

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE AGRONOMIA**

GISIANE EICHELBERGER DOS SANTOS

**CONTROLE DE GIBERELA E PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO EM PLANTAS
DE TRIGO TRATADAS COM SILÍCIO**

CERRO LARGO

2023

GISIANE EICHELBERGER DOS SANTOS

**CONTROLE DE GIBERELA E PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO EM PLANTAS
DE TRIGO TRATADAS COM SILÍCIO**

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

Orientador: Prof.^a Dr.^a Juliane Ludwig

CERRO LARGO

2023

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Santos, Gisiane Eichelberger dos
Controle de giberela e promoção de crescimento em
plantas de trigo tratadas com silício / Gisiane
Eichelberger dos Santos. -- 2023.
52 f.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Juliane Ludwig

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

1. Triticum aestivum L. 2. Fusarium graminearum. 3.
Micotoxinas. 4. Elemento benéfico.. I. Ludwig, Juliane,
orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III.
Título.

GISIANE EICHELBERGER DOS SANTOS

**CONTROLE DE GIBERELA E PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO EM PLANTAS
DE TRIGO TRATADAS COM SILÍCIO**

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

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 06/02/2023.

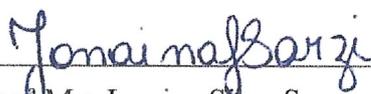
BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Dr.^a Juliane Ludwig – UFFS
Orientadora



Prof. Dr. Nerison Luis Poersch – UFFS
Avaliador



Eng.^a Agr.^a M.e Janaina Silva Sarzi – UFSM
Avaliador

AGRADECIMENTOS

A Deus por me permitir chegar até mais esta etapa, por me dar forças e nunca me deixar desistir, mesmo nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, Rosani Eichelberger dos Santos e José Dinar dos Santos, que sempre me apoiaram e incentivaram nos estudos e, apesar de tudo, sempre me ajudaram da maneira que podiam nesta caminhada.

Aos meus irmãos, Gilvani Eichelberger dos Santos e Gilnei Eichelberger dos Santos, onde o primeiro que sempre esteve presente do meu lado ao longo desta graduação, contribuindo e ajudando nas atividades de campo e laboratório e, ao segundo, por sempre estar disposto a ajudar no que fosse preciso.

A minha colega e amiga, Thaís Boesing Lermer, pelos anos de amizade ao longo da graduação, pelas contribuições e ajuda ao longo do experimento, tornando possível a finalização deste trabalho.

A todos os meus amigos que de alguma forma trouxeram leveza para os momentos difíceis.

Aos professores da Universidade Federal da Fronteira Sul, pelos ensinamentos ao longo da graduação.

A Prof.^a Dr.^a Juliane Ludwig, por me apresentar a área da Fitopatologia ao longo do curso, pela qual me encantei e pela orientação, ideias e incentivos na realização deste trabalho.

Meu muito obrigado a todos!

Eu sei que às vezes dar vontade de parar
Mas, se você desistir, quem vai lutar por você?

Tanta luta pra chegar até aqui
Tanta história pra agora desistir?
Caso aconteça, deixe o cansaço pra trás
E nunca se esqueça: por aqui não há tarde demais

Então mire as estrelas e salte o mais alto que der
Tome distância, e faça o melhor que puder
[...]

(Mire as estrelas – Rosa de Saron)

RESUMO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) está entre um dos cereais mais produzidos no mundo. No entanto, nas regiões de maior produção, este cereal é acometido por muitas doenças, sendo a principal delas a giberela, causada pelo fungo *Gibberella zeae* (Schw) Petch. (anamorfo *Fusarium graminearum* Schwabe). O silício (Si) é considerado um elemento benéfico para as plantas, apresentando resultados positivos em relação à proteção contra estresses bióticos e abióticos. Deste modo, este trabalho possui o objetivo de avaliar o efeito do Si no controle da giberela e na promoção de crescimento em plantas de trigo. O experimento foi conduzido em vasos, cada um contendo duas plantas, em casa de vegetação na Área Experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Cerro Largo. O delineamento experimental utilizado foi o Delineamento Inteiramente Casualizado em fatorial 2x4, com dois produtos comerciais à base de silício (Pontency® e SiliAgro®) em quatro formas de aplicação (Testemunha, via foliar, via solo e Foliar + Solo). Na fase de florescimento do trigo, realizou-se a inoculação da espiga principal de cada planta com o patógeno causador da giberela por meio de uma suspensão calibrada para a concentração de 5×10^4 conídios mL⁻¹. As variáveis analisadas foram incidência e severidade da giberela, altura de plantas, número de espigas, massa seca da parte aérea e, apenas nas espigas inoculadas, o número de espiguetas, número de grãos e peso de grãos. Os resultados mostraram que, de maneira geral, não ocorreram diferenças significativas entre os produtos comerciais. Para a forma de aplicação Foliar + Solo, ocorreu uma redução na severidade da giberela e, também apresentou plantas mais altas. Para as outras variáveis não ocorreram diferenças significativas.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L.; *Fusarium graminearum*; micotoxinas; elemento benéfico.

ABSTRACT

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is among the most widely produced cereals in the world. However, in the regions of higher production, this cereal is affected by many diseases, the main one being gibberella, caused by the fungus *Gibberella zeae* (Schw) Petch. (anamorph *Fusarium graminearum* Schwabe). Silicon (Si) is considered a beneficial element for plants, showing positive results regarding protection against biotic and abiotic stresses. Thus, this work aims to evaluate the effect of Si in the control of gibberellosis and in growth promotion in wheat plants. The experiment was conducted in pots, each containing two plants, in a greenhouse at the Experimental Area of the Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Cerro Largo. The experimental design used was the Completely Randomized Design in 2x4 factorial scheme, with two commercial silicon-based products (Pontency® and SiliAgro®) in four forms of application (Witness, foliar, soil and Foliar + Soil). In the blooming phase of wheat, the main ear of each plant was inoculated with the pathogen that causes gibberellosis using a suspension calibrated for a concentration of 5×10^4 conidia mL⁻¹. The variables analyzed were gibberellosis incidence and severity, plant height, number of ears, dry mass of the aerial part and, only in the inoculated ears, the number of spikelets, number of grains and grain weight. The results showed that, in general, there were no significant differences between the commercial products. For the Foliar + Soil application, there was a reduction in the severity of gibberellosis and also showed taller plants. For the other variables there were no significant differences.

Keywords: *Triticum aestivum* L.; *Fusarium graminearum*; mycotoxins; beneficial element.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - A) Sintomas em espigas de trigo com espiguetas afetadas por giberela e aristas desviadas. B) Espiguetas descoloridas, apresentando sinais com cor salmão, correspondendo à fase assexual de <i>F. graminearum</i>	21
Figura 2 - Sementes de trigo em diferentes estádios de desenvolvimento, chochos, enrugados, de coloração parda e rosada, infectadas por <i>F. graminearum</i>	22
Figura 3 - Escala visual para a estimativa da severidade, em porcentagem, da giberela em trigo, proposta por Stack e McMullen (1989) <i>apud</i> Lima (2016).....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limite máximo tolerado (LMT) de micotoxinas em grãos de trigo e seus derivados, estabelecido pela Anvisa, na Instrução Normativa nº 88/2021.....	19
Tabela 2 - Dados da análise de solo utilizado da Área Experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Cerro Largo, 2022.....	29
Tabela 3 - Quadrado médio (QM), coeficiente de variação (CV), graus de liberdade (GL) e média geral das variáveis analisadas em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema bifatorial com dois produtos comerciais em quatro formas de aplicação, Cerro Largo, 2023.....	34
Tabela 4 - Comparação das médias para as variáveis de incidência (IN), severidade (SE), altura de plantas (AP) e número de espigas (NE) analisadas em DIC em esquema bifatorial com dois produtos comerciais em quatro formas de aplicação, Cerro Largo, 2023.....	36
Tabela 5 - Comparação das médias das variáveis de número de espiguetas da espiga (NETE), número de grãos da espiga (NGE), peso dos grãos da espiga (PGE), e massa seca da parte aérea (MSPA) analisadas em DIC em esquema bifatorial com dois produtos comerciais em quatro formas de aplicação, Cerro Largo, 2023.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AFL	Aflatoxinas
AP	Altura de Plantas
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
DON	Desoxinivalenol
IN	Incidência
MSPA	Massa Seca da Parte Aérea
NE	Número de Espigas
NETE	Número de Espiguetas da Espiga
NGE	Número de Grãos da Espiga
PGE	Peso dos Grãos da Espiga
SE	Severidade
Si	Silício
UFFS	Universidade Federal da Fronteira Sul
ZEA	Zearalenona

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1	CULTURA DO TRIGO.....	14
2.2	MICOTOXINAS.....	15
2.2.1	Principais micotoxinas presentes nos alimentos.....	16
2.2.1.1	Aflatoxinas (AFL).....	16
2.2.1.2	Desoxinivalenol (DON).....	17
2.2.1.3	Ocratoxina A (OCRA).....	17
2.2.1.4	Zearalenona (ZEA).....	17
2.2.1.5	Fumonisinias.....	18
2.2.2	Micotoxinas no trigo.....	18
2.2.3	Limites de micotoxinas nos alimentos.....	18
2.3	GIBERELA.....	20
2.4	SILÍCIO.....	22
2.5	CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS.....	24
2.6	CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE TRIGO.....	25
2.7	SILÍCIO EM TRIGO.....	25
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1	LOCALIZAÇÃO.....	28
3.2	TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	28
3.3	PREPARO E MANEJO DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS.....	28
3.4	CULTIVAR DE TRIGO.....	29
3.5	FONTES DE SILÍCIO E DOSAGENS.....	30
3.6	PERÍODOS E MODO DE APLICAÇÃO.....	30
3.7	OBTENÇÃO DO PATÓGENO.....	31
3.8	INOCULAÇÃO DO PATÓGENO.....	31
3.9	AVALIAÇÕES.....	31
3.9.1	Incidência e severidade da giberela.....	31
3.9.2	Aspectos de crescimento e desenvolvimento.....	32
3.10	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
	REFERÊNCIAS.....	42
	ANEXO A - FORMULAÇÃO DOS PRODUTOS COMERCIAIS.....	50

1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) tornou-se um dos cereais mais produzidos no mundo. Amplos estudos em melhoramento genético favoreceram seu cultivo tanto em regiões de clima desértico, em alguns países do Oriente Médio, quanto em regiões de altos índices de precipitação, como na China e Índia. (NETO; SANTOS, 2017).

De acordo com a Conab (2022) a região Sul do Brasil concentra a maior produção de trigo do país. O Brasil possui clima quente e úmido (SILVA, *et al.*, 2015) e por isso é comum nestas regiões a ocorrência de muitas doenças associadas à cultura. Além disso, a garantia da permanência dos restos culturais com a adoção do sistema de plantio direto e a ausência de invernos rigorosos, favorece o ciclo de vida dos patógenos (TIBOLA; FERNANDES, 2020).

A principal doença que afeta o trigo em todas as regiões de produção do mundo é a giberela, causada por *Gibberella zeae*, de forma assexuada *Fusarium graminearum*. Seus sintomas tornam as espiguetas com coloração parda, de aspecto cor palha, com grãos chochos, deformados e de baixo peso. Além disso, o patógeno da giberela está relacionado à presença de micotoxinas nos grãos e derivados de trigo, sendo a Desoxinivalenol (DON) a principal delas (LIMA; TIBOLA, 2016). Também conhecida como vomitotoxina, quando ingerida por humanos e animais em doses altas, ela causa náuseas, vômitos e diarreia (MACHADO *et al.*, 2017).

Atualmente, a melhor forma de controlar a giberela é através de práticas integradas como uso de cultivares mais resistentes, rotação de culturas, alternância de época e escalonamento da semeadura e, o controle químico pela aplicação de fungicidas (SANTANA, *et al.*, 2021). Métodos de manejo integrado de doenças incluem também o uso de produtos alternativos, como por exemplo o silício (Si).

O Si é o segundo elemento mais abundante na litosfera perdendo somente para o oxigênio. Para as plantas, o silício não é considerado essencial, mas quando absorvido, principalmente por cereais, apresenta-se como um elemento benéfico. Seu acúmulo nas células tornam as plantas mais eretas, melhorando a disposição das folhas e tornando caules resistentes ao acamamento, o que proporciona menor sombreamento e taxas fotossintéticas maiores. (MALAVOLTA, 2006).

Menegale *et al* (2015) destaca que o acúmulo de silício nas paredes celulares reduz as taxas de transpiração da planta, tornando-a menos exigente em água e mais resistente às secas. Além disso, para Malavolta (2006), o depósito de Si nas células também serve de barreira

estrutural como proteção contra a infecção de fungos fitopatogênicos e ataque de insetos sugadores.

Em arroz, Zanão Júnior, Fontes e Ávila (2009) utilizaram aplicações via foliar e no solo de Si para aumentar a resistência da cultura à mancha parda (*Bipolaris oryzae*). Os resultados se mostraram eficientes para a resistência contra o patógeno e maiores teores de Si nas folhas das plantas foram observados somente na aplicação via solo.

Em trigo, Dominiciano *et al.* (2010) avaliou o efeito do Si em relação ao progresso da mancha marrom causada por *Bipolaris sorokiniana*. Nos resultados obtidos, pode-se observar um efeito positivo em relação à resistência da doença e também, ao avaliar a concentração de Si na folha bandeira, foi encontrando uma concentração de 90,5% nas plantas tratadas.

Em relação ao uso de Si à resistência da giberela, os experimentos mostram-se eficientes tanto para a redução da incidência, quanto na severidade da doença. Além disso, o elemento se apresenta como um incremento para a produção, destacando aspectos positivos em relação aos atributos de promoção de crescimento, como altura de plantas, massa seca e massa de hectolitro da cultura. (MORELLO *et al.*, 2017; MARTIN, *et al.*, 2020; JÚNIOR *et al.*, 2018).

Atualmente, a forma mais comum de controlar as doenças é através de produtos químicos, de alto custo financeiro e, que provocam problemas ambientais. O uso de produtos a base de silício tem se mostrado um grande aliado no controle de patógenos, além de proporcionar outros benefícios às plantas. Diante disto, o objetivo deste trabalho foi de avaliar a incidência e severidade da giberela e aspectos de promoção de crescimento em plantas de trigo, tratadas com produtos comerciais à base de silício, em diferentes vias de aplicação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTURA DO TRIGO

O trigo pertence à família das *Poaceae*, do gênero *Triticum* e, entre as muitas espécies utilizadas, a mais comum no mundo todo é a *Triticum aestivum*. Acredita-se que o trigo tem sua origem de gramíneas silvestres que se desenvolviam próximas aos rios Tigre e Eufrates, na Ásia (SCHEEREN; CASTRO; CAIERÃO, 2015). O cereal começou a ser cultivado na área do Crescente Fértil, na Mesopotâmia, no período de 10.000 a. C., e passou a se espalhar pelo mundo. No Brasil, foi introduzido em 1534, no entanto, o clima quente dificultou o desenvolvimento da cultura. Nos séculos XVIII e XIX, houve uma nova tentativa, mas a alta incidência de ferrugens destruiu as plantações. Somente no século passado, com uma nova retomada dos cultivos, nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná, a cultura tomou rumo para grandes produções (BIOTRIGO, 2022).

A utilização deste cereal é muito ampla. Sendo empregado na alimentação humana como na produção de farinhas, macarrão, biscoitos, bolos etc., na elaboração de produtos não alimentícios em misturas adesivas, colas, misturas para impressão, embalagens solúveis ou comestíveis, álcool, antibióticos, vitaminas, fármacos, cosméticos, entre outros. Além disso, ainda é utilizado na alimentação animal, na composição de rações, produção de forragens ou até mesmo grão inteiro (DE MORI; IGNACSAK, 2011).

Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2022), a produção mundial de trigo na safra 2021/22 chegou a 779,032 milhões de toneladas, utilizando uma área de 222,212 milhões de hectares para a produção, sendo que os cinco maiores produtores do cereal são a União Europeia, China, Índia, Rússia e Estados Unidos. Neste período, estes países também foram considerados os maiores consumidores totalizando juntos, 438,054 milhões de toneladas.

No Brasil, a cultura do trigo, no ano de 2021, se desenvolveu em 2,7 milhões de hectares, produzindo 7,68 milhões de toneladas de trigo. A maior produção está concentrada na região Sul do país, principalmente nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná, a qual foi responsável por produzir, aproximadamente, 7 milhões de toneladas do grão, em uma área um pouco inferior a 2,5 milhões de hectares. Para a safra de 2022 há uma expectativa de aumento de 5,9 % na produção, totalizando 8,13 milhões de toneladas em todo Brasil e, de 4,7 % na produção total da região Sul (CONAB, 2022).

Conforme dados levantados pela USDA (2022), o consumo de trigo no Brasil é de 11,8 milhões de toneladas. Apesar de a demanda ser maior que a oferta interna, o país ainda vende para outros países o trigo que é produzido aqui (COÊLHO, 2021). Em 2021 foram exportadas 1,08 milhões de toneladas para países como Arábia Saudita, Indonésia, Vietnã e Coreia do Sul. Em contrapartida, para suprir a demanda interna, nesse mesmo ano o Brasil importou 6,21 milhões de toneladas de trigo, sendo os maiores fornecedores a Argentina, o Paraguai e o Uruguai (MDCI, 2021 *apud* ABITRIGO 2021).

De acordo com Coêlho (2021) não há um consenso sobre a qualidade do trigo brasileiro ser inferior ao do importado. Uma matéria do jornal Gazeta do Povo (2015) destaca que o Brasil só exporta trigo para ter que importar depois em razão da grande concentração de produção estar na região Sul e também devido a perdas na qualidade durante o armazenamento deste. Além disso, o custo de transporte da região produtora para um porto marítimo acaba sendo mais lucrativo pois o Brasil vende por preços altos e depois compra de seus países fornecedores por preços menores, devido a acordos firmados com estes. Outro motivo para o Brasil comprar tanto trigo é a padronização da farinha.

Para Jesus Júnior *et al.* (2011), o trigo necessita de uma série de cuidados durante a produção que incluem desde a preparação do solo, escolha das sementes, manejo, indo até o momento da colheita e da armazenagem. É uma cultura bastante acometida por doenças e estas só ocorrem se houver a fonte de inóculo, condições ambientais favoráveis e a presença do hospedeiro suscetível. Deste modo, existem muitas doenças que afetam diversos órgãos da planta em diferentes estádios de desenvolvimento, comprometendo a produtividade e qualidade dos grãos (LAU *et al.*, 2011).

2.2 MICOTOXINAS

As micotoxinas são substâncias tóxicas produzidas por fungos ao longo de seu crescimento e que contaminam vários produtos agrícolas antes da colheita ou no armazenamento. Mesmo após o fungo ser destruído, as micotoxinas permanecem no alimento e podem causar doenças ao homem e animais quando ingeridas (IAMANAKA; OLIVEIRA; TANIWAKI, 2010).

A contaminação causada pelas micotoxinas é denominada de micotoxicose. Os órgãos do corpo humano mais afetados são o fígado, os rins, o cérebro, os músculos e o sistema nervoso, provocando sintomas como náuseas e vômitos, falta de coordenação dos

movimentos, podendo até levar à morte. A maneira mais frequente de intoxicação de humanos e animais é a direta, que ocorre por meio do consumo de cereais, sementes oleaginosas e produtos derivados, que foram contaminados nas fases de produção e de armazenamento. Indiretamente, ocorre quando subprodutos e derivados contaminados são utilizados na alimentação de animais, os quais transferem as toxinas para o leite e carnes (BERNARDI, *et al.*, 2018).

No Brasil, a giberela é caracterizada como principal doença nas regiões tritícolas, especialmente a região Sul. Seus danos maiores estão relacionados aos anos de altas frequências de chuvas que coincidem com a fase de florescimento do trigo (DEL PONTE, *et al.*, 2004). O período entre a colheita, armazenamento, comercialização, processamento e longos transportes favorecem a contaminação e o desenvolvimento de fungos nos grãos e, conseqüentemente, a produção de micotoxinas. Diversos tipos de fungos estão relacionados ao apodrecimento, grãos ardidos e presença de micotoxinas, responsáveis pela baixa produtividade de grãos (SILVA, *et al.*, 2015).

Os principais gêneros de fungos de importância em relação a micotoxinas são o *Aspergillus*, *Penicillium* e o *Fusarium* (VECCHIA; CASTILHOS-FORTES, 2007). Os principais tipos de micotoxinas produzidas por estes fungos são o desoxinivalenol, zearalenona, ocratoxina, fumonisinas e as aflatoxinas (TIBOLA; FERNANDES, 2020).

Os fungos produtores de micotoxinas nos alimentos se dividem em dois grupos. Existem aqueles que estão presentes antes da colheita, chamados de fungos de campo, e os que ocorrem somente após a colheita, chamados de fungos de armazenamento. O *Fusarium graminearum* é um patógeno de plantas, enquanto o *Penicillium verrucosum* e *Aspergillus flavus* inicialmente colonizam a planta antes da colheita e predispõem à cultura à contaminação por micotoxinas após a colheita (TOLA; KEBEDE, 2016).

2.2.1 Principais micotoxinas presentes nos alimentos

2.2.1.1 Aflatoxinas (AFL)

As aflatoxinas podem ser encontradas em frutas secas e cereais em condições de umidade e temperatura elevadas e provocam riscos à saúde humana, pelos efeitos tóxicos imediatos, imunossupressores, mutagênicos, teratogênicos e carcinogênicos (MAZIERO; BERSOT, 2013). As aflatoxinas são metabólitos secundários altamente tóxicos produzidas

por fungos filamentosos do gênero *Aspergillus* sp., pelas espécies *A. flavus*, *Aspergillus parasiticus* e *Aspergillus nomius* (KWIATKOWSKI; ALVES, 2007)

Existem pelo menos 17 compostos tóxicos da aflatoxina, dentre estes, os principais tipos são identificados como B1, B2, G1 e G2. O *A. flavus* produz apenas aflatoxinas do grupo B, enquanto as espécies *A. parasiticus* e *A. nomius* produzem aflatoxina dos grupos B e G (PEREIRA; SANTOS, 2011; PERAICA *et al.*, 2000). Destas, a que apresenta maior toxicidade é a AFB1, seguida de G1, B2 e G2 (OLIVEIRA; GERMANO, 1997). A toxina AFB1 também é conhecida como a aflatoxina mais carcinogênica devido a sua elevada hepatotoxicidade e por ser a mais presente nos substratos (FERREIRA *et al.*, 2006).

2.2.1.2 Desoxinivalenol (DON)

A DON faz parte de um grupo de micotoxinas denominado tricotecenos (FREIRE *et al.*, 2007). Está associada a fungos da espécie *Fusarium graminearum* e é uma das micotoxinas mais comuns encontradas em grãos como cevada, centeio, trigo e em misturas de alimentos. Quando ingerido em doses elevadas por humanos e animais, ela causa náuseas, vômitos e diarreia. Por induzir esses sintomas, o desoxinivalenol também pode ser conhecido como vomitotoxina ou fator de recusa de alimento (MACHADO *et al.*, 2017).

2.2.1.3 Ocratoxina A (OCRA)

Esta micotoxina é produzida por fungos do gênero *Aspergillus* e *Penicillium*, como *Aspergillus alliaceus*, *Aspergillus auricomus*, *Aspergillus carbonarius*, *Aspergillus glaucus*, *Aspergillus meleus* e *Aspergillus niger*, *Penicillium nordicum* e *Penicillium verrucosum*. A Ocratoxina A tem sido encontrada em aveia, cevada, centeio, trigo, grãos de café, e até em produtos de origem animal como carnes e leite. É uma micotoxina nefrotóxica e também hepatóxica, imunossupressora, teratogênica e cancerígena. Em suínos este metabólito está associado a nefropatia suína (FREIRE *et al.*, 2007).

2.2.1.4 Zearalenona (ZEA)

A zearalenona é uma micotoxina produzida por fungos do gênero *Fusarium*, principalmente da espécie *Fusarium graminearum*. É raramente tóxica, no entanto, está associada ao consumo de grãos mofados e o hiperestrogenismo em suínos. Nesses animais,

elevadas concentrações de zearalenona na alimentação, podem provocar distúrbios na concepção, aborto e outros problemas (BENNETT; KLICH, 2003).

2.2.1.5 Fumonisinias

As fumonisinias são micotoxinas produzidas por fungos do gênero *Fusarium*, mais especificamente pelas espécies *Fusarium verticillioides*, *Fusarium proliferatum*, *Fusarium nygamai*, *Fusarium anthophilum*, *Fusarium dlamini*, *Fusarium napiforme*, *Fusarium subglutinans*, *Fusarium polyphialidicum*, *Fusarium oxysporum* e são detectadas principalmente em milho e seus derivados. A intoxicação por esta toxina pode estar relacionado ao câncer de esôfago em humanos, edema pulmonar e hidrotórax em suínos, leucoencefalomalácia em equinos e coelhos (POZZI *et al.*, 2002).

2.2.2 Micotoxinas no trigo

Produzir alimentos seguros para o consumo humano e animal é um dos maiores desafios em uma cadeia produtiva. Na produção de trigo, um dos objetivos é obter grãos livres de micotoxinas como a DON, que é produzida pelo fungo *Fusarium graminearum*. A DON é a micotoxina de maior relevância no trigo em grão e derivados, por sua ocorrência ser comum nas principais regiões produtoras deste cereal no mundo, incluindo o Brasil (EMBRAPA, 2019).

A região Sul do Brasil é a maior produtora de trigo do país (CONAB, 2022). Segundo Tibola e Fernandes (2020), a permanência de restos culturais sobre o solo e a ausência de invernos rigorosos proporciona o ambiente ideal para a sobrevivência do inóculo de *F. graminearum*. Análises realizadas em 100 amostras de trigo da safra 2015 na região Sul, com o objetivo de analisar os níveis de DON, ZEA e OCRA, mostraram que a micotoxina DON foi encontrada em 55% das amostras com concentração média de 795,2 ppb, enquanto a ZEA estava presente em 39% das amostras e uma concentração de 79,78 ppb, apontando alta incidência de fungos do gênero *Fusarium*. A Ocratoxina não foi encontrada nas amostras. (DUFFECK, *et al.*, 2017 *apud* NICOLLI; ANDRADE; TIBOLA, 2020).

2.2.3 Limites de micotoxinas nos alimentos

O Brasil possui uma legislação específica que estabelece os limites de micotoxinas em alimentos. A Instrução Normativa - IN N° 88, de 26 de março de 2021, deliberada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em trigo e seus derivados. Conforme a Tabela 1, para a DON, o trigo destinado ao processamento possui 2000 mcg.Kg⁻¹ como LMT, enquanto na alimentação infantil a base do cereal, são permitidos 200 mcg.Kg⁻¹ da micotoxina. Para a ZEA, a maior quantidade permitida está no trigo para processamento, com 400 mcg.Kg⁻¹ e, 20 mcg.Kg⁻¹, a menor, em produtos destinados à alimentação infantil. A OCRA no trigo para processamento é permitido 20 mcg.Kg⁻¹ enquanto em alimentos infantis o máximo é de 2 mcg.Kg⁻¹. Finalmente, para as AFLAS, o LMT de cereais e seus produtos é de 5 mcg.Kg⁻¹ e 1 mcg. Kg⁻¹ para alimentos infantis derivados dos cereais.

Tabela 1 - Limite máximo tolerado (LMT) de micotoxinas em grãos de trigo e seus derivados, estabelecido pela Anvisa, na Instrução Normativa n° 88/2021.

(continua)

Micotoxina	Alimentos	LMT (mcg/kg*)
Deoxinivalenol (DON)	Alimentos à base de cereais para alimentação infantil	200
	Produtos derivados de trigo: farinha, massa, crackers, biscoitos e pão	1000
	Trigo integral, trigo para quibe, farinha de trigo integral e farelo de trigo	1250
	Trigo em grãos para posterior processamento	2000
Zearalenona (ZEA)	Alimentos à base de cereais para alimentação infantil	20
	Produtos derivados de trigo: farinha, massa, crackers, biscoitos e pão	100
	Trigo em grãos para posterior processamento	400
	Trigo integral, farinha de trigo integral e farelo de trigo	200

Micotoxina	Alimentos	(conclusão)
		LMT (mcg/kg*)
Ocratoxina (OCRA)	Alimentos à base de cereais para alimentação infantil	2
	Cereais e produtos derivados de cereais	10
	Cereais para posterior processamento	20
Aflatoxinas (AFLA) (B1, B2, G1, G2)	Alimentos à base de cereais para alimentação infantil	1
	Cereais e produtos de cereais	5

*mcg/kg = micrograma por quilograma

Fonte: adaptado de Anvisa (2021).

2.3 GIBERELA

A giberela ou fusariose é causada principalmente por *Gibberella zeae* e sua forma imperfeita *Fusarium graminearum*. Afeta espigas de cereais de inverno como trigo, cevada, triticale, centeio e aveia. É uma doença economicamente importante nas principais regiões produtoras do mundo, pois os danos diretos da giberela resultam na redução do rendimento e na qualidade de grãos (TIBOLA *et al.*, 2011; LAU *et al.*, 2011).

O patógeno pode sobreviver em sementes, garantindo sua transmissão aos órgãos do hospedeiro vivo. O sistema de plantio direto é a garantia da sobrevivência de *G. zeae* em restos culturais de plantas hospedeiras e até não hospedeiras, principalmente na região Sul do Brasil, onde há grande concentração de fonte de inóculo (VIANA, 2013).

No seu ciclo de vida, apresenta a fase saprofítica e a fase parasitária. Na fase saprofítica, sobrevive na forma teleomórfica (sexual), em restos culturais, recebendo o nome de *G. zeae* e produzindo corpos de frutificação, os peritécios. Quando há o hospedeiro, a partir do espigamento, e com condições climáticas favoráveis, ocorre a liberação de ascósporos do interior dos peritécios, estes ao atingirem as espigas, germinam, dando início à fase parasitária (fase anamórfica ou assexual) denominada de *F. graminearum* (LIMA, 2004).

A disseminação, tanto dos ascósporos quanto dos macroconídios, que são esporos assexuais, ocorre por meio da chuva e do vento. Os ascósporos, considerados inóculo primário, vindos pelo ar, depositam-se sobre as anteras, germinam e atingem o ovário,

colonizando seus tecidos. As glumas descoloridas se caracterizam pelo surgimento dos primeiros sintomas. A velocidade da colonização possui influência na formação ou não de grãos (DANELLI; ZOLDAN; REIS, 2007).

Em condições de altas temperaturas e umidade, é possível observar o surgimento dos primeiros sintomas de 4 a 5 dias após a infecção do patógeno em várias partes da espiga como glumas, aristas, ráquis, pedúnculos e grãos. Os sintomas comuns são espiguetas despigmentadas e de cor palha, contrastando com a coloração das sadias, e aristas retorcidas (Figura 1 A). Além disso, ocorre o aparecimento de sinais, com estruturas do fungo, massa rósea ou salmão produzida pelos macroconídios de *F. graminearum* (Figura 1B) ou massa escura de peritécios de *G. zeae* (BONFADA, 2018).

Figura 1 - A) Sintomas em espigas de trigo com espiguetas afetadas por giberela e aristas desviadas. B) Espiguetas descoloridas, apresentando sinais com cor salmão, correspondendo à fase assexual de *F. graminearum*.



Fonte: Lima (2017).

Quando há condições ideais para o desenvolvimento do patógeno, toda a espiga de trigo pode ser afetada inclusive o pedúnculo. Os grãos quando atacados pelo fungo se tornam chochos, enrugados e com coloração pardo clara ou clara rosada quando as estruturas do fungo podem ser vistas a olho nu. O tamanho dos grãos varia de acordo com o estágio de desenvolvimento em que a espiguetas estava quando infectada (Figura 2) (FILHO, 2012).

Figura 2 - Sementes de trigo em diferentes estádios de desenvolvimento, chochos, enrugados, de coloração parda e rosada, infectadas por *F. graminearum*.



Fonte: Lima (2017).

A giberela em trigo pode causar abortamento das flores quando precocemente infectada. Os grãos produzidos com baixo peso, geralmente são descartados durante a colheita, enquanto os que permanecem junto com os saudáveis, acabam prejudicando a qualidade dos processados devido à redução de amido, proteínas, celulose e hemicelulose (LIMA; TIBOLA, 2016). Mas o maior problema causado pela giberela é a presença de micotoxinas, os grãos podem ser apresentar assintomáticos e comprometer a qualidade da farinha e outros derivados de trigo, os quais quando consumidos podem apresentar efeitos tóxicos aos seres humanos e animais. Além disso, sementes infectadas pelo patógeno podem apresentar queda do poder germinativo e do vigor (LIMA, 2012; LIMA; TIBOLA, 2016).

2.4 SILÍCIO

O Silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na litosfera, que contém 47% de oxigênio, enquanto possui 28% de Si. É caracterizado como um elemento benéfico, melhorando as condições físicas, físico-químicas e químicas desfavoráveis para o desenvolvimento de plantas, além de contribuir diretamente na nutrição e aumento da resistência às pragas e doenças (MALAVOLTA, 2006). Portanto, este elemento pode contribuir, somado ao manejo adequado, para aumentar a produtividade de diferentes culturas,

desde que associado a outras necessidades como boa fertilidade, pH adequado, tipo de solo, clima favorável (POZZA *et al.* 2015).

No solo, o Si é encontrado na forma de óxidos (SiO_2) fazendo parte de rochas, areia e argila. Na solução do solo, disponível para as plantas, o encontramos na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) onde sua concentração depende principalmente do teor de argila, mineralogia e textura do solo. Sua forma encontrada no solo depende do grau de intemperismo, por isso solos mais jovens, como Cambisolos, possuem maior concentração de Si disponível e, nos Latossolos, onde o Si encontra-se na forma de opala e quartzo, os teores são em concentrações menores (SANTOS *et al.*, 2021; POZZA *et al.*, 2015; MENEGALE *et al.*, 2015).

Nas plantas, particularmente em cereais, o Si torna as folhas mais eretas, diminui o sombreamento proporcionando maior interceptação de luz e aumenta as taxas fotossintéticas. A melhor disposição das folhas, pela deposição de Si nas camadas das células, torna o caule mais resistente e a planta mais arejada criando condições desfavoráveis para o desenvolvimento de doenças (MALAVOLTA, 2006). Por outro lado, na parede celular dos órgãos de transpiração, o Si se acumula em forma de sílica amorfa ($\text{Si}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}^1$), formando uma dupla camada de sílicacutícula e sílica-celulosa. essa camada protetora está relacionada positivamente com a redução da transpiração pela planta, tornando esta menos exigente em água e mais resistente a possíveis situações de seca (MENEGALE *et al.*, 2015).

Jesus *et al.* (2020) avaliaram o efeito de diferentes doses de Si na cultura do sorgo granífero submetido a diferentes condições de déficit hídrico. Os resultados mostraram que o uso de Si via solo é uma estratégia eficiente para diminuir os impactos da restrição hídrica na cultura. O experimento destacou que doses de Si de até 125 mg dm^3 de solo provocou um aumento da massa seca da parte aérea das plantas e, até dose de 75 mg dm^3 , houve aumentos significativos no diâmetro, área foliar, matéria seca de raiz e volume de raiz.

A camada formada também funciona como barreira estrutural de resistência mecânica à invasão de fungos e bactérias para o interior das células aumentando a resistência das plantas (MENEGALE, *et al.*, 2015). Na cultura da batata, avaliou-se a incidência de doenças, produtividade e qualidade de tubérculos, sob aplicação via foliar de um produto comercial contendo Si na formulação. As aplicações de Si, mostraram redução na severidade da requeima (*Phytophthora infestans*) e incidência de canela-preta (*Pectobacterium* spp.). Em relação aos outros aspectos avaliados, houve aumento da produtividade e do teor de matéria seca dos tubérculos (SORATTO *et al.*, 2012).

Outra explicação para o aumento da resistência das plantas aos patógenos é que o silício atua como uma forma de sinalizador bioquímico, mobilizando mecanismos de defesa como o acúmulo de lignina, formação de compostos fenólicos e aumento na atividade de enzimas que atuam no sistema de proteção da planta como quitinases, peroxidases, lipoxigenases, polifenoloxidasas, β -1,3-glucanases e fenilalanina amônia-liases. Ainda, pode atuar a nível molecular regulando os genes envolvidos no sistema de defesa da planta (EPSTEIN, 1999 *apud* BUCK, 2010; SANTOS *et al.*, 2021).

Em morangueiro, Kowal *et al.* (2020) avaliaram o efeito da aplicação foliar de um produto comercial a base de Si, na ocorrência de doenças fúngicas em que a cultura é bastante acometida. O efeito do Si não se mostrou eficiente para a redução da ocorrência da antracnose (*Colletotrichum fragariae*), no entanto, para a mancha de micosferela (*Mycosphaerella fragariae*) e do mofo cinzento (*Botrytis cinerea*), houve diminuição da incidência e severidade dos patógenos.

O transporte de silício pela planta é realizado através dos vasos do xilema e sua distribuição depende das taxas de transpiração. Em espécies que não o acumulam, o elemento é encontrado mais uniformemente em seus órgãos, enquanto nas plantas acumuladoras, como a cultura do arroz, as maiores concentrações de silício são encontradas na parte aérea (MENEGALE *et al.*, 2015). Ramos (2005) utilizou diferentes fontes de silício e analisou a absorção e concentração em plantas de arroz, concluindo que quanto maior a dose fornecida, maiores são os teores absorvidos e concentrados.

2.5 CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS

O crescimento e desenvolvimento vegetal se caracterizam pelo conjunto de processos que uma planta passa a partir do embrião até sua forma definitiva. Como crescimento se entende o aumento irreversível de volume e substância da célula viva, enquanto o desenvolvimento como os processos que conduzem as mudanças no organismo, compreendendo os processos de multiplicação, aumento e diferenciação celular (NULTSCH, 2000).

A regulação do crescimento de plantas superiores é realizada pelos fitormônios, que são formados em determinados tecidos e transportados para seus sítios de ação. Estes hormônios vegetais são conhecidos como: auxinas, giberelinas, citocininas, abscisinas, ácido jasmônico e etileno (NULTSCH, 2000). Os fitormônios não atuam de maneira isolada, mas sim aditivamente ou em oposição um ao outro, resultando em uma condição final de

crescimento ou desenvolvimento representativa do efeito do balanço hormonal (MELO, 2002).

As plantas necessitam de luz para realizar a fotossíntese, processo pelo qual elas transformam energia luminosa em energia química essencial para o seu crescimento. Quando a planta é impedida de interceptar luz suficiente para manter seus níveis fotossintéticos, todo seu crescimento e desenvolvimento é afetado (TAIZ; ZEIGER, 2017). Nesta situação, como Malavolta (2006) comenta, no caso de cereais, o Si proporciona melhor disposição da arquitetura foliar e evita o acamamento devido sua função estrutural na planta, favorecendo maiores taxas fotossintéticas pela maior incidência de luz solar.

2.6 CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE TRIGO

Para aumentar o rendimento de grãos em uma lavoura, é necessário o entendimento de seus fatores de manejo e do ambiente utilizado. Em trigo, é necessária a adoção de um sistema de manejo, com práticas sustentáveis (PIRES *et al.*, 2011). O trigo é uma cultura muito vulnerável a mudanças climáticas como variações da umidade relativa do ar, precipitações no período de colheita, geada, granizo, temperaturas altas e baixas, excesso ou déficit hídrico do solo, os quais determinam seu desenvolvimento e rendimento (JESUS JÚNIOR, *et al.*, 2011).

O trigo é acometido por muitas doenças que afetam seu desenvolvimento e produtividade. As doenças podem ser causadas por fatores abióticos como frio ou calor, excesso ou falta de água, necessidade nutricional, granizo ou fitotoxidez, ou por fatores bióticos que são os patógenos, de complexidade e ciclos diferentes. Os fatores abióticos podem ter efeito direto favorecendo os fatores bióticos na planta (LAU *et al.* 2011).

A giberela causa muitos danos no trigo, provocando a perda de qualidade da espiga, tornando os grãos chochos, enrugados e de baixo peso (WORDELL FILHO, 2012), sendo necessário realizar, normalmente, o controle químico do patógeno. Dentre as práticas sustentáveis no cultivo de trigo, está o manejo integrado de doenças, que consiste em utilizar de todas as técnicas disponíveis de maneira unificada para controlar o patógeno (REIS; ZANATA; CAMARGO, 2020).

2.7 SILÍCIO EM TRIGO

Para Lima Filho e Tsai (2007), a presença de silício dentro da célula e no xilema, na forma solúvel, além de sua absorção ser mais rápida do que a da água, mostra que em trigo

existe um mecanismo ativo de transporte, por meio das membranas das células que depende de energia para transportá-lo. Ainda, os autores destacam que a acumulação e absorção de silício na parte aérea das plantas depende da transpiração, crescimento e de sua disponibilidade, sendo que o aumento de temperatura provoca o aumento da transpiração e, maior acúmulo de silício.

A silicificação nas gramíneas ocorre nas raízes e na parte aérea, incluindo folhas, colmos e, mais intensamente, nas inflorescências. Os depósitos de silício ocorrem nos tecidos estruturais, vasculares, de armazenamento e na epiderme, como constatado em plântulas de trigo (LIMA FILHO; TSAI, 2007). Mendonça *et al* (2013), com o objetivo de estimar o acúmulo de Si e compostos fenólicos na parte aérea de plantas de trigo com adubação silicatada via solo, registraram maior presença de silício em folhas e colmos das plantas.

Em relação aos incrementos de produção proporcionados pelo Si, Tavares *et al.* (2014) avaliaram o efeito da adubação silicatada via solo, sob o rendimento e a qualidade de sementes de trigo, onde obtiveram maior número de sementes, peso hectolitro e rendimento de sementes, sendo que a qualidade fisiológica não foi afetada negativamente

Sobre a aplicação de silício via foliar, Martin *et al* (2020), realizaram aplicações de Si em diferentes cultivares de trigo e avaliaram número de plantas, estatura de plantas, número de espigas, produtividade de grãos, massa de mil grãos e massa de hectolitro. Neste estudo os componentes analisados não foram alterados, apenas algumas cultivares apresentaram resultados positivos na massa de hectolitro pelo fornecimento de Si.

Oliveira Júnior *et al* (2018) avaliaram a qualidade fisiológica de sementes de plantas de trigo com aplicação foliar de silício e verificaram que houve resultados positivos apenas no desempenho de emergência, estande inicial e índice de velocidade de emergência de uma cultivar e, maior quantidade de perfilhos, massa seca, clorofila em outra.

Domiciano *et al.* (2010) utilizaram o Si no solo para avaliar o progresso da mancha marrom (*Bipolaris sorokiniana*) na folha bandeira do trigo. Nos resultados, obtiveram que em plantas supridas com Si, a folha bandeira apresentou menor severidade da doença e nesta, a concentração de Si foi de 90,5%. Diante disso, os autores destacam a importância fisiológica da folha bandeira visto que a adubação silicatada pode contribuir para uma maior produção de grãos.

Em outro trabalho, desta vez na cultura do arroz, foram realizadas aplicações de diferentes fontes de Si, via foliar e via solo, com o objetivo de aumentar a resistência da cultura à mancha parda, causada pelo patógeno *Bipolaris oryzae*. No entanto, os autores observaram resultados promissores contra o patógeno somente quando a aplicação foi via

solo, enquanto as aplicações via foliar se apresentaram semelhantes à testemunha. Para os autores, estes resultados podem estar associados à presença de mecanismos transportadores do elemento nas raízes e, também às doses utilizadas para a via foliar. (ZANÃO JÚNIOR; FONTES; ÁVILA, 2009).

Morello *et al.* (2017) propôs como método alternativo o fornecimento de silício via solo para cultivares de trigo, com o objetivo de induzir uma maior resistência ao patógeno causador da giberela. Os resultados obtidos através do experimento demonstram que o silício proporcionou uma queda na incidência da doença com menos espigas infectadas e menor severidade, com redução de espiguetas infectadas por espiga.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO

O trabalho foi conduzido na casa de vegetação da Área Experimental com auxílio de atividades desenvolvidas no laboratório de Fitopatologia, ambos localizados na Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), no município de Cerro Largo, pertencente a região das Missões, no Noroeste do estado do Rio Grande do Sul, nas coordenadas geográficas 28°08'30.1" Sul e 54°45'18.5" Oeste.

O experimento foi realizado em vasos e ocorreu entre os meses de julho a novembro de 2022.

3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em fatorial 2 x 4, onde o fator A foi composto por dois produtos comerciais e, o fator D pelas vias de aplicação. O experimento contou com oito tratamentos, cada um com quatro repetições, totalizando trinta e duas unidades experimentais, cada uma composta por um vaso contendo duas plantas de trigo.

Os produtos comerciais utilizados foram o Pontency[®] e SiliAgro[®], ambos contendo silício (Si). Conforme Anexo A, os produtos ainda apresentam outros componentes na formulação. Em relação as formas de aplicação, foram realizadas por via foliar, via solo e via foliar+solo, além de testemunha sem nenhuma forma de aplicação (ASSIS, *et al.*, 2017), para ambos os produtos.

3.3 PREPARO E MANEJO DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS

Foram semeadas seis sementes em vasos com capacidade de três litros cada. O substrato utilizado foi composto por solo não esterilizado, areia e substrato comercial na proporção 3:1:1. Após a semeadura, os vasos foram dispostos de maneira aleatória sobre uma bancada da casa de vegetação.

A data da emergência foi considerada no quarto dia após a semeadura, onde cada vaso continha, pelo menos, uma planta emergida. Após 10 dias da emergência, realizou-se o desbaste, mantendo-se as duas plantas mais vigorosas e melhor posicionadas na área do vaso. Cada vaso contendo duas plantas formou uma unidade experimental.

Realizou-se a irrigação conforme necessidade das plantas, a fim de manter o substrato sempre úmido. A adubação foi realizada somente em forma de cobertura, para uma expectativa de produção de 6 ton.ha⁻¹. A aplicação ocorreu conforme a necessidade, segundo análise de solo da área (Tabela 2) onde o mesmo foi coletado antes de ser colocado nos vasos. A recomendação seguiu o que preconiza o Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SBCS, 2016).

Tabela 2 - Dados da análise de solo utilizado da Área Experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Cerro Largo, 2022.

pH água	% MO	% Argila	P-Mehlich mg.dm ⁻³	CTC pH7 cmolc.dm ⁻³	K mg.dm ⁻³
5,53	2,6	70	7,9	14	230,8

Fonte: elaborado pela autora (2022).

Para a recomendação de nitrogênio considerou-se o teor de matéria orgânica do solo e, para a expectativa requerida, utilizou-se 150 Kg.ha⁻¹. Para a recomendação de fósforo, obteve-se uma necessidade de 130 Kg.ha⁻¹, enquanto para o potássio, em função da classe de disponibilidade ser muito alto, não houve necessidade de adubação potássica. Assim, para calcular a necessidade de adubação do experimento, levou-se em consideração a área superficial dos vasos. A quantidade de ureia foi de 1,047 gramas por vaso sendo que, do total, foram aplicados 50% aos 30 dias após a emergência e o restante, 20 dias após. Para a adubação fosfatada, utilizou-se o superfosfato triplo na quantidade de 0,891 gramas por vaso, aplicado no mesmo dia que a primeira parcela de ureia.

3.4 CULTIVAR DE TRIGO

A cultivar de trigo utilizado foi a TBIO Ponteiro. A cultivar apresenta ciclo médio-tardio, estatura média, grão duro e seu peso de mil grãos é de, em média, 33 gramas. Em escala de nível de alerta de 1 a 9, onde 1 é altamente suscetível e 9 é resistente, a cultivar apresenta nível 6 em relação à resistência à giberela e mancha-amarela, ficando entre moderadamente suscetível e moderadamente resistente (níveis 5 e 7, respectivamente). Em relação ao brusone, ferrugem da folha e o mosaico, apresenta nível 7 e ao oídio, nível 8 (BIOTRIGO, 2022).

3.5 FONTES DE SILÍCIO E DOSAGENS

Das fontes comerciais de silício utilizadas, ambas são oriundas de rochas. Os produtos Pontency® e SiliAgro®, foram diluídos em água nas proporções especificamente definidas para cada produto e aplicados de três maneiras diferentes: via foliar, via solo e ambas as formas ao mesmo tempo (foliar + solo).

O produto Pontency®, contém 68% de silício em sua formulação e sua dose indicada para a calda é de 2 gramas para cada litro de água. O produto SiliAgro® possui concentração de 65,46% de silício e sua dose indicada para gramíneas é de 2,5 gramas para cada litro de água.

Os produtos não possuem doses indicadas para aplicação via solo, por isso de acordo com cada concentração, aplicou-se o correspondente a 200 mg (RAMOS, 2005) para cada litro de capacidade do vaso. Para o Pontency® correspondeu à 0,882 gramas de produto e para o SiliAgro®, 0,920 gramas. Para a aplicação no solo, os produtos comerciais não foram diluídos e sim, aplicados em forma de cobertura.

3.6 PERÍODOS E MODO DE APLICAÇÃO

Realizou-se três aplicações dos produtos comerciais, de modo que fossem distribuídas em diferentes estádios fenológicos das plantas de trigo, seguindo a escala de Zadocks *et al.* (1974) *apud* Scheeren, Castro e Caierão (2015).

A primeira aplicação foi realizada aos 17 dias após a emergência, no início do afilamento. A segunda, ocorreu 42 dias após a emergência, quando se iniciou a fase de alongamento. A última aplicação deu-se no emborrachamento, quando as plantas de trigo completaram 62 dias após a emergência.

Para a pulverização das plantas, na via foliar, utilizou-se de um borrifador, sendo que a calda foi aplicada até o ponto de escorrimento. Para o efeito exclusivamente foliar, durante as pulverizações, a superfície do vaso foi coberta por plástico para evitar que o escorrimento das folhas entre em contato com o substrato, como proposto por Assis *et al* (2017). Do mesmo modo que, quando aplicados ambas as vias juntas, o solo também foi coberto para evitar alterações nas concentrações dos produtos.

Nos tratamentos via solo, os produtos foram aplicados ao redor do caule, diretamente sob o substrato, sem diluição, em forma de cobertura.

3.7 OBTENÇÃO DO PATÓGENO

O patógeno *Fusarium graminearum*, causador da giberela, foi obtido de espigas de trigo contaminadas, coletadas de uma lavoura na cidade de Cerro Largo – RS, com coordenadas 28°08'33.7" Sul e 54°45'20.4" Oeste.

O isolamento do patógeno foi realizado de acordo com Alfenas e Mafia (2016) pelo método direto, induzindo o aparecimento de sinais do fungo sobre espigas com sintomas típicos. Após o surgimento hifas/esporos, essas foram transferidas, para placas de Petri contendo meio de cultura BDA (batata-dextrose-ágar). As placas foram incubadas em câmara climática tipo BOD à 23°C, para crescimento e reprodução do fungo no meio de cultura, sendo repicado até obtenção da cultura pura.

3.8 INOCULAÇÃO DO PATÓGENO

A inoculação das espigas de trigo foi realizada pelo método de suspensão de esporos em água destilada. Após a obtenção do patógeno isolado, realizou-se a contagem de conídios através de um hemacitômetro tipo Neubauer (ALFENAS; MAFIA, 2016). A suspensão foi calibrada para a concentração de 5×10^4 conídios mL^{-1} (STACK; MCMULLEN, 1989 *apud* LIMA, 2016).

A inoculação foi realizada na espiga principal de cada planta, sendo considerada a primeira que foi emitida. Com o auxílio de uma pipeta automática, depositou-se 0,01 mL da suspensão de esporos nas espigas centrais de cada planta (DEUNER, *et al.*, 2015). Posteriormente, os vasos foram levados até uma câmara úmida, para a qual criou-se uma pequena estufa de plástico transparente e, internamente, um ambiente saturado de umidade (100% de UR), para que o fungo tivesse condições ideais para infecção nas espigas. Os vasos permaneceram por 24 horas nesta condição.

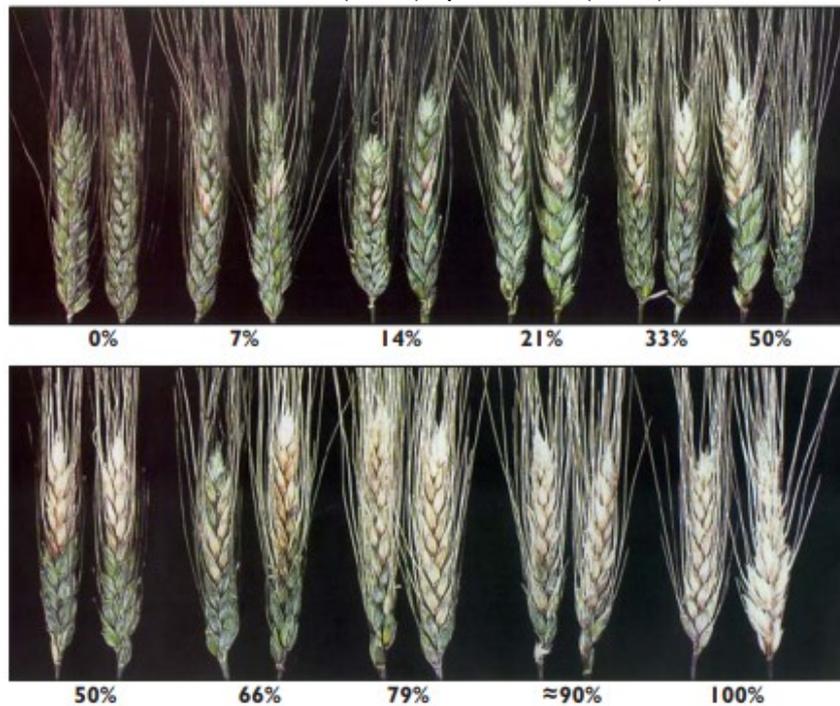
3.9 AVALIAÇÕES

3.9.1 Incidência e severidade da giberela

A avaliação da incidência (IN) e severidade (SE) da giberela foi realizada no período de grão pastoso, 25 dias após a inoculação. Os resultados foram expressos pela porcentagem de incidência e severidade, sendo determinadas apenas nas espigas inoculadas. Para a

incidência foram contabilizadas o número de espigas infectadas e, posteriormente, determinado a porcentagem através do número total de espigas por unidade experimental. A severidade foi estimada a partir da escala proposta por Stack e McMullen (1989) *apud* Lima (2016) (Figura 3).

Figura 3 - Escala visual para a estimativa da severidade, em porcentagem, da giberela em trigo, proposta por Stack e McMullen (1989) *apud* Lima (2016)



Fonte: Stack e McMullen (1989) *apud* Lima (2016).

3.9.2 Aspectos de crescimento e desenvolvimento

Quando as plantas atingiram o estágio de grão pastoso, realizou-se a mensuração da altura de plantas (AP), sendo esta medida desde a superfície do solo até o ponto mais alto das plantas (final das aristas). Ademais, nesse mesmo estágio, foram contabilizados o número de espigas (NE), levando-se em consideração somente as espigas produtivas, desconsiderando as espigas mais tardias que não apresentavam enchimento de grãos.

Ao final do ciclo, as plantas foram colhidas e, posteriormente, somente das espigas inoculadas, contabilizou-se manualmente número de espiguetas da espiga (NETE) e número

de grãos da espiga (NGE). Para a determinação do peso dos grãos da espiga (PGE), a umidade destes não foi corrigida.

Por fim, realizou-se também a determinação da massa seca da parte aérea (MSPA), onde as plantas foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa de ar forçado, à 65° C, até adquirir peso constante.

3.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os dados analisados no experimento foram submetidos à análise de variância (ANOVA), onde as médias dos tratamentos foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, através do software SISVAR.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na interação entre os produtos comerciais e as formas de aplicação não houve efeito significativo para a maioria das variáveis avaliadas, exceto para severidade (SE) e número de espigas (NE). Em relação aos produtos comerciais a base de silício (Si), não houve efeito significativo para nenhuma variável analisada. No entanto, observou-se efeito significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$) para formas de aplicação na variável altura de plantas (AP). (Tabela 3).

Tabela 3 - Quadrado médio (QM), coeficiente de variação (CV), graus de liberdade (GL) e média geral das variáveis analisadas em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema bifatorial com dois produtos comerciais em quatro formas de aplicação, Cerro Largo, 2023.

FV	GL	Quadrado médio das Variáveis (QM) ⁽¹⁾			
		IN	SE	AP	NE
Produto comercial	1	31,65 ^{ns}	207,57 ^{ns}	1,38 ^{ns}	0,781 ^{ns}
Forma de aplicação	3	94,82 ^{ns}	1161,76 ^{**}	31,04 [*]	0,344 ^{ns}
Interação	3	708,72 ^{ns}	729,40 [*]	2,36 ^{ns}	1,302 ^{**}
Erro	24	297,55	219,44	9,63	0,206
CV (%)		23,88	28,41	5,06	12,1
Média		72,23	52,14	61,34	4,22

FV	GL	Quadrado médio das Variáveis (QM)			
		NETE	NGE	PGE	MSPA
Produto comercial	1	0,195 ^{ns}	19,53 ^{ns}	0,00005 ^{ns}	0,036 ^{ns}
Forma de aplicação	3	0,549 ^{ns}	13,31 ^{ns}	0,00896 ^{ns}	0,247 ^{ns}
Interação	3	0,133 ^{ns}	8,18 ^{ns}	0,01391 ^{ns}	0,285 ^{ns}
Erro	24	1,258	20,9	0,03692	0,886
CV (%)		7,33	10,92	13,68	11,62
Média		15,3	41,88	1,4	8,1

⁽¹⁾ IN = Incidência, em %; SE = Severidade, em %; AP = Altura de Plantas, em cm; NE = Número de Espigas, em un; NETE = Número de Espiguetas da Espiga, em un; NGE = Número de Grãos da Espiga, em un; PGE = Peso dos Grãos da Espiga, em g; MSPA = Massa Seca da Parte Aérea, em g. * e ** indicam efeito significativo pelo teste F a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ^{ns} indica efeito não significativo.

Fonte: elaborado pela autora (2023).

Para o coeficiente de variação (CV), as variáveis altura de plantas (AP) e número de espiguetas da espiga (NETE) apresentaram valores baixos ($\leq 10\%$), considerando-se um

experimento com alta precisão. As variáveis incidência (IN) e severidade (SE) obtiveram CVs altos (20 – 30%), sendo caracterizados como de baixa precisão. As demais variáveis apresentaram resultados intermediários (10 – 20%), classificando assim, como um experimento de média precisão (Tabela 3), conforme classificação de Pimentel-Gomes (2009).

A incidência (IN) corresponde à porcentagem da média de espigas infectadas nas unidades experimentais. De maneira geral, para esta variável, não houve diferenças significativas entre os produtos comerciais nem entre as formas de aplicação, no entanto, vale destacar que o tratamento testemunha apresentou maior incidência quando comparado às plantas que, de alguma forma, receberam Si (Tabela 4). Morello *et al.* (2017), encontraram resultados positivos em relação a redução da incidência de giberela em plantas de trigo com fornecimento de Si via solo. Na cultura da batata, observou-se que aplicações de Si via foliar reduziram a incidência da canela-preta (*Pectobacterium* spp.) (SORATTO *et al.*, 2012).

Estudos já demonstraram que o Si se acumula em forma de sílica amorfa, formando uma dupla camada de sílicacutícula e sílica-celulosa, a qual funciona como barreira estrutural de resistência mecânica à invasão de fungos e bactérias para o interior das células aumentando a resistência das plantas às doenças (MENEGALE, *et al.*, 2015). Outro efeito do silício é o da ativação das defesas químicas e bioquímicas da planta, aumentando o conteúdo de fenóis e da atividade de enzimas importantes como quitinases e β -1,3-glucanases (RODRIGUES *et al.*, 2001).

A severidade (SE) das espigas inoculadas corresponde ao quanto estas foram afetadas pela giberela. Levando em consideração os produtos comerciais, não foram observadas diferenças significativas entre ambos (Tabela 4). Porém, de maneira geral, para as formas de aplicação de Si, aplicação via Solo e via Foliar + Solo, proporcionaram 32,6 e 40,6% de controle em relação a testemunha, que não recebeu Si, respectivamente. Malavolta (2006), destaca que o Si é um elemento benéfico que pode aumentar a resistência a pragas e doenças. Quando absorvido pela planta se acumula nos tecidos estruturais, vasculares, de armazenamento e na epiderme (LIMA FILHO; TSAI, 2007). Nas plantas acumuladoras de Si, sua concentração é maior na parte aérea, principalmente no caule e folhas e, em baixa quantidade nos grãos (MENEGALE *et al.*, 2015).

A adubação foliar é uma maneira de complementar a adubação convencional pelo solo, visto que as plantas não possuem capacidade de absorver grandes quantidades de nutrientes pelas folhas, sendo que a via de absorção mais eficiente é pelas raízes (NACHTIGALL; NAVA, 2010). Este fato pode explicar o ocorrido com a variável severidade, onde a forma de aplicação Foliar teve maior média (mais doença) quando comparada com as

demais formas de aplicação. Neste caso, é possível que tenha ocorrido uma menor concentração de Si na planta. Por outro lado, quando a forma de aplicação foi via Solo, esta obteve uma média de severidade (SE) maior que a forma Foliar + Solo, assim, nessa última, além da aplicação no solo oferecer uma maior disponibilidade de Si, a aplicação foliar foi uma maneira de complementar a concentração do elemento na planta e aumentar suas defesas contra a giberela.

Tabela 4 - Comparação das médias para as variáveis de incidência (IN), severidade (SE), altura de plantas (AP) e número de espigas (NE) analisadas em DIC em esquema bifatorial com dois produtos comerciais em quatro formas de aplicação, Cerro Largo, 2023.

Produto comercial	Formas de aplicação				Geral
	Testemunha	Foliar	Solo	Foliar + Solo	
IN = Incidência (%)					
Potency	63,06	69,44	78,82	73,61	71,23 ^{ns}
SiliAgro	90,63	69,15	61,03	71,08	73,22 ^{ns}
Geral	76,84 ^{ns}	69,30 ^{ns}	69,93 ^{ns}	72,85 ^{ns}	72,23
SE = Severidade (%)					
Potency	61,75 A a	43,88 A a	57,25 A a	35,5 A a	49,59 ^{ns}
SiliAgro	74,5 A a	64,38 A ab	34,5 B c	45,48 A bc	54,69 ^{ns}
Geral	68,13 a	54,13 ab	45,88 b	40,44 b	52,14
AP = Altura de Plantas (cm)					
Potency	60,73	61,63	59,15	64,69	61,55 ^{ns}
SiliAgro	59,56	61,88	59,9	63,19	61,13 ^{ns}
Geral	60,14 ab	61,75 ab	59,53 b	63,94 a	61,34
NE = Número de Espigas					
Potency	5,13 A a	3,88 A b	4,25 A ab	4,25 A ab	4,38 ^{ns}
SiliAgro	3,63 B a	4 A a	4,13 A a	4,5 A a	4,06 ^{ns}
Geral	4,38 ^{ns}	3,94 ^{ns}	4,19 ^{ns}	4,38 ^{ns}	4,22

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p=0,05$).

^{ns} indica efeito não significativo

Fonte: elaborado pela autora (2023).

Para a variável altura de plantas (AP), de maneira geral, não houve diferenças significativas entre os produtos comerciais, no entanto, quando a forma de aplicação foi Foliar + Solo, observou-se a maior média dessa variável (63,94 cm), diferindo significativamente da

aplicação via Solo, onde se observou a menor média (59,53 cm) (Tabela 4). A deposição de Si nas plantas, torna-as mais eretas e com caules mais resistentes, o que proporciona menor risco de acamamento. Plantas com melhor organização das folhas, favorece para que ocorra maior interceptação de luz, aumentando suas taxas fotossintéticas, além de torná-las mais arejadas dificultando que haja condições favoráveis para o desenvolvimento de doenças (MALAVOLTA, 2006).

Santos *et al.* (2020), realizaram combinações de aplicações de Si em diferentes doses em pulverizações via foliar e no solo com o objetivo de avaliar os efeitos na fisiologia, crescimento e rendimento do algodoeiro. Apesar de a cultura não ser uma acumuladora, os resultados da aplicação de Si no solo se mostraram benéficos para o crescimento da cultura, aumentando variáveis como índice de cor verde, fotossíntese, altura de plantas e o Índice da Diferença de Vegetação Normalizada (NDVI). Lima Filho e Tsai (2007), observaram que ao final de seu experimento em hidroponia com trigo e aveia branca, as plantas testemunhas que não receberam Si, não apresentaram rigidez nos colmos, não sendo capazes de se manterem eretas. Assim, mostrando o papel importante do Si na função estrutural e arquitetura da planta.

Para a variável número de espigas (NE), de maneira geral, não houve diferenças significativas para os produtos comerciais e nem para as formas de aplicação. Ainda assim, a Testemunha e a forma Foliar + Solo apresentaram as maiores médias (iguais) para essa variável (4,38 un) (Tabela 4). Castellanos *et al.* (2016), utilizaram diferentes doses silício em plantas de trigo sob estresse salino com o objetivo de avaliar a qualidade de sementes produzidas e observaram que, em doses de até 2000 kg ha⁻¹ ocorreu um aumento no número de espigas.

De maneira geral, para ambos os produtos comerciais, as variáveis número de espiguetas da espiga (NETE), número de grãos da espiga (NGE), peso dos grãos da espiga (PGE) e massa seca da parte aérea (MSPA) não diferiram significativamente entre si. O mesmo ocorreu para as formas de aplicação (Tabela 5).

Ainda que os resultados não sejam significativos, cabe aqui destacar que, em relação as formas de aplicação, para NETE, o tratamento testemunha obteve maior média enquanto que o tratamento via Foliar + Solo teve a menor média. Para NGE e PGE houve um incremento de 6,5 e 5,6 %, respectivamente, em relação a testemunha. (Tabela 5).

Tabela 5 - Comparação das médias das variáveis de número de espiguetas da espiga (NETE), número de grãos da espiga (NGE), peso dos grãos da espiga (PGE), e massa seca da parte aérea (MSPA) analisadas em DIC em esquema bifatorial com dois produtos comerciais em quatro formas de aplicação, Cerro Largo, 2023

Produto comercial	Formas de aplicação				Geral
	Testemunha	Foliar	Solo	Foliar + Solo	
NETE = Número de Espiguetas da Espiga					
Potency	15,63	15,38	15,13	14,75	15,22 ^{ns}
SiliAgro	15,5	15,38	15,5	15,13	15,38 ^{ns}
Geral	15,56 ^{ns}	15,38 ^{ns}	15,31 ^{ns}	14,94 ^{ns}	15,3
NGE = Número de Grãos da Espiga					
Potency	40,25	40,75	40,00	43,38	41,09 ^{ns}
SiliAgro	40,75	44,88	42,13	42,88	42,66 ^{ns}
Geral	40,5 ^{ns}	42,81 ^{ns}	41,06 ^{ns}	43,13 ^{ns}	41,88
PGE = Peso dos Grãos da Espiga (g)					
Potency	1,354	1,380	1,383	1,494	1,403 ^{ns}
SiliAgro	1,367	1,464	1,410	1,281	1,405 ^{ns}
Geral	1,361 ^{ns}	1,422 ^{ns}	1,396 ^{ns}	1,438 ^{ns}	1,400
MSPA = Matéria Seca da Parte Aérea (g)					
Potency	8,303	7,926	8,233	8,056	8,129 ^{ns}
SiliAgro	7,904	7,804	8,014	8,529	8,063 ^{ns}
Geral	8,103 ^{ns}	7,865 ^{ns}	8,123 ^{ns}	8,293 ^{ns}	8,1

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p=0,05$).

^{ns} indica efeito não significativo

Fonte: elaborado pela autora (2023).

Lima Filho e Tsai (2007), avaliaram o efeito do Si no crescimento e produção em três cultivares de trigo e duas de aveia em condições hidropônicas. Os resultados mostraram que o fornecimento de Si aumentou positivamente o crescimento e a produção de grãos da aveia branca e do trigo. O trigo se apresentou mais responsivo ao Si, apresentando aumento acentuado nos parâmetros matéria seca da parte aérea, espigas e grãos, aumento no número e na massa individual de grãos e no comprimento das espigas em um das cultivares.

Para Tavares *et al.* (2014), a nutrição das plantas de trigo com Si pode influenciar positivamente na qualidade fisiológica e no rendimento de sementes. Por isso, objetivaram em seu trabalho avaliar estes parâmetros em sementes de trigo, onde as plantas foram nutridas

com duas fontes de Si em seis doses diferentes via solo e obtiveram que o número de sementes, peso hectolítrico e rendimento de sementes apresentaram incrementos positivos.

Martin *et al.* (2017) realizaram aplicações foliares de silício em trigo com o objetivo de avaliar as alterações provocadas nos componentes de rendimento da cultura. O experimento foi realizado em dois anos agrícolas, sendo que no primeiro, foram utilizadas cinco cultivares e, no segundo, quatro. Dentre os componentes avaliados, a maioria não apresentou incremento na produção, somente o índice de colheita do primeiro ano e o número de afilhos do segundo apresentou resultados positivos.

Quanto as fontes de silício utilizadas no experimento não apresentarem diferenças significativas, Teixeira *et al.* (2008) também não encontrou diferenças para o fornecimento de Si em seus três produtos comerciais utilizados via foliar, mesmo que entre eles, haviam diferenças entre as concentrações. Além disso, as doses dos produtos comerciais utilizadas no experimento, foram calibradas para que no fornecimento às plantas via solo, ambos tivessem a mesma concentração de Si (200 mg/litro de capacidade dos vasos), somente para a via foliar, foram utilizados as doses indicadas para cada produto.

Em relação às formas de aplicação em que não houve diferenças significativas, pode ter relação com as doses utilizadas. Não há uma dose ideal de recomendação para o Si, por isso em muitos estudos, busca-se uma dose em que haja melhores resultados. Por exemplo, Castellanos *et al.* (2016) utilizou doses de 0, 1000, 2000 e 3000 kg ha⁻¹, no entanto somente as doses de até 2000 kg ha⁻¹, favoreceram o aumento do número de espigas e do peso de sementes. Duas fontes de Si em doses de 0, 500, 1000, 1500, 2000 e 2500 kg ha⁻¹ foram utilizadas para avaliar o acúmulo de silício e compostos fenólicos em plantas de trigo com adubação silicatada, via solo, e os resultados mostraram que houve um acúmulo linear de Si em colmos e folhas até a dose de 2500 kg ha⁻¹ e incremento na produtividade, até a dose de 1720 kg ha⁻¹ (MENDONÇA *et al.* (2013)

Domiciano *et al.* (2010) cultivaram trigo em vasos contendo 0 e 0,30 g Si/kg de solo, com o objetivo de avaliar o progresso da mancha marrom na folha bandeira das plantas, obtendo resultados positivos em relação ao patógeno com esta dose. O trigo e aveia branca apresentam alta capacidade de absorção de silício, indicando a possibilidade das plantas absorverem maiores quantidades quando houver mais disponibilidade (LIMA FILHO; TSAI, 2007), no entanto, ainda é necessária uma caracterização molecular e fisiológica adicional dos transportadores de Si em diferentes espécies de plantas (MA; YAMAJI, 2015). Sendo assim, para que as variáveis deste experimento pudessem obter melhores respostas, há a possibilidade de aumentar a dose de Si fornecida no solo.

A presença da giberela está associada a presença de micotoxinas produzidas pelo seu patógeno causador. Dentre as práticas de manejo para o controle da doença está o uso de fungicidas (TIBOLA, *et al.*, 2011). Como o silício vem se mostrando bastante eficiente em relação ao controle de doenças, este pode colaborar para a redução dos níveis de micotoxinas presentes nos grãos de trigo e também em outras culturas.

O uso do silício tem mostrado um grande potencial para a diminuição do uso de agroquímicos, sendo uma estratégia mais sustentável para aumentar a produtividade através de nutrição equilibrada e fisiologicamente eficiente, resultando em plantas produtivas, eficientes e vigorosas. Em um futuro não muito distante, pode se tornar um grande aliado para aliviar estresses abióticos e bióticos nas safras (CASSEL, *et al.*, 2021).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, para as condições em que o experimento foi conduzido, não ocorreram diferenças significativas entre os produtos comerciais utilizados.

Dentre as formas de aplicação, ocorreram diferenças significativas apenas para as variáveis severidade (SE) e altura de plantas (AP). A forma de aplicação Foliar + Solo, apresentou menores porcentagens de severidade de giberela, assim como proporcionou plantas mais altas. Deste modo, é possível observar que o uso do silício pode ser um grande aliado contra doenças, além de poder contribuir para maiores incrementos na produção.

O uso da adubação silicatada vem mostrando muitos resultados positivos nos estudos em relação ao controle de pragas e doenças e no incremento da produtividade em diferentes culturas. No entanto, atualmente, o silício é pouco conhecido em relação aos seus benefícios e, principalmente, encontra-se muitas limitações voltadas às doses e necessidades das plantas, por isso é de suma importância o prosseguimento de pesquisas voltadas a este conteúdo.

REFERÊNCIAS

- ABITRIGO. **Brasil - Exportação de trigo 2021 (por país)**. 2021. Disponível em: <https://www.abitrigo.com.br/categoria-estatisticas/importacao-e-exportacao/>. Acesso em: 26 mai. 2022.
- ABITRIGO. **Brasil - Importação de trigo 2021 (por país)**. 2021. Disponível em: <https://www.abitrigo.com.br/categoria-estatisticas/importacao-e-exportacao/>. Acesso em: 26 mai. 2022.
- ABITRIGO. **História do trigo**. 2020. Disponível em: <http://www.abitrigo.com.br/conhecimento/historia-do-trigo/>. Acesso em 26 mai. 2022.
- ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. C. **Métodos em fitopatologia**. 2 ed. Viçosa, MG: UFRV, 2016, 516 p.
- ASSIS, F. A. *et al.* Aplicação de silício no solo e/ou foliar no desenvolvimento vegetativo de *Physalis peruviana* L. In: SIMPÓSIO DE PROPAGAÇÃO DE PLANTAS E PRODUÇÃO DE MUDAS, Ribeirão Preto, 2017. Disponível em: http://www.simpmudas.com.br/cd/Resumos/ResumoSimpMudas_0007.pdf. Acesso em: 10 mai. 2022.
- BENNET, J. W.; KLICH, M. Mycotoxins. **Clinical Microbiology Reviews**, v.16, n. 3, p. 497-516, jul. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/CMR.16.3.497-516.2003>. Acesso em: 2 jun. 2022.
- BERNARDI, C. M. G. *et al.* **Cartilha do agricultor: micotoxinas no trigo**. São Paulo: Abitrito; Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2018. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094602>. Acesso em: 30 mai. 2022.
- BIOTRIGO. **TBIO Ponteiro**. 2022. Disponível em: https://biotrito.com.br/cultivares/portfolio/tbio_ponteiro/50. Acesso em: 9 ago. 2022.
- BONFADA, É. B. **Giberela em trigo: controle químico e tecnologia de aplicação de fungicidas**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2018. Disponível em: <http://tede.upf.br:8080/jspui/handle/tede/1451>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- BRASIL exporta mais trigo... para depois ter que importar. **Gazeta do povo**, 2015. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/agricultura/trigo/brasil-exporta-mais-trigo-para-depois-ter-que-importar-2013srpdooafdhq2bg1bstw1v/>. Acesso em: 25 mai. 2022.
- BUCK, G. B. **Método para determinação de silício solúvel em fertilizantes**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/12052>. Acesso em: 14 jan. 2023.
- CASSEL, J. L. *et al.* Benefícios da aplicação de silício em plantas. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v.4, n.4, p. 6601-6615 out./dez.. 2021. DOI:

10.34188/bjaerv4n4-140. Disponível em:
<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/41883>. Acesso em: 23 jan. 2023

CASTELLANOS, C. I. S. *et al.* Aplicação ao solo de cinza de casca de arroz como fonte de silício: efeito na qualidade de sementes de trigo produzidas sob stresse salino. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 1, p. 95-104, 2016. DOI: <https://doi.org/10.19084/RCA15011>. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16358>. Acesso em: 14 jan. 2023.

COÊLHO, J. D. Trigo: produção e mercados. **Banco do Nordeste do Brasil** (Caderno Setorial Etene) Fortaleza, v. 6, n. 203, dez. 2021. Disponível em:
<https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/1057>. Acesso em: 26 mai. 2022.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: 8º levantamento - Safra 21/22**, v. 9, n. 8, Brasília, mai. 2022. Disponível em:
<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 26 mai. 2022.

DANELLI, A. L. T.; ZOLDAN, S.; REIS, E. M. Giberela - Ciclo da doença. **OR sementes**, Passo Fundo, 2007. Disponível em:
<https://www.orsementes.com.br/cockpit/storage/uploads/2021/11/07/6188374d7474eCiclo-giberela.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2022.

DE MORI, C.; IGNACSAK, J. C. Aspectos econômicos do complexo agroindustrial do trigo. *In.* PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011, Cap. 3, p. 41-76. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/931337/trigo-no-brasil-bases-para-producao-competitiva-e-sustentavel>. Acesso em: 25 mai. 2022.

DEL PONTE, E. M. *et al.* Giberela do trigo – aspectos epidemiológicos e modelos de previsão. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 6, nov./dez., 2004. Disponível em:
<https://doi.org/10.1590/S0100-41582004000600001>. Acesso em: 2 dez. 2022.

DEUNER, C. C. *et al.* Resistência de cultivares de trigo à giberela mediante inoculação artificial em espiguetas. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 41, n. 3, p. 202-206, set. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-5405/1994>. Acesso em: 08 ago. 2022.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. Ministério da Saúde/Agência Nacional de Vigilância Sanitária/Diretoria Colegiada. **Instrução normativa nº 88 de 26 de março de 2021**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-88-de-26-de-marco-de-2021-311655598>. Acesso em: 20 jun. 2022.

DOMICIANO, G. P. *et al.* Silício no progresso da mancha marrom na folha bandeira do trigo. **Tropical Plant Pathology**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 186-189, jun. 2010. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.1590/s1982-56762010000300009>. Acesso em: 23 jul. 2022.

EMBRAPA. **Alimentos seguros e micotoxinas em trigo**. 2019. Disponível em:
<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/culturas-de-inverno/2019/62a-ro/>. Acesso em 5 jun. 2022.

FERREIRA, H. *et al.* Aflatoxinas: um risco à saúde humana e animal. **Ambiência**, Guarapuava, v. 2 n. 1 p. 113-127, jan./jun. 2006. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/365>. Acesso em: 1 jun. 2022.

FREIRE, F. C. O. *et al.* **Micotoxinas: Importância na Alimentação e na Saúde Humana e Animal**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, out. 2007. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/427374/micotoxinas-importancia-na-alimentacao-e-na-saude-humana-e-animal>. Acesso em: 1 jun. 2022.
<https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/5354>. Acesso em: 23 jan. 2023.

IAMANAKA, B. T.; OLIVEIRA, I. S.; TANIWAKI, M. H. Micotoxinas em alimentos. **Anais Da Academia Pernambucana De Ciência Agrônômica**, Recife, v. 7, p.138-161, 2010. Disponível em: <http://ead.codai.ufrpe.br/index.php/apca/article/view/128>. Acesso em: 30 mai. 2022.

JESUS JÚNIOR, C. *et al.* Panorama das importações de trigo no Brasil. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 34, p. 389-420, set. 2011. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1602>. Acesso em: 13 jun. 2022.

JESUS, W. J. S. *et al.* Efeito de doses de silício em sorgo granífero cultivado sob condições de deficiência hídrica. **Revista Agrária Acadêmica**, v. 3, n. 3, p. 149-161, mai/jun. 2020. Disponível em: <https://agrariacad.com/wp-content/uploads/2020/06/Rev-Agr-Acad-v3-n3-2020-p149-161-Efeito-de-doses-de-silicio-em-sorgo-granifero-cultivado-sob-condicoes-de-deficiencia-hidrica.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2022.

KOWAL, A. N. *et al.* Aplicação foliar de silício reduz a ocorrência de doenças fúngicas na cultura do morangueiro. **Revista Eletrônica Científica Da UERGS**, v. 6, n. 2, Edição Especial XSBPF, p. 150-154, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.21674/2448-0479.62.150-154>. Acesso em: 1 ago. 2022.

KWIATKOWSKI, A.; ALVES, A. P. Importância da detecção e do controle de aflatoxinas em alimentos. **SaBios-Revista de Saúde e Biologia**, Campo Mourão, v.2, n.2, p.44-53, jul./dez. 2007. Disponível em: <http://periodicos.grupointegrado.br/revista/index.php/sabios/article/view/64>. Acesso em: 1 jun. 2022.

LAU, D. *et al.* 2011 Doenças de trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011, p. 283-284. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/931337/trigo-no-brasil-bases-para-producao-competitiva-e-sustentavel>. Acesso em: 10 jun. 2022.

LIMA FILHO, O. F.; TSAI, S. M. **Crescimento e Produção do Trigo e da Aveia Branca Suplementados com Silício**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, jul. 2007. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/254789/crescimento-e-producao-do-trigo-e-da-aveia-branca-suplementados-com-silicio>. Acesso em: 8 jul. 2022.

LIMA, M. I. P. M. **Avaliação de cultivares de trigo à giberela**. 2012. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2018. Disponível em: <http://tede.upf.br:8080/jspui/handle/tede/423>. Acesso em: 12 jun. 2022.

LIMA, M. I. P. M. **Giberela ou Brusone?** Orientações para a identificação correta dessas enfermidades em trigo e em cevada. Passo Fundo: Embrapa Trigo, n. 40, dez. 2004. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do40.htm. Acesso em: 10 jun. 2022.

LIMA, M. I. P. M. **Identificação prática de giberela em trigo.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, dez. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1087551/identificacao-pratica-de-giberela-em-trigo>. Acesso em: 10 jun. 2022.

LIMA, M. I. P. M. **Metodologia para avaliar a resistência genética tipo i e tipo ii à giberela em trigo.** Embrapa Trigo, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1067605/metodologia-para-avaliar-a-resistencia-genetica-tipo-i-e-tipo-ii-a-giberela-em-trigo>. Acesso em: 2 dez. 2022

LIMA, M. I. P. M.; TIBOLA, C. S. Giberela no trigo: solução pendente. **Revista cultivar**, 2016. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/giberela-em-trigo-solucao-pendente>. Acesso em: 13 jun. 2022.

MA, J. F.; YAMAJI, N. A Cooperative system of silicon transport in plants. **Trends in Plant Science**, v. 20, n. 7, p. 435-442, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1360138515000916?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jan. 2023.

MACHADO, L. V. *et al.* Deoxynivalenol in wheat and wheat products from a harvest affected by fusarium head blight. **Food Sci. Technol**, Campinas, v. 37, n. 1, Jan./Mar. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-457X.05915>. Acesso em: 1 jun. 2022.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** 1 ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006

MANUAL. **Adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 11 ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2016. 376 p.

MARTIN, T. N. *et al.* Aplicação foliar de silício nos componentes do rendimento do trigo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 3, jul./set. 2017. Disponível em:

MARTIN, T. N., *et al.* Silício foliar em diferentes cultivares de trigo. *Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias*. Paranaguá, v. 5, n. 2, p. 3-15, mar./dez. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21575/25254790rmmaa2020vol5n21000>. Acesso em: 8 jul. 2022.

MAZIERO, M. T; BERSOT, L. S.. Micotoxinas em alimentos produzidos no Brasil. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 12, n. 1, p.89-99, 2010.

MELO, N. F. **Introdução aos Hormônios e Reguladores de Crescimento Vegetal.** Petrolina: Embrapa Semi-Árido, dez. 2002. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/135451/introducao-aos-hormonios-e-reguladores-de-crescimento-vegetal>. Acesso em: 13 jun. 2022.

MENDONÇA, A. O., et al. Acúmulo de silício e compostos fenólicos na parte aérea de plantas de trigo após a adubação silicatada. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1154-1162, Set./Out. 2013. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/22432/13010>. Acesso em: 8 jul. 2022.

MENEGALE, M. L. *et al.* Silício: interação com o sistema solo-planta. *Journal of Agronomic Sciences*, Umuarama, v.4, n. especial, p.435-454, 2015.

MORELLO, T. N. *et al.* **Silício e resistência genética de cultivares no manejo da giberela do trigo.** CIC - XXVI Congresso de Iniciação Científica, UFPEL, 2017. Disponível em: http://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2017/CA_00759.pdf. Acesso em: 6 jul. 2022.

NACHTIGALL, G. R.; NAVA, G. **Adubação foliar: fatos e mitos.** Embrapa Uva e Vinho, 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/858552/adubacao-foliar-fatos-e-mitos>. Acesso em: 23 jan. 2023.

NETO, A. A. O.; SANTOS, C. M. R. **A cultura do trigo.** Brasília: Conab, 2017, 218 p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/outras-publicacoes/item/2903->. Acesso em: 25 mai. 2022.

NICOLLI, C. P.; ANDRADE, B. C.; TIBOLA, C. S. Espécies micotoxigênicas e as principais micotoxinas no trigo *In*. TIBOLA, C. S.; FERNANDES, J. M. **Micotoxinas no trigo: estratégias de manejo para minimizar a contaminação.** Brasília: Embrapa, 2020, p. 23-37. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1131324/micotoxinas-no-trigo-estrategias-de-manejo-para-minimizar-a-contaminacao#:~:text=O%20livro%20Micotoxinas%20no%20trigo,a%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20alimentos%20seguros>. Acesso em: 5 jun. 2022.

NULTSCH, W. **Botânica geral.** 10 ed. Porto Alegre: Artmed, 2000.

OLIVEIRA JÚNIOR, S. G. *et al.*,. Aplicação foliar de silício em plantas de trigo associado a qualidade fisiológica de sementes. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 8, n. 1, p. 9-16, mar. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21206/rbas.v8i1.455>. Acesso em: 8 jul. 2021.

OLIVEIRA, C. A. F.; GERMANO, P. M. L. Aflatoxinas: conceitos sobre mecanismos de toxicidade e seu envolvimento na etiologia do câncer hepático celular. **Revista de saúde pública**, v. 31, n. 4, p. 417-24, ago. 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-89101997000400011>. Acesso em: 1 jun 2022.

PERAICA, M. *et al.* Efectos tóxicos de las micotoxinas en el ser humano. *World Health Organization*, n. 2, 2000. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/57586>. Acesso em: 1 jun. 2022.

PEREIRA, K. C.; SANTOS, C. F., 2011 Micotoxinas e seu potencial carcinogênico. *Ensaio e ciência: ciências biológicas agrárias e da saúde*, v. 15, n. 4, p. 147-165, 2011. Disponível em:

- <https://revista.pgsskroton.com/index.php/ensaioeciencia/article/view/2868>. Acesso em: 1 jun. 2022.
- PIMENTEL-GOMES, F. Curso de estatística experimental. 15. ed. Piracicaba, FEALQ, 2009. 451 p.
- PIRES, J. L. *et al.* Integração de práticas de manejo no sistema de produção de trigo. *In*. PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011, p. 283-284. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/931337/trigo-no-brasil-bases-para-producao-competitiva-e-sustentavel> Acesso em: 10 jun. 2022
- POZZA, E. A. *et al.* O Silício no controle de doenças de plantas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n.3, p. 323-331, mai-jun, 2015.
- POZZI, C. R. *et al.* Aspectos relacionados à ocorrência e mecanismo de ação de fumonisinas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 5, p. 901-907, out. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000500026>. Acesso em: 5 jun. 2022.
- RAMOS, L. A. *et al.* Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 751-757, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052008000300025>. Acesso em: 23 jul. 2022.
- RAMOS, L. A. Reatividade de fontes de silício e sua eficiência na absorção e acumulação na cultura do arroz irrigado. Dissertação (Mestrado em Solos) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/12235>. Acesso em: 8 jul. 2022.
- REIS, E. M.; ZANATA, M.; CAMARGO, A. **Controle de doenças no Trigo**. 2020. Disponível em: <http://www2.senar.com.br/Noticias/Detalhe/13283>. Acesso em: 01 ago. 2022.
- RODRIGUES, F. *et al.* Effect of silicon and host resistance on sheath blight development in rice. **Plant Disease**, v. 85, n. 8, p. 827-832, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS.2001.85.8.827>. Acesso em: 23 jan. 2023.
- SANTANA, F. M., *et al.* **Eficiência de fungicidas para controle de giberela do trigo: resultados dos Ensaios Cooperativos - Safra 2019**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, fev. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1130254/eficiencia-de-fungicidas-para-controle-de-giberela-do-trigo-resultados-dos-ensaios-cooperativos---safra-2019>. Acesso em: 9 jul. 2022.
- SANTOS, A. F. B. *et al.* Silício aumenta a clorofila e a fotossíntese e melhora altura e índice da diferença de vegetação normalizada (NDVI) em algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i7.3826. Disponível em: <https://www.rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/3826>. Acesso em: 15 jan. 2023.

SANTOS, G. R. *et al.* Severidade de antracnose em folhas de sorgo submetido a doses crescentes de silício I. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 2, p. 403-408, abr./jun., 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000200023>. Acesso em: 15 jan. 2023.

SANTOS, L. C. *et al.* O papel do silício nas plantas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, 2021.

SCHEEREN, P. L.; CASTRO R. L.; CAIERÃO E. Botânica, Morfologia e Descrição Fenotípica. In. BORÉM, A.; SCHEEREN, P. L. **Trigo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: UFV, 2015, p.35-55. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1022684>. Acesso em 25 mai. 2022

SILVA, D. D. *et al.* **Micotoxinas em cadeias produtivas do milho: riscos à saúde animal e humana**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015, 27 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1037807/micotoxinas-em-cadeias-produtivas-do-milho-riscos-a-saude-animal-e-humana>. Acesso em 30 mai. 2022.

SOARES, F. M. S. Análise mensal de trigo: abril 2022. **Conab**, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-trigo>. Acesso em: 26 mai. 2022

SOARES, F. M. S. Análise mensal de trigo: fevereiro 2022. **Conab**, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-trigo>. Acesso em: 26 mai. 2022.

SORATTO, R. P. *et al.* Produtividade, qualidade de tubérculos e incidência de doenças em batata, influenciados pela aplicação foliar de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 7, p. 1000-1006, jul. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2012000700017>. Acesso em: 01 ago. 2022.

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

TAVARES, L. C., *et al.* Adubação silicatada em trigo: rendimento e qualidade de sementes. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 113, n. 1, p. 94-99, 2014. Disponível em: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/42080>. Acesso em 8 jul. 2022.

TEIXEIRA, I. R. *et al.* Fontes de silício em cultivares de feijão nas safras das águas e da seca. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza v. 39, n. 4, p. 562-568, out./dez., 2008. Disponível em: <http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/388/284>. Acesso em: 15 jan. 2023.

TIBOLA, C. S., *et al.* Micotoxinas em trigo no Brasil: causas, panorama atual e perspectivas para o manejo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, Jul./Ago. 2011. Disponível em: <https://www.plantiodireto.com.br/storage/files/124/10.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2022.

TIBOLA, C. S.; FERNANDES, J. M. C. Contaminação do trigo por micotoxinas. In. TIBOLA, C. S.; FERNANDES, J. M. C. Micotoxinas no trigo: estratégias de manejo para

minimizar a contaminação. Brasília: Embrapa, 2020, p.11-22. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1131324/micotoxinas-no-trigo-estrategias-de-manejo-para-minimizar-a-contaminacao#:~:text=O%20livro%20Micotoxinas%20no%20trigo,a%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20alimentos%20seguros>. Acesso em: 30 mai. 2022.

TOLA, M.; KEBEDE, B. Occurrence, importance and control of mycotoxins: A review. **Cogent Food & Agriculture**, v. 2, n. 1, jun. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1191103>. Acesso em: 30 mai. 2022

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Production, supply and distribution**, 2022. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em: 25 mai. 2022

VECCHIA, A. D.; CASTILHOS-FORTES, R. Contaminação fúngica em granola comercial. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, vol. 27, n. 2, p.324-327, jun. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/DQRwkPwCh4YjFGCSttdZKFw/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 30 mai. 2022.

VIANA, E. **Giberela em trigo: sobrevivência, reação de cultivares e controle químico**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2013. Disponível em: <http://tede.upf.br/jspui/handle/tede/547>. Acesso em: 10 jun. 2022.

WORDELL FILHO, J. A. W. Manejo da giberela na cultura do trigo. **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 25, n. 1, p. 51-53, mar. 2012. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/RAC/article/download/635/537/4388>. Acesso em: 13 jun. 2022.

WÜRZ, D. A. *et al.* Aplicação foliar de silício reduz a ocorrência de doenças fúngicas na cultura do morangueiro. **Revista Eletrônica Científica da Uergs**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 150-154, mai. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21674/2448-0479.62.150-154>. Acesso em: 01 ago. 2022.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; FONTES, R. L. F.; ÁVILA, V. T. Aplicação do silício para aumentar a resistência do arroz à mancha-parda. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 203-206, fev. 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2009000200013>. Acesso em: 01 ago. 2022.

ANEXO A - FORMULAÇÃO DOS PRODUTOS COMERCIAIS

