

Respostas morfofisiológicas de cultivares de trigo à aplicação de sais de 2,4-D amina e colina

Morphophysiological responses of wheat cultivars to the application of 2,4-D amine and choline salts

Andrei W. Bedin^a, Leandro Galon^{a*}, Daniel C. Cavaletti^a, Daiani Brandler^b, Sabrina N. Weirich^a, Victor M. Senhori^a, Leonardo do Amarante^a, Gismael F. Perin^a

^aLaboratório Manejo Sustentável dos Sistemas Agrícolas, Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim, Rio Grande do Sul, Brasil.

^bPrograma de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, Paraná, Brasil.

Resumo: Introdução: O 2,4-D é produzido em algumas formulações que podem apresentar diferenças de seletividade às culturas.

Objetivo: Objetivou-se com o trabalho avaliar os efeitos da aplicação dos sais de 2,4-D amina e colina na morfofisiologia de cultivares de trigo.

Métodos: O experimento foi conduzido no delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial, com quatro repetições. No fator A alocou-se a testemunha sem herbicida, o 2,4-D amina e o colina, e no B as cultivares de trigo (ORS 1403, ORS Citrino, ORS Madre Pérola, TBIO Toruk, TBIO Energia, TBIO Audaz, TBIO Sonic e TBIO Sossego). Aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) foi avaliado a fitotoxicidade dos herbicidas ao trigo. A concentração interna de CO₂, condutância estomática, taxa de transpiração e fotossintética, eficiência no uso da água e da carboxilação foram aferidas aos 26 DAT. Aos 30 DAT determinou-se área foliar (AF) e a massa seca da parte aérea (MS) do trigo.

Resultados: A fitotoxicidade ocasionada pelos sais de 2,4-D sobre o trigo foram baixas, sendo o sal colina o que apresentou os menores efeitos. A cultivar TBio Toruk apresentou melhor desempenho fisiológico após o uso do 2,4-D amina. A cultivar TBIO Sonic não demonstrou redução de acúmulo de MS e de AF ao se usar os sais de 2,4-D. Os dois sais de 2,4-D apresentaram maior MS nas cultivares ORS 1403 e ORS Madre Pérola.

Conclusões: Os sais de 2,4-D amina e colina foram seletivos para a maioria das cultivares de trigo avaliadas.

Abstract: Background: 2,4-D is prepared in some formulations that may show differences in selectivity for cultures.

Objective: The objective of this work was to evaluate the effects of the application of 2,4-D amine and choline salts on the morphophysiology of wheat cultivars.

Methods: The experiment was conducted in a randomized block design, in a factorial scheme, with four replicates. In factor A, the control without herbicide, 2,4-D amine and choline were allocated, and in factor B, the wheat cultivars (ORS 1403, ORS Citrino, ORS Madre Pérola, TBIO Toruk, TBIO Energia, TBIO Audaz, TBIO Sonic and TBIO Sossego). At 7, 14 and 21 days after the application of the treatments (DAT), the phytotoxicity of the herbicides to wheat was evaluated. Internal CO₂ concentration, stomatal conductance, transpiration and photosynthetic rate, water use efficiency and carboxylation were measured at 26 DAT. At 30 DAT, leaf area (AF) and shoot dry mass (DM) of wheat were determined.

Results: Phytotoxicity in wheat caused by 2,4-D salts was low, with choline salt having the least effect. The cultivar TBio Toruk showed better physiological performance after the application of 2,4-D amine. The cultivar TBIO Sonic showed no reduction in MS and AF accumulation when 2,4-D salts were applied. Both 2,4-D salts showed higher DM in the cultivars ORS 1403 and ORS Madre Pérola.

Conclusions: The 2,4-D amine and choline salts were selective for most of the evaluated wheat cultivars.

Palavras-chave: ácido diclorofenoxiacético, cereal de inverno, *Triticum aestivum*.

Keywords: dichlorophenoxyacetic acid, winter cereal, *Triticum aestivum*.

Journal Information:

ISSN: 2763-8332

Website: <https://www.weedcontroljournal.org/>

Jornal da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas

Como citar: Bedin AW, Galon L, Cavaletti DC, Brandler D, Weirich SN, Senhori VM, Amarante L, Perin GF. Respostas morfofisiológicas de cultivares de trigo à aplicação de sais de 2,4-D amina e colina. Weed Control J. 2022;21:e202200797.

<https://doi.org/10.7824/wcj.2022;21:00797>

Aprovado por:

Editor-Chefe: Daniel Valadão Silva

Editor Associado: Guilherme Braga Pereira Braz

Conflitos de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesses em relação à publicação deste manuscrito.

Recebido: Junho 23, 2022

Aprovado: Novembro 10, 2022

* Corresponding author:

<leandro.galone@gmail.com>



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Copyright: 2022

1. Introdução

A produtividade do trigo pode sofrer efeitos em função de diversos fatores, como por exemplo, a cultivar escolhida, o nível tecnológico adotado, as condições ambientais e também a interferência das plantas daninhas (Tavares et al., 2019). As plantas daninhas quando não controladas ocasionam elevadas perdas na qualidade e na quantidade dos grãos produzidos por competirem com a cultura por recursos do meio como nutrientes, água, luz e espaço (Galon et al., 2019). Ainda no tocante a interferência exercida pelas plantas daninhas, estas podem liberar substâncias alelopáticas e servirem como hospedeiras para pragas e doenças (Mariani et al., 2016). Estima-se que as plantas daninhas são capazes de reduzir a produtividade do trigo em valores variando de 18 até 82%, além de aumentar os custos de produção e diminuir o lucro do triticultor (Galon et al., 2019; Tavares et al., 2019; Barros e Calado, 2020).

Desta maneira o manejo das plantas daninhas é uma das práticas culturais que precisam ser empregadas de forma eficiente com o objetivo de minimizar as perdas ocasionadas pelas mesmas (Tavares et al., 2019). Como método de controle da comunidade infestante, destaca-se o químico por meio de herbicidas, devido a praticidade, eficiência e o menor custo quando comparados a outras formas de manejo (Galon et al., 2015; Mariani et al., 2016). No entanto, o uso intensivo e muitas vezes de forma inadequada do método químico, proporciona a seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes à herbicidas (Mariani et al., 2016; Galon et al., 2019).

O 2,4-D é um dos herbicidas mais utilizados para o controle de plantas daninhas eudicotiledôneas, sendo recomendado para aplicação em pós-emergência do trigo (Franco e Evangelista, 2018; AGROFIT, 2022). O 2,4-D pertence ao mecanismo de ação dos mimetizadores de auxinas (Mortensen et al., 2012),

apresentando como característica, à alta eficácia, baixo custo, seletividade à gramíneas e é uma opção para o controle de plantas daninhas resistentes a outros mecanismos de ação (Miller e Norsworthy, 2016). Além de herbicida hormonal, o 2,4-D é conhecido como regulador de crescimento e auxina sintética, pois em baixas concentrações, promove efeitos fisiológicos e bioquímicos similares aos do ácido indol-3-acético (AIA), principal auxina natural presente nas plantas (Mortensen et al., 2012).

As aplicações muito precoces de 2,4-D podem exercer efeitos diretos e indiretos no crescimento e desenvolvimento da cultura do trigo, em especial se utilizado fora do estágio recomendado (surgimento do primeiro nó visível) (Barros e Calado, 2020). As deformações morfológicas visualizadas devido a baixa seletividade do 2,4-D no trigo estão relacionadas a menor estatura de plantas, folhas enroladas e espigas defeituosas e bifurcadas, ou seja, redução no tamanho, menor número de grãos por espiga, além de maior número de grãos estéreis (Rodrigues et al., 2006). Além de ocasionar interferência nos componentes de rendimento, o 2,4-D pode ocasionar alterações nos processos fisiológicos e metabólicos das plantas, causar sintomas de intoxicação e desregulação dos mecanismos de defesa da planta a determinados fatores estressantes, oxidação celular, alterações na absorção de nutrientes, dentre outros (Agostinetto et al., 2016; Contiero et al., 2016; Alizade et al., 2021).

Por muito tempo o herbicida 2,4-D foi comercializado nas formulações de sal éster e amina, mas pela sua alta volatilidade, a formulação éster não é mais comercializada no Brasil (Contiero et al., 2016). As formulações à base de 2,4-D amina são as mais utilizadas no mundo e dentre essas, as mais comuns são as com sal de dimetilamina (Contiero et al., 2016). A formulação amina é mais solúvel em água, menos volátil, e mais adsorvível ao solo, comparada à formulação éster, requer menor número de horas para atravessar a cutícula da folha (Contiero et al., 2016). Devido à isso, são suscetíveis à deriva após a aplicação, além de serem passíveis à formação de precipitados, se aplicadas com água com elevados teores de cátions (Marcinkowska et al., 2017).

Há uma terceira formulação de 2,4-D desenvolvida recentemente, a formulação sal colina que é um sal de amônia quaternária, apresenta a tecnologia Colex-D® e possui como diferencial a redução do percentual de gotas mais finas, ultrabaixa volatilidade e odor reduzido quando comparada as demais formulações (Sosnoskie et al., 2015; Skelton et al., 2017). A formulação de 2,4-D a partir do sal colina surgiu como uma nova tecnologia capaz de controlar espécies de plantas daninhas resistentes a herbicidas, incluindo o glyphosate (Miller e Norsworthy, 2016).

A seletividade dos herbicidas do mecanismo de ação dos mimetizadores de auxinas ao trigo e a outras gramíneas é dada por mecanismos como a baixa penetração foliar, limitada translocação no floema, insensibilidade no sítio de ação e metabolização desses produtos. Além disso, esta tolerância depende de alguns fatores como a dose aplicada, a interação do herbicida com outros agrotóxicos, o estágio em que a cultura se encontra, as características físico-químicas e formulação dos produtos, as condições ambientais e de solo. O herbicida 2,4-D pode causar prejuízos ao desenvolvimento dos cereais, mesmo quando aplicado em estágio de maior

tolerância destas plantas se estes aspectos não forem levados em consideração (Peterson et al., 2016; Piasecki et al., 2017).

Da mesma forma, cada cultivar de trigo apresenta suas particularidades e portanto, podem apresentar respostas distintas frente à aplicação de herbicidas para controle das plantas daninhas, em função de suas características genéticas diferenciadas como porte, interceptação foliar, volume radicular, área foliar, arquitetura de planta, cerosidade na folha, capacidade de perfilhamento, dentre outras (Peterson et al., 2016; Manuchehri et al., 2017; Piasecki et al., 2017).

Diante do exposto, a hipótese do trabalho é de que plantas de cultivares de trigo podem apresentar respostas diferenciadas em termos de seletividade quando expostas aos diferentes saís de 2,4-D (sal amina ou colina). Sendo assim, objetivou-se com o trabalho avaliar os efeitos da aplicação de saís de 2,4-D amina e colina na morfofisiologia de cultivares de trigo.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim/RS, nas coordenadas geográficas de 27° 43' 26" S, 52° 17' 39" W e altitude de 650 m. O experimento foi conduzido entre os meses de agosto a outubro de 2019.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como Cfa, subtropical úmido (Cemets, 2022). As unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos com capacidade para 8 dm³, preenchidos com solo oriundo de área agrícola, caracterizado por Latossolo Vermelho Aluminoférrico típico, pertencente à unidade de mapeamento Erechim (Santos et al., 2018).

A correção do pH e a adubação do solo foram realizadas de acordo com a análise físico-química e seguindo-se as recomendações técnicas para a cultura (Rolas, 2016). Os demais manejos e tratos culturais realizados seguiram as recomendações técnicas à cultura do trigo e do triticale (Franco e Evangelista, 2018). As características químicas e físicas do solo observadas na análise foram: pH em água de 5,0; MO = 2,35%; P = 2,1 mg dm⁻³; K = 48,0 mg dm⁻³; Al³⁺ = 1,0 cmolc dm⁻³; Ca²⁺ = 4,5 cmolc dm⁻³; Mg²⁺ = 1,6 cmolc dm⁻³; CTC(t) = 6,8 cmolc dm⁻³; CTC(pH = 7,0) = 12,5 cmolc dm⁻³; H+Al = 6,2 cmolc dm⁻³; V = 51%; Argila = 55,9%, Silte = 27,09%, Areia = 17,01% e classe textural argilosa.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial (3x8), com quatro repetições. No fator A alocou-se os diferentes saís de 2,4-D (sal amina e sal colina), acrescido de uma testemunha sem aplicação de herbicidas, e no fator B foram dispostas as cultivares de trigo (ORS 1403, ORS Citrino, TBIO Toruk, TBIO Energia, ORS Madre Pérola, TBIO Audaz, TBIO Sonic e TBIO Sossego). Em cada unidade experimental foram semeadas 10 sementes de trigo, deixando-se 5 plantas por vaso após desbaste. O manejo da irrigação das plantas foi efetuado de forma automática, sendo programado os intervalos de molhamento conforme demanda proporcionado por tensiômetros instalados em vasos plásticos no interior da casa de vegetação.

Os herbicidas 2,4-D amina e 2,4-D colina foram usados na dose de 670 g ha⁻¹ de equivalente ácido, o que resultou na aplicação de 1,00 e 1,46 L ha⁻¹ de DMA® 806 BR (2,4-D amina) e Enlist® Colex-D (2,4-D colina), respectivamente, em pós-emergência do trigo, no estágio de pleno perfilhamento. Para isso foi utilizado um pulverizador costal de precisão, pressurizado a CO₂, equipado com uma ponta de pulverização tipo leque modelo AXI 110.02, sob pressão constante de 2,0 kgf cm⁻² o que proporcionou a vazão de 150 L ha⁻¹ de calda de herbicida.

Aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) foi avaliado a fitotoxicidade imposta pelos herbicidas atribuindo-se notas percentuais, onde zero (0%) significou ausência de injúrias às cultivares de trigo e cem (100%) para a morte das plantas da cultura, de acordo a metodologia proposta por Velini et al. (1995).

Aos 26 DAT foram determinadas as variáveis relacionadas a fisiologia das plantas de trigo, tais como; atividade fotossintética ($A - \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO₂ ($C_i - \mu\text{mol mol}^{-1}$), condutância estomática ($G_s - \text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$), coeficiente de transpiração ($E - \text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), uso eficiente da água ($UEA - \text{mol CO}_2 \text{mol H}_2\text{O}^{-1}$) e eficiência da carboxilação ($EC - \text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A eficiência da carboxilação ($EC - \text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a eficiência do uso da água ($EUA - \text{mol CO}_2 \text{mol H}_2\text{O}^{-1}$) foram calculadas a partir da razão das variáveis A/C_i e A/E , respectivamente. Para a determinação das variáveis fisiológicas utilizou-se um analisador de gases infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCA PRO (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK), sendo que cada bloco foi avaliado em um dia, entre 7 e 11 horas da manhã, de forma que as condições ambientais fossem homogêneas durante as análises.

Aos 30 DAT foi realizada a avaliação da área foliar com um medidor de área foliar LI-3100, Licor, Nebraska, NE, USA. Após a determinação da área foliar as plantas foram acondicionadas em sacos de papel *kraft* e postas em estufa de circulação forçada de ar, a $65 \pm 5^\circ \text{C}$, até a massa atingir peso constante para aferir a massa seca da parte aérea das espécies. A pesagem do material seco em estufa foi realizada em balança analítica de precisão.

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade e aditividade e após a comprovação da normalidade dos erros realizou-se a análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$), sendo significativos foi aplicado o teste de Tukey ($p \leq 0,05$), desdobrando-se os fatores testados (herbicidas x cultivares de trigo) quando significativos, somente para a variável fitotoxicidade de plantas. Para as variáveis fisiológicas, área foliar e massa seca da parte aérea do trigo, mesmo que o experimento tenha sido planejado como fatorial não se comparou as cultivares entre si, pois as mesmas são geneticamente diferentes o que pode confundir a interpretação dos resultados, ou seja, não se saberia se o efeito é dos herbicidas aplicados ou da própria cultivar. As análises foram realizadas no programa Sisvar 5.6 (Ferreira, 2011).

3. Resultados e Discussão

Ocorreu interação significativa entre os fatores testados (herbicidas x cultivares de trigo) para todas as variáveis avaliadas. Observou-se que a fitotoxicidade causada pelos herbicidas, às cultivares de trigo, foram baixas, dos 7 aos 21 DAT, com índice máximo inferior a 10% (Tabela 1). Segundo Velini et al. (1995) esses valores são considerados baixos. Viecelli et al. (2019) observaram que a máxima fitotoxicidade ocasionada pelo 2,4-D na cultivar de trigo OR Vintecino foi de 14,24%, sendo que a cultura conseguiu se recuperar dessa injúria, no decorrer das avaliações. O 2,4-D amina causou injúria máxima de 2,9% quando aplicado em pós-emergência do trigo e sua estatura não reduziu quando comparado a testemunha sem aplicação (Soltani et al., 2006).

Ao se comparar cada cultivar de trigo dentro dos tratamentos denota-se que a ORS Citrino apresentou as menores notas de fitotoxicidade quando submetida à aplicação de 2,4-D sal colina dos 7 aos 21 DAT, sendo inferior ou igual a testemunha (Tabela 1). Fato este que podem estar associado as características da cultivar, como pilosidade, serosidade, além do ângulo inserção da folha, e também com as características do sal (Manuchehri et al., 2017).

Os resultados demonstram ao se avaliar o efeito do 2,4-D amina sobre as oito cultivares de trigo que as maiores fitotoxicidades foram denotadas sobre a TBio Energia em todas as épocas avaliadas, dos 7 aos 21 DAT (Tabela 1). As demais cultivares de trigo apresentam fitotoxicidade inferiores ao observado a TBio Energia ao se aplicar o sal de 2,4-D amina. Isso pode ser explicado pelo fato da cultivar ser utilizada para alimentação animal, onde o melhoramento priorizou provavelmente a produção de biomassa e ter reduzido a capacidade dessa em tolerar alguns herbicidas. As demais cultivares podem ter apresentado menos fitotoxicidade em virtude das formulações amins serem mais solúveis em água e requererem mais tempo para atravessar a cutícula. Desse modo são menos resistentes as possíveis perdas por escurrimento após a aplicação, além de que são suscetíveis à formação de precipitados, se aplicadas com água com elevados teores de cátions (Contiero et al., 2016).

O uso do sal de 2,4-D colina ocasionou maior fitotoxicidade a cultivar Energia ao se comparar com as demais aos 7, 14 e 21 DAT (Tabela 1). As demais cultivares apresentaram em geral fitotoxicidades menores que a Energia. Niu et al. (2018) também observaram em seu estudo que o uso de 2,4-D colina apresentou poucos sintomas de fitotoxicidade na cultura do trigo.

Observou-se ainda que na média geral a fitotoxicidade dos herbicidas, 2,4-D sal amina e sal colina com o passar do tempo foram diminuindo dos 7 aos 21 DAT, ou seja, as plantas de trigo foram recuperando-se dos sintomas dos produtos (Tabela 1). Isso se deve pelo fato que as plantas vão se desenvolvendo e se recuperando dos sintomas de injúrias dos produtos. De acordo com Robinson et al. (2015) as injúrias causadas pelo herbicida 2,4-D são transitórias e por isso podem não afetar a produção final da cultura.

Tabela 1. Fitotoxicidade (%) a cultivares de trigo em função da aplicação de 2,4-D.

Cultivares	Testemunha sem herbicida	2,4-D sal amina	2,4-D sal colina
7 DAT			
ORS 1403	0,0 aB ¹	3,33 cA	3,67 bcA
ORS Citrino	0,0 aC	4,33 bcA	2,50 cB
TBIO Toruk	0,0 aB	5,00 bcA	5,50 aA
TBIO Energia	0,0 aB	6,00 abA	5,50 aA
ORS Madre pérola	0,0 aB	4,33 bcA	4,50 abA
TBIO Audaz	0,0 aC	7,33 aA	4,42 abB
TBIO Sonic	0,0 aB	3,50 cA	4,00 abcA
TBIO Sossego	0,0 aB	3,67 cA	3,00 bcA
CV (%)		28,17	
14 DAT			
ORS 1403	0,0 aB	1,00 dAB	2,50 bcdA
ORS Citrino	0,0 aB	7,00 abA	1,66 cdB
TBIO Toruk	0,0 aB	5,00 bcA	5,75 aA
TBIO Energia	0,0 aC	9,33 aA	3,66 abcB
ORS Madre pérola	0,0 aB	5,00 bcA	0,00 dB
TBIO Audaz	0,0 aB	5,00 bcA	5,00 abA
TBIO Sonic	0,0 aB	2,50 cdA	2,50 bcdA
TBIO Sossego	0,0 aB	4,00 bcdA	4,33 abcA
CV (%)		54,23	
21 DAT			
ORS 1403	0,0 aB	4,33 bA	1,50 cdeB
ORS Citrino	0,0 aA	0,00 dA	0,00 eA
TBIO Toruk	0,0 aB	4,00 bA	3,33 bcA
TBIO Energia	0,0 aC	10,00 aA	7,00 aB
ORS Madre pérola	0,0 aB	3,00 bcA	2,50 bcdA
TBIO Audaz	0,0 aB	2,50 bcA	1,00 de AB
TBIO Sonic	0,0 aA	0,00 dA	0,00 eA
TBIO Sossego	0,0 aB	1,00 cdB	4,33 bcA
C.V (%)		55,32	

¹Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Galon et al. (2015) ao aplicarem herbicidas para o manejo de plantas daninhas infestantes da cultura do trigo, observaram que o uso do 2,4-D causou baixa injúria na cultivar Quartz, sendo que a máxima fitotoxicidade obtida foi de 4,5% aos 7 DAT, e aos 21 DAT já não havia mais sintomas nas plantas. Piasecki et al. (2017) evidenciaram que o herbicida 2,4-D apresentou baixa fitotoxicidade, com níveis inferiores a 5%, quando utilizado em pós emergência do trigo. Esses mesmos autores relatam ainda que a tolerância de plantas ao herbicida 2,4-D envolve a translocação limitada via floema mediada por receptores de auxina (T1R1/AFB) responsáveis por repostas bioquímicas e transcricionais. A proteína T1R1 nas plantas tem a função de percepção do herbicida e na identificação do substrato, além de atuar na regulação da síntese do etileno e do ácido abscísico por meio

da expressão da enzima 9-cis-epoxicaroteno dioxigenase (NCED) no plastídio (Piasecki et al., 2017). Ressalta-se ainda que as plantas tolerantes apresentam rápida hidroxilação da molécula pela P450 e conjugação com aminoácidos, tornando-as insensíveis ao herbicida (Mithila et al., 2011; Piasecki et al., 2017).

Em relação aos resultados expostos para as variáveis, área foliar e massa seca da parte aérea (Tabela 2) e as características fisiológicas (Tabelas 3 e 4) não foram comparadas as cultivares entre si dentro de cada tratamento (testemunha sem herbicida, 2,4-D sal de amina e colina), pois as mesmas são geneticamente diferentes o que pode confundir ou mascarar a interpretação dos resultados, ou seja, não se sabe se o efeito é dos produtos aplicados ou da própria cultivar, conforme já explicado anteriormente.

Tabela 2. Área foliar ($\text{cm}^2 \text{m}^{-2}$) e massa seca da parte aérea (g vaso^{-1}) de cultivares de trigo em função da aplicação de herbicidas.

Cultivares	Testemunha sem herbicida	2,4-D sal amina	2,4-D sal colina
	Área foliar de cultivares de trigo ($\text{cm}^2 \text{m}^{-2}$)		
ORS 1403	1976,77 ^{ns}	1715,03	1935,76
ORS Citrino	2232,86 A	2124,00 A	1792,74 B
TBIO Toruk	1739,87 B	2111,04 A	1640,22 B
TBIO Energia	1744,18 A	1376,20 B	2002,30 A
ORS Madre Pérola	2109,02 A	1750,14 B	1712,01 B
TBIO Audaz	2191,00 A	1632,91 B	1805,52 B
TBIO Sonic	1566,21 ^{ns}	1719,04	1644,79
TBIO Sossego	1593,34 B	2054,31 A	1571,96 B
CV (%)	9,41		
Cultivares	Massa seca da parte aérea de cultivares de trigo (g vaso^{-1})		
ORS 1403	18,93 B	23,30 A	24,18 A
ORS Citrino	26,46 B	34,54 A	20,09 C
TBIO Toruk	26,4 A	22,60 B	24,86 AB
TBIO Energia	23,14 A	19,11 B	18,34 B
ORS Madre Pérola	21,47 B	23,32 AB	26,42 A
TBIO Audaz	24,69 ^{ns}	23,66	22,59
TBIO Sonic	24,89 ^{ns}	27,93	25,33
TBIO Sossego	24,83 A	27,14 A	17,02 B
CV (%)	8,31		

¹Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ns= não significativo.

A área foliar das cultivares ORS 1403 e TBio Sonic e a massa seca da parte aérea das cultivares TBio Audaz e TBio Sonic não foram afetadas pela aplicação dos diferentes tratamentos, ou seja, não houve significância estatística quando essas estiveram na presença da testemunha sem herbicidas e pela aplicação do 2,4-D sal amina e sal colina (Tabela 2). Fatores estes que podem estar relacionados com os valores de fitotoxicidade, bem como a superfície da folha, pois esta tem influência sobre a retenção do herbicida pela planta (Oliveira et al., 2019), podendo assim causar efeitos indiretos sobre a planta.

As cultivares ORS Madre Pérola e TBio Audaz apresentaram maior acúmulo de área foliar para a testemunha sem herbicidas ao se comparar com a aplicação dos saís de 2,4-D amina e colina (Tabela 2). A aplicação do sal de 2,4-D amina ocasionam uma maior área foliar às cultivares de trigo TBio Toruk e TBio Sossego em comparação a testemunha sem herbicidas e o sal colina. O uso do 2,4-D colina demonstrou maior acúmulo de área foliar do trigo somente quando foi aplicado sobre a cultivar TBio Energia, porém igualou-se estatisticamente a testemunha sem herbicida. Esse mesmo sal (colina) apresentou menor área foliar ao ser comparado ao uso do sal de 2,4-D amina para as cultivares de trigo ORS Citrino, TBio Toruk e TBio Sossego. O que pode estar atrelado ao modo como esse herbicida reagiu nessas cultivares, pois o modo de ação do 2,4-D envolve mudanças metabólicas e bioquímicas na planta, agindo nos sistemas enzimáticos carboximetil celulase e RNA polimerase, influenciando na plasticidade da membrana celular e no metabolismo de ácidos nucleicos (Rodrigues e Almeida,

2018).

As cultivares de trigo ORS 1403 e ORS Madre Pérola demonstraram maior acúmulo de massa seca da parte aérea das plantas da cultura ao se aplicar os saís de 2,4-D amina e colina quando comparados a testemunha sem o uso de herbicidas (Tabela 2). O menor acúmulo de massa seca da parte aérea foi observado ao se usar o sal colina em relação aos demais tratamentos para as cultivares ORS Citrino e TBio Sossego. A cultivar TBio Energia foi a única que apresentou a menor massa seca da parte aérea quando se aplicou os dois saís de 2,4-D sobre a mesma em comparação a testemunha sem uso de herbicidas. As demais cultivares demonstram comportamentos diferenciados em relação ao uso dos tratamentos avaliados.

Em soja, Silva et al. (2019) ao aplicarem doses próximas a 13 g ha^{-1} de e.a. de 2,4-D sal amina em plantas no estágio V4, verificaram maior quantidade de massa seca o que proporcionou incremento na produtividade da cultura, devido ao efeito de *hormesis* que o herbicida promoveu na cultura, fato esse que também pode ter ocorrido nas cultivares que apresentaram maior acúmulo de massa seca da parte aérea no presente estudo.

Ao se avaliar a aplicação dos tratamentos sobre a cultivar de trigo TBio Toruk observou-se os maiores valores para a concentração interna de CO_2 (Ci), condutância estômática (Gs), atividade fotossintética (A) e eficiência de carboxilação (EC) na presença do herbicida 2,4-D sal amina em comparação a testemunha sem herbicida e o 2,4-D colina (Tabelas 3 e 4). As demais variáveis E e uso eficiente da água (UEA) sobre essa mesma cultivar e mesmos tratamentos não

houve efeito significativo. O que pode estar relacionado com o estresse que o herbicida causou nessas cultivares. Agostinetto et al. (2016) ao estudarem as alterações na fotossíntese e estresse oxidativo em plantas de trigo submetidas à aplicação de herbicidas, observaram redução da transpiração, condutância estomática e taxa fotossintética na

cultura ao aplicarem os herbicidas metribuzin, metsulfuron-methyl e 2,4-D. Para o iodosulfuron apenas a variável taxa fotossintética diferenciou-se do controle, sendo esse fato atribuído a redução ao estresse que os herbicidas causaram nas plantas de trigo (Agostinetto et al., 2016).

Tabela 3. Concentração interna de CO_2 ($\text{Ci} - \mu\text{mol mol}^{-1}$), condutância estomática ($\text{Gs} - \text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$) e coeficiente de transpiração ($\text{E} - \text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em cultivares de trigo submetidas à aplicação de 2,4-D.

Cultivares	Testemunha sem herbicida	2,4-D sal amina	2,4-D sal colina
	Concentração interna de CO_2 ($\text{Ci} - \mu\text{mol mol}^{-1}$)		
ORS 1403	262,49 AB	252,24 B	274,91 A
ORS Citrino	297,33 A	253,91 B	241,33 B
TBIO Toruk	248,49 B	274,74 A	257,66 AB
TBIO Energia	265,58 ^{ns}	254,33	276,66
ORS Madre Pérola	260,25 ^{ns}	248,58	254,08
TBIO Audaz	268,16 ^{ns}	260,74	252,16
TBIO Sonic	262,08 ^{ns}	264,76	281,08
TBIO Sossego	256,50 ^{ns}	249,58	252,16
CV (%)	5,09		
Cultivares	Condutância Estomática ($\text{Gs} - \text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$)		
ORS 1403	0,14 ^{ns}	0,0675	0,105
ORS Citrino	0,1375 ^{ns}	0,075	0,0875
TBIO Toruk	0,0525 B	0,26 A	0,07 B
TBIO Energia	0,1975 A	0,0825 B	0,17 A
ORS Madre Pérola	0,145 A	0,045 A	0,055 B
TBIO Audaz	0,0725 ^{ns}	0,0975	0,1075
TBIO Sonic	0,18 B	0,06 C	0,18 B
TBIO Sossego	0,15 ^{ns}	0,0875	0,12
CV (%)			
Cultivares	Transpiração ($\text{E} - \text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)		
ORS 1403	3,02 ^{ns}	2,73	3,23
ORS Citrino	2,17 B	2,93 A	2,00 AB
TBIO Toruk	1,35 ^{ns}	3,10	2,37
TBIO Energia	3,05 A	3,49 A	1,26 B
ORS Madre Pérola	1,68 ^{ns}	2,55	2,11
TBIO Audaz	3,62 A	2,36 B	2,75 AB
TBIO Sonic	3,51 A	1,94 B	2,62 AB
TBIO Sossego	1,79 B	1,99 AB	3,01 A
CV (%)	27,73		

¹Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ^{ns} = não significativo.

Tabela 4. Atividade fotossintética (A - $\mu\text{mol mol}^{-1}$), uso eficiente da água (UEA - $\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$) e eficiência de carboxilação (EC - $\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em cultivares de trigo submetidas à aplicação de 2,4-D.

Cultivares	Testemunha sem herbicida	2,4-D sal amina	2,4-D sal colina
	Atividade Fotossintética (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		
ORS 1403	8,99 AB	7,92 B	11,56 A
ORS Citrino	4,25 ns	5,98	5,71
TBIO Toruk	3,49 B	12,53 A	4,56 B
TBIO Energia	14,08 A	5,00 B	8,32 B
ORS Madre Pérola	6,53 ns	3,58	5,09
TBIO Audaz	9,96 AB	10,76 A	7,21 B
TBIO Sonic	11,03 B	6,73 C	16,07 A
TBIO Sossego	4,05 B	7,32 B	11,58 A
CV (%)	25,91		
Cultivares	Uso eficiente da água (UEA - $\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$)		
ORS 1403	4,38 A	2,41 B	2,18 B
ORS Citrino	2,09 B	2,09 B	3,54 A
TBIO Toruk	2,14 ns	2,32	1,69
TBIO Energia	3,01 A	1,78 B	1,90 B
ORS Madre Pérola	2,90 A	1,80 B	1,78 B
TBIO Audaz	2,82 ns	2,26	2,18
TBIO Sonic	2,64 ns	1,88	2,49
TBIO Sossego	2,05 ns	2,12	2,40
CV (%)	22,60		
Cultivares	Eficiência da carboxilação (EC - $\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		
ORS 1403	0,03425 ns	0,03725	0,04575
ORS Citrino	0,01725 B	0,03175 A	0,01675 B
TBIO Toruk	0,014 B	0,054 A	0,018 B
TBIO Energia	0,0515 A	0,018 B	0,008 B
ORS Madre Pérola	0,026 ns	0,014	0,016
TBIO Audaz	0,035 AB	0,04475 A	0,02975 B
TBIO Sonic	0,042 B	0,035 B	0,057 A
TBIO Sossego	0,024 B	0,03 B	0,04875 A
CV (%)	24,26		

¹Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).
ns = não significativo.

Ao se analisar os parâmetros fisiológicos das cultivares de trigo observou-se que ORS Citrino apresentou maior Ci na testemunha sem aplicação de herbicidas quando comparada aos dois sais de 2,4-D (amina e colina) (Tabela 3). As cultivares ORS 1403 e TBio Toruk demonstraram a maior e a menor Ci na presença dos sais colina e amina, respectivamente. Para as demais cultivares não se encontrou efeito significativo ao se comparar a testemunha sem herbicidas e os sais de 2,4-D amina e colina. A planta quando está sobre condições de estresse tende a fechar os estômatos para diminuir a perda de água, assim consequentemente reduz a fotossíntese (Alizade et al., 2021). A aplicação de 2,4-D ocasionou redução na condutância estomática na cultura do trigo (Agostinetto et al., 2016), fato que pode estar atrelado a cultivar utilizada no estudo, ser mais sensível a aplicação do herbicida.

A Gs foi maior para o uso do 2,4-D amina sobre a

cultivar TBio Toruk ao se comparar com os demais tratamentos (testemunha sem herbicida e 2,4-D colina). Já o uso do mesmo sal de 2,4-D nas cultivares TBio Energia e TBio Sonic demonstrou os menores valores de Gs. O sal de 2,4-D colina demonstrou maior Gs que o 2,4-D amina ao ser aplicado sobre as cultivares TBio Energia, TBio Sonic, porém igualou-se estatisticamente a testemunha sem uso de herbicidas. O uso do 2,4-D amina apresentou comportamento similar a testemunha sem uso de herbicidas para a cultivar ORS Madre Pérola, ambos os tratamentos foram superiores a aplicação do sal de 2,4-D colina. As demais cultivares não apresentaram efeito ao se usar os diferentes tratamentos (Tabela 3).

A Gs está diretamente ligada com a entrada e saída de água e CO_2 pelos estômatos; desta maneira, quanto menor for a sua abertura, maior será a resistência estomática e consequente ocorrerá diminuição da transpiração (Alizade et

al., 2021). Com base nisso e considerando que as avaliações foram efetuadas aos 26 DAT, é possível que o metabolismo da planta possa ter se recuperado das injúrias, degradando o herbicida e assim não ter apresentado diferenças nos parâmetros fisiológicos. Resultados similares aos do presente estudo foram relatados por Alizade et al. (2021) ao trabalharem com diferentes herbicidas nas culturas da aveia e da cevada.

A menor transpiração (E) do trigo foi observado para a testemunha sem aplicação de herbicidas às cultivares ORS Citrino e TBio Sossego em comparação ao uso dos sais de 2,4-D amina e colina (Tabela 3). A melhor resposta, ou seja, menor E foi observado as cultivares TBio Audaz e TBio Sonic ao se aplicar o 2,4-D amina e o uso do 2,4-D colina demonstrou melhor efeito somente à cultivar TBio Energia ao se comparar os tratamentos entre si para cada cultivar de trigo em que foram usados. As demais cultivares não demonstraram alterações do E independentemente do tratamento aplicado. Sugerindo assim que os sais possam ter causado um pequeno estresse, mas que até o momento da avaliação (26 DAT) elas já tinham se recuperado dos sintomas, dados esse que diferem dos encontrados por Agostinetto et al. (2016).

As cultivares ORS 1403, TBio Sonic e TBio Sossego demonstram maior A ao se aplicar o sal colina, quando comparado aos demais tratamentos (testemunha sem herbicida e o sal amina). A aplicação do sal de 2,4-D colina apresentou maior A para as cultivares TBio Toruk e TBio Audaz ao se comparar com a testemunha sem herbicida e o 2,4-D colina. Somente a cultivar TBio Energia demonstrou A melhor que a aplicação dos dois sais de 2,4-D.

As demais cultivares não apresentaram efeito ao se usar os diferentes tratamentos. Tanto a fotossíntese bem como a respiração, dependem de um fluxo constante de CO₂ e O₂ na célula, e esse fluxo é livre, dependendo da concentração de gás nos espaços intercelulares (Alizade et al., 2021). Desta maneira observou-se que os sais não causaram efeitos sobre a atividade fotossintética, dados esses que diferem dos encontrados por Wang e Liu (2007) onde a aplicação de 2,4-D em trigo reduziu a taxa fotossintética.

A EUA pelas plantas de trigo demonstrou melhor efeito quando não se aplicou os sais de 2,4-D, ou seja, uso da testemunha sem herbicidas nas cultivares ORS 1403, TBio Energia e ORS Madre Pérola (Tabela 4). O sal de 2,4-D colina apresentou maior EUA ao ser aplicado na cultivar ORS Citrino em relação a testemunha sem herbicida e o sal 2,4-D amina. Não houve efeito significativo ao se aplicar os tratamentos sobre as demais cultivares de trigo. Fato este que pode ter relação com a superfície foliar, pois nela existem dois tipos de cera: a do formato cristalino, a qual é dominante em espécies gramíneas e a do formato amorfo, presente na maior parte das espécies de folhas largas, sendo que o formato cristalino é considerado um obstáculo para a

absorção de herbicidas, pois ele impede que a gota e a superfície foliar entrem em contato direto (Wang e Liu, 2007).

Observou-se que a cultivar TBio Energia apresentou maior EC do que todas as demais cultivares quando não foi aplicado nem um herbicida sobre a mesma (Tabela 4). A aplicação do 2,4-D sal amina sobre a TBio Audaz demonstrou maior EC que o uso do 2,4-D colina, porém os dois sais para essa cultivar igualaram-se a testemunha sem aplicação. Os resultados demonstram efeito positivo ao se usar o sal de 2,4-D amina nas cultivares de trigo ORS Citrino e TBio Toruk ao se comparar com a testemunha sem herbicida e o 2,4-D Colina. O uso do sal de 2,4-D colina demonstrou maior EC ao ser aplicado sobre as cultivares TBio Sonic e TBio Sossego ao se comparar com os demais tratamentos. Isso se deve pelo fato que o 2,4-D colina permanece maior tempo em estado aquoso, permitindo assim maior absorção (Wang e Liu, 2007).

No geral os sais não apresentaram elevadas injúrias às cultivares, porém o sal amina demonstrou maior fitotoxicidade que o colina, desta maneira pode-se destacar que o uso do sal colina se torna viável pelo fato de além de ser menos volátil e causar menor problema de deriva, não compromete o desenvolvimento da cultura.

4. Conclusões

A fitotoxicidade ocasionada pelos sais de 2,4-D amina e colina sobre as cultivares de trigo foram baixas. Em geral o 2,4-D sal amina apresenta maior fitotoxicidade nas cultivares de trigo em relação ao 2,4-D sal colina. As cultivares ORS Citrino e a TBIO Sonic apresentam baixa fitotoxicidade ao se aplicar os dois sais de 2,4-D.

O maior acúmulo de massa seca do trigo foi obtido com a aplicação dos sais de 2,4-D (amina e colina) nas cultivares ORS 1403 e ORS Madre Pérola. A aplicação do 2,4-D sal amina apresenta maior área foliar quando usado na cultivar de trigo TBio Toruk.

A cultivar TBIO Sonic não apresenta redução de acúmulo de massa seca da parte aérea e nem de área foliar ao se aplicar os sais de 2,4-D.

A cultivar de trigo TBio Toruk apresenta melhor desempenho fisiológico (Ci, Gs, A e EC) ao se aplicar o herbicida 2,4-D sal amina e sem efeito para o E e UEA.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

Referências

Agostinetto D, Perboni LT, Langaro AC, Gomes J, Fraga DS, Franco JJ. Changes in photosynthesis and oxidative stress in wheat plants submitted to herbicides application. *Planta Daninha*. 2016; 34(1): 1-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582016340100001>

AGROFIT/Mapa. 2022. Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários - Consulta Aberta. Disponível em: </// www.agrofit.agricultura.gov.br/agrofit/>. Acesso em: 17/10/2022.

Alizade S, Keshtkar E, Mokhtasi-Bidgoli A, Sasanfar H,

- Streibig JS. Effect of drought stress on herbicide performance and photosynthetic activity of *Avena sterilis* subsp. *Ludoviciana* (winter wild oat) and *Hordeum spontaneum* (wild barley). *Weed Research*. 2021; 61 (4):288–297.
- Barros J, Calado J. Rotação de herbicidas em trigo para prevenir a resistência das infestantes em condições Mediterrâneas. *Revista de Ciências Agrárias*. 2020; 43(1): 3-13. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10174/28320>.
- CEMETRS - Centro Estadual de Meteorologia, 2022. “Atlas climático do Rio Grande do Sul”. Disponível em: <http://www.r3pb.com.br/AtlasCemetRS/>. Acesso em: 22/06/2022.
- Contiero RL, Biffe DF, Constantin J, Oliveira Jr. RS, Braz GBP, Lucio FR, et al. Effects of nozzle types and 2, 4-D formulations on spray deposition. *Jour. of Envir. Scien. and Health, Part B*. 2016; 51(12): 888-893. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03601234.2016.1241640>
- Ferreira DF. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*. 2011; 35(6): 1039-1042. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- Franco FA, Evangelista, A. Informações técnicas para trigo e triticales – safra 2018, XI Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticales, Cascavel, Pr, Comissão de Pesquisa de Trigo e Triticales. 2018. 258 p.
- Galon L, Castoldi CT, Forte CT, Kujawski R, David FA, Perin GF. Efficacy and phytotoxicity of herbicides applied for the handling of weeds that infest wheat. *Rev. Bras. Herb*. 2015; 14(2): 128-140. Disponível em: <https://doi.org/10.7824/rbh.v14i2.405>
- Galon L, Basso FJM, Chechi L, Pilla TP, Santin CO, Bagnara MAM, et al. Weed interference period and economic threshold level of ryegrass in wheat. *Bragantia*. 2019; 78 (3):409-422. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20180426>
- Manuchehri MR, Dotray PA, Keeling JW. Enlist TM weed control systems for Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) management in Texas high plains cotton. *Weed Technol*. 2017; 31(6): 793-798. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/wet.2017.55>
- Marcinkowska K, Praczyk T, Gawlak M, Niemczak M, Pernak J. Efficacy of herbicidal ionic liquids and choline salt based on 2,4-D. *Crop Prot*. 2017; 98: 85-93. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.03.011>
- Mariani F, Vargas L, Agostinetto D, Nohatto MA, Langaro AC, Duarte TV. Valor adaptativo e habilidade competitiva de azevém resistente e suscetível ao iodosulfuron em competição com o trigo. *Pesq. Agrop. Bras*. 2016; 51(6): 710-719. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000600002>
- Miller MR, Norsworthy JK. Evaluation of herbicide programs for use in a 2, 4-D-resistant soybean technology for control of glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*). *Weed Technol*. 2016; 30 (2): 366-376. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WT-D-15-00129.1>
- Mithila J, Hall CJ, Johnson WG, Kelley KB, Riechers DE. Evolution of resistance to auxinic herbicides: historical perspectives, mechanisms of resistance, and implications for broadleaf weed management in agronomic crops. *Weed Sci*. 2011; 59 (4): 445-457. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00062.1>
- Mortensen DA, Egan JF, Maxwell BD, Ryan MR, Smith RG. Navigating a critical juncture for sustainable weed management. *BioScience*. 2012; 62(1): 75-84. Disponível em: <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.12>
- Niu J, Zhang Z, Tang J, Tang G, Yang J, Wang W, et al. Dicationic Ionic liquids of herbicide 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid with reduced negative effects on environment. *J. Agric. Food Chem*. 2018; 66 (40): 10362-10368. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b02584>
- Oliveira RB, Precipito LMB, Gandolfo MA, de Oliveira JV, Lucio FR. Effect of droplet size and leaf surface on retention of 2, 4-D formulations. *Crop Prot*. 2019;119: 97-101. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.01.015>
- Peterson MA, McMaster SA, Riechers DE, Skelton J, Stahlman PW. 2, 4-D past, present, and future: a review. *Weed Technol*. 2016; 30(2): 303-345. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WT-D-15-00131.1>
- Piasecki C, Bilibio MI, Fries H, Cechin J, Schmitz MF, Henckes JR, et al. Seletividade de associações e doses de herbicidas em pós emergência do trigo. *Rev. Bras. Herb*. 2017;16(4): 286-295. Disponível em: <https://doi.org/10.7824/rbh.v16i4.562>
- Robinson MA, Letarte J, Cowbrough MJ, Sikkema PH, Tardif FJ. Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) response to herbicides as affected by application timing and temperature. *Can. J. Plant Sci*. 2015; 95(2): 325-333. Disponível em: <https://doi.org/10.4141/cjps-2014-109>
- Rodrigues O, Marchese JA, Vargas L, Velloso JAO, Rodrigues RCS. Efeito da aplicação de herbicida hormonal em diferentes estádios de desenvolvimento de trigo (*Triticum aestivum* L. Cvs. Embrapa 16 e BR 23). *Rev. Bras. Herb*. 2006; 5(1): 51-29. Disponível em: <https://doi.org/10.7824/rbh.v5i1.41>
- Rodrigues BN, Almeida FS de. Guia de Herbicidas. 7. ed. Londrina: Iapar, 2018. 764 p.
- ROLAS - Rede oficial de laboratórios de análise de solo e de tecido vegetal. Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul: Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016.

Santos HG dos, Jacomine PKT, Anjos LHC dos, Oliveira VA de, Lumbreras JF, Coelho MR, et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 353 p.

Silva JRO, Marques JNR, Godoy CVC, Batista LB, Silva AA, Ronchi CP. 2, 4-D Hormesis effect on soybean. *Planta Daninha*. 2019; 37: e019216022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100146>

Skelton JJ, Simpson DM, Peterson MA, Riechers DE. Biokinetic analysis and metabolic fate of 2,4-D in 2,4-D-resistant soybean (*Glycine max*). *J. Agric. Food Chem.* 2017; 65(29):5847-5859. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00796>

Soltani N, Shropshire C, Sikkema PH. Responses of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) to autumn applied post-emergence herbicides. *Crop Prot.* 2006; 25(4): 346-349. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.05.012>

Sosnoskie LM, Culpepper AS, Braxton LBo, Richburg JS. Evaluating the volatility of three formulations of 2,4-D when applied in the field. *Weed Technol.* 2015; 29: 177-184. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WT-D-14-00128.1>

Tavares LC, Lemes ES, Ruchel Q, Westendorff NR, Agostinetto D. Criteria for decision making and economic threshold level for wild radish in wheat crop. *Planta Daninha*. 37: e019178898, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100004>

Velini ED, Osipe R, Gazziero DLP. Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina: SBCPD, 1995. 42 p.

Viecelli M, Pagnoncelli Jr. FB, Trezzi MM, Cavalheiro BM, Gobetti RCR. Response of wheat plants to combinations of herbicides with insecticides and fungicides. *Planta Daninha*. 2019; 37; e019187012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100068>

Wang CJ, Liu ZQ. Foliar uptake of pesticides present status and future challenge. *Pest. Bioch. and Phys.* 2007;87(1)1-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2006.04.004>