

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CAMPUS ITAQUI
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**RESIDUAL DE HERBICIDAS DO GRUPO
QUÍMICO DAS IMIDAZOLINONAS NA CULTURA DA
AVEIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ALEXANDRE SEGATTO

**Itaqui, RS, Brasil
2018**

ALEXANDRE SEGATTO

**RESIDUAL DE HERBICIDAS DO GRUPO QUÍMICO DAS
IMIDAZOLINONAS NA CULTURA DA AVEIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Agrônomo**.

Orientador: Carlos Eduardo Schaedler

Itaqui, RS, Brasil
2018

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

S454r Segatto, Alexandre
Residual de herbicidas do grupo químico da imidazolinonas
na cultura da aveia / Alexandre Segatto.
47 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, AGRONOMIA, 2018.
"Orientação: Carlos Eduardo Schaedler".

1. carryover. 2. sustentabilidade. 3. plantas daninhas. 4.
rotação de culturas. I. Título.

ALEXANDRE SEGATTO

DEDICATÓRIA

**RESIDUAL DE HERBICIDAS DO GRUPO QUÍMICO DAS
IMIDAZOLINONAS NA CULTURA DA AVEIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Agronomia da Universidade
Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito
parcial para obtenção do grau de **Engenheiro
Agrônomo**.

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado no dia 03 de julho de 2018.

Banca examinadora:



Prof. Dr. Carlos Eduardo Schaedler
Orientador
Curso de Agronomia - UNIPAMPA



Prof. Dr. Daniel Andrei Robe Fonseca
Curso de Agronomia - UNIPAMPA



Prof(a). Dr(a). Renata Silva Canuto de Pinho
Curso de Agronomia – UNIPAMPA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus amados pais, Odécio e Janete, maiores incentivadores dessa conquista. A meus irmãos Rodrigo e Tatiana, e a todos amigos e familiares próximos que colaboraram de alguma forma durante minha graduação.

AGRADECIMENTOS

À Deus.

À toda minha família, por todo o incentivo dado durante os cinco anos de graduação. Em especial, aos meus pais, Janete Segatto e Odécio Segatto, por serem minha base de formação, e aos meus queridos irmãos, Rodrigo Segatto e Tatiane Segatto.

À minha namorada, Fernanda Srynczyk da Silva, pelo apoio, carinho e amizade, e, acima de tudo, o estímulo fornecido, que me fez seguir firme em busca dos meus objetivos.

Aos meus tios, Lúcia Missio Dallanora e Silvio Dallanora, meu primo, Lorenzo Missio Dallanora, que sempre me acolheram em sua casa, e que foram minha segunda família.

Ao professor orientador Dr. Carlos Eduardo Schaedler, pela orientação e amizade, tanto em sala de aula como em momentos de distração. Também pela transmissão de conhecimentos e conselhos, que com certeza foram fundamentais para meu crescimento pessoal e acadêmico.

Aos estimados integrantes do Grupo Herbologia Pampa (GHEPA) pelo auxílio nas atividades práticas do trabalho de conclusão de curso.

Não poderia deixar de agradecer aos amigos que cultivei nesse ciclo de UNIPAMPA, que com certeza fazem parte dessa conquista e que vou guardar no fundo do peito, em especial minhas extensões a: Cássio Almeida Kostulski, Felipe Schopf, Fernando Matheus Werner, Filipe Godoy, Francis Junior Soldatelli, Gabriel Rodrigues Landskron, João Luis Carricio Viero, João Vitor Ail dos Santos, Lorenzo Dalcin Meus, Mateus Silveira Lorenset.

A Universidade Federal do Pampa, pelo acolhimento e apoio durante a graduação, e também pelo fornecimento de espaço para realização desse trabalho.

Agradecer, do fundo do coração, aos professores e funcionários da UNIPAMPA- Campus Itaqui, que de alguma maneira fazem parte desta vitória.

EPÍGRAFE

“O dinheiro faz homens ricos, o conhecimento faz homens sábios, e a humildade faz grandes homens”

Mahatma Gandhi

RESUMO

RESIDUAL DE HERBICIDAS DO GRUPO QUÍMICO DAS IMIDAZOLINONAS NA CULTURA DA AVEIA

Autor: Alexandre Segatto

Orientador: Carlos Eduardo Schaedler

Local e data: Itaquí, 03 de julho de 2018.

Herbicidas do grupo químico das imidazolinonas como imazethapyr e imazapyr + imazapic são frequentemente utilizados no manejo de plantas daninhas na cultura do arroz irrigado, porém, a atividade residual dos mesmos pode limitar o desenvolvimento de plantas utilizadas em sucessão/rotação de culturas. O objetivo deste trabalho foi avaliar, o residual do grupo químico das Imidazolinonas na cultura da aveia utilizada em sucessão ao arroz irrigado no sistema Clearfield®, em diferentes profundidades de solo e dois tipos de umidade. Para isso, foi realizada a coleta de solo nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-15; 15-20 cm, um recebeu aplicação de imazethapyr e outro de imazapyr + imazapic. O solo que recebeu aplicação de imazethapyr foi coletado 1 ano e 2 meses após aplicação, e imazapyr + imazapic, teve sua aplicação realizada 8 meses antes da coleta do solo. Os tratamentos constituídos foram os mesmos para os dois experimentos, sendo esses, diferentes condições do solo (saturado e na capacidade de campo) e diferentes profundidades. O solo de cada experimento foi disposto em copos de 200 mL, semeados com aveia preta, e os mesmos foram arranjados no delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições. Preliminarmente foi conduzido experimento para determinar curva dose-resposta. As doses do herbicida imazethapyr utilizadas foram 0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 vezes a dose comercial recomendada (106 g ha⁻¹). Para imazapyr + imazapic foram utilizadas as mesmas doses de 0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 vezes a dose comercial recomendada (140 g ha⁻¹). As variáveis avaliadas foram de fitotoxicidade, estatura de planta, e massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas. Para imazethapyr, foi quantificado residual herbicida de 95,4 e 242,7 g i.a., para a condição de solo saturado e capacidade de campo, respectivamente. Na profundidade de 20 cm foi quantificado residual de 183 g i.a., 3 vezes mais do que na profundidade de 10 cm. Para imazapyr + imazapic, em solo saturado nos 20 cm de profundidade foi observado residual herbicida de

18,3 g ha⁻¹, já em solo na capacidade de campo nos 20 cm de profundidade, foi observado residual de 42 g ha⁻¹. A variável fitotoxicidade foi a que apresentou resultados representativos de residual herbicida no solo. Para os dois herbicidas utilizados nesse estudo, os maiores valores de fitotoxicidade foram encontrados na condição de capacidade de campo, e de forma pronunciada na profundidade de 20 cm de solo. Valores de estatura e MSPA de plantas de aveia foram maiores na condição de solo saturado para ambos os herbicidas. Após 1 ano e 2 meses da aplicação de imazethapyr, e 8 meses da aplicação de imazapyr + imazapic, foi possível verificar residual herbicida suficiente para afetar o desenvolvimento da cultura da aveia.

Palavras-chave: residual, sustentabilidade, plantas daninhas, rotação de culturas.

ABSTRACT

CARRYOVER OF HERBICIDES IMIDAZOLINONES GROUP IN OAT CROP

Author: Alexandre Segatto

Advisor: Carlos Eduardo Schaedler

Date: Itaquí, July 03, 2018.

Herbicides of the imidazolinones chemical group such as imazethapyr and imazapyr + imazapic are often used in the weeds management in irrigated rice; however, the carryover activity of these can limit development of plants used in succession/rotation crop. The aim of this work was to evaluate the carryover imidazolinone chemical group in oat crop used in succession to irrigated rice Clearfield® system, in different depths soil and two types moisture. For this, the soil sample was collected in the 0-5; 5-10; 10-15; 15-20 cm, one received application of imazethapyr and another imazapyr + imazapic. The soil with imazethapyr application was collected 1 year and 2 months after herbicide application, and imazapyr + imazapic, had been application eight months before the soil sampling. The treatments were constituted the same for both experiments, and these different soil conditions (saturated and field capacity) and different depths. The soil in each experiment was arranged in pots 200 mL, seeded with oats, and they were arranged in randomized experimental design with four replications. Preliminary experiment was conducted to determine dose-response curve. The herbicide imazethapyr doses used were 0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 commercial times the recommended dose (106 g ha^{-1}). To imazapyr + imazapic they were used the same doses of 0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 times the commercial dose recommended (140 g ha^{-1}). The evaluated variables were injury, plant height and shoot dry mass (SDM). For imazethapyr, the herbicide carryover was quantified 95,4 and 242,7 g a.i., for the saturated soil condition and field capacity, respectively. At 20 cm depth was quantified 183 g a.i., 3 times more than 10 cm depth. For imazapic + imazapyr, saturated soil in 20 cm depth was observed residual herbicide 18,3 g a.i., already on the ground at field capacity at 20 cm depth was observed carryover 42 g a.i. The variable injury presented the results representative soil residual herbicide. For both herbicides in this study, the highest injury values here found in field capacity type, and pronounced in 20 cm soil depth. Values of plant height and SDM oat plants were higher in saturated soil condition to both herbicides. After 1 year and 2 months the

imazethapyr application, and eight months imazapyr + imazapic sprayed, observed carryover herbicide sufficient to affect the oat crop development.

Keywords: carryover, sustainability, weeds, crop rotation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva dose-resposta para fitotoxicidade de aveia a diferentes doses de imazethapyr, aos 12 (A), 20 (B) e 26 (C) DAE, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo)	22
Figura 2: Curva dose-resposta para estatura de aveia submetida a diferentes doses de imazethapyr, aos 14 (A) e 26 (B) DAE, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo)	23
Figura 3: Curva dose-resposta para massa seca da parte aérea de aveia submetida a diferentes doses de imazethapyr aos 27 DAE, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo)	24
Figura 4: Fitotoxicidade de aveia em solo (saturado, e na capacidade de campo) com residual de imazethapyr, aos 12, 20 e 26 DAE.....	25
Figura 5: Fitotoxicidade de aveia em diferentes profundidades no solo com residual de imazethapyr, aos 12, 20 e 26 DAE.....	27
Figura 6: Estatura média de aveia em solo com residual de imazethapyr, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo), aos 14 e 26 DAE.....	28
Figura 7: Estatura média de aveia em solo com residual de imazethapyr, conforme diferentes profundidades de solo, aos 14 e 26 DAE.....	29
Figura 8: Massa seca de parte aérea de aveia, em solo com residual de imazethapyr, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo), aos 27 DAE.....	30
Figura 9: Massa seca de parte aérea de aveia, em solo com residual de imazethapyr, conforme diferentes profundidades, aos 27 DAE	31
Figura 10: Curva dose-resposta para fitotoxicidade de aveia a diferentes doses de imazapyr + imazapic, aos 12 (A), 20 (B) e 26 (C) DAE, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo)	32
Figura 11: Curva dose-resposta para estatura de aveia submetida a diferentes doses de imazapyr + imazapic, aos 14 (A) e 26 (B) DAE, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo)	33
Figura 12: Curva dose-resposta para massa seca da parte aérea de aveia submetida a diferentes doses de imazapyr + imazapic, aos 27 DAE, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo)	34

Figura 13: Fitotoxicidade de aveia em solo com residual de imazapyr + imazapic, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo), aos 20 DAE.....	37
Figura 14: Fitotoxicidade de aveia em solo com residual de imazapyr + imazapic, conforme diferentes profundidades de solo, aos 12 e 20 DAE.....	38
Figura 15: Estatura média de aveia em solo com residual de imazapyr + imazapic, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo), aos 14 e 26 DAE.....	39
Figura 16: Estatura média de aveia em solo com residual de imazapyr + imazapic, conforme diferentes profundidades de solo, aos 14 e 26 DAE.....	40
Figura 17: Massa seca de parte aérea de aveia, em solo com residual de imazapyr + imazapic, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo), aos 27 DAE	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fitotoxicidade (%) de aveia, com residual de imazapyr + imazapic no solo, de acordo com diferentes profundidades no perfil seguido de duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo), aos 26 DAE.....	36
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivo geral.....	18
1.2 Objetivos específicos.....	18
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
3.1 Curva dose-resposta de imazethapyr.....	21
3.1.1 Residual de imazethapyr	24
3.2 Curva dose-resposta de imazapyr + imazapic	31
3.2.1 Residual de imazapyr + imazapic	34
4 CONCLUSÕES	42
4.1 imazethapyr.....	42
4.2 imazapyr + imazapic	42
5 REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

O arroz irrigado se destaca por ser uma das culturas mais importantes do mundo, sendo cultivada em todos os continentes, e ocupa atualmente a segunda posição dentre os cereais mais cultivados (SOSBAI, 2016). O arroz é a principal fonte de alimento disponível, tornando-se responsável pela alimentação de mais da metade da população mundial (LI et al., 2015).

A totalidade da população consome arroz, e mais da metade realiza essa ação no mínimo uma vez por dia (CONAB, 2015), tendo participação importante na composição do prato dos brasileiros, que consomem cerca de 25 quilogramas de arroz por ano (BRASIL, 2015). Do ponto de vista nutricional, esse elevado consumo é importante, pelo fato de ser excelente fonte de energia, devido à alta concentração de amido, fornecendo também proteínas, vitaminas e minerais, possuindo baixo teor de lipídios, constituindo alimento importante para o equilíbrio alimentar (WALTER et al., 2008), vindo a contribuir com cerca de 23% de todas as calorias, quase o mesmo que o aporte de milho e trigo juntos (RIDELL & GUJJA, 2007).

A produção mundial do grão de arroz é estimada em mais de 475 milhões de toneladas, sendo 8,3 milhões de toneladas produzidas no Brasil (USDA/FAS, 2015), ocupando área aproximada de 168 milhões de hectares no país, onde o estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor nacional, com 70% do total produzido no país (SOSBAI, 2016). Projeções para o ano de 2021/2022 são estimadas de 15,2 milhões de toneladas, equivalendo em crescimento anual da produção de 1,4% de 2011/2012 a 2021/2022 (BRASIL, 2012).

É notório o elevado potencial de aumento de produção da cultura do arroz irrigado, porém, em lavouras comerciais, tem-se observado produtividades aquém da potencial. A possível causa dessa situação está relacionada a fatores abióticos e bióticos. As plantas daninhas destacam-se entre os fatores bióticos como responsáveis por reduzir a produtividade e aumentar o custo comercial da lavoura. Plantas daninhas, além de competir pelos recursos como água, luz e nutrientes com o arroz, podem afetar de maneira indireta, agindo como hospedeiro para pragas e doenças (AMARAL & SILVEIRA, 1979). Dentre as principais espécies de plantas daninhas que são ameaças a produção orizícola, temos o arroz-daninho (*Oryza sativa*), que por conta do seu difícil controle, pode causar perdas de 20% da produção (SOUZA & FISCHER, 1986).

Pensando em tornar o sistema de produção de arroz irrigado sustentável e que venha a suprir a demanda futura de alimento, surgiu no ano de 2003 a tecnologia Clearfield®, que proporcionou estratégia de manejo eficaz no controle seletivo de plantas daninhas, pelo uso de cultivares que carregam gene resistentes a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, (MENEZES et al., 2009), como o imazapyr + imazapic (525 + 175 g kg⁻¹ - Kifix®) e imazethapyr (106 g i.a. ha⁻¹ - Imazetapir Plus Nortox), tornando-se ferramenta eficiente para o manejo do arroz-daninho. Os herbicidas do grupo químico das Imidazolinonas são inibidores da enzima acetolactato sintetase (ALS), a qual é essencial para a síntese de aminoácidos de cadeia ramificada nas plantas (valina, leucina, isoleucina) (VILLA, 2006).

O sistema Clearfield® é considerado ferramenta importante disponibilizada para os produtores, que colaborou para o incremento de produtividade em lavouras de arroz irrigado no RS (MENEZES et al., 2009), e conforme Fleck et al. (2003), a adoção correta dessa tecnologia tem mostrado eficiência superior a 95% no controle de arroz-daninho.

Apesar do sistema Clearfield® apresentar vantagem no controle do arroz-daninho, sabe-se que os herbicidas usados nesse sistema exercem ação residual no solo após o período de cultivo do arroz, dificultando o estabelecimento de pastagens cultivadas em áreas de cultivo de arroz irrigado que adotem estes herbicidas para o manejo de plantas daninhas. De acordo com o Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) aproximadamente 87% da área produzida no RS na safra 2016/17 foi composta pelo Sistema Clearfield®, vindo este a ser um fato preocupante, pois a ação residual destes herbicidas pode estar limitando o sucesso de sistemas integrados de produção agropecuária, dificultando estabelecimento de pastagens cultivadas.

A ação residual de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas pode ser de até dois anos, podendo vir a causar fitotoxicidade a cultura implantada em sucessão e/ou rotação (RENNER et al., 2004) ou seja, por conta de condições específicas, o herbicida não consegue ser degradado durante o ciclo da cultura principal, deixando resíduos indesejáveis no solo. Em estudo realizado por Bundt et al. (2015), foi identificado redução na massa seca de plantas de azevém cultivadas em rotação ao arroz irrigado. Já, em condições de sequeiro, resíduos de

imazethapyr proporcionaram menor altura de plantas e menor comprimento de panícula de sorgo cultivados após a soja (SILVA et al., 1999).

A degradação desses herbicidas no solo é muito dependente das condições ambientais e das características de solo, onde conforme tais propriedades, a persistência do herbicida no solo pode aumentar ou diminuir, e por conta disso, se espera comportamento diferente de solos cultivados com arroz irrigado em relação as condições de sequeiro. Outra característica importante desse grupo químico de herbicidas é sua mobilidade no solo, onde esse fator é altamente influenciado pela umidade, vindo a alterar o local de disposição do herbicida no perfil do solo. Estudos indicam que 80 a 90% do herbicida aplicado pode concentrar-se na camada de 10 a 20 cm de profundidade no perfil, e permanecer por longos períodos, intensificando seu residual e afetando as culturas subsequentes (LOUX & REESE, 1993).

A aveia preta (*Avena strigosa* L.) é uma das pastagens anuais de inverno mais cultivadas em sucessão com as culturas de verão. Após a colheita do arroz, a gramínea vem ocupando áreas de cultivo de arroz irrigado, integrando o processo de rotação do cereal com as pecuárias de corte ou leiteira, contribuindo para a diversificação e sustentabilidade econômica do sistema produtivo. O manejo de sucessão e rotação de cultivos, além de serem componentes vitais da agricultura moderna, é considerado decisão inteligente por parte dos agricultores, uma vez que a monocultura pode promover um declínio na produtividade da maioria dos cultivos (ZHANG et al., 2002).

Em solos cultivados com arroz irrigado, a rotação e/ou sucessão diminui os níveis infestação de plantas daninhas, principalmente do arroz-daninho, otimiza o uso das máquinas e também rompe ciclos de doenças e pragas (VERNETTI JÚNIOR et al., 2003). Diante do exposto, justifica-se entender e mensurar como a utilização de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas no sistema Clearfield® pode prejudicar o estabelecimento das culturas adotadas em rotação e/ou sucessão ao arroz irrigado, podendo tornar o sistema integrado de produção insustentável.

1.1 Objetivo geral

- Identificar, de forma empírica, a atividade residual do grupo químico das imidazolinonas na cultura da aveia utilizada em sucessão ao arroz irrigado no sistema Clearfield®.

1.2 Objetivos específicos:

- Avaliar se a umidade presente no solo pode interferir na ação de herbicidas para as plantas.
- Identificar pela fitotoxicidade em plantas, o posicionamento herbicida nas diferentes profundidades de solo.
- Avaliar a atividade residual do grupo químico das imidazolinonas pelo desenvolvimento de plantas de aveia, e o tempo de permanência de moléculas no solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na cidade de Itaqui/RS, situado na Fronteira-Oeste do Rio Grande do Sul, na Universidade Federal do Pampa (Latitude 29°09'21.68" S; Longitude 56°33'02.58" W; altitude de 74 m). O solo da região é classificado como Plintossolo Háplico (EMBRAPA, 2013). O clima, pela classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido sem estação seca definida, com verões quentes (PEEL et al., 2007).

No ano 2016/2017 foi conduzido, na área experimental do campus, experimentos com o objetivo de avaliar o residual dos herbicidas aplicados na cultura do arroz. Para os dois experimentos desenvolvidos foram utilizados herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, sendo um deles com aplicação de imazethapyr (106 g i.a. ha⁻¹ - Imzetapir Plus Nortox,) e outro imazapyr + imazapic (525 + 175 g kg⁻¹ - Kifix®). O delineamento experimental dos experimentos foi de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram, T1= 0X; T2= ¼ X; T3= ½ X; T4= 1X; T5= 2X e T6= 4X, onde X é a dose recomendada do produto, totalizando 24 unidades experimentais para cada herbicida.

A aplicação de imazethapyr (x= 106 g i.a. ha⁻¹), ocorreu diretamente no solo no dia 14 de maio de 2016, utilizando pulverizador costal pressurizado a CO₂. Já, a aplicação de imazapyr + imazapic, ocorreu diretamente no arroz CL, em estágio V3, no dia 30 de novembro de 2016.

No dia 05 de julho de 2017 foi efetuada a coleta de solo dos experimentos em diferentes profundidades. Com uma pá de corte de 20 cm de comprimento de lâmina, e um facão para conseguir dividir o solo, foi possível obter o tratamento que constitui as profundidades de 0-5; 5-10; 10-15; 15-20 cm. A partir de cada profundidade de solo, foi possível obter solo suficiente para constituir o tratamento

que permanecerá seco e o tratamento úmido do experimento. A partir daí passou-se a ser conduzido dois experimentos de forma isolada, a fim de avaliar o residual dos herbicidas aplicados no solo, sendo um deles o imazethapyr, no qual teve seu solo coletado 1 ano e 2 meses após o herbicida ter sido aplicado, e o outro imazapyr + imazapic, que teve sua aplicação realizada 8 meses antes da coleta do solo. Os tratamentos que constituíram o estudo foram os mesmos para os dois experimentos, sendo esses, diferentes condições do solo (saturado e na capacidade de campo) e diferentes profundidades.

O solo dos dois experimentos foi acondicionado em copos de 200 mL, e esses foram levados para uma bancada, lugar onde foi conduzido todo o estudo. Nesta bancada, foi adaptada uma lona plástica transparente, a fim de evitar possíveis efeitos do clima na condução do experimento.

Com o intuito de tentar quantificar o tempo de permanência do herbicida no perfil, foi construído um experimento preliminar para determinar curva dose-resposta, como ferramenta importante na ciência das plantas daninhas para permitir a interpretação dos resultados de forma objetiva, e também por verificar a persistência de herbicidas no solo (RAIMONDI, 2009). As doses do herbicida imazethapyr utilizadas para se obter a curva de dose-resposta foram 0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 vezes a dose comercial recomendada (106 g ha^{-1}), correspondendo, respectivamente a 0; 21; 42; 84; 170 g ha^{-1} . Para imazapyr + imazapic foram utilizadas as mesmas doses de 0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 vezes a dose comercial recomendada (140 g ha^{-1}), correspondendo, a 0; 105; 210; 420; 840 g kg^{-1} para imazapyr e 0; 35; 70; 140; 280 g kg^{-1} para imazapic. Para realizar a aplicação, o solo do copo era transferido para sacos plásticos, e com seringas de precisão o herbicida era depositado no solo, então o mesmo era homogeneizado e após isso, retornava ao vaso. As doses que são recomendadas por ha, foram transformadas para a área do copo. Para ambos os herbicidas foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, com 5 doses, em esquema fatorial, com solo saturado e na capacidade de campo (CC). Cada herbicida foi avaliado em separado, conduzidos com 4 repetições.

Após os copos com o solo estarem dispostos na bancada e identificados, no dia 16 de setembro de 2017 foi realizada a semeadura da cultura da aveia preta, cultivar Embrapa BRS 139, servindo como espécie bioindicadora. Foram dispostas 5 sementes por copo na profundidade de 2 a 3 cm. Esse número de sementes semeadas ocorreu para poder garantir que todos os vasos teriam plantas para

serem avaliadas. No dia 22 de setembro de 2017 aproximadamente 85% dos copos dos dois experimentos, ocorreu a emergência das plântulas.

No dia 28 de setembro de 2017, foi realizado o desbaste, e a população foi padronizada para uma planta por unidade experimental. As plantas, em ambos os tratamentos, saturado e na capacidade de campo, foram irrigadas diariamente, de forma equivalente, até chegarem ao estágio de uma folha. A partir desta fase, os copos do tratamento úmido passaram a ser mantidos em condição de saturação até o fim do período experimental, para poder entender o comportamento dos herbicidas no solo, e comparar com o comportamento do mesmo em condição de solo drenado. Todos os dias, por conta da elevada evapotranspiração, os copos do tratamento saturado recebiam água o suficiente para não perder a condição desejada de saturação, e já o tratamento de capacidade de campo, os copos eram irrigados em média uma vez a cada dois dias, fornecendo condições necessárias para o desenvolvimento das plantas.

Com regra graduada, foi avaliado estatura das plantas, aos 14 e 26 dias após emergência (DAE), tendo estes dados compreendidos da medida em cm do colo da planta até o ápice das folhas. Foi avaliado a fitotoxicidade na cultura da aveia, tanto nos tratamentos dos dois experimentos quanto na curva dose-resposta, aos 12, 20 e 26 DAE, sendo os valores estimados visualmente, utilizando a escala de 0 (zero) a 100%, em que 0 (zero) equivale a nenhum dano visível na planta e 100, a morte da planta. Aos 27 DAE foi quantificada a massa seca da parte aérea (MSPA), por meio do corte da planta rente ao solo. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel, encaminhadas para laboratório e arranjadas em estufa de ventilação forçada a 65° C por 72 horas. Após a secagem, as amostras foram pesadas em balança de precisão.

Os dados foram submetidos a análise de variância, ANOVA ($P \leq 0,05$) para determinar se os herbicidas apresentavam interações entre profundidades x condições de solo. Quando constatada diferença significativa, essas foram avaliadas pelo teste DMS de Fischer. Para realizar o ajuste de curvas foi utilizado o programa Sigma Plot 10.0 e os modelos foram adotados com base no comportamento dos dados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Curva Dose-Resposta de imazethapyr

Para a variável fitotoxicidade nas diferentes doses de imazethapyr, não foi possível ajustar curva para a condição de solo na CC (FIGURA 1A e 1B), porém, na condição de solo saturado, o modelo se ajustou aos dados de forma sigmoidal, onde as maiores fitotoxicidades foram observadas na dose 0,8 do herbicida imazethapyr não diferindo da maior dose (1,6X). Também, os modelos exponencial e polinomial se ajustaram para a condição de saturação e CC, respectivamente, sendo que as dose 0,2X e 0,4X não diferiram entre as condições de solo (FIGURA 1C). Por outro lado, na dose 0,8X, a diferença no solo saturado foi 12% maior que a condição de CC para a variável fitotoxicidade. Durante o período de entressafra, preparos de solo, principalmente a drenagem, são fundamentais para estimular atividade microbiana que é principal responsável pela degradação de herbicidas no solo (FRANCHINI et al., 2007), e os resultados deste trabalho mostraram que quando o solo se encontra na condição de CC, principalmente aos 12 e 20 DAE, a fitotoxicidade é extremamente baixa, podendo assim inferir, para o herbicida imazethapyr, que a drenagem do solo é importante na redução da atividade residual sobre plantas de aveia.

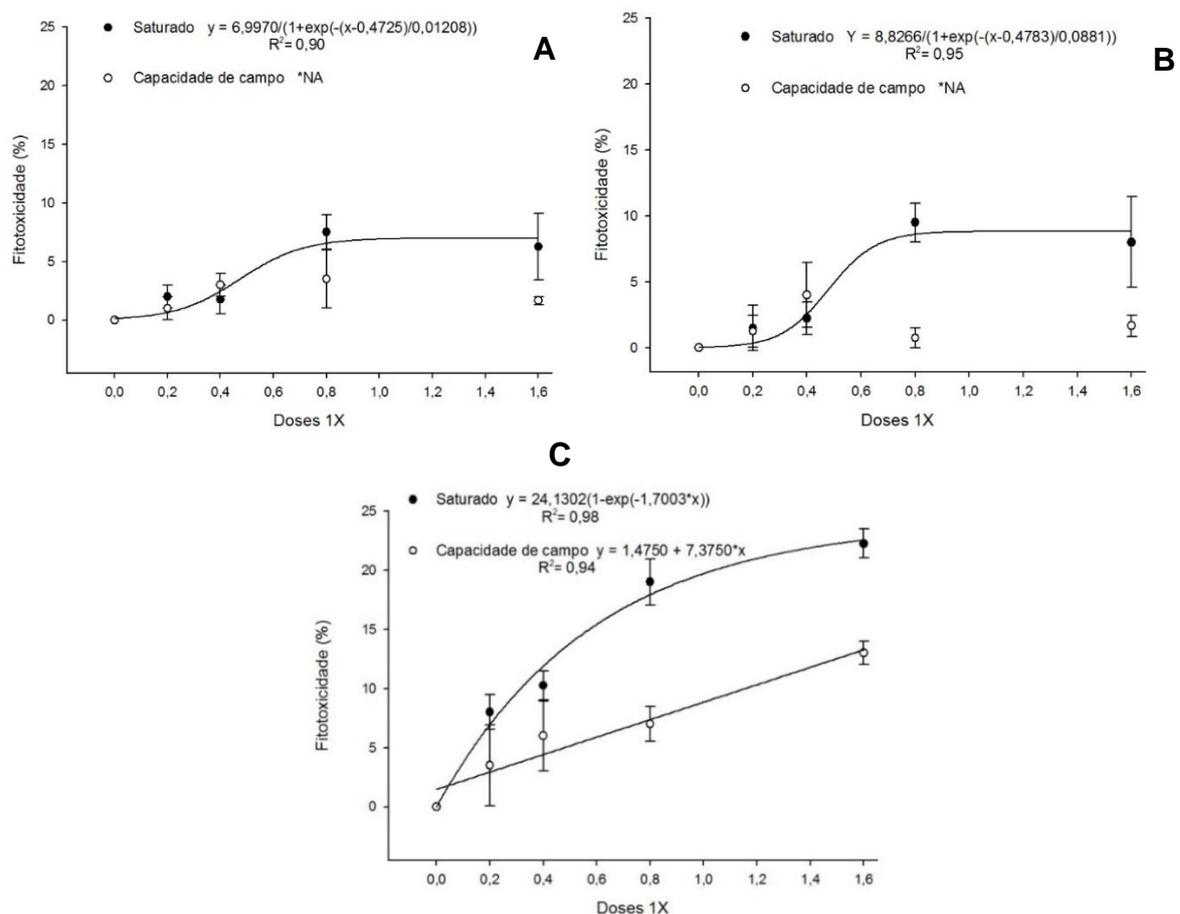


FIGURA 1 – Curva dose-resposta para fitotoxicidade de aveia a diferentes doses de imazethapyr, aos 12 (A), 20 (B) e 26 (C) DAE, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo). Itaqui-RS, 2018. *NA: Não ajustado

Para a variável estatura de plantas de aveia submetidas a diferentes doses de imazethapyr, não foi possível ajustar modelos para os valores médios observados (FIGURA 2 A e B). Aos 14 DAE, houve diferença para estatura de plantas na dose 0,8X, observando maior estatura na condição de CC. Por outro lado, aos 26 DAE, a diferença foi observada na dose 0,4X, onde observou-se maior estatura em solo saturado. Isso pode ter ocorrido devido ao comportamento variável em função das diferentes doses, não apresentando diferença na maioria dos pontos, e também que as doses crescentes de imazethapyr não apresentam relação com a variável estatura.

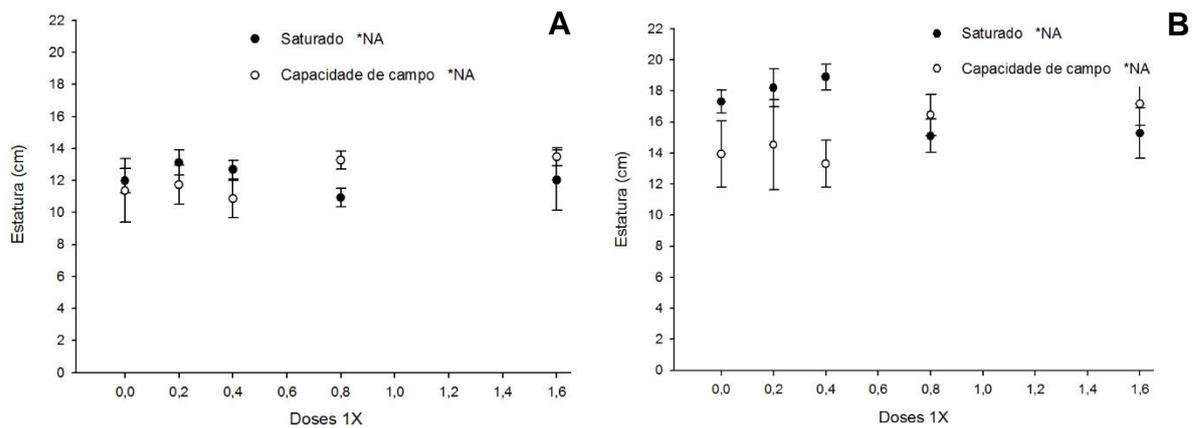


FIGURA 2 – Curva dose-resposta para estatura de aveia submetida a diferentes doses de imazethapyr, aos 14 (A) e 26 (B) DAE, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo). Itaqui-RS, 2018. *NA: Não ajustado

Para a variável massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de aveia, não foi possível ajustar modelos que explicassem o comportamento dessa variável conforme as duas condições de solo avaliadas (FIGURA 3), havendo diferença para massa seca da parte aérea na dose 0X e na dose 0,2X, com valores maiores para a condição de CC. Mesmo os dados não terem ajustado nenhum modelo, na condição de solo saturado, o aumento da dose herbicida, em geral, propiciou redução da MSPA. Já para o solo na condição de CC, o aumento da dose herbicida possibilitou acréscimo na MSPA, porém não significativo.

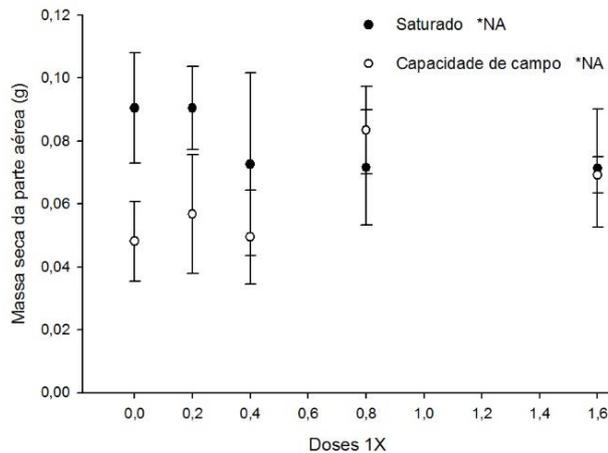


FIGURA 3 – Curva dose-resposta para massa seca da parte aérea de aveia submetida a diferentes doses de imazethapyr aos 27 DAE, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo). Itaqui-RS, 2018. *NA: Não ajustado

3.1.1 Residual de imazethapyr

Para a variável toxicidade em plantas de aveia, não houve interação significativa entre umidade x profundidade, porém, para estes fatores de forma isolada ocorreu diferença. Para umidade, ocorreu diferença em duas, das três épocas avaliadas (FIGURA 4). Aos 12 DAE, não houve diferença, no entanto, em percentagem a fitotoxicidade foi 5% maior em solo saturado. Esse comportamento inverteu-se aos 20 e aos 26 DAE, onde na condição de capacidade de campo (CC) a fitotoxicidade foi maior, e, com o passar dos dias o solo saturado pode ter minimizado o efeito fitotóxico. Em estágios iniciais de desenvolvimento, plantas podem não possuir sistema radicular e parte aérea bem desenvolvidos, e por isso o excesso de umidade nessa etapa torna-se fator problemático, onde o herbicida disponível na solução proporciona maior fitotoxicidade na cultura (AVILA, 2005), principalmente pelo fato da planta não ter estrutura suficiente para metabolizar as moléculas do herbicida. Na segunda e terceira épocas de avaliação, a condição que proporcionou maior valor de fitotoxicidade foi na CC. Esse fato pode ser explicado pela associação de alguns fatores, em que após os primeiros dias, pode ocorrer metabolização mais rápida do herbicida por conta da planta se apresentar mais desenvolvida, e também, quando o herbicida passa muito tempo na solução, aumenta possibilidade de ocorrer perdas por volatilização (MANCUSO et al., 2011),

diminuindo efeito fitotóxico, justificando a maior fitotoxicidade ter sido observada no solo em CC.

Com base nos dados de curva dose-resposta padrão, obtidos através do estudo preliminar realizado, foi possível quantificar, de modo geral, o quanto de residual herbicida permaneceu no solo após 1 ano e meio da sua aplicação. A análise de dados foi realizada com base na dose recomendada de imazethapyr (106 g i.a. ha⁻¹). A partir disso, observando pela variável fitotoxicidade na condição de solo saturado, foi estimado que após 1 ano e 2 meses da aplicação, obteve-se média de 95,4 g i.a. de residual herbicida no solo, 10 g i.a. a menos de quando o herbicida foi aplicado, em 14 de maio de 2016. Já, para a condição de capacidade de campo, foi observado 242,7 g i.a. de residual herbicida, ou seja, 2 vezes mais que a dose inicialmente aplicada do produto. Este alto valor de residual encontrado na CC pode ser justificado pelo possível acúmulo de herbicida ocorrido naquelas parcelas em que foi aplicado 4 X a dose comercial. Estes resultados explicam o fato da fitotoxicidade, aos 26 DAE, ter-se apresentado mais elevada na capacidade de campo em comparação a condição de saturação.

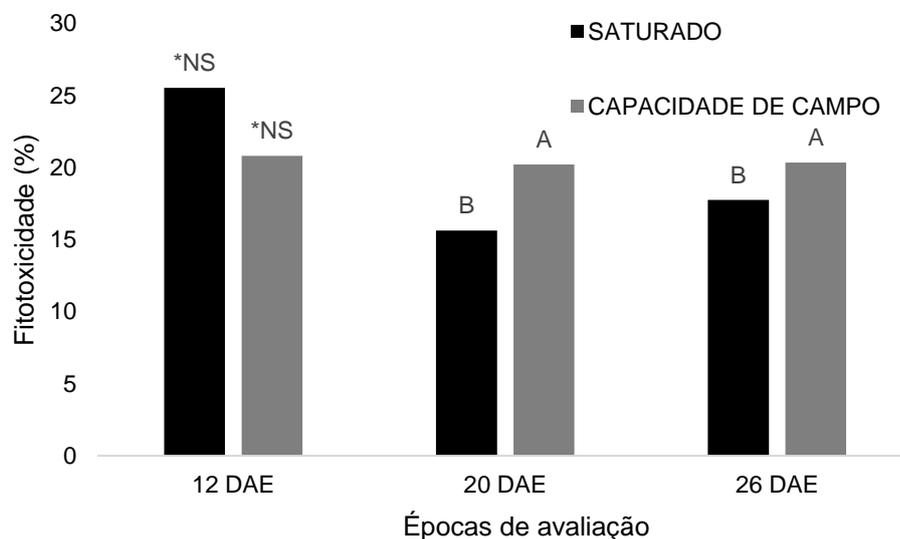


FIGURA 4 – Fitotoxicidade de aveia em solo (saturado, e na capacidade de campo) com residual de imazethapyr, aos 12, 20 e 26 DAE. Itaqui-RS, 2018. *NS: Não significativo pelo teste DMS de Fischer ($F \leq 0,05$).

Para o fator profundidade, houve diferença em função das épocas de avaliação de fitotoxicidade (FIGURA 5). Na profundidade de 20 cm ocorreu maior fitotoxicidade de plantas, nas três épocas, evidenciando que após 1 ano e 2 meses da aplicação, o residual de imazethapyr pode ter ido acumulado nesta profundidade,

causando maior toxicidade na cultura de aveia. A fitotoxicidade observada aos 12 DAE foi mais intensa, quando comparada aos 20 e 26 DAE, e provavelmente isso se deu ao tempo de recuperação da planta, as quais podem ter emitido novas estruturas vegetativas e recuperado seu desenvolvimento.

Com base nos dados da curva dose-resposta padrão (experimento preliminar), e, a partir da dose recomendada do produto (106 g i.a. ha⁻¹), quantificou-se através da variável fitotoxicidade, residual de 183 g i.a. nos 20 cm de solo avaliado, ou seja, após 1 ano e 2 meses de ter ocorrida a aplicação, permaneceu no solo o residual de 1,7 vezes a dose inicialmente aplicada, podendo esse valor ser explicado pelo possível acúmulo de herbicida ocorrido naquelas parcelas em que foi aplicado 4 X a dose comercial. Por conta do maior residual encontrado na profundidade de 20 cm, foi nesse local do solo onde observou-se maiores fitotoxicidade, e conseqüentemente os menores valores de estatura e MSPA desta pesquisa. Para profundidade de 10 cm, foi verificado residual de 58,7 g i.a., ou seja, a metade da dose recomendada, refletindo assim nas menores fitotoxicidades observadas nessa profundidade. Para as avaliações de estatura e MSPA não foi possível quantificar o residual de herbicida no solo, pois as curvas dose-resposta padrão para imazethapyr não apresentaram ajustes satisfatórios, no entanto, como reflexo dos valores de residual observados na avaliação de fitotoxicidade, tanto nas diferentes condições de solo, quanto em profundidades, foi possível entender o porquê dos menores valores de estatura e MSPA terem sido observados na condição de capacidade de campo e também na profundidade de 20 cm.

A principal forma de degradação de imidazolinonas no solo é a partir de micro-organismos, e, esses têm relação indireta com a profundidade do solo, pois quanto maior a profundidade, menor vai ser a ocorrência, tornando o herbicida menos sujeito ao processo de biodegradação, possibilitando persistência no ambiente e causando maior supressão no desenvolvimento de plantas (BUNDT et al., 2010). Resultados semelhantes a este estudo já foram observados, onde após um ano de aplicação de imazethapyr, maior concentração herbicida foi notada em 20 cm de profundidade em solo de várzea (KRAEMER et al., 2009).

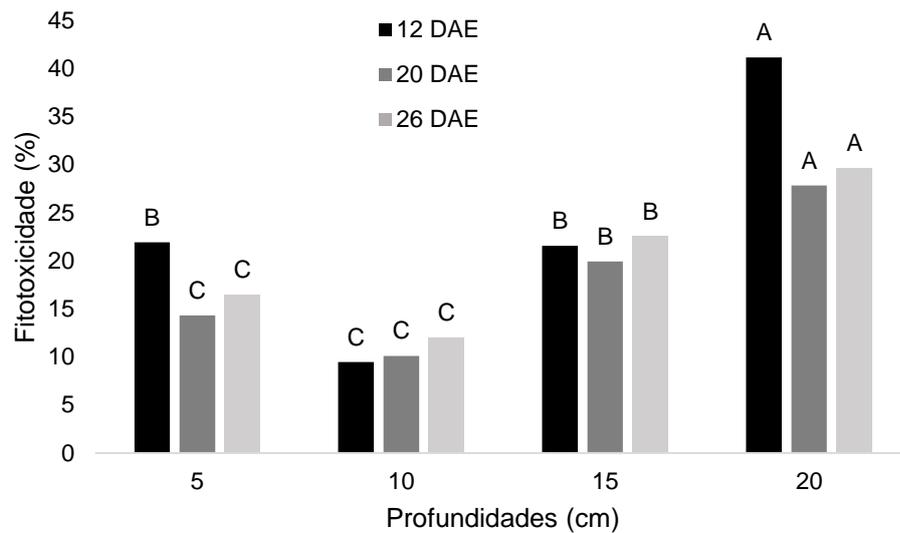


FIGURA 5 – Fitotoxicidade de aveia em diferentes profundidades no solo com residual de imazethapyr, aos 12, 20 e 26 DAE. Itaqui-RS, 2018.

Para variável estatura de plantas de aveia, não houve interação entre os fatores testados (umidade x profundidades), no entanto, de forma isolada houve diferença. Para o fator umidade, tanto para os 14 quanto para os 26 DAE ocorreu diferença (FIGURA 6). Na condição de solo saturado as plantas desenvolveram-se mais, e a suspeita é de que a disponibilidade de herbicida para as plantas é menor. O resultado obtido vai contra a hipótese desse estudo, e também contradiz o que se depara na literatura, onde a umidade do solo seria fator importante na disponibilidade das imidazolinonas para as plantas. Quando o solo se encontra em condição de saturação, o fenômeno de dessorção é favorecido devido a competição das moléculas do herbicida com a água pelos sítios de sorção do solo, causando maior diluição desses herbicidas, onde as moléculas vão para a solução e tornam-se mais disponíveis para as plantas (AVILA et al., 2005). Para este estudo, as plantas submetidas à saturação de solo, apresentaram menor efeito residual do herbicida e acabaram por se desenvolver mais, podendo esse fato, ser explicado pelo fenômeno da hormese.

Na agricultura, os herbicidas são amplamente utilizados, e esses, quando não usados de forma recomendada, como por exemplo em subdoses, acabam estimulando o desenvolvimento do vegetal ao invés de inibir, sendo isso o que conhecemos por hormese (CALABRESE & BALDWIN, 2002). Assim, o menor residual herbicida presente no solo após 1 ano e 2 meses da aplicação, pode ter

permitido a absorção de baixas doses do mesmo pelas plantas, possibilitando o entendimento do porquê as plantas em solo saturado apresentaram maior estatura.

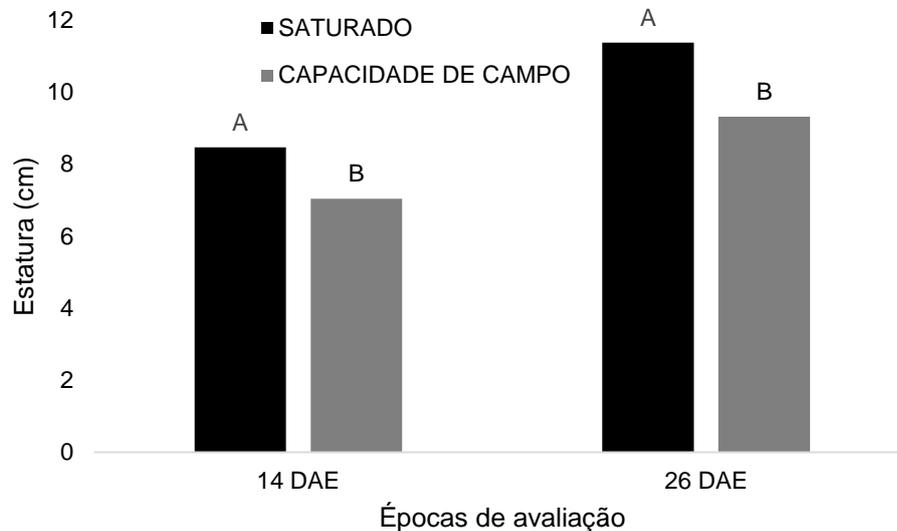


FIGURA 6 - Estatura média de aveia em solo com residual de imazethapyr, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo), aos 14 e 26 DAE. Itaqui-RS, 2018

Para o fator profundidade, houve diferença apenas aos 14 DAE (FIGURA 7). Na profundidade de 10 cm foi onde as plantas apresentaram maior estatura, sendo assim, supostamente nessa profundidade a atividade residual de imazethapyr seja mínima. Já aos 20 cm de profundidade observou-se comportamento inverso, as plantas tiveram seu crescimento comprometido, supostamente devido a maior disponibilidade herbicida nessa profundidade. Em maioria, os solos de várzea são caracterizados por apresentar baixa capacidade de infiltração de água, e, durante boa parte do ano permanecem em condições de excesso de umidade, com isso, a mobilidade do herbicida no perfil é maior, o que indica diminuição na camada superficial e aumento da concentração em maiores profundidades (JOURDAN et al., 1998), elucidando o fato das plantas de aveia terem apresentando crescimento reduzido na profundidade de 20 cm.

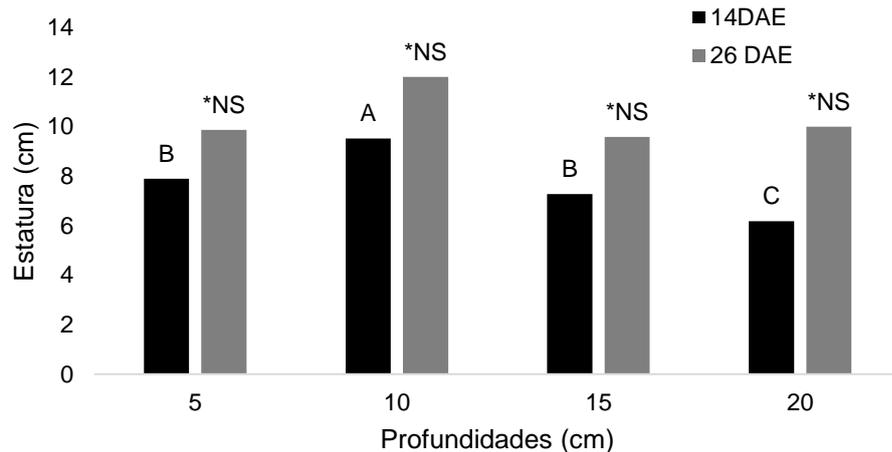


FIGURA 7 – Estatura média de aveia em solo com residual de imazethapyr, conforme diferentes profundidades de solo, aos 14 e 26 DAE. Itaqui-RS, 2018. *NS: Não significativo pelo teste DMS de Fischer ($F \leq 0,05$).

Para a variável MSPA de plantas de aveia, não houve interação entre umidade x profundidades, porém, para esses fatores de forma isolada ocorreu diferença. Para o fator umidade, a MSPA teve comportamento distinto conforme as condições de solo (FIGURA 8), onde a condição de saturação contribuiu para o desenvolvimento das plantas, proporcionando maior incremento de massa, indicando assim, que nessa condição a disponibilidade residual de herbicida foi menor. Quando uma planta expande seu sistema radicular e sua parte aérea, adquirindo mais massa verde, pode apresentar mecanismos de defesa, e com isso, possuir maior habilidade em metabolizar a molécula herbicida antes da mesma realizar sua ação, e, associando isso ao excesso de água no solo, podemos inferir que a metabolização das moléculas herbicida seja facilitada nessa situação. Durante 1 ano e 2 meses da permanência do herbicida no solo, o mesmo passa por processos de degradação, apresentando-se em quantidade inferior quando comparada à dose inicialmente aplicada, popularmente chamado de subdoses, e essas, podem afetar positivamente o acúmulo de massa seca das plantas, pelo fenômeno da hormese (VELINI et al., 2008), fato esse que também pode explicar maior incremento de massa seca de plantas de aveia na condição de solo saturado.

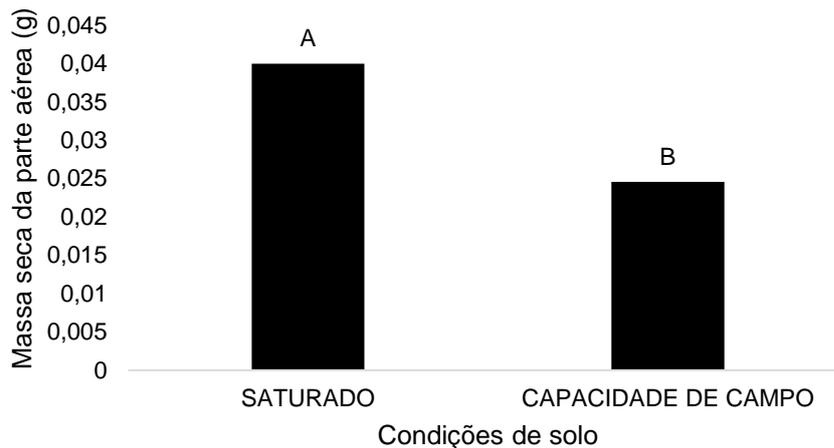


FIGURA 8 – Massa seca de parte aérea de aveia, em solo com residual de imazethapyr, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo), aos 27 DAE. Itaqui-RS, 2018.

O fator profundidades apresentou significância para a variável MSPA (FIGURA 9), onde seu comportamento foi reflexo das outras variáveis deste trabalho, foi constatado que na profundidade de 20 cm, o residual de imazethapyr é mais concentrado, o que pode ter provocado maior fitotoxicidade, menor estatura de plantas, e conseqüentemente redução significativa da MSPA, que se dá por conta das possíveis moléculas de herbicida que ficam disponível no solo, mesmo após 1 ano e 2 meses de sua aplicação. Fica claro que menor produção de massa seca na maior profundidade de solo, pode-se inferir que nessa profundidade, ocorra menor degradação da molécula, aumentando sua concentração. Geralmente, os processos de degradação de herbicida diminuem com a profundidade do solo, e isso se dá pelo fato de que em maiores profundidades, a umidade é maior e a temperatura apresenta-se constante, sem variações, fatores esses responsáveis pela diminuição da taxa de degradação do herbicida (KARAM, 2005), conseqüentemente vindo a ocorrer maior absorção de herbicida pelas plantas, produzindo menos massa seca nas maiores profundidades.

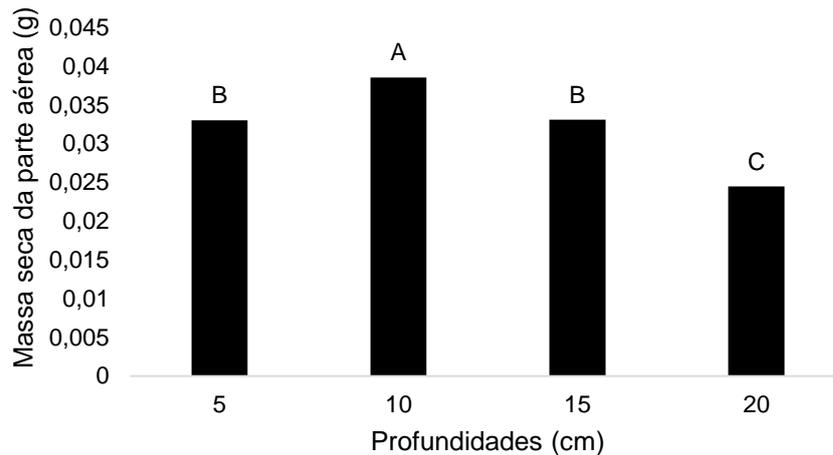


FIGURA 9 – Massa seca de parte aérea de aveia, em solo com residual de imazethapyr, conforme diferentes profundidades, aos 27 DAE. Itaqui-RS, 2018.

3.2 Curva Dose-Resposta de imazapyr + imazapic

Para a variável fitotoxicidade de plantas de aveia nas diferentes doses de imazapyr + imazapic, os modelos que se ajustaram as curvas foram distintos conforme as épocas de avaliação (FIGURA 10 A e B). Na figura 10 A, ajustou o modelo sigmoidal para as duas condições de solo, onde na dose 0,8X, a fitotoxicidade na condição de saturação foi maior do que na condição de CC, no entanto, essa situação inverte-se na dose 1,6X, onde a fitotoxicidade encontrada na condição de CC foi 14% maior que no solo saturado. Para a figura 10 B, na condição de saturação ajustou-se modelo sigmoidal, e na condição de CC, o modelo foi o exponencial, onde na dose 0,8X, ocorreu diferença, e na condição de solo saturado, a fitotoxicidade foi 56% maior do que na condição de CC, e próximo da dose 1,6X, a fitotoxicidade para as duas condições de solo avaliadas manteve-se semelhante. Na figura C, o modelo que se ajustou para as curvas foi o sigmoidal, onde a partir da dose 0,2X, até próximo a dose 1,6X houve diferença entre os pontos, e o comportamento delas foi semelhante as curvas da figura B. Considerando a figura 10 (A, B e C), na condição de CC, especificamente a partir das doses 0,4X, a fitotoxicidade aumenta de forma constante até a dose 1,6X, evidenciando que mesmo o solo na CC, há necessidade de realizar manejo na entressafra, a fim de evitar danos por residual herbicida. Em solos cultivados com arroz irrigado acaba estabelecendo-se condição de anaerobiose, dificultando a degradação de herbicidas no solo, logo, o preparo do solo, incluindo a drenagem, se torna necessário para

incrementar a atividade biológica, aumentando a degradação de imazapyr + imazapic, e assim minimizar danos a cultura da aveia (KRAEMER, 2008).

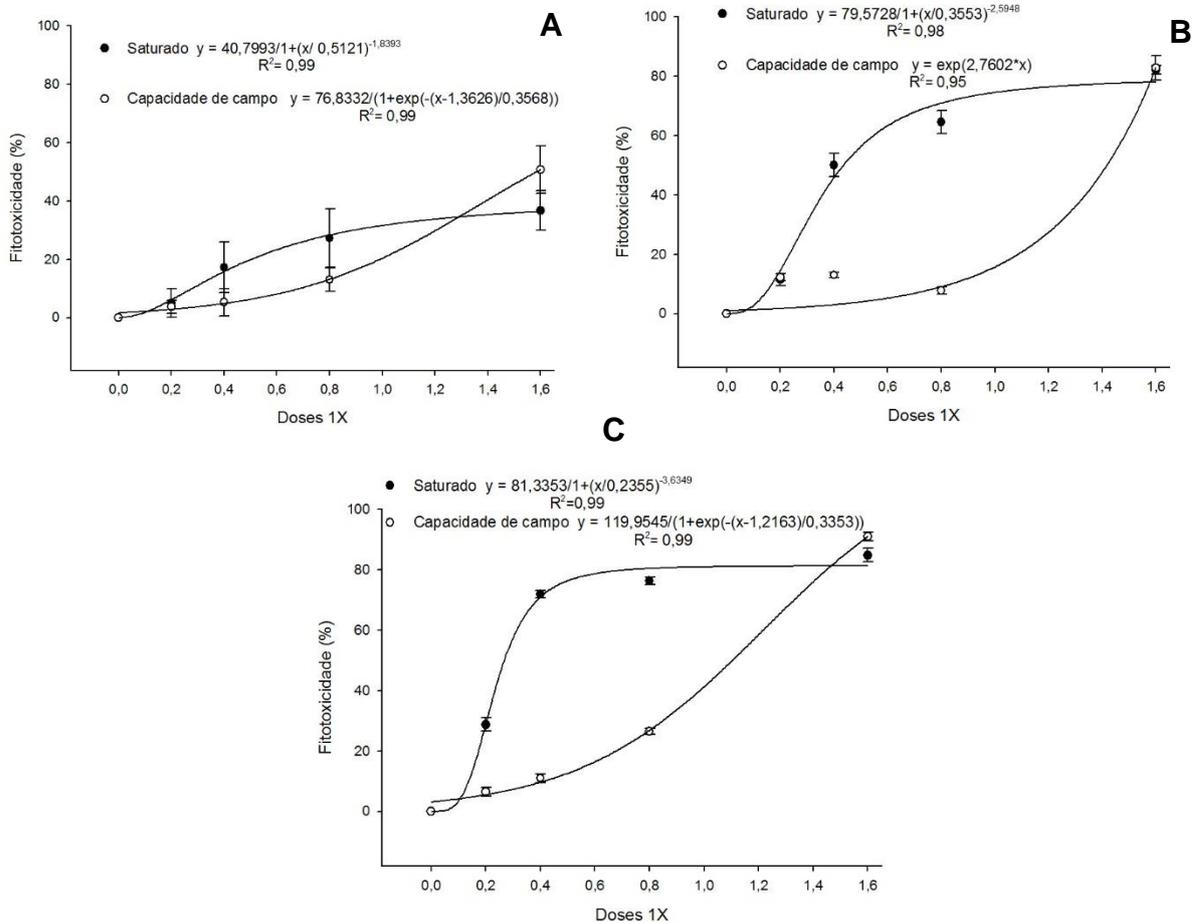


FIGURA 10 – Curva dose-resposta para fitotoxicidade de aveia a diferentes doses de imazapyr + imazapic, aos 12 (A), 20 (B) e 26 (C) DAE, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo). Itaqui-RS, 2018.

A estatura de plantas de aveia de acordo com as doses crescentes de imazapyr + imazapic, ajustou-se modelos distintos de curvas (FIGURA 11 A e B). Tanto para a figura 11 A, quanto para a figura 11 B, a condição de solo saturado, a curva ajustada foi a exponencial, e para a condição de CC, o modelo ajustado foi sigmoidal. Para ambas as figuras, o comportamento das curvas foi semelhante, onde a partir das doses 0,4X, obteve-se maior estatura de plantas na condição de CC, chegando, a uma diferença de 43% na segunda época de avaliação (FIGURA 11 B). No entanto, ao se aproximar das doses 1,6X as estaturas diminuíram consideravelmente, e passou a inexistir diferença entre as condições de solo.

Quando se tem aumento da umidade do solo, ocorre menor sorção da molécula herbicida com as partículas de solo, deixando o mesmo mais solúvel e disponível à absorção pelas raízes das plantas (ZHANG et al., 2001), explicando assim as menores estaturas obtidas na condição de saturação para imazapyr + imazapic. Essa redução da estatura de plantas ocorre porque esse herbicida, além de inibir a enzima ALS, inibe a divisão celular dos pontos de crescimento das plantas, impedindo a expansão das células e consequentemente paralisando o crescimento (SPACKMAN & COBB, 1999).

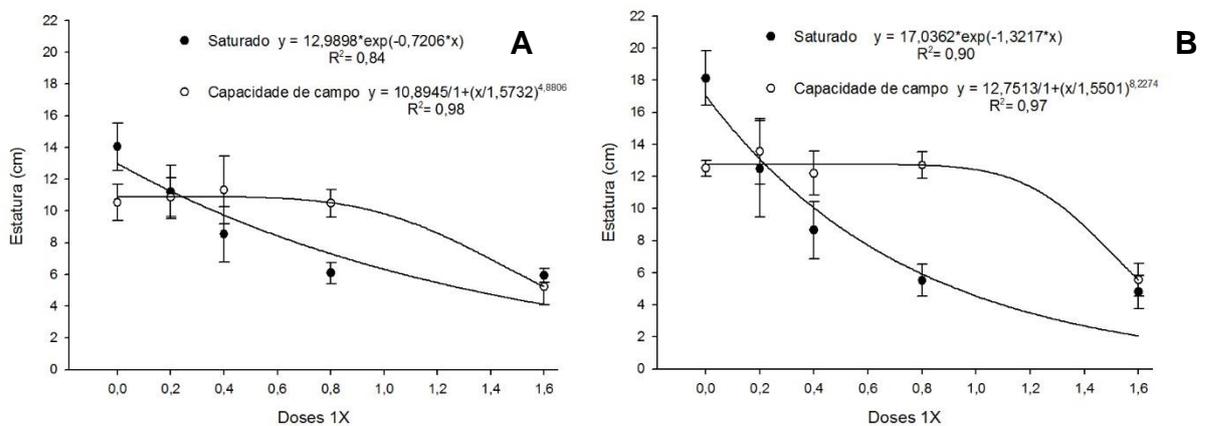


FIGURA 11 – Curva dose-resposta para estatura de aveia submetida a diferentes doses de imazapyr + imazapic, aos 14 (A) e 26 (B) DAE, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo). Itaqui-RS, 2018.

Para a variável MSPA de plantas de aveia, foi possível ajustar curva com modelo sigmoidal apenas para a condição de solo saturado (FIGURA 12), em que a dose 1,6X apresentou a menor média de MSPA, não diferindo da condição de CC. Essa redução da MSPA obtida na condição de saturação complementa estudos encontrados na literatura, em que o aumento da dose de herbicidas do grupo das imidazolinonas promoveu maior redução da massa de MSPA de plantas de azevém, principalmente nos maiores níveis de umidade testado (AVILA et al., 2010). Em outro trabalho, avaliando o resíduo de imazapyr + imazapic 280g ha^{-1} (2 vezes a dose comercial), ocorreu menor produção de massa seca da parte aérea das culturas de trevo branco, cornichão e azevém comparada com testemunha sem aplicação (MARTINS, 2014). Vários são os fatores que interferem na persistência das moléculas do grupo químico das Imidazolinonas no solo, podendo variar conforme o produto, a dose e condições ambientais, principalmente a umidade do

solo, assim, o comportamento dessas moléculas torna-se importante para o sistema de cultivo adotado, pois a disponibilidade de herbicida na solução tem alta correlação com a fitotoxicidade, e conseqüentemente com a produção de massa seca em plantas (LEE et al., 2004).

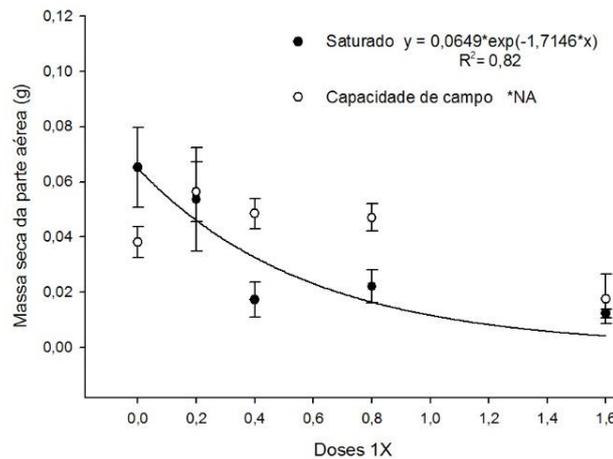


FIGURA 12 – Curva dose-resposta para massa seca da parte aérea de aveia submetida a diferentes doses de imazapyr + imazapic, aos 27 DAE, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo). Itaqui-RS, 2018. *NA: Não ajustado

3.2.1 Residual de imazapyr + imazapic

Na avaliação de fitotoxicidade de plantas de aveia, não houve interação entre umidade e profundidade aos 12 e 20 DAE, porém, aos 26 DAE houve interação para estes fatores (Tabela 1). As duas condições de solo em que foi conduzido o estudo apresentaram valores semelhantes para fitotoxicidade em relação as profundidades, sendo na profundidade de 20 cm maior fitotoxicidade prejudicando o desenvolvimento da aveia.

Para o experimento em solo que tinha recebido aplicação de imazapyr + imazapic, também foi analisado os dados de curva dose-resposta padrão, obtidos através do estudo preliminar, sendo possível quantificar, de modo geral, o residual herbicida no solo após 8 meses da sua aplicação. A análise dos dados foi realizado com base na dose recomendada do produto (140 g ha^{-1}). Com isso, analisando a fitotoxicidade, aos 26 DAE, para a condição de solo saturado nos 20 cm de profundidade, foi observado que após 8 meses da aplicação, temos em média residual herbicida de $18,3 \text{ g ha}^{-1}$, ou seja, após 8 meses da aplicação, temos no solo 0,13 vezes da dose aplicada. Já para a condição de capacidade de campo nos 20

cm de solo, foi observado residual de 42 g ha^{-1} , ou seja, 0,3 vezes da dose aplicada inicialmente. Após ter quantificado o residual herbicida no solo, percebe-se que no solo na CC nos 20 cm de solo obteve-se maior residual herbicida, explicando assim a maior fitotoxicidade encontrada nessa condição e nessa profundidade testada. Diferentemente, em solo saturado nos 10 cm de profundidade, a avaliação de fitotoxicidade mostrou, com base na curva dose-resposta padrão, residual de $8,5 \text{ g ha}^{-1}$, ou seja, 0,06 vezes a dose recomendada aplicada. Para CC nos 10 cm de profundidade, o residual foi maior, de 24 g ha^{-1} , ou seja, 0,17 vezes a dose aplicada que foi de 140 g ha^{-1} . Após ter quantificado o residual na profundidade de 10 cm, independente da condição do solo, o menor residual encontrado influenciou nos menores valores de fitotoxicidade observados, quando comparados a profundidade de 20 cm.

Foi realizado a quantificação do residual herbicida com base nas avaliações de estatura e MSPA, no entanto, os valores não apresentaram representatividade. Assim, dentre as três variáveis avaliadas no estudo, a fitotoxicidade apresentou dados representativos em termos de comparação, e, mesmo sendo realizada por um pesquisador, de maneira visual, adotando critérios pessoais, ela apresentou resultados aceitáveis tratando-se da quantificação de residual herbicida no solo, quando comparado com avaliação de estatura e MSPA de plantas de aveia.

Avaliando imazetapir + imazapic, foi identificado que 80 a 90% do produto aplicado se concentra entre 10 e 20 cm do perfil do solo, permanecendo nessa faixa por longos períodos (LOUX & REESE, 1993). Além disso, na condição de CC a fitotoxicidade é mais pronunciada, pois, nos 15 e 20 cm de solo, ela é praticamente o dobro, quando comparamos com os 15 e 20 cm da condição de saturação. Esse resultado contradiz o que se encontra na literatura, que a umidade do solo seria um fator importante na disponibilidade das imidazolinonas, no entanto, herbicidas desse grupo químico são caracterizados por sofrer rápida degradação de suas moléculas pela radiação de luz, fenômeno esse conhecido por fotólise (GROHS et al., 2008). Logo, os resultados de fitotoxicidade na condição de saturação podem ser atribuídos a esse fenômeno, que já foi tema de estudo de alguns autores. Em estudo, foi quantificado que 45% do imazaquin e 52% do imazethapyr (herbicidas do grupo das imidazolinonas) foram dissipados em solo arenoso/argiloso úmido em até 48 horas, já em condições de solo arenoso/argiloso seco ou na capacidade de campo, a dissipação dos herbicidas após 48 horas foi menor que 10% (CURRAN et al., 1992),

inferindo que na condição de solo saturado, as moléculas herbicidas podem ter sofrido essa degradação, diminuindo o residual no solo, tendo menor efeito fitotóxico na aveia.

TABELA 1 - Fitotoxicidade (%) de aveia, com residual de imazapyr + imazapic no solo, de acordo com diferentes profundidades no perfil seguido de duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo), aos 26 DAE. Itaqui-RS, 2018.

Profundidade (cm)	imazapyr + imazapic				
		Saturado		Capacidade de campo	
5	A	4,70	b	A	4,83
10	A	4,83	b	A	7,25
15	B	7,08	b	A	13,20
20	B	10,54	a	A	20,91
CV (%)		68,76			

Médias seguidas por letras distintas, maiúscula na linha, e minúscula na coluna, diferem pelo teste DMS de Fischer ($F \leq 0,05$).

Para o fator umidade, não houve diferença para fitotoxicidade em condições de solo saturado e na CC aos 12 DAE, podendo a fitotoxicidade de imazapyr + imazapic em plantas de aveia não apresentar diferença conforme condições de umidade do solo na fase inicial das plantas. Já, aos 20 DAE, houve diferença para essa variável conforme diferentes condições de solo (FIGURA 13), onde na condição de CC a fitotoxicidade foi maior quando comparada a condição de saturação. Quando o solo se encontra com alta umidade, geralmente, o herbicida potencializa sua ação na planta, no entanto, com a presença da umidade, a planta pode diminuir a metabolização do herbicida, podendo recuperar seu desenvolvimento e reduzir efeito fitotóxico do herbicida, explicando o fato das plantas de aveia em condição de solo saturado ter apresentado menor fitotoxicidade quando comparada ao solo na CC aos 20 DAE. Estudando a toxicidade de imazethapyr + imazapic em plantas de azevém, os maiores valores observados foram nos máximos níveis de umidade do solo, possivelmente pela maior disponibilidade herbicida na solução do solo (AVILA et al., 2010).

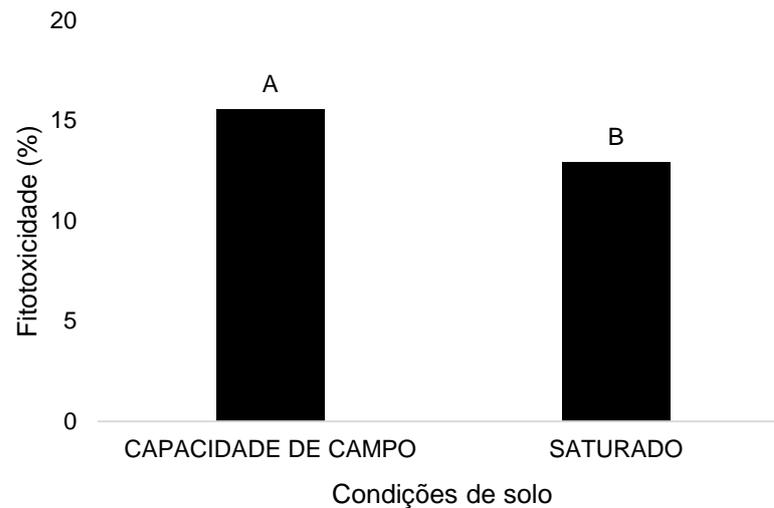


FIGURA 13 – Fitotoxicidade de aveia em solo com residual de imazapyr + imazapic, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo), aos 20 DAE. Itaqui-RS, 2018. *NS: Não significativo pelo teste DMS de Fischer ($F \leq 0,05$).

Para a variável fitotoxicidade, ocorreu diferença entre as profundidades do solo (FIGURA 14). Nas duas primeiras épocas de avaliação, a fitotoxicidade foi semelhante, sendo que maior valor em percentagem foi verificado na profundidade de 20 cm. Em todas as profundidades, a fitotoxicidade aos 20 DAE foi menor quando comparada aos 12 DAE, isso pode explicar pela recuperação das plantas no passar dos dias, fazendo com que a fitotoxicidade não fosse tão acentuada, e, provavelmente pelo maior tempo de recuperação da planta, as quais podem ter emitido novas estruturas vegetativas, ter recuperado seu desenvolvimento e metabolizado o herbicida, diminuindo seu efeito fitotóxico na planta. Após 8 meses da aplicação de imazapyr + imazapic, foi na camada superficial do solo onde se encontrou as menores fitotoxicidade, tanto aos 12 quanto aos 20 DAE, principalmente, porque nessa camada, a ação de micro-organismos é maior, e conseqüentemente ocorre maior degradação das moléculas herbicida. Nas camadas superficiais, é onde ocorre os maiores teores de matéria orgânica, essa, fornecendo energia e nutrientes para os micro-organismos que degradam as moléculas herbicida, elevando assim a concentração deles nessas camadas (INOUE et al., 2008). Tendo em vista que a principal forma de degradação de Imidazolinonas no solo é a partir de micro-organismos, e, esses têm relação indireta com a profundidade do solo, onde quanto maior a profundidade, menor vai ser a sua ocorrência, isso torna o herbicida menos sujeito ao processo de degradação,

possibilitando maior residual no ambiente e causando maior supressão no desenvolvimento de plantas em profundidades maiores (BUNDT et al., 2010).

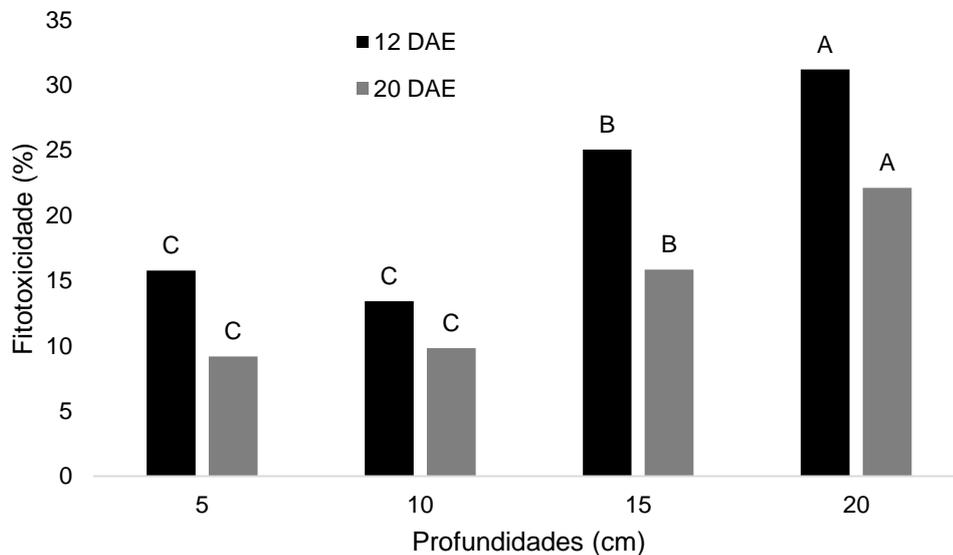


FIGURA 14 – Fitotoxicidade de aveia em solo com residual de imazapyr + imazapic, conforme diferentes profundidades de solo, aos 12 e 20 DAE. Itaqui-RS, 2018.

Para variável estatura de plantas de aveia, não houve interação entre umidade x profundidades, havendo apenas diferença de forma isolada em ambos fatores. Para umidade, nas duas épocas de avaliação, ocorreu diferença (FIGURA 15), e na condição de saturação as plantas atingiram maior estatura, evidenciando que o residual do herbicida é menor, quando comparado ao solo na CC. O resultado para estatura em diferentes condições de solo para imazapyr + imazapic foram semelhantes ao encontrado no estudo anterior desse trabalho, apresentando-se contra a hipótese desse estudo, e contradizendo informações da literatura, em que a umidade do solo seria um fator importante na disponibilidade das Imidazolinonas para as plantas. De forma semelhante especificado anteriormente nessa pesquisa (FIGURA 6), o resultado observado para imazapyr + imazapic pode ser explicado pelo fenômeno da Hormese, onde o baixo residual herbicida presente no solo após 8 meses da aplicação, possibilitou a absorção de baixas doses do mesmo pelas plantas, estimulando o desenvolvimento do vegetal ao invés de inibir, entendendo porque plantas em solo saturado apresentaram maior estatura. Plantas de azevém cultivadas em solo com alto teor de umidade apresentaram maior redução de estatura de plantas em comparação com as cultivadas em solo com baixa umidade (AVILA et al., 2010), possivelmente pela maior biodisponibilidade do residual

herbicida na solução do solo, proporcionando efeitos tóxico nas plantas, afetando o desenvolvimento, e conseqüentemente altura de plantas (LEE et al., 2004).

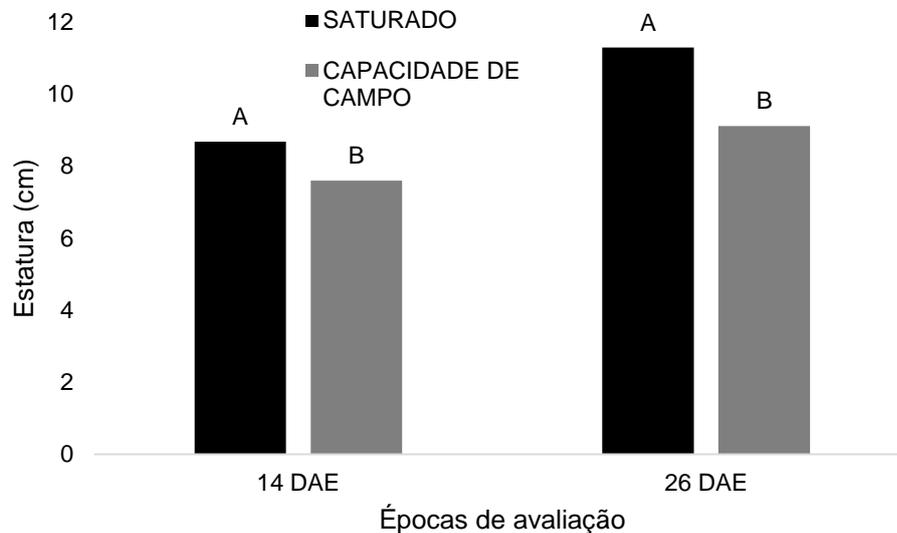


FIGURA 15 – Estatura média de aveia em solo com residual de imazapyr + imazapic, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo), aos 14 e 26 DAE. Itaqui-RS, 2018.

Ainda para a variável estatura, houve diferença para o fator profundidade (FIGURA 16) aos 14 e 26 DAE. A estatura apresentou menores valores conforme aumento das profundidades. A maior estatura foi observada nas menores profundidades, ficando esse, mais restrito nas profundidades de 15 e 20 cm, onde o residual herbicida atua de forma pronunciada comprometendo o crescimento da aveia. Portanto, para as duas épocas de avaliação, a estatura diminuiu de forma semelhante conforme o aumento da profundidade. Regiões que apresentam solos mal drenados, são caracterizados por ter lençol freático próximo a superfície, fazendo com que nas maiores profundidades ocorra maior acúmulo de umidade, deixando essa região em condições de anaerobiose durante boa parte do ano. Tendo em vista que a principal via de degradação das imidazolinonas é a degradação microbiana, e ela é promovida por micro-organismos aeróbicos (FLINT & WITT, 1997), isto estaria contribuindo para a permanência de maior residual herbicida em maiores profundidades, pelo fato da degradação ser mínima, sendo isso ilustrado pela menor estatura de plantas de aveia observada nos 20 cm de profundidade avaliado.

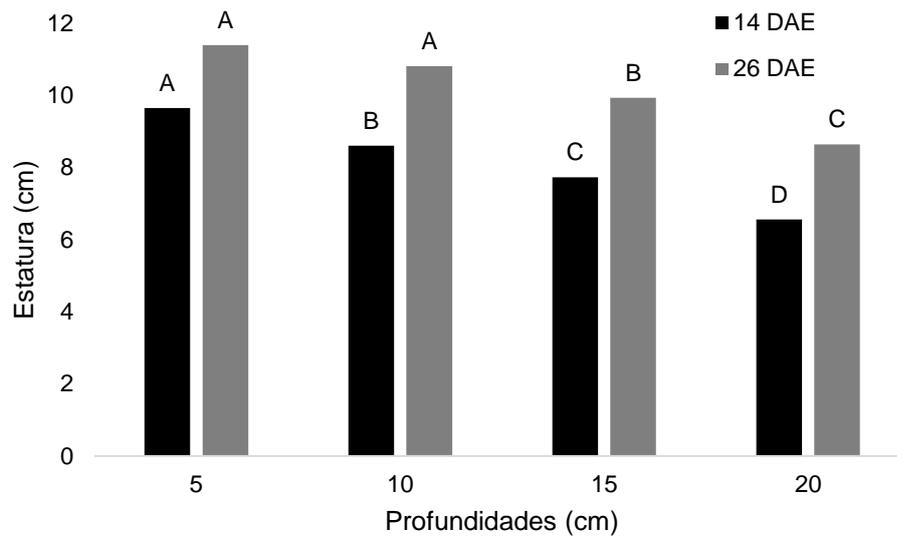


FIGURA 16 – Estatura média de aveia em solo com residual de imazapyr + imazapic, conforme diferentes profundidades de solo, aos 14 e 26 DAE. Itaqui-RS, 2018.

A massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de aveia, não apresentou interação significativa entre umidade x profundidades, no entanto, para umidade isoladamente apresentou diferença (FIGURA 17), onde a condição de saturação apresentou maior estatura das plantas quando comparada com a capacidade de campo. Nesse sentido, pode-se levantar hipótese de, que nessa condição o desenvolvimento das plantas não fica limitado pelo residual herbicida no solo. O resultado obtido vai contra a hipótese desse trabalho, onde esperava-se que na condição de saturação, o herbicida estaria mais disponível na solução, vindo a afetar a produção de massa nas plantas de aveia. Plantas de azevém submetidas ao residual de imazethapyr + imazapic, cultivadas em solo com menor teor de água apresentaram menores reduções de massa seca, quando comparadas as plantas cultivadas em solo saturado (AVILA et al., 2010). Após 8 meses da permanência do herbicida no solo, acredita-se que o mesmo se apresente em quantidade inferior quando comparada à dose inicialmente aplicada, e isso, pode ter afetado positivamente o acúmulo de massa seca das plantas, através do fenômeno da hormese (VELINI et al., 2008), já discutido nesse trabalho (FIGURA 8), onde em solo com residual de imazethapyr, também observou-se maior incremento de massa seca na condição de solo saturado.

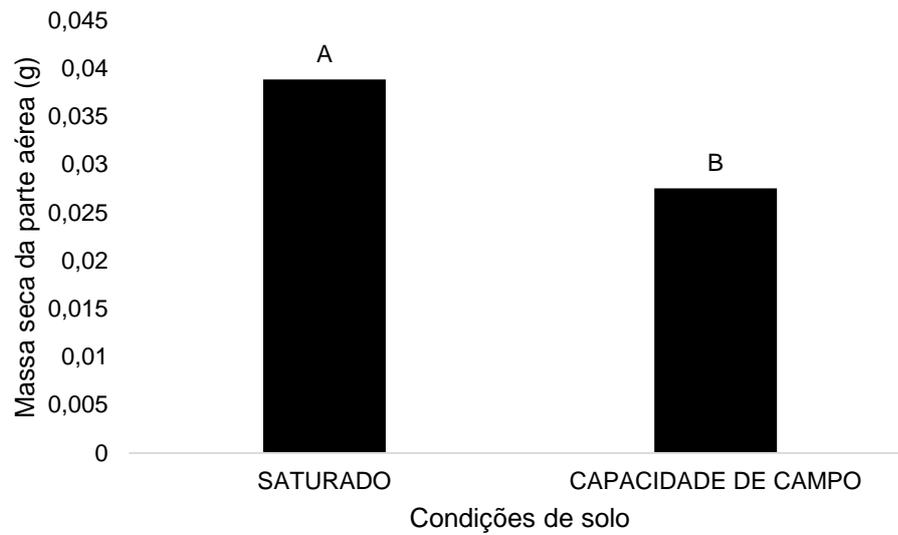


FIGURA 17 - Massa seca de parte aérea de aveia, em solo com residual de imazapyr + imazapic, em duas condições de solo (saturado, e na capacidade de campo), aos 27 DAE. Itaqui-RS, 2018.

4. CONCLUSÕES

4.1 imazethapyr

Em solo saturado, após 1 ano e 2 meses da aplicação, contém em média 95,4 g i.a. de residual herbicida no solo; já, em solo na capacidade de campo, contém 242,7 g i.a. de residual herbicida.

Aos 20 cm de profundidade no solo, há residual de aproximadamente 183 g i.a., já nos 10 cm o residual é de aproximadamente 58,7 g i.a., indicando que as moléculas herbicida posicionam-se em maior quantidade na profundidade de 20 cm.

Maiores valores de fitotoxicidade são observados em solo na condição de capacidade de campo, onde na profundidade de 20 cm quantificou-se maior residual herbicida, causando menor estatura e massa seca de plantas de aveia. De maneira geral, quando se compara diferentes condições de umidade, observa-se que solo saturado propicia maior estatura e massa seca de parte aérea, quando comparado com o solo em capacidade de campo.

Na fitotoxicidade observada na cultura da aveia, para essa condição de estudo, verifica-se que após 1 ano e 2 meses do herbicida ter sido aplicado, existe moléculas de imazethapyr no solo, e estas, prejudicam desenvolvimento de plantas de aveia.

4.2 imazapyr + imazapic

Há diferença nos valores residuais nas diferentes profundidades de solo, onde solo saturado nos 20 cm de profundidade, após 8 meses da aplicação de imazapyr + imazapic, contém em média 18,3 g ha⁻¹ de residual herbicida; já, o solo em capacidade de campo nos 20 cm de profundidade, contém 42 g ha⁻¹ de residual herbicida no solo. Diferentemente dos 20 cm, solo saturado nos 10 cm de profundidade, contém 8,5 g ha⁻¹; já, o solo na capacidade de campo nos 10 cm de profundidade, contém 24 g ha⁻¹ de residual herbicida no solo

Para fitotoxicidade os dados de residual herbicida no solo são representativos, possibilitando verificar que a umidade presente no solo interfere significativamente na ação de herbicidas sobre as plantas, onde solo na capacidade de campo apresenta maior valor para a variável fitotoxicidade. Como reflexo da

maior fitotoxicidade na CC, observa-se maior estatura e massa seca de plantas de aveia na condição de solo saturado.

Para fitotoxicidade na cultura da aveia, após 8 meses do herbicida ter sido aplicado, existe moléculas de imazapyr + imazapic no solo, que prejudicam o desenvolvimento de plantas.

5. REFERÊNCIAS

AMARAL, A. S.; SILVEIRA JUNIOR, P. Efeitos de herbicidas na emergência do arroz e controle de plantas daninhas. **Lavoura Arrozeira**, v. 32, p. 35-37, 1979.

AVILA, L. A. et al. Efeito da umidade do solo na sorção e disponibilidade de imazetapir em três solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 26., 2005, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2005. p.190-193.

AVILA, L. A. Red rice control and resistance, and environmental fate: Imazethapyr adsorption and availability in three soils as affected by soil moisture content. 2005. 81 f. **Dissertation (Doctor of Philosophy)** - Texas A&M University, Texas, 2005.

AVILA, L. A. et al. Toxicidade da mistura formulada de imazethapyr e imazapic sobre o azevém em função do teor de umidade do solo. **Planta Daninha**, v.28, p.1097-1106, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Brasil projeções do agronegócio 2011/2012 a 2021/2022**. Brasília, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Mercado Interno, 2015**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/arroz>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

BUNDT, A. D. C. et al. Profundidade de localização do herbicida imazetapir + imazapic no solo sobre a fitotoxicidade em plantas de arroz não resistente. **Ciência Rural**, v. 40, p. 1867-1873, 2010.

BUNDT, A. D. C. et al. Carryover of imazethapyr + imazapic on ryegrass and non-tolerant rice as affected by thickness of soil profile. **Planta Daninha**, v. 33, p. 357–364, 2015.

CALABRESE, E. J.; BALDWIN, L. A. Applications of hormesis in toxicology, risk assessment and chemotherapeutics. **Trends in Pharmacological Sciences**, v. 23, p. 331-337, 2002.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A cultura do arroz**. Brasília: Conab, 2015. 180 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_03_01_16_56_00_a_cultura_do_arroz_-_conab.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2017.

CURRAN, W. S. et al. Photolysis of imidazolinone herbicides in aqueous solution and soil. **Weed Science**, v. 40, p. 143-148, 1992.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 3ed., 2013. 353 p.

FLECK, N. G. et al. Características de plantas de cultivares de arroz irrigado relacionadas à habilidade competitiva com plantas concorrentes. **Planta Daninha**, v.21, p.97-104, 2003.

FLINT, J. L.; WITT, W. W. Microbial degradation of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, v. 45, p. 586-591, 1997.

FRANCHINI, J. C. et al. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, v. 92, p. 18-29, 2007.

GROHS, M. et al. Residual da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic em solo de várzea sobre azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) cultivado em sucessão ao arroz tolerante. **Ciência Rural**, v. 38, p. 1754-1757, 2008.

INOUE, M. H. Lixiviação e degradação de diuron em dois solos de textura contrastante. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, p. 631-638, 2008.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ (IRGA). **As 10 cultivares mais plantadas no Rio Grande do Sul - Safra 2016/17**. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/upload/20170321160530cultivares_rs_2016_17.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2018.

JOURDAN, S. W. et al. Imazethapyr bioactivity and movement in soil. **Weed Science**, v. 46, p. 608-613, 1998.

KARAM, D. **Efeito residual dos herbicidas aplicados na cultura da soja no milho safrinha em sucessão**. In: Seminário nacional de milho safrinha, Campinas, SP, Brasil. Campinas: Instituto Agrônomo, 2005. 175-180.

KRAEMER, A. F. et al. Lixiviação do imazethapyr em solo de várzea sob dois sistemas de manejo. **Ciência Rural**, v.39, p.1660-1666, 2009.

KRAEMER, A. F. Residual da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic em áreas de arroz sob diferentes manejos de solo. 2008. 63 f. **Dissertação (Mestrado)** – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

LEE, D. J. et al. Soil characteristics and water potential effects on plant-available clomazone in rice. **Weed Science**, v. 52, p. 310-318, 2004.

LI, T. et al. Uncertainties in predicting rice yield by current crop models under a wide range of climatic conditions. **Global Changes Biology**, v. 21, p. 1328-1341, 2015.

LOUX, M. M.; REESE, K. Effect of soil type and pH on persistence and carryover of imidazolinone herbicides. **Weed Technology**, v.7, p.452-458, 1993.

MANCUSO, A. C. M.; NEGRISOLI, E.; PERIN, L. Efeito residual de herbicida no solo (“Carryover”). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, p. 151-164, 2011.

MARTINS, K. P. Atividade de herbicidas do grupo químico imidazolinonas na integração lavoura-pecuária. 2014. 86 f. **Dissertação (Mestrado)** – Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

MENEZES, V. G. et al. Red rice (*Oryza sativa*) resistant to the herbicides imidazolinones. **Planta Daninha**, v.27, p.1047-1042, 2009.

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, p.1633-1644, 2007.

RAIMONDI, M. A. Determinação da curva dose-resposta e atividade residual de herbicidas aplicados em pré-emergência utilizados na cultura do algodoeiro para o controle de *Amaranthus* E *Portulaca oleracea*. 2009. 101 f. **Dissertação (Mestrado)** – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

RENNER, K. A. et al. Imazethapyr at different rates and timings in drill-and water-seeded imidazolinone residues in soil. **Weed Technology**, v. 18, p. 223-227, 2004.
RIDDEL, P. J.; GUJJA, B. A. Partnership response to the water resource implications of expected increases in irrigated rice production. **4th International Temperate Rice Conference**, 2007, Novara, Italy. p. 6-7, 2007.

SILVA, A. A. et al. Efeito residual no solo dos herbicidas imazamox e imazethapyr para as culturas de milho e sorgo. **Planta Daninha**, v. 17, p. 345-354, 1999.

SOSBAI. **Arroz Irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil** / XXX Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado, 06 a 08 de agosto de 2014, Bento Gonçalves, RS, Brasil. Santa Maria: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Santa Maria, 2014. 192p.

SOUZA, P. R.; FISCHER, M. M. Arroz vermelho: danos causados à lavoura gaúcha. **Lavoura Arrozeira**, v.39, p.19-20, 1986.

SPACKMAN, V. M.; COBB, A. H. Cell cycle inhibition of potato root tips treated with imazethapyr. **Annals Applied Biology**, v. 135, p. 585-587, 1999.

USDA/FAS. **Grain: world markets and trade**. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2017.
VELINI, E. D. et al. O. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest Management Science**, v. 64, p. 489-96, 2008.

VERNETTI JUNIOR, F. et al. Arroz irrigado em sucessão a milho e soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3.; REUNIÃO DA CULTURA

DE ARROZ IRRIGADO, 25., 2003, Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2003. p.246-247.

VILLA, S. C. C. Arroz tolerante a Imidazolinonas: controle de arroz-vermelho, persistência de herbicidas e fluxo gênico. 2006. 53 f. **Dissertação (Mestrado)** – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, v.38, p.1184-1192, 2008.

ZHANG, W. et al. Effect of moisture on efficacy of imazethapyr in greenhouse. **Weed Technology**, v.15, p.355-359, 2001.

ZHANG, W.; WEBSTER, E. P.; BRAVERMAN, M. P. Rice (*Oryza sativa*) response to rotational crop and rice herbicide combinations. **Weed Technology**, v. 16, p. 340-345, 2002.