.....	25

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o uso de agrotóxicos para o controle de plantas daninhas, doenças e insetos tem apresentado grande importância para se ter elevadas produtividades (ALVES et al., 2018a; BARROSO et al., 2023; SILVA et al., 2023). O controle químico é o método mais utilizado em função da eficiência, rapidez, praticidade e menor custo quando comparado a outras formas de manejo de pragas (GALON et al., 2017; CAMACHO et al., 2022). Entretanto, as utilizações demasiadas ou de modo incorreto dos produtos, principalmente de herbicidas, podem ocasionar contaminações do solo e assim esse ficar impossibilitado para o cultivo de espécies sensíveis, em sucessão as aplicações (SALOMÃO et al., 2020; BARROSO, et al., 2023).

O conhecimento das interações que ocorrem entre os herbicidas e o solo apresenta grande importância, pois, a degradação e a dissipação diferem para cada tipo de solo, de moléculas, de clima, manejo adotado, sistemas de cultivo, dentre outros (ROCHA et al., 2013). Os processos de degradação que ocorrem podem ser físicos, químicos ou biológicos, que irão proporcionar a mineralização total do herbicida ou converter em metabólitos não tóxicos (ROCHA et al., 2013). Em muitas situações, pela falta de informação do tempo de permanência do herbicida no solo em que foi aplicado, pode levar a contaminações de culturas cultivadas em sucessão ao uso, resultando em injúrias ou *carryover*, com consequente efeito negativo no crescimento e desenvolvimento ou até mesmo redução da produtividade (BARROSO et al., 2023; SILVA et al., 2023).

Um herbicida muito utilizado no Brasil para o controle das plantas daninhas, tanto em pré, como em pós-emergência, é o diuron. Apresenta amplo espectro no controle de mono e dicotiledôneas, inibindo o Fotossistema II das plantas tratadas e sensíveis (LU et al. 2018; TANDON et al., 2019). A ampla utilização desse herbicida acaba ocasionando problemas de contaminações das partículas do solo, por ser pouco lixiviável e apresentar elevada persistência na camada de 0 a 10 cm (LI et al., 2021). O diuron quando aplicado na dose de 3000 g ha⁻¹ de ingrediente ativo apresenta meia-vida de 156 dias, precisando de aproximadamente um ano para se eliminar todo ou parte do resíduo no solo (ROCHA et al., 2013).

Ao se efetuar a semeadura do sorgo, e logo após aplicar diuron ocorre morte elevada das plantas da cultura após sua emergência, além da diminuição do diâmetro, massa seca de colmos, folhas, panículas e uma menor produtividade de grãos (DALCIN et al., 2019). Ainda de acordo com os mesmos autores, a população de plantas de sorgo reduziu quanto mais próximo do dia da aplicação do herbicida foi realizada a semeadura.

O sulfentrazone é um herbicida inibidor de protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) que vem sendo utilizado nas culturas de café, cana-de-açúcar, citrus, eucalipto, soja e também em áreas não agrícolas (AGROFIT, 2023). Esse herbicida apresenta longo efeito residual no solo e inviabiliza o cultivo de plantas sensíveis em sucessão a sua aplicação (FERRAÇO et al., 2017; FERRAÇO et al., 2019). Blanco et al. (2005) coletaram solo tratado com 0,6 kg ha⁻¹ de sulfentrazone e observaram que o herbicida persistiu no solo por 376 dias após a aplicação, ocasionando fitotoxicidade, afetando o crescimento e o rendimento do milho e da aveia, mas não prejudicando o feijão, girassol e trigo cultivados em sequência da aplicação.

As moléculas persistentes contidas no solo podem ser degradadas por processos biológicos, físicos ou químicos, onde a mesma é lixiviada ou sorvida pelos colóides do solo (ALVES et al., 2018a). Alves et al., (2019) relatam que um solo com textura arenosa, alto pH e baixo teor de matéria orgânica favorecem a lixiviação. Independente de como o solo é manejado, os solos argilosos apresentam melhor sorção (FERRAÇO et al., 2019), sendo isso incrementado quando a matéria orgânica é mais elevada, demonstrando uma melhor bioatividade (DAN et al., 2011), além de favorecer a adsorção e a degradação dos herbicidas presentes no mesmo (LOURENCETTI et al., 2012).

A mistura comercial composta por diuron + sulfentrazone foi lançada recentemente, tendo-se dois mecanismos de ação, inibidor de Fotossistema II e de PROTOX, respectivamente, sendo mais uma opção para controle das plantas daninhas infestantes das culturas de cana-de-açúcar, café, citrus, eucalipto e soja (AGROFIT, 2023). A associação desses herbicidas resulta em um possível sinergismo, com aumento de controle, período residual e contribuindo para o manejo das plantas daninhas resistentes, principalmente ao glyphosate. Em especial, a mistura desses dois herbicidas justifica-se pelo fato do diuron atuar mais sobre espécies gramíneas e o sulfentrazone em plantas dicotiledôneas e algumas espécies monocotiledôneas (SOUSA et al., 2020).

Nos últimos anos, pesquisas objetivando a recuperação de áreas degradadas ou contaminadas com herbicidas, buscando uma maneira mais simples e com um baixo custo estão sendo realizadas e testadas em várias regiões do país (SILVA et al., 2020; DUTRA et al., 2022). Dentre as técnicas estudadas para despoluição de solo, destaca-se a fitorremediação como uma das mais promissoras (SILVA et al., 2020; ZHANG et al., 2020; BARROSO et al., 2023). A fitorremediação consiste em utilizar espécies de plantas vegetais seletivas para descontaminação dos solos, associadas a microbiota do solo e amenizantes (fertilizantes, matéria orgânica, etc.) (PIRES et al., 2003; FERRAÇO et al., 2019) para a remoção do herbicida

através das plantas, da parte bioquímica do solo e também da química dos contaminantes, realizando a biotransformação ou bioacumulação desses produtos (TEÓFILO et al., 2020).

A seleção de espécies fitorremediadoras é a primeira etapa do processo, esta deve ser criteriosa, pois necessita de plantas com características favoráveis para absorver os poluentes, descontaminar o solo, além de possuir um rápido crescimento, fácil adaptação e bom estabelecimento inicial (VASCONCELO et al., 2020). A planta precisa tolerar naturalmente ou ter seletividade quando em contato com o herbicida, demonstrar bom sistema radicular e que consiga reter os herbicidas nas raízes, além da capacidade de alta produção de biomassa (ALVES et al., 2018a). A planta além de tolerar os herbicidas, pode desenvolver a ativação da microbiota do solo e a decomposição dos compostos orgânicos através da liberação de exsudatos pelas raízes, podendo aumentar a fixação biológica de nitrogênio da atmosfera, quando se usar espécies leguminosas (FERRAÇO et al., 2017).

Em estudos mais recentes sobre os processos de fitorremediação se tem buscado efetuar a mistura de espécies vegetais para que se consiga acelerar a descontaminação, promovendo a liberação mais rápida da área para o cultivo, além de diminuir a possibilidade de lixiviação (FERRAÇO et al., 2019; BARROSO et al., 2023; SILVA et al., 2023). Poucas misturas de espécies ocorreram até o momento, uma já realizada foi de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) + girassol (MELO et al., 2017).

A fitorremediação além de ter um baixo custo, ela não utiliza combustíveis fósseis como fonte de energia, as espécies contribuem no controle da erosão, escoamento superficial e deslocamento de poluentes que podem ser degradados em H₂O ou CO₂. Entretanto, existe uma grande dificuldade na seleção de espécies, pois os contaminantes devem atingir as raízes e às vezes, as plantas não conseguem se adaptar aos locais contaminados, podendo ocorrer a transmissão dos poluentes do solo para o ar e também em alguns casos ser tóxicos para as plantas. Outro aspecto a ser levado em conta, é o tempo para obtenção do resultado, o qual é bem mais lento que as técnicas físico-químicas que são utilizadas (PETERSEN et al., 2023).

As plantas jovens no estágio de desenvolvimento inicial apresentam maior potencial para fitorremediar herbicidas, pois apresentam tecidos menos desenvolvidos que irão crescer absorvendo água e nutrientes do solo juntamente com os resíduos (TEÓFILO et al., 2020). Além disso, os autores afirmam que as plantas utilizadas na adubação verde são capazes de extrair herbicidas do solo com êxito, pois possuem rápido crescimento, apresentam alta atividade rizosférica, grande acúmulo de biomassa e consequentemente dos compostos químicos em seus tecidos. Outro ponto importante para se usar espécies com potencial fitorremediador é que essas apresentem importância agrícola, servindo ao produtor como

cobertura de solo, produção de grãos ou sementes ou mesmo como forrageiras para alimentação animal e que sejam de fácil manejo para implantação de outras culturas em sucessão.

Assim sendo, espera-se com esse trabalho que as coberturas de inverno aveia preta (*Avena stigosa*), ervilhaca (*Vicia sativa*), centeio (*Secale cereale*), nabo (*Raphanus sativus*), trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum*), azevém (*Lolium multiflorum*), tremoço (*Lupinus albus*) e as misturas de aveia preta + ervilhaca + centeio + nabo + azevém sejam capazes de fitorremediar solo contaminado com diuron, sulfentrazone e a mistura comercial de diuron + sulfentrazone. Busca-se ainda com a pesquisa, avaliar se a semeadura das espécies bioindicadoras, girassol e sorgo, consigam detectar a presença ou ausência dos herbicidas aplicados no solo. Diante disso, objetivou-se com esse trabalho avaliar o potencial das espécies de coberturas semeadas no inverno para fitorremediar solo tratado com os herbicidas diuron, sulfentrazone e diuron + sulfentrazone.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim/RS, latitude 27,725269° S, longitude 52,294485° W e altitude de 650 m. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Aluminoso Férrico típico (STRECK et al., 2018), com as seguintes características químicas e físicas: pH em água de 5,6; M.O. = 3,2%; P = 9,7 mg dm⁻³; K = 134,4 mg dm⁻³; Al³⁺ = 0,0 cmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 6,7 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 3,1 cmol_c dm⁻³; CTC_{efetiva} = 10,1 cmol_c dm⁻³; CTC_{pH7} = 14,6 cmol_c dm⁻³; H+Al = 4,5 cmol_c dm⁻³; Saturação de bases = 69% e Argila = 65%. O clima predominante na região de acordo a classificação de Koppen é o Cfa, ou seja, clima temperado, com verão ameno, chuvas uniformemente distribuídas, e a temperatura média do mês mais quente não chega a 22°C, com precipitação de 1.100 a 2.000 mm, geadas severas e frequentes, num período médio de ocorrência de dez a 25 dias anualmente (PEEL et al., 2007). A precipitação e a temperatura média (°C) ocorridas durante o período de condução dos experimentos podem ser observadas na Figura 1.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, arranjado em esquema fatorial 3 x 9, com 4 repetições. No fator A alocou-se as espécies vegetais com potencial fitorremediador: aveia preta (*Avena stigos*a), ervilhaca (*Vicia sativa*), centeio (*Secale cereale*), nabo (*Raphanus sativus*), trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum*), azevém (*Lolium multiflorum*), tremoço (*Lupinus albus*), as misturas de aveia preta + ervilhaca + centeio + nabo + azevém e solo sem cultivo de nenhuma espécie. No fator B foram dispostos os herbicidas diuron (490 g ha⁻¹), sulfentrazone (245 g ha⁻¹) e a mistura comercial composta por diuron + sulfentrazone (490 + 245 g ha⁻¹), sendo os nomes comerciais, Diuron Nortox 500 SC (0,98 L ha⁻¹), Boral® 500 SC (0,49 L ha⁻¹) e Stone® (1,40 L ha⁻¹), respectivamente. O solo sem cultivo de coberturas foi mantido livre de vegetação por meio de aplicações de glyphosate (1440 g ha⁻¹) sempre que necessário, no mesmo período em que foram semeadas as espécies com potencial despolidor até a semeadura do sorgo e girassol.

A semeadura das espécies com potencial fitorremediador foi realizada com semeadora/adubadora em parcela com área de 3 x 6 m (18 m²), um dia antes da aplicação dos herbicidas. A densidade de semeadura, planta m⁻², espaçamento entre linhas e número de linhas semeadas de aveia preta, ervilhaca, centeio, nabo, trigo-mourisco, azevém, tremoço e a mistura de espécies está disposto na Tabela 1. A correção da fertilidade do solo foi efetuada conforme as recomendações técnicas para as espécies (ROLAS, 2016). Os herbicidas foram aplicados um dia após a semeadura, utilizando-se um pulverizador costal de precisão, pressurizado a CO₂, equipado com quatro pontas de pulverização tipo leque DG 110.02, sob pressão constante de

210 kPa e velocidade de deslocamento de 3,6 km h⁻¹, o que proporcionou uma vazão de 150 L ha⁻¹ de calda.

Aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a emergência (DAE) foram realizadas as avaliações de fitotoxicidade das espécies com potencial fitorremediador. A fitotoxicidade foi avaliada de forma visual por dois avaliadores, atribuindo-se notas de zero (ausência de injúria) a 100% (morte das plantas) de acordo com a metodologia proposta pela SBPCPD (1995).

Aos 75 dias após a emergência (DAE), as espécies fitorremediadoras foram seccionadas rente ao solo, acondicionadas em sacos de papel *kraft* e postas para secagem em estufa com circulação forçada de ar, a temperatura de 60±5°C, pelo período de dois dias para aferir-se a matéria seca da parte aérea (MSPA).

Para a segunda etapa do experimento a área foi dessecada com glyphosate + saflufenacil (1440 + 70) + óleo mineral (0,5% v/v) 10 dias antes da semeadura de sorgo e girassol. Efetuou-se adubação no sulco de semeadura do sorgo e do girassol na quantidade de 350 kg ha⁻¹ da fórmula 13-24-12 de N-P-K, de acordo com a análise química e seguindo-se as recomendações técnicas para essas culturas. Foram semeadas com semeadora/adubadora 3 linhas de sorgo e de girassol das cultivares BM 737 e ADV 5504, espaçadas a 0,50 m entre si, e nas densidades de 17,5 e 6 sementes m⁻¹, respectivamente.

Aos 55 dias após a semeadura (DAS) do sorgo e do girassol foram aferidas as variáveis referentes à fisiologia dessas culturas tais como: taxa fotossintética ($A - \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática de vapores de água ($G_s - \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO₂ ($C_i - \mu\text{mol mol}^{-1}$), taxa de transpiração ($E - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a eficiência do uso da água (EUA - $\text{mol CO}_2 \text{mol H}_2\text{O}^{-1}$). A EUA foi calculada a partir da razão das variáveis A/E . Essas variáveis foram determinadas no terço médio das plantas, na primeira folha completamente expandida. Para isso, utilizou-se um analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCA PRO (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK). Cada cultura foi avaliada sob iluminação natural, entre sete e dez horas da manhã, em condições de céu limpo, de forma que se mantivessem as condições ambientais homogêneas durante as análises.

A colheita do sorgo e do girassol foi realizada quando esses atingiram 19 e 12% de umidade, em área útil de 1,5 m², aferindo-se o peso de mil grãos (g) e a produtividade de grãos (kg ha⁻¹). O peso de mil grãos foi aferido por contagem de oito amostras de 100 grãos cada e, posteriormente, pesadas em balança analítica. A partir disso, estimou-se a produtividade de grãos, corrigindo-se o teor de umidade para 13% e extrapolado os dados para kg ha⁻¹.

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade das variâncias e após a comprovação da normalidade dos erros realizou-se análise de variância pelo teste F, e

sendo significativos aplicou-se o teste de Scott-Knott. Todos os testes foram efetuados a $p \leq 0,05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que o trigo-mourisco e a aveia preta demonstraram, de modo geral, a maior fitotoxicidade dos 7 aos 35 DAE (dias após emergência) ao se aplicar o sulfentrazone e diuron + sulfentrazone (Tabela 2, 3 e 4). Por outro lado, a ervilhaca foi dentre as coberturas vegetais, a que demonstrou menor efeito de fitotoxicidade ao se aplicar o sulfentrazone e o diuron + sulfentrazone, do início ao final das avaliações, dos 7 aos 35 DAE. Para esses mesmos herbicidas as demais coberturas demonstraram fitotoxicidades em patamares intermediários entre o trigo-mourisco e aveia preta (maiores injúrias) e a ervilhaca (menores injúrias). A ervilhaca utilizada como planta fitorremediadora conseguiu degradar em média 94% dos herbicidas do grupo das imidazolinonas (imazethapyr, imazapic e imazapyr) presentes no solo, mostrando-se uma cobertura que tolera e consegue fitorremediar produtos (SOUTO et al., 2020). Esse fato corrobora aos resultados encontrados no presente estudo, mesmo que se tenha utilizado herbicidas pertencentes a outros mecanismos de ação, como inibidores de FS II (diuron) e de PROTOX (sulfentrazone).

O herbicida diuron demonstrou maiores fitotoxicidades dos 7 aos 14 DAE para aveia preta e ervilhaca (Tabela 2). As coberturas de nabo e tremoço sofreram mais injúrias ao se aplicar o diuron somente aos 7 DAA. Esse mesmo herbicida ocasionou ainda maiores fitotoxicidades ao azevém, porém dos 14 aos 21 DAE (Tabelas 2 e 3). Todas as espécies com potencial fitorremediador a partir dos 28 DAE (Tabela 3) não demonstram diferenças na fitotoxicidade ao se aplicar o diuron. Embora se tenha observado diferenças de fitotoxicidades das coberturas ao se aplicar o diuron, os sintomas foram baixos, menores que 10%, desaparecendo por completo aos 35 DAE (Tabela 4), ou seja, as plantas recuperaram-se dos danos provocados pelo herbicida com o passar do tempo. Em relação a fitotoxicidade ocasionada pelo diuron sobre espécies vegetais em que foi aplicado se tem alguns trabalhos na literatura, como o de Pascal-Lorber et al. (2010) que observaram que o trigo foi tolerante ao diuron não sendo afetada pelo herbicida e Teófilo et al. (2020) observaram que a mucuna-preta, nabo, crotalária e tremoço foram espécies de adubos verdes que sofrem baixa fitotoxicidade e injúrias ao serem tratadas com o diuron.

Ao se comparar os herbicidas entre si quando aplicados em cada cobertura individual observou-se dos 7 aos 35 DAE que a mistura composta por diuron + sulfentrazone ocasionou maior efeito de fitotoxicidade sobre a aveia preta e nabo (Tabelas 2, 3 e 4). O sulfentrazone e o diuron + sulfentrazone foram dentre os herbicidas usados em centeio e trigo-mourisco, os que se destacaram como os tratamentos com maiores efeitos fitotóxicos ocasionados nessas coberturas, em todas as avaliações efetuadas. A aplicação dos herbicidas linuron, pyrazon e

lenacil inibidores de Fotossistema II afetaram o crescimento e o metabolismo do centeio (MAGNUCKA et al., 2014). Alves et al. (2018b) observaram que o sulfentrazone (600 g ha^{-1}) ocasionou fitotoxicidade de 80% para a aveia preta e a morte do trevo quando tratados com esse herbicida.

As avaliações dos 7 aos 21 DAE demonstraram maior efeito fitotóxico do diuron quando aplicado na ervilhaca, ao se comparar com os demais herbicidas (Tabelas 2 e 3). No entanto esses sintomas foram inferiores a 9%, considerados baixos para a ervilhaca, de acordo com Galon et al. (2014). Após os 21 DAE a ervilhaca recuperou-se das injúrias provocadas pelo diuron, já que os sintomas desapareceram por completo na avaliação efetuada aos 28 DAE (Tabela 3). Essa cultura demonstrou baixa fitotoxicidade, também ao uso de sulfentrazone e diuron + sulfentrazone, sendo esses somente superiores a testemunha sem herbicida, dos 7 aos 14 DAE (Tabela 2), após essa época os sintomas desapareceram por completo. Já se sabe que a ervilhaca consegue tolerar alguns herbicidas. Galon et al. (2014) observaram que a utilização de ervilhaca como espécie fitorremediadora apresentou baixa fitotoxicidade quando essa foi tratada com a mistura comercial composta por imazapic + imazapyr. Em outro estudo realizado por Galon et al. (2017) os autores observaram que a ervilhaca apresentou baixa fitotoxicidade ao aplicarem metade das doses de atrazine e da mistura comercial de chlorimuron-ethyl + sulfometuron-methyl.

O azevém ao ser tratado com a mistura de diuron + sulfentrazone apresentou elevada fitotoxicidade ao se comparar os herbicidas entre si, em praticamente todas as avaliações efetuadas (Tabelas 2, 3 e 4). Fato similar foi observado por Whalen et al. (2019) ao avaliaram o residual de vários herbicidas pré-emergentes utilizados em soja, dentre eles o fomesafen e o sulfentrazone. Esses autores constataram que as plantas de azevém semeadas no outono, após a soja, foram sensíveis aos herbicidas, sofrendo injúrias e não apresentando um bom desenvolvimento vegetativo.

A aplicação do sulfentrazone ocasionou maior fitotoxicidade em relação aos demais herbicidas em todas as épocas de avaliações à mistura de espécies de coberturas e ao tremoço (Tabela 2, 3 e 4). O tremoço apresentou fitotoxicidade de no máximo 11%, fato similar observado por Alves et al. (2018b) onde o tremoço apresentou os menores sintomas em todas as doses de sulfentrazone, ocorrendo um aumento linear da fitotoxicidade na medida que aumentava as doses, porém não foi superior a 10% na maior dose aplicada ($1,2 \text{ kg ha}^{-1}$).

É notável que a ervilhaca apresentou os melhores resultados para os tratamentos com sulfentrazone e diuron + sulfentrazone na primeira avaliação persistindo até a última. Observou-se uma leve fitotoxicidade do herbicida diuron para a cobertura, sendo esta zerada aos 28 DAA

(Tabela 3). A ervilhaca é uma espécie com potencial fitorremediador quando se aplica os herbicidas fomesafen e sulfentrazone, pois essa demonstrou os melhores resultados para todas as variáveis que foram avaliadas (ALVES et al., 2019), corroborando com os resultados observados na presente pesquisa.

O tremoço foi outra cobertura que apresentou boas respostas, zerando a fitotoxicidade no tratamento com diuron aos 21 DAE, a mistura comercial dos dois herbicidas aos 28 DAE e todos os produtos apresentaram percentual zero aos 35 DAE (Tabelas 3 e 4). Alves et al. (2019) observaram que a aveia preta, o nabo e o tremoço são espécies que demonstraram melhor potencial de fitorremediação ao aplicarem a dose e o dobro da dose recomendada dos herbicidas fomesafen e sulfentrazone.

Não foi efetuada a comparação da massa seca da parte aérea (MSPA) entre as coberturas para cada herbicida em virtude de que as espécies por si só já são diferentes (Tabela 4). Desse modo avaliou-se somente o efeito dos tratamentos de modo individual para a MS das coberturas vegetais.

A aveia preta e a ervilhaca apresentaram maior acúmulo de MS ao se aplicar o sulfentrazone e o diuron + sulfentrazone (Tabela 4). Para o centeio nem um dos tratamentos herbicidas aplicados diferiu estatisticamente da testemunha sem herbicidas em relação ao acúmulo de MS. Isso mostra que o centeio consegue tolerar os herbicidas e não sofrer injúrias e diminuição da massa seca da parte aérea. O trigo-mourisco, a mistura de espécies e o tremoço demonstram maior acúmulo de massa seca da parte aérea para a testemunha sem aplicação de herbicidas, ao se comparar esse tratamento em relação aos demais herbicidas.

A aplicação de vários herbicidas em um solo siltoso dentre esses o fomesafen, lactofen e sulfentrazone na cultura da soja foi observado leve redução da biomassa do centeio, sendo levemente impactada ao ser semeado após a colheita da soja (CORNELIUS et al., 2017). Esses mesmos autores observaram no primeiro ano de pesquisa, que a aveia preta e a ervilhaca sofreram pequena redução do acúmulo de MS quando tratadas com o fomesafen e o lactofen, mas não houve redução na presença residual de sulfentrazone, assemelhando-se aos resultados observados no presente estudo.

A produção de MS maior nos tratamentos envolvendo herbicidas, comparado com a testemunha sem aplicação ocorre pelo fato do produto controlar as plantas daninhas que estariam competindo pelos fatores abióticos (água, luz e nutrientes) com a cobertura, assim as mesmas podem se desenvolver livremente ou com baixa competição (MANCUSO et al., 2016). As coberturas sem aplicação de herbicida, trigo-mourisco, mistura de espécies e tremoço apresentaram um maior teor de MS, pois não sofreram injúrias dos herbicidas, demonstrando

serem sensíveis aos mesmos. Gonçalves et al. (2018) afirma que a presença de residual no solo afeta diretamente o crescimento, a MS e a produtividade das culturas semeadas.

As taxas fotossintéticas (A) das plantas de girassol foram reduzidas quando se usou a cobertura de aveia preta para despoluir o solo e sobre essa alocou-se os tratamentos testemunha sem aplicação de herbicidas, diuron, sulfentrazone e diuron + sulfentrazone (Tabela 5). Em geral o centeio usado como planta de cobertura e nesse aplicado todos os tratamentos herbicidas proporcionou maior A e EUA ao girassol. O uso da mistura de espécies de cobertura com potencial fitorremediador ocasionou melhor A para o girassol quando não se aplicou herbicidas ao solo. As demais coberturas de solo usadas como despoluidoras ficaram em patamares intermediários entre os melhores e os piores tratamentos ao se aplicar os produtos. As maiores reduções fotossintéticas foram acompanhadas pela manutenção da condutância estomática (G_s), aumento da concentração interna de CO_2 (C_i) e redução da transpiração (E). Torres et al. (2012) relatam que o sulfentrazone causa redução da fotossíntese, pois ocorre diminuição da síntese das clorofilas, que possui uma função vital na captação de luz, essa convertida em poder redutor para que ocorra o processo de fixação e assimilação de CO_2 no ciclo de Calvin.

Ao se comparar os herbicidas entre si para cada cobertura de inverno sobre as características fisiológicas do girassol observou-se de maneira geral que a testemunha sem aplicação demonstrou menores valores para A e como consequência maiores acúmulos de C_i (Tabelas 5 e 6). Somente à mistura de espécies demonstrou maiores valores da A aos herbicidas diuron e diuron + sulfentrazone, sendo estatisticamente iguais ao sulfentrazone. As demais variáveis fisiológicas (E e G_s) foram todas iguais estatisticamente em todos os tratamentos herbicidas com a testemunha ao se avaliar todas as coberturas de solo, exceto para o trigo-mourisco e o azevém onde o uso de sulfentrazone e a testemunha sem produto demonstraram maiores efeitos, respectivamente. Reis et al. (2014), ao avaliarem efeito dos herbicidas inibidores de PROTOX (flumioxazin, oxadiazon, oxyfluorfen e sulfentrazone) aplicados em pré-emergência do girassol, não observaram alteração na taxa de transpiração (E) e condutância estomática (G_s), assemelhando-se em partes aos resultados desse estudo.

Em relação a EUA do girassol, de modo geral, os herbicidas diuron, sulfentrazone e diuron + sulfentrazone demonstraram os melhores efeitos quando aplicados em todas as coberturas, ao se comparar com testemunha sem aplicação (Tabela 7). O diuron aplicado sobre as misturas das espécies e ao tremoço demonstrou menor EUA em comparação aos demais tratamentos. O EUA é caracterizado pela quantidade de água transpirada pela cultura para a produção de MS, quando mais eficientes podem resultar em uma maior produção (TORRES et al., 2012). O tempo de abertura dos estômatos está diretamente relacionado com o uso e a

eficiência, visto que, enquanto a planta absorve CO_2 para realizar a fotossíntese ela perde água por transpiração, esse variando, pois depende do gradiente do potencial da superfície da folha e da atmosfera (NUNES et al., 2020).

Observou-se que a A e a EUA das plantas de sorgo foram maiores ao se usar como cobertura a mistura das espécies, tremoço e o solo sem cobertura para todos os herbicidas e a testemunha sem aplicação, ao se comparar com as demais espécies cultivadas no inverno (Tabela 7 e 9). As demais coberturas (aveia preta, ervilhaca, centeio, nabo, trigo-mourisco e azevém) de maneira geral ocasionaram menor despoluição dos herbicidas ao se comparar com a mistura das espécies, tremoço e o solo sem cobertura e assim ocorreu efeito negativo às variáveis fisiológicas do sorgo (Tabelas 7, 8 e 9). As maiores atividades fotossintéticas foram acompanhadas pela manutenção da condutância estomática (G_s), redução da concentração interna de CO_2 (C_i) e redução da transpiração (E).

Os resultados demonstram, tanto para o girassol quanto para o sorgo, que a abertura estomática permite a entrada de CO_2 para ser carboxilado pela enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (RuBisCO) nessas culturas. No entanto, o aumento ou a redução do C_i indica que o CO_2 está sendo acumulado na câmara subestomática ou usado pelas plantas com menor concentração, causando limitação ou maior atividade bioquímica para a fotossíntese. A limitação bioquímica pode ocorrer pela redução na atividade e/ou síntese da RuBisCO (RONCHI et al. 2006), visto esta possuir um menor *turnover* em relação às enzimas do ciclo de Calvin (PARRY et al., 2008); ou ainda, pela degradação de enzimas do ciclo de Calvin (MATHUR et al., 2014), decorrente do estresse oxidativo (SHARMA et al., 2019).

A testemunha sem aplicação de herbicidas apresentou o melhor desempenho fisiológico (A, G_s , C_i , E e UEA), para todas as coberturas de inverno, em relação a comparação a pelo menos um dos produtos usados (Tabelas 7, 8 e 9). Destaca-se, no entanto que para as variáveis E e G_s não ocorreu diferenças estatísticas entre a testemunha sem aplicação, diuron, sulfentrazone e diuron + sulfentrazone. Esses herbicidas atuam no aparato fotossintético das plantas, o sulfentrazone atuando de forma direta na síntese de clorofila das plantas e o diuron agindo na proteína D1 (inibidor de FS II). Com isso, esses produtos interferem diretamente na transpiração, podendo reduzir a condutância estomática das plantas pelo fechamento dos estômatos por fatores como água, luz, energia, poluição e também herbicidas (TORRES et al., 2012).

Ao se comparar os herbicidas dentro de cada cobertura observou-se que a aveia preta, ervilhaca, centeio, nabo, trigo-mourisco e a mistura de espécies demonstraram maior peso de mil grãos do girassol ao se aplicar o diuron em relação a testemunha sem aplicação (Tabela 10).

Os demais herbicidas (sulfentrazone ou diuron + sulfentrazone) para essas mesmas coberturas, o diuron ou foi igual estatisticamente ou superior a eles. Essas coberturas antecessoras ao sorgo não sofreram com a aplicação do herbicida diuron o qual ocasionou baixas fitotoxicidades e essas sendo zeradas aos 28 DAE (Tabela 3). Pesquisas relatam que algumas espécies apresentam maior tolerância ao serem tratadas com os herbicidas inibidores do Fotossistema II, sendo que o trigo demonstrou ser tolerante a diuron e a linuron (PASCAL-LORBER et al., 2010), a mucuna-preta, nabo, crotalária e tremoço sofrem baixa intoxicação (TEÓFILO et al., 2020) e a ervilhaca que se destacou como uma espécie com grande potencial fitorremediador desses herbicidas (ALVES et al., 2019; SOUTO et al., 2020).

Uso das coberturas despoluidoras azevém, tremoço e o solo sem cobertura demonstraram menor peso de mil grãos do girassol comparando-se a aplicação de diuron em relação a testemunha sem herbicidas e aos demais produtos (Tabela 10). Os residuais de herbicidas resultam em algum estresse ou injúria para as plantas cultivadas em sequência à cultura em que foram efetuadas as aplicações, principalmente de produtos pré-emergentes, afetando diretamente a produtividade (GONÇALVES et al., 2018). Isso assemelha-se ao observado nesse estudo pois onde não houve semeadura de nenhuma cobertura ou nos tratamentos com o azevém e o tremoço a persistência dos produtos foi maior o que afetou o peso de mil grãos.

O uso de diuron, sulfentrazone e diuron + sulfentrazone demonstram as maiores produtividades de grãos do girassol nos tratamentos envolvendo o solo sem coberturas, o tremoço e a aveia preta, respectivamente (Tabela 10). O tremoço demonstrou maior produtividade de grãos ao se aplicar sobre ele o diuron e o sulfentrazone. As demais coberturas apresentaram produtividades de grãos do girassol inferiores para todos os herbicidas aplicados nas mesmas. O solo sem cobertura pode ter degradado os herbicidas, pois possuía uma matéria orgânica (3,2%) considerada boa por Melo et al. (2019), o que favorece para se ter uma melhor bioatividade (DAN et al., 2011), além de ser um solo argiloso (>65%) que possibilita a sorção e a degradação dos herbicidas (LOURENCETTI et al., 2012; FERRAÇO et al., 2019). O tremoço e a aveia preta são espécies que possuem um grande potencial para fitorremediar em solos tratados com sulfentrazone, conforme observado por Alves et al. (2019), além do tremoço ter potencial para extrair diuron do solo, sofrendo poucas injúrias (TEÓFILO et al., 2020).

Ao se comparar os tratamentos herbicidas entre si, dentro de cada cobertura despoluidora, observou-se que a mistura de diuron + sulfentrazone foi inferior estatisticamente a testemunha sem aplicação somente ao se usar o nabo, trigo-mourisco e o solo sem cobertura (Tabela 10). Observou-se maior produtividade de grãos do girassol quando se usou como

cobertura de solo, a aveia preta, ervilhaca, centeio, nabo, azevém e o tremoço e sobre essas aplicou-se o diuron, ao se comparar esse com a testemunha sem uso de herbicidas. O sulfentrazone em comparação com a testemunha sem herbicida, diuron ou a mistura comercial demonstrou maior produtividade de grãos do girassol quando se usou como cobertura o centeio, nabo, azevém e tremoço. Já a mistura de diuron + sulfentrazone foi estatisticamente superior a testemunha sem herbicidas, diuron e sulfentrazone quando as plantas despoluidoras eram a aveia preta, a ervilhaca e a mistura de espécies, para a produtividade de grãos do girassol. As espécies de aveia preta e tremoço possuem potencial para fitorremediação do sulfentrazone (ALVES et al., 2019), nabo e tremoço do diuron (TEÓFILO et al., 2020), centeio tolera e despolui solo com presença de herbicidas inibidores de PROTOX (CONELIUS et al., 2017). O azevém sofre efeito negativo se aplicado sobre esses herbicidas inibidores de PROTOX, mas consegue deixar menos resíduos para a cultura subsequente (WHALEN et al., 2019). A ervilhaca apresenta potencial de fitorremediar solos tratados com herbicidas inibições de PROTOX (CORNELIUS et al., 2017; ALVES et al., 2019), além das imidazolinonas (GALON et al., 2014; SOUTO et al., 2020) e metade da dose de atrazine (GALON et al., 2017).

O peso de mil grãos do sorgo foi maior para o diuron ao ser cultivado sobre todas as coberturas com potencial fitorremediador, inclusive o solo sem cobertura (Tabela 11). O centeio, nabo, trigo-mourisco, tremoço e o solo sem cobertura foram os melhores tratamentos para o peso de mil grãos do sorgo para testemunha sem aplicação e o uso de diuron + sulfentrazone. A aplicação de sulfentrazone apresentou maior peso de mil grãos do sorgo somente para a cobertura em que se usou a mistura de espécies. O diuron possui de baixa a alta sorção no solo (MANCUSO et al., 2011), com isso consegue adsorver o herbicida e teve o auxílio da planta de cobertura para despoluir esse solo e não afetar no rendimento do peso de mil grãos da cultura.

A testemunha sem aplicação de produtos demonstrou o maior ou foi estaticamente igual a todos os herbicidas, para o peso de mil grãos de sorgo, em todas as coberturas de solo usadas como possível potencial fitorremediador, exceto a mistura de espécies para o sulfentrazone (Tabela 11). Isso acontece por existir o residual dos herbicidas no solo, esses aplicados durante o ciclo da cultura ou em cultivo antecessor intoxica as plantas e pode comprometer a produtividade (MANCUSO et al., 2011).

As maiores produtividades de grãos de sorgo ocorreram quando se usou o trigo-mourisco, o azevém, a mistura de espécies e a aveia preta ao se usar a testemunha sem herbicidas, diuron, sulfentrazone e o diuron + sulfentrazone, respectivamente (Tabela 11). Para as demais coberturas de cada tratamento as produtividades de grãos foram inferiores a essas

espécies. Na ausência dos herbicidas, o sorgo conseguiu se desenvolver sem sofrer estresse ou injúria. No tratamento com coberturas de azevém, mistura de espécies e aveia preta, essas conseguiram deixar o solo com o menor teor de contaminação possível, e consequentemente isso ocasionou as maiores produtividades. Fato esse observado também por Alves et al. (2019) onde a aveia preta fitorremediou solo tratado com sulfentrazone.

A ervilhaca, o centeio, o nabo e o azevém usados como cobertura e sobre esses o uso de diuron ocorreu maior produtividade de grãos do sorgo ao se comparar com a testemunha sem aplicação, o sulfentrazone e o diuron + sulfentrazone (Tabela 11). A testemunha sem aplicação demonstrou maior produtividade de grãos em comparação com os demais herbicidas somente quando se usou como cobertura o trigo-mourisco. O azevém e a mistura de espécies demonstraram maior produtividade de grãos ao se aplicar sobre esses o diuron e o sulfentrazone, respectivamente ao se comparar com a testemunha sem herbicidas e a mistura de diuron + sulfentrazone. Ao se comparar o diuron + sulfentrazone em relação aos demais herbicidas e a testemunha sem aplicação observou-se maior produtividade de grãos do sorgo, para a aveia preta, tremoço e ao solo sem coberturas. As espécies de ervilhaca, centeio, nabo e azevém extraíram o herbicida diuron do solo, tendo-se assim menor quantidade de resíduo para ocasionar injúrias no sorgo. A ervilhaca já apresentou boas respostas de fitorremediação com a presença de herbicidas em outros estudos (ALVES et al., 2019; SOUTO et al., 2020), além do nabo e do tremoço (TEÓFILO et al., 2020). O tremoço e aveia preta são espécies que demonstram tolerância e capacidade de fitorremediar solo tratado com diuron e sulfentrazone em outros estudos (ALVES et al., 2019; TEÓFILO et al., 2020).

Percebe-se que tanto no girassol quanto no sorgo, a aveia preta se destacou na maioria das situações como espécies com potencial fitorremediador, apresentando respostas negativas quanto ao herbicida sulfentrazone, mas conseguindo deixar o solo com menos contaminação possível ao se usar o diuron e a mistura comercial de diuron + sulfentrazone. Fato similar foi observado por Alves et al. (2018b) onde a aveia preta foi pouco afetada pelo uso de doses de fomesafen, mas altamente sensível a aplicação de sulfentrazone.

4. CONCLUSÃO

O diuron causa menor fitotoxicidade a todas as espécies testadas como potencialmente fitorremediadoras de solo.

A ervilhaca e o tremoço demonstram sofrer menor fitotoxicidade ao se aplica no solo diuron, sulfentrazone e diuron + sulfentrazone podendo serem usadas como fitorremediadoras.

A produção de massa seca da parte aérea do centeio não foi afetada pela aplicação dos herbicidas diuron, sulfentrazone e diuron + sulfentrazone.

As trocas gasosas do sorgo e do girassol demonstram comportamento alternado frente ao uso dos herbicidas e das coberturas de inverno com potencial fitorremediador.

O tremoço e o trigo-mourisco usados como plantas despoluidoras de solo ocasionaram maior peso de mil do girassol para a testemunha sem herbicida e a aplicação de diuron, respectivamente.

A maior produtividade de grãos do girassol ocorreu ao solo descoberto para a testemunha sem aplicação de herbicidas, o tremoço para uso do sulfentrazone e a aveia preta ao se aplicar o diuron + sulfentrazone.

De maneira geral o sulfentrazone foi o tratamento que ocasionou os maiores efeitos negativos sobre o peso de mil grãos do sorgo em relação aos demais herbicida.

As maiores produtividades de grãos do sorgo foram obtidas na testemunha sem herbicida, para o diuron, sulfentrazone e diuron + sulfentrazone ao se usar como coberturas despoluidoras o trigo-mourisco, o azevém, a mistura de espécies e aveia preta, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT/MAPA. **Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários** - Consulta Aberta, 2023. Disponível em: www.agrofit.agricultura.gov.br/agrofit.
- ALVES, C. GALON, L. KAIZER, R. R.; HOLZ, C. M.; WINTER, F. L.; BASSO, F. J. M.; PERIN, G. F.; FORTE, C. T. Selection of species with soil phytoremediation potential after the application of protox-inhibiting herbicides. **Planta Daninha**, v. 36, e. 018174765, 2018a. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582018360100074>
- ALVES, C.; GALON, L.; KAIZER, R. R.; WINTER, F. L.; HOLZ, C. M.; NONEMACHER, F.; SANTIN, C. O. Tolerance of annual winter species to protoporphyrinogen oxidase inhibiting herbicides (PROTOX). **Planta Daninha**, v. 36, e. 018174765, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582018360100089>
- ALVES, C.; GALON, L.; WINTER, F. L.; BASSO, F. J. M.; HOLZ, C. M.; KAIZER, R. R.; PERIN, G. F. Winter species promote phytoremediation of soil contaminated with protox-inhibiting herbicides. **Planta Daninha**, v. 37, e. 019184783, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100020>
- BARROSO, G. M.; SANTOS, E. A.; PIRES, F. R.; GALON, L.; CABRAL, C. M.; SANTOS, J. B. Phytoremediation: A green and low-cost technology to remediate herbicides in the environment. **Chemosphere**, v. 334, p. 138943, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138943>
- BLANCO, F. M. G.; VELINI, E. D. Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com soja e seu efeito em culturas sucedâneas. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 693-700, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582005000400018>
- CAMACHO, M. E.; GANNON, T. W.; AHMED, K. A.; MULVANEY, M. J.; HEITMAN, J. L.; AMOOZEGAR, A.; LEON, R.G. Evaluation of imazapic and flumioxazin carryover risk for Carinata (*Brassica carinata*) establishment. **Weed Science**, v. 70, n. 4, p. 503-513, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1017/wsc.2022.27>
- CORNELIUS, C. D.; BRADLEY, K. W. Carryover of common corn and soybean herbicides to various cover crop species. **Weed Technology**, v. 31, n. 1, p. 21-31, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1614/WT-D-16-00062.1>
- DALCIN, L. S.; TERRA, T. G. R.; LEAL, T. C. A. B.; TERRA, M. A.; CHAVES, C. C. Efeito residual de herbicidas em dessecação de pré-plantio na cultura do sorgo granífero. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 7, n. 3, p. 363-373, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v7n3.dalcin>
- DAN, H. A.; DAN, L. G. M.; BARROSO, A. L. L.; PROCOPIO, S. O.; OLIVEIRA JR, R. S.; ASSIS, R. L.; SILVA, A. G.; FELDKIRCHER, C. Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja sobre o milheto cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, v. 29, n. 2, p. 437-445, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000200022>
- DUTRA, T. R.; MASSAD, M. D.; OTONI, B. A. S.; SARMENTO, M. F. Q.; RIBEIRO, E. S. M.; MOREIRA, P.R. Tolerância à contaminação do solo provocado pelo Herbicida diuron +

Hexazinone (Velpar K WG®) e potencial fitorremediador do Ipê mirim. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 11, p. 71234-71242, 2022. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n11-030>

FERRAÇO, M.; BELO, A. F.; PIRES, F. R.; BONONO, R.; FILHO, A. C. Phytoremediation of contaminated soil with sulfentrazone by different density of *Crotalaria juncea*. **Planta daninha**, v. 37, e. 019185323 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100008>

FERRAÇO, M.; PIRES, F. R.; BELO, A. F.; FILHO, A. C.; BONONO, R. Efeito da densidade populacional de *Canavalia ensiformis* na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 32-40, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170004>

GALON, L.; LIMA, A. M.; GUIMARÃES, S.; BELARMINO, J. G.; BURG, G. M.; CONCENÇO, G.; BASTIANI, M. O.; BEUTLER, A. N.; ZANDONA, R. R.; RADUNZ, A. L. Potential of plant species for bioremediation of soils applied with imidazolinone herbicides. **Planta Daninha**, v. 32, n. 4, p. 719-726, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582014000400006>

GALON, L.; NONEMACHER, F.; AGAZZI, L. R.; FIABANE, R. N.; FORTE, C. T.; FRANCHESCHETTI, M. B.; PERIN, G. F. Fitorremediação de solo contaminado com herbicidas inibidores de FSII e de ALS. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 4, p. 307-324, 2017. DOI: <https://doi.org/10.7824/rbh.v16i4.586>

GONÇALVES, F. A. R.; MELO, C. A. D.; QUEIROZ, P. C.; ENDO, R. T.; SILVA, D. V.; REIS, M. R. Atividade residual de herbicidas nas culturas do milho e da soja. **Revista de Ciências Agrárias-Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 61, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2018.2570>

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Histórico de dados meteorológicos**, 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>

LI, J.; ZHANG, W.; LIN, Z.; HUANG, Y.; BHATT, P.; CHEN, S. Emerging strategies for the bioremediation of the phenylurea herbicide diuron. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, p. 686509, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.686509>

LOURENCETTI, C.; MARCHI, M. R. R.; RIBEIRO, M. L. Influence of sugar cane vinasse on the sorption and degradation of herbicides in soil under controlled conditions. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 47, n. 10, p. 949-958, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1080/03601234.2012.706562>

LU, H.; YU, Q.; HAN, H.; OWEN, M. J.; POWLES, S. B. A novel *psbA* mutation (Phe274–Val) confers resistance to PSII herbicides in wild radish (*Raphanus raphanistrum*). **Pest Management Science**, v. 75, n. 1, p. 144-151, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5079>

MAGNUCKA, E. G.; PIETR, S. T.; KOZUBEK, A.; ZARNOWSKI, R. Various effects of the photosystem II-inhibiting herbicides on 5-n-alkylresorcinol accumulation in rye seedlings. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 116, n.1, p. 56-62, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.09.015>

- MANCUSO, M. A. C.; AIRES, B. C.; NEGRISOLI, E.; CORRÊA, M. R.; SORATTO, R. P. Seletividade e eficiência de herbicidas no controle de plantas daninhas na cultura do feijão-caupi. **Revista Ceres**, v. 63, n. 1, p. 25-32, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663010004>
- 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: <https://doi.org/10.7824/rbh.v10i2.106>
- MATHUR, S.; AGRAWAL, D.; JAJOO, A. Photosynthesis: response to high temperature stress. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 137, p. 116-126, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.01.010>
- MELO, C. A. D.; SOUZA, W. M.; CARVALHO, F. P.; MASSENSINI, A. M.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R.; COSTA, M. D. Microbial activity of soil with sulfentrazone associated with phytoremediator species and inoculation with a bacterial consortium. **Bragantia**, v. 76, n. 2, p. 300-310, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.203>
- MELO, F. M.; MENDONÇA, L. P. C. Avaliação da disponibilidade de fósforo em solo argiloso com diferentes teores de matéria orgânica. **Humanidades e Tecnologia (FINOM)**, v. 18, n. 1, p. 52-67, 2019.
- NUNES, T. D. G.; ZHANG, D.; RAISSIG, M. T. Form, development and function of grass stomata. **The Plant Journal**, v. 101, n. 4, p. 780-799, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbj.14552>
- PARRY, M. A. J.; KEYS, A. F.; MADGWICK, P. J.; SILVA, A. E. C.; ANDRALOJC, P. J. Rubisco regulation: a role for inhibitors. **Journal of Experimental Botany**, v. 59, n. 7, p. 1569-1580, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/ern084>
- PASCAL-LORBER, S.; ALSAYEDA, H.; JOUANIN, I.; DEBRAUWER, L.; CANLET, C.; LAURENT, F. Metabolic fate of [14C] diuron and [14C] linuron in wheat (*Triticum aestivum*) and radish (*Raphanus sativus*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 20, p. 10935-10944, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf101937x>
- PETERSEN, B. C.; SOUZA, D. M.; SCHNEIDER, J. B.; SILVA, J. L.; LUDWIG, L. C.; MODOLO, R. C. E.; EVALDT, D. C.; MORAES, C. A. M. Uso da fitorremediação como tratamento para recuperação de áreas degradadas. **Revista Foco**, v. 16, n. 2, p. 1-15, 2023. DOI: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n2-112>
- PEEL, M. C.; FINLAYSON B. L.; MCMAHON T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.11, n. 5, p. 1633-1644, 2007. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; FERREIRA, L. R. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 335-341, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582003000200020>

REIS, R. M.; SILVA, D. V.; FREITAS, M. S.; REIS, M. R.; FERREIRA, E. A.; SEDIYAMA, T. Aspectos fisiológicos e crescimento do girassol após aplicação de herbicidas em pré-emergência. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 8, n. 3, p. 352-358, 2014. DOI: 10.5327/Z 1982-8470201400032171

ROCHA, P. R. R.; FARIA, A. T.; DA SILVA, G. S.; DE QUEIROZ, M. E. L. R.; GUIMARÃES, F. C. N. TIRONI, S. P.; GALON, L.; DA SILVA, A. A. Meia-vida do diuron em solos com diferentes atributos físicos e químicos. **Ciência Rural**, v. 43, n. 11, p. 1961-1966, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013001100007>

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. 376p.

RONCHI, C. P.; DAMATTA, F. M.; BATISTA, K. D.; MORAES, G. A. B. K.; LOUREIRO, M. E.; DUCATTI, C. Growth and photosynthetic down-regulation in *Coffea arabica* in response to restricted root volume. **Functional Plant Biology**, v. 33, n. 11, p. 1013-1023, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1071/FP06147>

SALOMÃO, P. E. A.; FERRO, A. M. S.; RUAS, W. F. Herbicides in Brazil: a brief review. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, e. 32921990, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i2.1990>

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; NASCIMENTO, P. C.; GIASSEN, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 3.ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2018. 252 p.

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

SHARMA, A. KUMAR, V.; THUKRAL, A. K.; BHARDWAJ, R. Responses of plants to pesticide toxicity: an overview. **Planta Daninha**, v. 37, e. 019184291, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100065>

SILVA, C. T.; BARROSO, G. M.; SILVA, D. V.; GALON, L.; HOLZ, C. M.; SANTOS, M. V.; EVARISTO, A. B.; CHAGAS, P. S. F.; CARVALHO, A. J. E.; SANTOS, J. B. Remedial capacity of diclosulam by cover plants in different edaphoclimatic conditions. **International Journal of Phytoremediation**, v. 23, n. 6, p. 609-618, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1847032>

SILVA, J.; ROSA, G. B.; SGANZERLA, W. G.; FERRAREZE, J. P.; SIMIONI, F. J.; CAMPOS, M. L. Strategies and prospects in the recovery of contaminated soils by phytoremediation: an updated overview. **Communications in Plant Sciences**, v. 13, p. 1-12, 2023. DOI: <https://doi.org/10.26814/cps2023001>

SOUSA, B. T. de; DOMINGUES, A. R.; BALOTTA, G. A. P.; ANDRADE, D. F. M.; DALAZEN, G. Controle de plantas daninhas e seletividade de sulfentrazone + diuron em cana-de-açúcar (cultivar RB 966928). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 18, n. 4, p. 691-1-8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.7824/rbh.v18i4.691>

SOUTO, K. M.; JACQUES, R. J. S.; ZANELLA, R.; MACHADO, S. L. O.; BALBINOT, A.; AVILA, L. A. Fitoestimulação de solo de várzea contaminado com herbicidas imidazolinonas. **International Journal of Phytoremediation**, v. 22, n. 7, p. 774-780, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1710814>

TANDON, S.; PANT, R. Kinetics of diuron under aerobic condition and residue analysis in sugarcane under subtropical field conditions. **Environmental Technology**, v. 40, n. 1, p. 86-93, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1380709>

TEÓFILO, T. M. S.; MENDES, K. F.; FERNANDES, B. C. C.; OLIVEIRA, F. S.; SILVA, T. S.; TAKESHITA, V.; SOUZA, M. F.; TORNISIELO, V. L. SILVA, D. V. Phytoextraction of diuron, hexazinone, and sulfometuron-methyl from the soil by green manure species. **Chemosphere**, v. 256, e. 127059, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127059>

TORRES, L. G.; FERREIRA, E. A.; ROCHA, P. R. R.; FARIA, A. T.; GONÇALVES, V. A.; GALON, L.; SILVA, A. F.; SILVA, A. A. Alterações nas características fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetida à aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 581-587, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582012000300014>

VASCONCELO, S. M. A.; JAKELAITIS, A.; COSTA, M. L. M.; OLIVEIRA, R. R. C.; SANTOS, V. S. Seleção de espécies tolerantes para a fitorremediação de solo contaminado com imazapic. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, n. 2, p. 149-158, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811711922020149>

WHALEN, D. M.; BISH, M. D.; YOUNG, B. G.; HAGER, A. G.; CONLEY, S. P.; REYNOLDS, D. B.; STECKEL, L. E.; NORSWORTHY, J. K.; BRADLEY, K. W. Evaluation of cover crop sensitivity to residual herbicides applied in the previous soybean [*Glycine max* (L.) Merr] crop. **Weed Technology**, v. 33, n. 2, p. 312-320, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2019.10>

ZHANG, H.; YUAN, X.; XIONG, T.; WANG, H.; JIANG, L. Bioremediation of co-contaminated soil with heavy metals and pesticides: Influence factors, mechanisms and evaluation methods. **Chemical Engineering Journal**, v. 398, e. 125657, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125657>

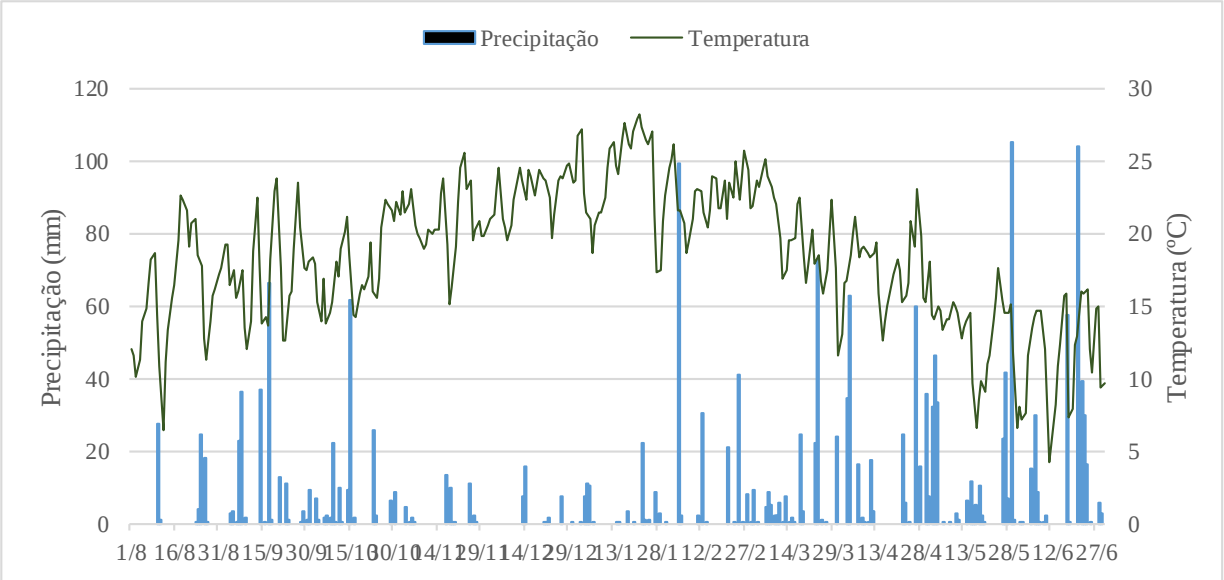


Figura 1. Temperatura média (°C) e precipitação mensal (mm) durante o período de realização dos experimentos, de agosto de 2021 a junho de 2022. Fonte: INMET, (2023).

Tabela 1. Espécies com potencial fitorremediador de solo, densidades, plantas m² e espaçamento utilizado para as coberturas com potencial fitorremediador. UFFS, Erechim-RS.

Espécies	Densidade (kg ha ⁻¹)	Plantas (m ²)	Espaçamento (m)	Linhas semeadas
Aveia preta	80	40	0,17	16
Ervilhaca	60	30	0,17	16
Centeio	300	40	0,17	16
Nabo	1,5	40	0,17	16
Trigo-mourisco	120	80	0,17	16
Azevém	30	80	0,17	16
Tremoço	90	30	0,17	16
Mistura de espécies	80	45	0,17	16

Tabela 2. Fitotoxicidade (%) das coberturas com potencial fitorremediador dos 7 e 14 dias após emergência (DAE). UFFS, Erechim-RS.

Tratamentos	Fitotoxicidade aos 7 DAE				Fitotoxicidade aos 14 DAE			
	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.
Aveia preta	0,00 D ^{ns}	6,00 Ca ¹	18,42 Bb	20,00 Ab	0,00 D ^{ns}	10,00 Ca	20,97 Bc	29,03 Ab
Ervilhaca	0,00 D	7,00 Aa	3,50 Cf	5,00 Bf	0,00 C	8,67 Aa	5,00 Bf	5,00 Bf
Centeio	0,00 D	5,00 Cb	16,00 Bc	18,25 Ac	0,00 D	5,00 Cb	15,97 Bd	17,67 Ad
Nabo	0,00 D	6,17 Ca	11,33 Be	14,00 Ad	0,00 D	5,97 Cb	12,33 Be	19,03 Ac
Mourisco	0,00 C	0,00 Cc	59,03 Aa	45,19 Ba	0,00 C	1,67 Bc	60,00 Aa	59,03 Aa
Azevém	0,00 D	5,00 Cb	12,75 Bd	15,00 Ad	0,00 D	10,00 Ca	23,58 Ab	19,33 Bc
Mistura	0,00 D	5,00 Cb	15,00 Ac	12,00 Be	0,00 D	5,83 Cb	20,83 Ac	19,33 Bc
Tremoço	0,00 C	5,75 Ba	11,00 Ae	11,00 Ae	0,00 C	5,75 Bb	11,00 Ae	11,00 Ae
CV(%)		8,88				8,07		
Média Geral		10,23				12,56		

¹ Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a $p < 0,05$, respectivamente. Ns: não significativo a $p < 0,05$. Test.: Testemunha; Sulfent.: Sulfentrazone; Diu.+sulf.: Diuron + Sulfentrazone.

Tabela 3. Fitotoxicidade (%) das coberturas com potencial fitorremediador dos 21 aos 28 dias após emergência (DAE). UFFS, Erechim-RS.

Tratamentos	Fitotoxicidade aos 21 DAE				Fitotoxicidade aos 28 DAE			
	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.
Aveia preta	0,00 C ^{ns}	1,53 Cb ¹	21,42 Bb	24,44 Ab	0,00 B ^{ns}	1,53 Ba	18,58 Ab	19,33 Ab
Ervilhaca	0,00 B	5,00 Aa	0,00 Bf	0,00 Bh	0,00 A	0,00 Aa	0,00 Ag	0,00 Ae
Centeio	0,00 D	5,41 Ca	18,58 Ac	12,67 Bf	0,00 C	1,53 Ca	14,44 Ac	12,33 Bd
Nabo	0,00 C	1,67 Cb	10,67 Bd	14,44 Ae	0,00 C	0,83 Ca	9,33 Be	13,00 Ad
Mourisco	0,00 B	0,00 Bc	58,58 Aa	58,89 Aa	0,00 C	0,00 Ca	48,58 Ba	50,61 Aa
Azevém	0,00 C	5,00 Ba	19,58 Ac	18,58 Ac	0,00 B	0,00 Ba	18,00 Ab	17,67 Ac
Mistura	0,00 C	1,53 Cb	18,58 Ac	16,17 Bd	0,00 B	0,00 Ba	12,33 Ad	11,33 Ad
Tremoço	0,00 C	0,00 Cc	8,67 Ae	6,50 Bg	0,00 B	0,00 Ba	4,44 Ae	0,00 Be
CV(%)		11,39				13,82		
Média Geral		10,25				7,93		

¹ Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a $p < 0,05$, respectivamente. Ns: não significativo a $p < 0,05$. Test.: Testemunha; Sulfent.: Sulfentrazone; Diu.+sulf.: Diuron + Sulfentrazone.

Tabela 4. Fitotoxicidade (%) aos 35 dias após emergência (DAE) e massa seca da parte aérea das coberturas com potencial fitorremediadoras em função da aplicação de herbicidas. UFFS, Erechim-RS.

Tratamentos	Fitotoxicidade aos 35 DAE				Massa seca da parte aérea (g)			
	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.
Aveia preta	0,00 B ^{ns}	0,00 B ^{ns}	13,00 Ac ¹	14,25 Ab	180,54 B ¹	180,19 B	206,44 A	211,24 A
Ervilhaca	0,00 A	0,00 A	0,00 Af	0,00 Ae	139,68 B	147,95 B	160,03 A	159,97 A
Centeio	0,00 C	0,00 C	13,58 Ac	7,67 Bd	219,39 A	223,82 A	226,50 A	213,94 A
Nabo	0,00 C	0,00 C	5,97 Be	9,33 Ac	159,28 B	186,90 A	157,42 B	138,52 C
Mourisco	0,00 C	0,00 C	38,58 Aa	31,42 Ba	150,41 A	181,10 A	62,27 B	59,60 B
Azevém	0,00 C	0,00 C	15,00 Ab	10,67 Bc	117,06 C	158,61 A	108,29 C	130,87 B
Mistura	0,00 B	0,00 B	10,00 Ad	10,00 Ac	221,55 A	188,32 B	181,11 B	182,43 B
Tremoço	0,00 A	0,00 A	0,00 Af	0,00 Ae	92,70 A	50,90 B	44,56 B	22,36 C
CV(%)			16,34				6,83	
Média Geral			5,61				151,37	

¹ Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a $p < 0,05$, respectivamente. Ns: não significativo a $p < 0,05$. Test.: Testemunha; Sulfent.: Sulfentrazone; Diu.+sulf.: Diuron + Sulfentrazone.

Tabela 5. Taxa fotossintética (A) e condutância estomática dos vapores de água (Gs) do girassol em função da aplicação de herbicidas e uso de plantas com potencial fitorremediador de solo. UFFS, Erechim-RS.

Tratamentos	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)				Gs ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			
	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.
Aveia preta	13,76 Ae ¹	13,44 Ae	14,16 Ad	13,47 Ac	0,56 Ab	0,56 Aa	0,59 Aa	0,43 Aa
Ervilhaca	16,33 Cd	24,38 Bc	30,30 Ab	27,15 Ab	1,03 Aa	1,10 Aa	0,76 Aa	0,87 Aa
Centeio	27,17 Bb	33,12 Aa	33,38 Aa	31,73 Aa	0,80 Ab	0,89 Aa	0,84 Aa	0,88 Aa
Nabo	23,64 Bc	19,34 Cd	29,75 Ab	25,12 Bb	0,54 Ab	0,80 Aa	0,69 Aa	0,58 Aa
Mourisco	18,07 Cd	34,64 Aa	34,30 Aa	28,25 Bb	0,76 Ab	0,66 Aa	1,17 Aa	0,53 Aa
Azevém	24,32 Cc	28,33 Bb	27,49 Bc	32,78 Aa	1,49 Aa	0,70 Ba	0,87 Ba	0,67 Ba
Mistura	31,63 Aa	20,81 Cd	29,45 Ab	27,22 Bb	0,82 Ab	0,92 Aa	0,67 Aa	0,66 Aa
Tremoço	24,78 Bc	18,51 Cd	27,27 Ac	29,22 Ab	0,81 Ab	1,24 Aa	0,70 Aa	0,71 Aa
Sem cobertura	23,16 Bc	25,53 Ac	27,61 Ac	27,50 Ab	1,04 Aa	0,78 Aa	0,68 Aa	0,67 Aa
CV(%)			7,05				48,52	
Média Geral			25,47				0,79	

¹ Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a $p < 0,05$, respectivamente. Test.: Testemunha; Sulfent.: Sulfentrazone; Diu.+sulf.: Diuron + Sulfentrazone.

Tabela 6. Concentração interna de CO₂ (Ci) e taxa transpiratória (E) do girassol em função da aplicação de herbicidas e uso de plantas com potencial fitorremediador de solo. UFFS, Erechim-RS.

Tratamentos	Ci ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)				E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			
	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.
Aveia preta	302,65 Dc ¹	320,83 Cb	341,42 Aa	324,11 Ba	4,01 Ac	3,94 Ac	4,20 Ac	3,68 Ad
Ervilhaca	345,38 Aa	341,98 Ba	322,01 Cb	228,41 Df	6,38 Ab	6,53 Ab	6,24 Ab	6,22 Ac
Centeio	252,26 Af	248,48 Be	214,16 Cg	251,31 Ac	7,11 Ab	7,32 Ab	7,14 Ab	7,54 Ab
Nabo	234,04 Dg	263,84 Ad	253,04 Bd	247,75 Cd	7,25 Ab	6,46 Ab	7,91 Aa	7,72 Ab
Mourisco	259,87 Ae	198,41 Ch	244,50 Be	258,07 Ab	7,26 Bb	7,51 Bb	8,86 Aa	6,79 Bc
Azevém	289,85 Ad	231,89 Cg	245,13 Be	214,89 Dh	10,15 Aa	8,66 Aa	9,78 Aa	9,14 Aa
Mistura	215,76 Ch	241,69 Af	205,79 Dh	235,73 Be	9,82 Aa	10,14 Aa	9,33 Aa	9,39 Aa
Tremoço	258,19 Be	230,23 Cg	303,01 Ac	211,33 Di	9,30 Aa	9,49 Aa	9,36 Aa	9,22 Aa
Sem cobertura	333,65 Ab	289,14 Bc	223,39 Cf	225,44 Cg	10,73 Aa	9,01 Ba	9,46 Ba	9,25 Ba
CV(%)		0,67				12,82		
Média Geral		261,32				7,84		

¹ Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a $p < 0,05$, respectivamente. Test.: Testemunha; Sulfent.: Sulfentrazone; Diu.+sulf.: Diuron + Sulfentrazone.

Tabela 7. Eficiência do uso da água (EUA) do girassol e taxa fotossintética (A) do sorgo em função da aplicação de herbicidas e uso de plantas com potencial fitorremediador de solo. UFFS, Erechim-RS.

Tratamentos	EUA ($\text{mol CO}_2 \text{mol H}_2\text{O}^{-1}$)				A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			
	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.
Aveia preta	3,66 Aa ¹	3,57 Ab	3,50 Ab	3,73 Aa	6,33 Af	6,96 Ad	7,21 Ae	5,27 Ae
Ervilhaca	2,56 Cb	3,81 Bb	4,87 Aa	4,43 Aa	17,45 Ac	16,16 Ab	16,79 Ac	17,02 Ab
Centeio	3,82 Aa	4,56 Aa	4,70 Aa	4,21 Aa	10,95 Be	14,55 Ac	15,35 Ac	6,26 Ce
Nabo	3,27 Aa	3,02 Ac	3,79 Ab	3,26 Ab	13,10 Ad	12,71 Ac	12,54 Ad	12,48 Ac
Mourisco	2,58 Bb	4,63 Aa	3,88 Ab	4,21 Aa	14,03 Bd	16,19 Ab	14,81 Bc	16,96 Ab
Azevém	2,42 Bb	3,34 Ab	2,82 Bc	3,62 Aa	21,56 Ab	21,64 Aa	17,41 Bc	9,15 Cd
Mistura	3,27 Aa	2,07 Bd	3,20 Ac	2,90 Ab	20,75 Ab	20,28 Aa	16,60 Bc	21,15 Aa
Tremoço	2,71 Ab	2,04 Bd	2,92 Ac	3,19 Ab	20,50 Ab	22,35 Aa	22,46 Ab	21,81 Aa
Sem cobertura	2,17 Bb	2,92 Ac	2,90 Ac	3,02 Ab	28,74 Aa	21,70 Ba	28,87 Aa	15,60 Cb
CV(%)		14,74				10,12		
Média Geral		3,38				16,21		

¹ Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a $p < 0,05$, respectivamente. Test.: Testemunha; Sulfent.: Sulfentrazone; Diu.+sulf.: Diuron + Sulfentrazone.

Tabela 8. Condutância estomática dos vapores de água (Gs) e concentração interna de CO₂ (Ci) do sorgo em função da aplicação de herbicidas e uso de plantas com potencial fitorremediador de solo. UFFS, Erechim-RS.

Tratamentos	Gs (mol m ⁻² s ⁻¹)				Ci (μmol mol ⁻¹)			
	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.
Aveia preta	0,75 Aa ¹	0,81 Aa	0,72 Aa	0,89 Aa	407,22 Ba	393,44 Da	400,72 Ca	411,07 Aa
Ervilhaca	0,38 Ab	0,56 Ab	0,40 Ab	0,40 Ab	250,86 Cc	375,26 Ab	240,23 Dd	301,89 Bc
Centeio	0,28 Ab	0,26 Ac	0,23 Ac	0,25 Ac	310,06 Bb	324,86 Ac	276,37 Cb	326,39 Ab
Nabo	0,18 Ac	0,16 Ac	0,15 Ac	0,15 Ac	232,43 De	275,06 Ad	251,42 Cc	263,09 Be
Mourisco	0,15 Ac	0,14 Ac	0,11 Ac	0,17 Ac	236,98 Bd	139,66 Df	177,15 Ce	270,83 Ad
Azevém	0,14 Ac	0,10 Ac	0,13 Ac	0,13 Ac	71,99 Dh	86,62 Ch	132,67 Af	116,10 Bh
Mistura	0,10 Ac	0,10 Ac	0,11 Ac	0,14 Ac	67,28 Di	86,51 Ch	118,46 Bh	122,62 Ag
Tremoço	0,13 Ac	0,15 Ac	0,14 Ac	0,14 Ac	85,67 Cg	90,22 Bg	111,56 Ai	91,67 Bi
Sem cobertura	0,21 Ac	0,20 Ac	0,20 Ac	0,13 Ac	118,38 Df	176,36 Be	127,62 Cg	181,48 Af
CV(%)		48,47				0,86		
Média Geral		0,26				212,51		

¹Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a p<0,05, respectivamente. Test.: Testemunha; Sulfent.: Sulfentrazone; Diu.+sulf.: Diuron + Sulfentrazone.

Tabela 9. Taxa de transpiratória (E) e eficiência do uso da água (EUA) do sorgo em função da aplicação de herbicidas e uso de plantas com potencial fitorremediador de solo. UFFS, Erechim-RS.

Tratamentos	E (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)				EUA (mol CO ₂ mol H ₂ O ⁻¹)			
	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.
Aveia preta	4,28 Aa ¹	4,41 Aa	4,26 Aa	4,58 Aa	1,52 Ac	1,60 Ad	1,76 Ac	1,16 Ac
Ervilhaca	2,60 Ab	3,05 Ab	2,49 Ab	2,56 Ab	7,21 Ab	5,87 Ac	7,36 Ab	7,44 Ab
Centeio	2,29 Ab	2,16 Ac	2,06 Ab	2,16 Ab	4,95 Ac	7,06 Ac	7,72 Ab	3,14 Ac
Nabo	1,69 Ac	1,57 Ad	1,50 Ac	1,52 Ac	8,06 Ab	8,30 Ac	8,36 Ab	8,27 Ab
Mourisco	1,44 Ac	1,38 Ad	1,15 Ac	1,48 Ac	9,96 Ab	12,60 Ab	13,04 Aa	12,87 Aa
Azevém	1,39 Ac	1,13 Ad	1,38 Ac	1,34 Ac	15,68 Aa	20,21 Aa	12,81 Ba	7,00 Cb
Mistura	1,25 Ac	1,28 Ad	1,38 Ac	1,64 Ac	16,86 Aa	21,06 Aa	12,04 Ba	12,98 Ba
Tremoço	1,58 Ac	1,74 Ac	1,72 Ac	1,70 Ac	12,93 Aa	12,84 Ab	13,25 Aa	12,83 Aa
Sem cobertura	2,06 Ab	2,01 Ac	1,94 Ab	1,48 Ac	14,15 Aa	10,84 Ab	15,04 Aa	10,60 Aa
CV(%)		21,01				32,58		
Média Geral		2,04				9,98		

¹Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a p<0,05, respectivamente. Test.: Testemunha; Sulfent.: Sulfentrazone; Diu.+sulf.: Diuron + Sulfentrazone.

Tabela 10. Peso de mil grãos (g) e produtividade de grãos (kg ha⁻¹) do girassol em função de espécies fitorremediadoras e herbicidas. UFFS, Erechim-RS.

Tratamentos	Peso de mil grãos (g)				Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)			
	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.
Aveia preta	46,04 Ce ¹	52,02 Ad	48,86 Bd	53,95 Ab	2122,29 Cf	2440,59 Bc	1629,95 Dh	3309,77 Aa
Ervilhaca	44,70 Ce	56,98 Ac	50,69 Bd	42,72 Cd	1997,10 Dh	2142,51 Be	2120,01 Cf	2502,40 Af
Centeio	48,95 Bd	54,76 Ac	55,20 Ac	55,32 Ab	2056,87 Dg	2130,36 Cf	2437,53 Ad	2141,22 Bh
Nabo	59,80 Bb	65,20 Ab	56,96 Cc	54,31 Db	2399,94 Cc	2827,27 Bb	3227,61 Ac	2296,71 Dg
Mourisco	60,50 Cb	73,05 Aa	65,28 Ba	60,50 Ca	2597,04 Ab	1650,61 Dh	1841,85 Cg	2082,28 Bi
Azevém	52,44 Bc	45,10 Ce	55,88 Ac	54,57 Ab	2317,78 Dd	2380,04 Cd	3281,60 Ab	3251,74 Bc
Mistura	51,23 Bc	53,84 Ad	55,46 Ac	52,97 Bb	2267,18 Ce	1938,72 Dg	2314,27 Be	3259,66 Ab
Tremoço	65,12 Aa	52,34 Cd	60,90 Bb	59,97 Ba	1515,82 Di	3011,48 Ca	3377,21 Aa	3192,77 Bd
Sem cobertura	53,61 Ac	45,66 Be	55,06 Ac	47,04 Bc	2888,09 Aa	2138,98 Ce	1493,86 Di	2675,90 Be
CV(%)			3,04				0,11	
Média Geral			54,64				2423,86	

¹ Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a $p < 0,05$, respectivamente. Test.: Testemunha; Sulfent.: Sulfentrazone; Diu.+sulf.: Diuron + Sulfentrazone.

Tabela 11. Peso de mil grãos (g) e produtividade de grãos (kg ha⁻¹) do sorgo em função de espécies fitorremediadoras e herbicidas. UFFS, Erechim-RS.

Tratamentos	Peso de mil grãos (g)				Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)			
	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.
Aveia preta	27,30 Ab ¹	27,93 Aa	25,75 Ad	27,36 Ab	1620,01 Bd	1340,71 Ci	1332,50 Df	1952,84 Aa
Ervilhaca	25,13 Ac	26,17 Aa	26,63 Ad	27,07 Ab	1170,54 Bh	1653,40 Af	1126,15 Cg	935,00 Dg
Centeio	28,10 Ab	28,92 Aa	29,21 Ac	29,31 Aa	2136,36 Cb	2348,09 Ac	2164,01 Bc	1557,30 De
Nabo	28,39 Ab	29,21 Aa	26,61 Bd	26,78 Ba	1817,56 Cc	2394,57 Ab	2199,79 Bb	1559,46 De
Mourisco	30,15 Aa	28,40 Aa	25,84 Bd	30,07 Aa	2345,01 Aa	1841,22 Be	1098,30 Ch	777,28 Dh
Azevém	28,95 Aa	28,69 Aa	28,70 Ac	28,17 Ab	1267,15 Dg	2534,14 Aa	1365,96 Ce	1893,88 Bb
Mistura	28,02 Bb	29,59 Ba	33,76 Aa	27,28 Bb	1435,72 Ce	2342,21 Bd	2347,35 Aa	1159,40 Df
Tremoço	30,68 Aa	27,80 Ba	30,63 Ab	28,94 Ba	1399,19 Bf	1382,53 Ch	1054,08 Di	1755,24 Ac
Sem cobertura	30,36 Aa	29,40 Ba	28,59 Bc	31,40 Aa	1046,76 Di	1483,02 Cg	1649,31 Bd	1722,23 Ad
CV(%)			5,16				0,16	
Média Geral			28,48				1644,67	

¹ Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a $p < 0,05$, respectivamente. Test.: Testemunha; Sulfent.: Sulfentrazone; Diu.+sulf.: Diuron + Sulfentrazone.

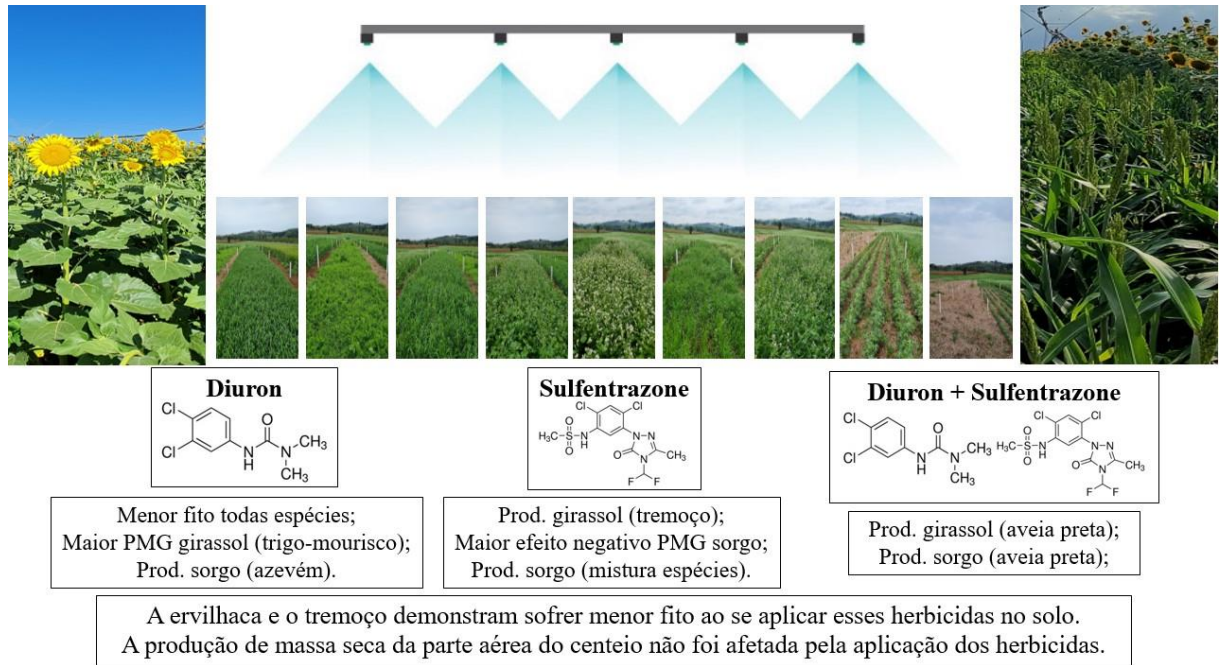


Figura 2. Resumo gráfico da aplicação dos herbicidas e os respectivos resultados.