

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel

Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade



Dissertação

Alterações fisiológicas e bioquímicas em plantas de cevada supridas com silício e tratadas com fungicida contra *Bipolaris sorokiniana*

Tailine Manske Holz

Pelotas, 2021

Tailine Manske Holz

Alterações fisiológicas e bioquímicas em plantas de cevada supridas com silício e tratadas com fungicida contra *Bipolaris sorokiniana*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área de conhecimento: Fitossanidade).

Orientador: Prof. Dr. Leandro José Dallagnol

Coorientador: Dr. Keilor da Rosa Dorneles

Pelotas, 2021

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

H762a Holz, Tailine Manske

Alterações fisiológicas e bioquímicas em plantas de cevada supridas com silício e tratadas com fungicida contra *Bipolaris sorokiniana* / Tailine Manske Holz ; Leandro José Dallagnol, orientador ; Keilor da Rosa Dorneles, coorientador. – Pelotas, 2021.

100 f.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2021.

1. Mancha marrom. 2. Adubação silicatada. 3. Fungicida preventivo. 4. Mecanismos de defesa. 5. Pigmentos fotossintéticos. I. Dallagnol, Leandro José, orient. II. Dorneles, Keilor da Rosa, coorient. III. Título.

CDD : 631.8

Banca examinadora:

Jonas Alberto Rios, Dr.
(Universidade Federal Rural de Pernambuco)

Aloísio Alcantara Vilarinho, Dr.
(Embrapa Trigo)

Jerônimo Vieira de Araújo Filho, Dr.
(Universidade Federal de Pelotas)

Leandro José Dallagnol, Dr. (Orientador)
(Universidade Federal de Pelotas)

Aos meus pais Lóia e Ildemar,

Ao meu irmão Natan.

Pelo apoio, carinho e incentivo em todos os
momentos da minha vida.

Dedico e ofereço

Agradecimentos

À minha família, meus pais Ildemar Holz e Lóia Denice Manske Holz, e meu irmão Natan Henrique Manske Holz, que me proporcionaram o suporte e motivação necessária para seguir os meus sonhos.

Ao meu namorado, Jai Bezerra Massaut Segundo, por se fazer presente e me apoiar incondicionalmente durante todo o período do mestrado. Teu incentivo e ajuda foram essenciais para a realização desse trabalho, principalmente em tempos pandêmicos. Fostes, e és, meu maior incentivador, amigo e companheiro. Obrigada por compartilhar momentos ao meu lado.

A família Massaut, Eleana, Yasmin e Jai Massaut, minha família pelotense, obrigada pelo acolhimento, incentivo e palavras de carinho.

À Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel e a Universidade Federal de Pelotas pelos anos de ensino acadêmico e pela estrutura que me foi concedida.

Ao Programa de Pós-graduação em Fitossanidade (PPGFs) da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” (FAEM), Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e a todos os professores e colegas que colaboraram para o meu crescimento pessoal e profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu orientador Dr. Leandro José Dallagnol e, ao meu coorientador Dr. Keilor da Rosa Dorneles. Agradeço pela orientação, ensinamentos e confiança.

Aos colegas e estagiários do Laboratório de Interação Planta-Patógeno, obrigada por toda ajuda e amizade.

Ao meu amigo e colega de LIPP, Alfonso Daniel Victoria Arellano, obrigada pelo apoio e ajuda desde 2017. Tua amizade é muito importante para mim, te desejo muito sucesso na tua nova fase de vida.

Aos amigos de longa data Camila Cardoso, Daiane Sperling, Ivana Moisinho, Tais Dalla Nora, Kathleen Huttner, Karina Amaral, Diovan Goulart e Eduardo Borges obrigada por toda amizade e palavras amigas. Sinto saudades diariamente!

A todos que direta ou indiretamente colaboraram no trabalho, muito obrigada!

Resumo

HOLZ, Tailine Manske. **Alterações fisiológicas e bioquímicas em plantas de cevada supridas com silício e tratadas com fungicida contra *Bipolaris sorokiniana***. Orientador: Leandro José Dallagnol. 2021. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

A mancha marrom em cevada, causada pelo fungo *Bipolaris sorokiniana* (Sacc. In Sorok), é umas das principais doenças que ocorre na cultura, reduzindo a produtividade e a qualidade do grão para indústria cervejeira. O manejo da doença envolve a redução de inóculo inicial, uso de cultivares com resistência parcial, complementado com aplicações de fungicidas, as quais atenuam a taxa de progresso da doença. Assim, outras medidas podem ser úteis para complementar e ou aumentar a eficiência de manejo. Com base nisso, objetivou-se neste estudo investigar os efeitos da suplementação de Si no solo para plantas de cevada das cultivares AnaG01 e BRS Cauê, aliado com a aplicação preventiva do fungicida fluxapiraxade + piraclostrobina + epoxiconazol aos 7 ou 15 dias antes da inoculação com *B. sorokiniana*, na redução da intensidade da mancha marrom, nos mecanismos bioquímicos de defesa (Artigo 1), e nas respostas fisiológicas decorrentes do processo de infecção por *B. sorokiniana* nas folhas de plantas (Artigo 2). O suprimento com Si, para ambas as cultivares, reduziu a severidade da doença em 41%, a taxa de expansão da lesão (21 – 36%) e da área abaixo da curva de progresso da doença (15 – 34%). A enzima superóxido dismutase teve maior atividade em plantas inoculadas e supridas com Si. Plantas supridas com Si também apresentaram maior concentração de compostos fenólicos e de derivados do ácido lignina-tioglicólico, e redução do extravazamento de eletrólitos. Em relação as respostas fotossintéticas, nas plantas inoculadas ocorreu redução da assimilação líquida de CO₂ (*A*) e aos 10 dias após a inoculação (*dai*) ocorreu decréscimo da condutância estomática (*g_s*), da concentração interna de CO₂ (*C_i*) e da taxa transpiratória (*E*). As concentrações de clorofila total, clorofila *a* e carotenoides aumentaram, enquanto a de clorofila *b* foi reduzida nas folhas inoculadas. O suprimento de Si amenizou os danos nas trocas gasosas (*A* e *g_s*) e na concentração de pigmentos. A associação de Si e fungicida conferiu maior redução na intensidade da doença e a manutenção de melhor estado fisiológico da planta quando desafiada com *B. sorokiniana*. Os resultados deste estudo demonstraram o potencial do Si em incrementar a resistência de plantas de cevada à mancha marrom por meio da potencialização de respostas bioquímicas de defesa ou pela redução do dano fisiológico causado pela infecção pelo patógeno.

Palavras-chave: Mancha marrom, adubação silicatada, fungicida preventivo, mecanismos de defesa, pigmentos fotossintéticos, fotossíntese.

Abstract

HOLZ, Tailine Manske. **Physiological and biochemical changes in barley plants supplied with silicon and treated with fungicide against *Bipolaris sorokiniana***. Advisor: Leandro José Dallagnol. 2021. 101p. Dissertation (Master degree) - Crop Protection Graduate Program. Federal University of Pelotas, Pelotas, 2021.

Spot blotch on barley, caused by the fungus *Bipolaris sorokiniana* (Sacc. In Sorok) is one of the main diseases that occur in the crop, reducing yield and grain quality for the brewing industry. The disease management include strategies such as the reduction of initial inoculum, use of cultivars with partial resistance, complemented with fungicide applications, which aim to attenuate the rate of disease progress. Thus, other management measures can be useful to complement and/or increase the control efficiency. Searching for additional management measures, the objective of this study was to investigate the effects of silicon (Si) amendment in the soil to barley plants of the cultivars AnaG01 and BRS Cauê, combined with the preventive application of the fungicide fluxapiraxade + pyraclostrobin + epoxiconazol at 7 or 15 days before inoculation with *B. sorokiniana*, in the reduction of the spot blotch intensity and on the biochemical defense mechanisms (Article 1), and on the physiological alteration resulting of the process of infection by *B. sorokiniana* in the leaves (Article 2). The results showed a reduction in disease severity, for both cultivars supplied with Si, up to 41%, as well as reduction in the rate of lesion expansion (21 – 36%) and in the area under the disease progress curve (15 – 34%). The superoxide dismutase enzyme had the greatest activity in inoculated plants and supplied with Si. Plants supplied with Si also showed a higher concentration of phenolic compounds and lignin-thioglycolic acid derivatives, and reduced electrolyte leakage. Regarding photosynthetic responses, in inoculated plants, there was a reduction in net assimilation of CO₂ (*A*), and 10 days after inoculation there was a decrease in stomatal conductance (*g_s*), internal CO₂ concentration (*C_i*), and transpiration rate (*E*). The concentrations of total chlorophyll, chlorophyll *a* and carotenoids increased, while chlorophyll *b* has been reduced in the leaves of inoculated plants. The supply of Si ameliorated the damage on the gas exchange variables (*A* and *g_s*) and on the concentration of pigments. The association of Si and fungicide provided a greater reduction of disease intensity and maintenance of a better physiological state of the plant when challenged with *B. sorokiniana*. The results of this study demonstrated the potential of Si to increase the resistance of barley plants to spot blotch, through the potentiation of biochemical defense responses or the reduction of physiological damage caused by the pathogen infection.

Keywords: Spot blotch, silicate fertilization, preventive fungicide, defense mechanisms, photosynthetic pigments, photosynthesis.

Sumário

1. Introdução Geral.....	11
2. Artigo 1 - Silício potencializa a resposta de defesa bioquímica de cevada contra <i>Bipolaris sorokiniana</i>	15
1. Introdução.....	18
2. Material e métodos.....	21
2.1. Material vegetal e cultivo	21
2.2. Características do solo, fertilização e aplicação dos corretivos de solo	21
2.3 Delineamento experimental.....	22
2.4. Aplicação do fungicida	22
2.5. Inoculação das plantas de cevada.....	23
2.6. Avaliação da doença	24
2.7. Determinação da atividade enzimática, quantificação da concentração de compostos fenólicos solúveis totais (CFST), derivados lignina-ácido tioglicólico (DLATG) e extravasamento de eletrólitos (EE).	24
2.7.1. Coleta do material para análises bioquímicas	24
2.7.2. Atividade enzimática	25
2.7.3. Quantificação de CFST, DLATG e EE	26
2.8. Concentração foliar de Si	28
2.9 Análises dos dados.....	28
3. Resultados.....	29
3.1. Componentes de resistência.....	29
3.2. Atividade enzimática.....	29
3.3 Compostos fenólicos solúveis totais (CFST), derivados lignina-ácido tioglicólico (DLATG) e extravasamento de eletrólitos (EE)	35
3.4 Concentração foliar de Si.....	39
4. Discussão	40
Referências.....	45
3. Artigo 2 – Efeito da fertilização silicatada e aplicação de fungicida nas respostas fotossintéticas em folhas de cevada desafiadas por <i>Bipolaris sorokiniana</i>	61
1. Introdução.....	64
2. Material e métodos.....	67

2.1. Material vegetal e cultivo	67
2.2. Características do solo, fertilização e aplicação dos corretivos de solo	67
2.3 Delineamento experimental.....	68
2.4. Aplicação do fungicida	68
2.5. Obtenção do inoculo e inoculação das plantas de cevada	69
2.6. Avaliação da doença	71
2.7. Determinação das trocas gasosas	71
2.8. Determinação da concentração dos pigmentos fotossintéticos	72
2.9. Concentração foliar de Si	72
2.10. Análise dos dados	72
3. Resultados.....	73
3.1. Componentes de resistência.....	73
3.2. Trocas gasosas	73
3.3. Pigmentos fotossintéticos	76
3.4. Concentração de Si na folha	79
4. Discussão	80
4. Considerações Finais	98

1. Introdução Geral

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) está entre os cereais de maior relevância mundial, em termos de produção e área cultivada, ocupando a quarta posição entre os mais cultivados economicamente, perdendo apenas para o arroz, milho, e o trigo (CARPENTIERI-PIPOLO & MINELLA, 2021; AGOSTINETTO et al., 2020). Em 2020, a área cultivada foi de cerca de 70 milhões de hectares mundialmente, com produção de 160 milhões de toneladas (FAO, 2020).

A cevada é destinada principalmente para alimentação humana e animal. Na alimentação humana, os grãos são reservados à fabricação de farinhas, *in natura* ou malteada; e na alimentação animal pode ser fornecida através de silagem, feno, pastagem, grãos e, principalmente, rações, desta equivalendo a 65,8% da produção mundial (MORI e MINELLA, 2012).

No Brasil, o cultivo concentra-se na Região Sul, principalmente pelo clima favorável à produção do cereal com qualidade. Os estados do Rio Grande do Sul e Paraná respondem por praticamente 98% da produção nacional, o que correspondeu na safra de 2019 a 429,4 mil toneladas do cereal. Em 2020 houve decréscimo no seu volume total, devido a fatores climáticos desfavoráveis, como o déficit hídrico e a ocorrência de geadas tardias, comprometendo a produção final, a qual foi de 374,4 mil toneladas (CONAB, 2020), já para 2021, está previsto a produção de 424,1 mil toneladas (MAPA, 2021).

A necessidade pelo cereal vem se expandindo, devido a maior demanda de malte. A demanda nacional é de aproximadamente 1,6 milhões de toneladas de malte, mas a produção nacional atual supre apenas cerca de 26% da necessidade da indústria nacional (MAPA, 2021). No Brasil, a extensiva utilização da cevada para fabricação do malte se deve por ser a principal matéria prima na fabricação da cerveja. O Brasil é considerado o terceiro maior produtor mundial, totalizando, aproximadamente, 14 bilhões de litros por ano, o que representa 2% do produto interno bruto (PIB) do país, movimentando R\$100 bilhões anualmente e empregando 2,7 milhões de pessoas (MAPA, 2019).

Visando a expansão da área cultivada e o aumento na produção nacional, as indústrias cervejeiras têm fomentado os produtores, através da compra antecipada da safra antes mesmo da semeadura (MINELLA, 2015). No entanto, a cevada produzida pelos produtores necessita atender o padrão de qualidade conforme

35 estabelecido na Portaria 691/96 do Ministério da Agricultura e Abastecimento. A
36 cevada para ser comercializada para malte deve apresentar teor de umidade de no
37 máximo 13%, poder germinativo de no mínimo 95%, teor de proteínas deve ser de
38 até 12%, os grãos avariados devem ser de no máximo até 5%, e matérias estranhas
39 e impurezas não devem ultrapassar 3% (BRASIL, 2011).

40 Assim, estresses que ocorrerem durante o cultivo da cevada podem
41 comprometer a quantidade e qualidade do grão, com destaque para as doenças
42 (REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CEVADA, 2017). Dentre as doenças que
43 atacam a cultura, a mancha marrom, causada por *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.)
44 Shoemaker, destaca-se entre os principais manchas foliares (TURQUETI et al.,
45 2001), causando danos na produtividade de até 70% (NAVAKAZI et. al., 2020;
46 AGOSTINETTO et al. 2015). As injurias decorrentes do patógeno são devido a
47 redução do processo fotossintético e a elevação da taxa de respiração e
48 transpiração, ocasionando a diminuição no número de filhos e espigas por planta,
49 além de atacar as espigas, ocasionando a descoloração e escurecimento na ponta
50 dos grãos, diminuindo a qualidade do malte e da cerveja (REIS & CASA, 2001).

51 A introdução do patógeno nos locais de cultivo podem ocorrer por meio da
52 disseminação dos conídios pelo vento de áreas contaminadas para áreas indenes e,
53 também, por sementes infectadas (FERRARI & POSSAMAI, 2015). A sobrevivência
54 do patógeno dá-se em hospedeiros alternativos, como *Paspalum notatum* var.
55 pensacola, *Echinochloa cruzgali*, *Digitaria sanguinalis* e *Brachiaria plantaginea*, bem
56 como em outros cereais de inverno cultivados, assim como em restos de cultura na
57 entressafra (REIS & CASA, 2001). Desta forma, o aumento da severidade da
58 mancha marrom nos cultivos são decorrentes, principalmente, pelo sistema de
59 plantio direto, uso de sementes contaminadas e o monocultivo (FERRARI &
60 POSSAMAI, 2015; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CEVADA, 2017).

61 Mediante a isso, aliado a inexistência de cultivares resistentes, o manejo da
62 doença é realizado com a adoção de medidas que visam diminuir e/ou evitar
63 prejuízos no rendimento e na qualidade cervejeira (AGOSTINETTO et al., 2020), tal
64 como reduzir o inóculo inicial e o progresso das epidemias por meio do uso de
65 fungicidas. Para o controle da doença, a aplicação de fungicidas tem sido uma
66 medida muito utilizada pelos agricultores para atenuar os danos ocasionados. No
67 entanto, dependendo do nível de suscetibilidade da cultivar, do sistema de cultivo e
68 das condições climáticas durante o cultivo, podem ser requeridas até quatro

69 pulverizações com fungicidas. Assim, para reduzir o número de pulverizações ou
70 aumentar a eficácia de manejo, uma estratégia é o uso de medidas que visam
71 aumentar a resistência das plantas de cevada ao patógeno.

72 Neste contexto, a utilização do silício (Si) torna-se uma alternativa atrativa,
73 devido a seus efeitos benéficos no crescimento, aproveitamento de nutrientes e
74 potencialização da resistência das plantas a patógenos e pragas (DEBONA et al.,
75 2017). Estudos comprovam que o fornecimento de Si, em várias espécies de
76 plantas, tem conferido redução da intensidade de doenças importantes
77 (RODRIGUES et al., 2015). Em cevada, o uso do Si reduziu a severidade do oídio
78 (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*) (WIESE et al., 2005; WANG et al., 2017) e da
79 giberela (*Fusarium* spp) (SAKR, 2021).

80 Os estudos demonstram que o efeito do Si na redução da intensidade das
81 doenças é devido a mecanismos que atuam de forma aditiva e/ou sinérgica
82 (RODRIGUES & DATNOFF, 2015). Um dos mecanismos atua como barreira física, a
83 qual é constituída pelo espessamento e lignificação da parede celular das células
84 epidérmicas, evitando a penetração mecânica do patógeno. Este evento ocorre
85 devido à movimentação ascendente do elemento, desde as raízes até as folhas,
86 onde o Si se polimeriza nas lacunas extracelulares, acumulando-se nas paredes das
87 células epidérmicas das folhas, logo abaixo da cutícula, e em células especializadas
88 para deposição de Si (MA e YAMAJI, 2008; SHETTY et al., 2012). Logo, a
89 deposição de Si juntamente às células da epiderme, estômatos e tricomas
90 promovem maior rigidez cuticular contra a penetração do patógeno (KAUSS et al.,
91 2003; CRUZ et al., 2014). Adicionalmente, a deposição de Si na parede celular pode
92 prejudicar o fluxo de efetores ou toxinas liberadas por patógenos bem como uma
93 menor difusão de nutrientes conferindo uma evolução mais lenta da doença
94 (COSKUN et al., 2019).

95 Outro mecanismo funciona como barreira bioquímica, na qual o Si atua
96 potencializando a síntese e deposição de compostos fenólicos e fitoalexinas, o
97 acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ERO's), a alteração na atividade de
98 enzimas oxidoredutases e glicolases envolvidas no sistema de defesa da planta
99 (RODRIGUES e DATNOFF, 2015; DEBONA et al., 2017; WANG et al., 2017).
100 Todavia, não se descarta a possibilidade do Si atuar na potencialização das defesas
101 da planta por meio de seu efeito na homeostase de fitohormônios e na interação
102 com os componentes de sinalização, como fósforo (P) ou metais catiônicos, tais

103 como manganês (Mn) e ferro (Fe), que atuam como cofatores para várias enzimas
104 (BOCKHAVEN et al., 2013).

105 Considerando os resultados positivos obtidos pela aplicação de Si no manejo
106 de doenças da cevada supramencionados e diante da limitada disponibilidade de
107 medidas eficazes para a redução da intensidade da mancha marrom na cevada,
108 acredita-se que adubação silicatada, aliada com a aplicação antecipada de
109 fungicida, são estratégias a serem incorporadas no manejo integrado dessa doença,
110 potencializando as respostas fisiológicas e a produção de compostos de defesa da
111 planta em resposta a infecção por *B. sorokiniana*.

112 Partindo desse pressuposto, objetivou-se neste estudo avaliar os efeitos da
113 adubação silicatada, como fonte de Si solúvel, e aplicação antecipada do fungicida
114 nas respostas bioquímicas, como a determinação de enzimas antioxidantes,
115 quantificação da concentração de compostos fenólicos solúveis totais, derivados
116 lignina-ácido tioglicólico e de extravasamento de eletrólitos; e fisiológicas, por meio
117 da avaliação de trocas gasosas, concentração de pigmentos fotossintéticos de
118 plantas de cevada desafiadas com o fungo *B. sorokiniana*.

119 **2. Artigo 1 - Silício potencializa a resposta de defesa bioquímica de cevada**
120 **contra *Bipolaris sorokiniana***

121 *Artigo redigido nas normas da revista "*Physiological and Molecular Plant Pathology*"
122 (versão em português).

123 **Silício potencializa a resposta de defesa bioquímica de cevada**
124 **contra *Bipolaris sorokiniana***

125

126 Tailine M, Holz^a, Keilor R, Dorneles^a, Anderson E, Brunetto^a, Alfonso D, Victoria Arellano^a,
127 Jai B, M, Massaut Segundo^b, Leandro J, Dallagnol^{a*}

128

129 ^a Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Departamento de
130 Fitossanidade, 96010-900, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

131 ^b Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Departamento de
132 Fitotecnia, 96010-900, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

133 *E-mail: leandro.dallagnol@ufpel.edu.br

134 **Resumo**

135 A mancha marrom causada pelo fungo *Bipolaris sorokiniana* é uma das principais doenças da
136 cevada e pode causar dano expressivo na produtividade. Em cultivos comerciais, a aplicação
137 de fungicidas têm sido uma das principais ferramentas no manejo da doença. No entanto,
138 inúmeros estudos evidenciam que a utilização do silício (Si) potencializa o sistema de defesa
139 do hospedeiro. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito do Si, aliado com a
140 aplicação antecipada do fungicida, nas defesas da cevada à mancha marrom, através da
141 avaliação dos componentes de resistência, da atividade de enzimas do sistema antioxidante
142 (ascorbato peroxidase – APX, catalase – CAT, peroxidase – POX, e superóxido dismutase -
143 SOD), do acúmulo de compostos do metabolismo secundário (compostos fenólicos solúveis
144 totais – CFST, e derivados de lignina ácido tioglicólico - DLATG), e o dano celular através da
145 determinação dos extravasamentos de eletrólitos (EE) durante o processo de infecção de *B.*
146 *sorokiniana*. As cultivares AnaG01 e BRS Cauê, ambas suscetíveis, foram cultivadas em solo
147 suprido com silicato de cálcio (+Si) ou calcário extrafino (-Si) e tratadas com o fungicida
148 fluxapiraxade + piraclostrobina + epoxiconazol aos 7 ou 15 dias antes da inoculação (DAI).
149 As enzimas do sistema antioxidantes, CFST, DLATG e EE foram determinadas antes da
150 inoculação (plantas saudas) e das 24 até 120 horas após a inoculação (hai). A inoculação com
151 *B. sorokiniana* aumentou as atividades de APX, CAT, POX e SOD, incrementou o acúmulo
152 de CFST, DLATG e contribuiu para maior EE em folhas. Na AnaG01 ocorreu incremento da
153 SOD, POX, CFST e DLATG, enquanto a BRS Cauê ocorreu maior atividade na CAT, e EE e
154 na concentração foliar de Si. A aplicação de fungicida aos 15 DAI promoveu incremento da
155 atividade de SOD e POX, enquanto na ausência de fungicida aumentou a atividade de CAT,
156 APX, CFST e DLATG. O EE foi maior nas plantas da BRS Cauê e -Si, e não diferiu aos 7 e
157 15 DAI. Nas plantas com Si houve a redução dos componentes de resistência em 34, 36 e
158 41% na AACPD, r e severidade final quando comparado as plantas sem Si, sendo o
159 incremento maior na BRS Cauê. A atuação conjunta de Si e fungicida resultou em menor
160 intensidade da doença e incrementou as defesas bioquímicas da cevada quando desafiada com
161 *B. sorokiniana*.

162

163 Palavras-chave: enzimas antioxidantes, dano celular, mancha marrom, silicato de cálcio,
164 resistência

165 1. Introdução

166 A mancha marrom, causada por *Bipolaris sorokiniana* (Sacc. in Sorok) Shoemaker, é
167 uma das principais doenças foliares que acometem os cereais de inverno no Sul do Brasil.
168 Para a cevada (*Hordeum vulgare*), o fungo compromete a produtividade e a qualidade dos
169 grãos (Mathre, 1982; Reis e Casa, 2001; Antoniazzi e Deschamps, 2007). O dano na
170 produtividade de grãos pode ser de até 70% (Navakazi et. al., 2020; Agostinetto et al. 2015),
171 sendo mais expressivo quando ocorre infecção severa na folha bandeira (Gangwar et. al.,
172 2018).

173 O fungo *B. sorokiniana* apresenta parasitismo tipo hemibiotrófico. Na primeira fase
174 (biotrófica), as hifas do fungo penetram a cutícula e a parede celular da epiderme de uma
175 única célula e, através da formação de vesícula, estabelece a relação parasitária estável com o
176 hospedeiro, sem causar a morte celular (Kumar et. al., 2002). Na segunda fase, o patógeno
177 adquire um comportamento necrotrófico, secretando toxinas (sesquiterpenos), que induzem os
178 sintomas típicos da doença e a morte celular; e enzimas hidrolíticas, como celulase,
179 hemicelulase, pectinase, amilase, e protease, a fim de degradar os constituintes celulares
180 (Kumar et. al., 2002; Kumar et. al., 2015; Gangwar et. al., 2018). Dentre os metabolitos
181 fitotóxicos produzidos por *B. sorokiniana* estão o pré-helminthosporol (composto
182 predominantemente produzido e mais ativo; causando inibição de enzimas de defesa do
183 hospedeiro), helminthosporol (compromete a permeabilidade de membranas), sorociniana
184 (inibi a germinação de grãos/sementes) e, recentemente, foi descoberto um efator,
185 denominado de ToxA, com ação necrotrófica específica ao hospedeiro, que leva ao acúmulo
186 de espécies reativas de oxigênio (EROs) no cloroplasto (Akesson et al., 1996; Nakajima et al.
187 1998; Kumar et. al., 2002; Mcdonald et al., 2018; Novakazi et. al., 2020; Olbe et al., 1995).

188 No controle da mancha marrom da cevada, uma medida de manejo amplamente
189 utilizada é a aplicação de fungicida (Agostinetto et. al., 2015). Por exemplo, o fungicida

190 fluxapirroxade + piraclostrobina + epoxiconazol aplicado de forma preventiva, reduziu
191 significativamente a incidência, severidade, número e tamanho das lesões (Dominguez et al.,
192 2021). Entretanto, a aplicação de fungicida frequente, ou de forma tardia, podem resultar em
193 acréscimo no custo de produção, sem que haja acréscimo de produtividade e elevando a
194 probabilidade da ocorrência de resistência no patógeno às moléculas dos produtos químicos
195 (Agostinetto et al., 2015; Kaur et al., 2021), sendo necessário aliar outras medidas ao manejo
196 para reduzir a intensidade da mancha marrom em cevada.

197 Dentre as estratégias de controle de doenças, o uso do silício (Si) demonstra grande
198 potencial para reduzir os danos causados por patógenos fúngicas, e tem sido amplamente
199 estudado e integrado no manejo das culturas de importância econômica (Rodrigues et al.,
200 2015a; Debona et al., 2017; Cruz et al., 2020; Pazdiora et al., 2021). Em cereais de inverno,
201 como trigo por exemplo, estudos mostraram que plantas supridas com Si apresentaram menor
202 severidade de doenças como a mancha marrom (*Bipolaris sorokiniana*), brusone
203 (*Magnaporthe oryzae* patotype *Triticum*), septoriose (*Zymoseptoria tritici*), oídio (*Blumeria*
204 *graminis* f. sp. *tritici*), mancha amarela (*Pyrenophora tritici repentis*), e giberela (*Fusarium*
205 spp.) (Dallagnol et al. 2020; Pazdiora et al. 2021). Já para cevada, o Si promoveu a redução da
206 intensidade da doença oídio (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*) e giberela (*Fusarium* spp)
207 (Wiese et al., 2005; Wang et al., 2017; Sakr, 2021).

208 O papel do Si na redução da intensidade de doenças está associado à maior
209 dificuldade de penetração e colonização dos tecidos devido a formação de uma barreira física
210 originada pela dupla camada Si-cutícula, e da sua deposição junto a papilas e paredes
211 celulares, agindo negativamente a pressão mecânica exercida pelo patógeno (Kumar et al.,
212 2002; Kim et al., 2002). Além da barreira física conferida pelo Si polimerizado, a presença do
213 Si solúvel é associado com a potencialização do sistema de defesa do hospedeiro, por meio do
214 acúmulo de compostos de defesa pela via rota dos fenilpropanoides, resultando em acréscimo

215 nas concentrações de compostos fenólicos, lignina, e fitoalexinas, alterando a atividade
216 enzimas relacionadas à defesa (defesa direta contra o patógeno e do sistema antioxidante),
217 bem como, possivelmente pela obstrução apoplástica da movimentação de fatores de
218 patogenicidade/virulência do patógeno (Rodrigues et al., 2015a; Debona et al., 2017; Dorneles
219 et. al., 2017; 2018; Wang et al., 2017; Coskun et al., 2019; Cruz et al., 2020). Em relação as
220 enzimas do sistema antioxidante, plantas supridas com Si têm apresentado maior atividade de
221 algumas enzimas, tais como ascorbato peroxidase (APX), a catalase (CAT), a peroxidase
222 (POX) e a superperóxido dismutase (SOD), as quais podem detoxificar a célula de compostos
223 danosos, como as EROs, bem como levar a formação de substâncias antimicrobianas,
224 resultando em uma atenuação da doença nas plantas (Wang et al., 2017). A potencialização do
225 sistema antioxidante pode ser um importante mecanismo para conter o avanço da mancha
226 marrom no tecido da planta, especialmente durante a fase necrotrófica, condição que
227 possivelmente pode ser obtida pelo fornecimento de Si às plantas de cevada. Acredita-se que
228 o progresso mais lento da doença nas plantas supridas com Si pode favorecer o controle do
229 fungicida, aumentando sua eficiência de controle e /ou prolongando o período de maior
230 eficiência.

231 Nesse sentido, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da associação da
232 fertilização silicatada no solo, como fonte de Si solúvel, com a aplicação foliar de fungicida
233 nos mecanismos bioquímicos de defesa da cevada contra *B. sorokiniana*. Para tal, a atividade
234 de enzimas oxidorredutases (APX, CAT, POX e SOD), a concentração dos compostos
235 fenólicos solúveis totais, a concentração de derivados do ácido lignina-tioglicólico e o
236 extravazamento de eletrólitos, foram quantificados em plantas suscetíveis de cevada à mancha
237 marrom, supridas ou não com fertilização silicatada, e sem ou com aplicação antecipada de
238 fungicida aos 7 e 15 dias antes da inoculação.

239 2. Material e métodos

240 2.1. Material vegetal e cultivo

241 As cultivares de cevada AnaG01 (Fapra-Agrária®) e BRS Cauê (Embrapa ®), ambas
242 suscetíveis a mancha marrom, foram utilizadas nos experimentos. Estas cultivares foram
243 selecionadas devido a semelhança na duração ciclo, período de florescimento e uso no
244 mercado. As sementes foram semeadas em vasos plásticos (capacidade de 8 L) contendo 6 kg
245 de solo. Em cada vaso foi cultivado 6 plantas. Durante todo o experimento, as plantas foram
246 mantidas em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Fitossanidade, da Faculdade
247 de Agronomia “Eliseu Maciel” da Universidade Federal de Pelotas (RS). As temperaturas
248 médias diárias variaram entre 2 e 26°C, e a umidade relativa entre 60 e 98%.

249 2.2. Características do solo, fertilização e aplicação dos corretivos de solo

250 As características físico-químicas do solo utilizado no estudo foram as seguintes: 54 g
251 kg^{-1} silte; 251 g kg^{-1} argila; classe textural médio argiloso; pH em água 5.8; 12 mg dm^{-3} P; 6
252 mg dm^{-3} S; 5,8 mg dm^{-3} K; 3,1 cmolc dm^{-3} Ca; 1,7 cmolc dm^{-3} Mg, 0,6 cmolc dm^{-3} Al; 4,4
253 cmolc dm^{-3} H + Al; 53% saturação por bases; 1,99% matéria orgânica; Índice SMP 6. O solo
254 utilizado foi peneirado e a correção da fertilidade química realizada conforme as indicações
255 para a cultura da cevada (Minella, 2019). A dose de nitrogênio foi de 0,24 mg kg^{-1} , na forma
256 de uréia, onde 0,08 mg kg^{-1} foi aplicado na semeadura, 0,08 mg kg^{-1} no início do afilhamento
257 e o restante no início do alongamento; a dose de fósforo (P) foi 0,07 mg kg^{-1} de P_2O_5 e a dose
258 de potássio (K) foi de 0,03 mg kg^{-1} de K_2O . P e K foram aplicados na semeadura.

259 A fonte de Si foi o silicato de cálcio (Agrosilício Plus®, Agronelli Insumos Agrícolas,
260 Uberaba, Brasil), composto por 10,5% de Si, 25% de Ca e 6% de Mg. A dose de silicato de
261 cálcio aplicada foi equivalente a 13,2 toneladas ha^{-1} para elevar o pH do solo até 6.5. Para
262 isolar o efeito do Si, nos tratamentos controle foi adicionado calcário extrafino (Dagoberto
263 Barcelos, Caçapava do Sul, Brasil), composto por 25% de Ca e 15% de Mg. A dose de

264 calcário foi de 11,0 toneladas ha^{-1} . As concentrações adicionadas de Ca e Mg entre os
265 tratamentos foram ajustadas utilizando, separadamente, carbonatos de Ca e Mg. Os corretivos
266 foram misturados ao solo de cada tratamento e incubados por 30 dias em sacos plásticos com
267 a umidade próxima de 80% da capacidade de retenção de água do solo para que ocorresse a
268 solubilização dos elementos minerais. A concentração de Si disponível (extração em CaCl_2
269 0.01 M) no solo no momento da semeadura foi de 23,7 mg kg^{-1} para solo com silicato de
270 cálcio e 11,4 mg kg^{-1} para solo com calcário extrafino.

271 *2.3 Delineamento experimental*

272 O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado com quatro
273 repetições. Os fatores estudados consistiram de cultivares (AnaG01 e BRS Cauê), corretivos
274 no solo (silicato de cálcio e calcário extrafino), aplicação fungicida (7 ou 15 dias antes da
275 inoculação, e sem aplicação) e o tempo de amostragem (-1 (antes da inoculação), 24, 48, 72,
276 96 e 120 horas após a inoculação). O experimento foi realizado duas vezes.

277 *2.4. Aplicação do fungicida*

278 A aplicação do fungicida foi realizada após quarenta e um (41) dias da semeadura,
279 durante o estágio de crescimento 31 (segundo a escala de Zadoks, 1974). O fungicida
280 epoxiconazol (50 g. L^{-1}) + fluxapiraxade (50 g. L^{-1}) + piraclostrobina (81 g. L^{-1}) (BASF®),
281 selecionado entre os indicados para o controle da doença no Brasil (Reunião nacional de
282 pesquisa de cevada, 2017), na dose de 1,0 L ha^{-1} foi aplicado de forma preventiva, aos quinze
283 (15) ou sete (7) dias antes da inoculação da planta. As aplicações foram efetuadas pelo horário
284 da manhã, com temperatura de entre 17-22°C, UR entre 60-70%, e velocidade do vento de 2-5
285 km h^{-1} . A aplicação foi realizada com um pulverizador costal pressurizado por CO_2 , equipado
286 com barra de 3 bicos, com pontas de jato plano em leque, série 110.02, espaçadas em 50 cm e
287 calibradas para um volume de calda de 150 L ha^{-1} .

288 2.5. *Obtenção do isolado e teste de patogenicidade*

289 O isolado fúngico utilizado neste estudo foi obtido de sementes da cultivar BRS Cauê
290 foram coletadas no Centro Agropecuário da Palma, da Universidade Federal de Pelotas, no
291 município de Capão do Leão, RS. Após obter isolado monospórico do fungo, o mesmo foi
292 cultivado em meio batata-dextrose-agar (BDA). A patogenicidade do isolado foi confirmada
293 por meio da inoculação da suspensão de esporos, 1×10^4 conídios por mL, em plantas de
294 cevada da cultivar BRS Cauê com 60 dias de idade. A identidade do isolado fúngico foi
295 confirmada como *Bipolaris sorokinina* por meio da extração de DNA, para amplificação e
296 sequenciamento das regiões da gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase (GAPDH) e 5,8S
297 nrDNA com as regiões espaçadoras transcritas internas (ITS) e 28S DNA ribossômico (LSU).
298 As amplificações de PCR, purificação de produtos de PCR, sequenciamento e edição de
299 sequencias forward e reverse foi feita conforme ao descrito por Victoria Arellano et al., 2021.
300 As sequencia obtidas foram depositadas no GenBank sob os números de acessos OK631542
301 para GAPDH, e OK623477 para ITS.

302 2.7. *Preparo do inóculo e inoculação das plantas de cevada*

303 O isolado do fungo foi repicado para placa de Petri contendo meio BDA, e mantido
304 em BOD por sete dias a temperatura $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ e fotoperíodo de 12h. No sétimo dia, os
305 conídios foram coletados, com o auxílio da alça de Drigalski, em água destilada contendo
306 0,01% de Tween 20%, e a concentração ajustada para 1×10^4 conídios mL^{-1} (Barba et al.,
307 2004).

308 A inoculação das plantas de cevada foi por meio da pulverização foliar da suspensão
309 de esporos de *B. sorokiniana*, aos 56 dias após a emergência das plântulas (estádio 42 de
310 crescimento conforme escala fenológica de Zadoks et al. 1974) por meio da utilização de um
311 borrifador manual (TECBLAS® 45 mL). Toda a superfície foliar de todas as plantas foram
312 completamente cobertas pela pulverização, contudo sem provocar escorrimento superficial.

313 Imediatamente após a inoculação, as plantas foram transferidas para uma câmara de nevoeiro
314 com temperatura de 25 ± 3 °C, onde permaneceram por 48h.

315 O isolado fúngico de *B. sorokiniana* (LIPP BITA01) utilizado nos estudos foi
316 armazenado na Coleção de Fungos do Laboratório de Fungos Fitopatogênicos da Faculdade
317 de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. A preservação do fungo foi
318 em água destilada esterilizada e mantido em temperatura de 10°C (Castelani, 1939).

319 2.8. Avaliação da doença

320 As variáveis avaliadas foram a taxa de expansão de lesão (r), a severidade final (SF) e
321 a área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD). A taxa r foi estimada com base nas
322 mensurações de cinco lesões em uma folha de cada planta. As mensurações foram realizadas a
323 cada 24 h após o aparecimento dos primeiros sintomas, totalizando dez avaliações no tempo.
324 A severidade da mancha marrom foi estimada com base na proporção da área da folha atacada
325 pela doença em relação a área total da folha de acordo com a escala diagramática descrita por
326 Azevedo (1997), totalizando dez avaliações. Os dados de severidade da doença em função do
327 tempo foram utilizados para calcular a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD)
328 conforme fórmula proposta por Shaner & Finney (1977). A SF é o valor da severidade da
329 última avaliação realizada aos 13 dias após a inoculação.

330 2.9. Determinação da atividade enzimática, quantificação da concentração de compostos

331 *fenólicos solúveis totais (CFST), derivados lignina-ácido tioglicólico (DLATG) e*

332 *extravasamento de eletrólitos (EE).*

333 2.9.1. Coleta do material para análises bioquímicas

334 Folhas completamente expandidas foram coletadas às -1 (antes da inoculação), 24, 48,
335 72, 96 e 120 horas após inoculação (hai) para determinação da atividade enzimática e às -1
336 (antes da inoculação), 24, 72 e 120 HAI para determinação de CFST, DLATG e EE. Para
337 cada tempo de coleta foram utilizadas quatro repetições, cada uma constituída por 3 folhas

338 expandidas de uma planta de cada vaso do tratamento. Imediatamente após a coleta, as
339 amostras foram congeladas em N₂ e armazenadas em ultra freezer (-80°C) até a realização das
340 análises.

341 2.9.2. *Atividade enzimática*

342 Os extratos vegetais para a quantificação das atividades enzimáticas foram obtidos
343 conforme a metodologia descrita em Dallagnol et al. (2011) com algumas modificações. Para
344 tal, amostras de tecido foliar de 0,5g foram maceradas em N₂ para obtenção do extrato foliar.
345 Imediatamente após maceração foi adicionada a solução de extração, constituída de tampão
346 fosfato de potássio (100 mM, pH 6,8), contendo fluoreto de fenilmetilsulfonil (1 mM) e
347 polivinilpolipirrolidona (40 mg). Em seguida esse material foi centrifugado a 12.000 x g por
348 15 min a 4°C. O sobrenadante foi utilizado para determinação das atividades enzimáticas.

349 A atividade da enzima superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1) foi determinada
350 conforme metodologia de Ribeiro et al. (2014), por meio da capacidade da enzima em inibir a
351 fotorredução do azul de nitrotetrazólio (NBT), em um meio de reação contendo 1.000 µL
352 fosfato de potássio 100 mM (pH 7,8), 400 µL metionina 70 mM, EDTA 10 µM, NBT 1 mM,
353 riboflavina 0,2 µM, 390 µL água destilada e 20 µL de extrato vegetal. A absorbância foi
354 determinada a 560 nm. Uma unidade da SOD correspondeu à quantidade da enzima capaz de
355 inibir em 50% a fotorredução do NBT, nas condições do ensaio, sendo os resultados
356 expressos em unidades de SOD mg⁻¹ de proteína (Giannopolitis; Ries, 1977).

357 A atividade da enzima catalase (CAT, EC 1.11.1.6) foi definida através quantificação
358 da degradação do peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (Azevedo et al., 1997). O meio de reação foi
359 composto por 1.500 µL do tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,5) contendo H₂O₂ 30%
360 (2,5 µL mL⁻¹ do tampão de reação) e 25 µL do extrato vegetal. A absorbância foi determinada
361 a 240 nm e os resultados expressos em µmol de H₂O₂ degradado min⁻¹ mg⁻¹ de proteína.

362 A atividade da peroxidase (POX, EC 1.11.1.7) foi determinada conforme descrito por
363 Dallagnol et al. (2011). O meio de reação foi composto por 475 μL de água destilada, 375 μL
364 tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 6,8), 300 μL pirogalol 100mM, 300 μL H_2O_2
365 100mM e 15 μL do extrato vegetal. Para o cálculo da atividade da POX foi utilizado o
366 coeficiente de extinção de $0,00247 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (Chance; Maehley, 1955).

367 A atividade da enzima ascorbato peroxidase (APX EC 1.11.1.11) foi determinada pelo
368 método de Nakano e Asada (1981). Ao meio de reação, composto por 1950 μL de tampão
369 fosfato de potássio 50 mM (pH 6,8), 1 mM de H_2O_2 e 0,8 mM de ascorbato, foi adicionado 45
370 μL do extrato enzimático bruto, dando início a reação. A atividade de APX foi medida com
371 base na quantificação da taxa de oxidação do ascorbato (Sigma-Aldrich, São Paulo, Brasil) a
372 290 nm por 1 min a 25°C , e expressa em μmol de ascorbato oxidado $\text{min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína.

373 A concentração de proteínas utilizada para o cálculo da atividade das enzimas foi
374 obtida pelo método de Bradford (1976), usando albumina sérica bovina como padrão.

375 2.9.3. *Quantificação de CFST, DLATG e EE*

376 Para a determinação de CFST, 0,1g de tecido foliar foi macerado em almofariz e
377 pistilo contendo N_2 . O pó resultante foi transferido para microtubo e homogeneizado com
378 1500 μL de metanol 80%, seguido de incubação no escuro a 25°C , sob agitação (200 rpm)
379 por 24 horas. Em seguida, o extrato metanólico foi centrifugado a $12.000 \times g$ por 4 minutos, e
380 o sobrenadante foi transferido para um novo microtubo para a determinação da concentração
381 de CFST. O resíduo sólido insolúvel foi armazenado em ultra freezer (-80°C), para
382 determinação da concentração de DLATG.

383 A determinação de CFST foi baseada na metodologia desenvolvida por Zieslin e
384 Bem-Zaken (1993) com modificações. A mistura de reação conteve 75 μL do reagente Fenol
385 Folin-Ciocalteu (0,25 N) (Sigma-Aldrich), 75 μL do extrato metanólico, 75 μL de carbonato
386 de sódio (1M) e 1500 μL de água destilada. A absorbância da amostra foi determinada a 725

387 nm em espectrofotômetro (Bel® modelo UV-UM51), e os resultados foram expressos, em
388 termos de ácido pirogálico, em μg de CFSTs g^{-1} matéria fresca (mf). Para determinação da
389 curva padrão para quantificação dos CFSTs foi utilizado o ácido Pirogálico P.A.-A.C.S.
390 (SYNTH®).

391 Para determinação da concentração dos DLATG utilizou-se o método de Barber e
392 Ride (1988), onde o resíduo da extração de CFST foi misturado com 1500 μL de água
393 destilada e centrifugado a 12.000 x g por 10 minutos. O sobrenadante foi descartado, e o
394 resíduo deixado na estufa por 24 horas a 65°C. O resíduo alcoólico-insolúvel seco, contendo
395 lignina e ácidos fenólicos foi reidratado com 1500 μL de solução de ácido tioglicólico
396 (Sigma-Aldrich, São Paulo, Brasil) e HCl a 2 N (1:10) e depois colocado em banho-maria a
397 100°C por 4 horas. Posteriormente, os microtubos foram colocados em gelo (4°C) por 10
398 minutos. Em seguida, a mistura foi centrifugada a 12.000 x g por 10 minutos, sendo o
399 sobrenadante descartado e o precipitado lavado com 1500 μL de água destilada e centrifugado
400 novamente a 12.000 x g por 10 minutos. Após a centrifugação, o sobrenadante foi descartado
401 e o precipitado ressuspensionado em 1500 μL de NaOH a 0,5 N. A mistura permaneceu por 12
402 horas em mesa agitadora (200 rpm), em temperatura ambiente. Em seguida, os microtubos
403 foram centrifugados a 12.000 x g por 10 minutos e o sobrenadante foi transferido para novo
404 microtubo.

405 Posteriormente, foram adicionados 200 μL de HCl concentrado ao sobrenadante e os
406 tubos transferidos para geladeira (4 °C) por 4 horas, para precipitação dos derivados da
407 DLATG. Nova centrifugação a 10.000 x g por 10 minutos foi realizada, o sobrenadante
408 descartado e o precipitado (castanho-alaranjado) foi dissolvido em 2000 μL de NaOH a 0,5 N.
409 A absorvância dos derivados da DLATG no sobrenadante foi medida em espectrofotômetro a
410 280 nm e a concentração expressa em μg de DLATG g^{-1} MF, utilizando uma curva padrão

411 obtida com diferentes concentrações de lignina alcalina, éter 2- hidroxipropílico de lignina
412 alcalina, éter 2-hidroxipropil (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO).

413 Para determinação do EE utilizou-se o método descrito por Dorneles et al. (2020),
414 com algumas modificações. Dez discos de folhas (7 mm de diâmetro) foram coletados às -1
415 (antes da inoculação), 24, 72 e 120 HAI. Os discos, imediatamente após os cortes, foram
416 lavados em água deionizada por duas vezes e, posteriormente, incubados em 3000 µL de água
417 deionizada a 25°C. Decorridos 4h da incubação, foi realizada a primeira leitura da
418 condutividade elétrica (CE1), através de um medidor de condutividade (TECNOPON MCA-
419 150 - Instrumentação científica TecnoPON). Logo após, as amostras foram incubadas a 90°C
420 por 2h, e a condutividade elétrica foi determinada novamente (CE2). O resultado de EE foi
421 determinado como a porcentagem de extravasamento de eletrólitos em relação aos eletrólitos
422 totais conforme a seguinte equação: $EE (\%) = (CE1/CE2) \times 100$.

423 *2.10. Concentração foliar de Si*

424 Ao final do experimento, para assegurar que as variações nas variáveis avaliadas
425 foram devidas a diferenças em concentrações foliares de Si, amostras de folhas
426 completamente expandidas, foram coletadas, lavadas com água destilada e secas em estufa a
427 70° C, durante 72 horas. Em seguida as folhas foram moídas, em um moinho de facas até o
428 estado de pó fino, e, posteriormente, determinada a concentração foliar de Si em 0,1 g de
429 matéria seca, conforme metodologia descrita por Korndorfer et al. (2004).

430 *2.11 Análises dos dados*

431 Para evidenciar a homogeneidade dos dados foi aplicado o teste de Shapiro Wilk, para
432 todas as variáveis realizadas nos experimentos. Os dados foram submetidos à análise de
433 variância (ANOVA) e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste Tukey ($P \leq 0.05$). As
434 análises foram realizadas através do software SAS (SAS Institute, Inc., 1989, Cary, NC).

435 3. Resultados

436 3.1. Componentes de resistência

437 Os fatores cultivar, corretivo de solo e aplicação de fungicida foram significativos ($P \leq$
438 0.05) para todos os componentes de resistência (Tabela 1). Na comparação entre cultivares, a
439 AACPD (Tabela S1; Fig. 1a, b), a r (Tabela S1; Fig. 1c, d) e severidade final (Tabela S1; Fig.
440 1e, f) foram 22,4, 47, e 33% menores na AnaG01 em comparação a BRS Cauê. Nas plantas
441 +Si ocorreram reduções de 34, 36, e 41% na AACPD, r e severidade final, respectivamente
442 (Tabela S1; Fig. 1a-f). Embora significativo para a maioria dos tratamentos, o efeito o Si foi
443 mais intenso na BRS Cauê, especialmente nas plantas SF ou tratadas aos 15 DAI (Fig. 1a-f).
444 A aplicação de fungicida, aos 7 ou 15 DAI, reduziu significativamente AACPD, r , e a
445 severidade final da mancha marrom, independente da cultivar ou do corretivo do solo, com
446 eficiência significativamente maior na aplicação aos 7 DAI (Tabela S1). O tratamento com
447 fungicida aos 7 ou 15 DAI, em comparação as plantas sem fungicida, reduziu a AACPD em
448 70 e 45%, a r em 31 e 21%, e a severidade final em 74 e 53% (Tabela S1; Fig. 1a-f).

449 3.2. Atividade enzimática

450 Os fatores cultivar, corretivo de solo, aplicação de fungicida e horas após inoculação
451 (hai), bem como suas interações, foram significativos ($P \leq 0.05$) para a atividade das enzimas
452 SOD, CAT, POX e APX (Tabela 2 e 3), exceto o fator corretivo de solo para APX (Tabela
453 S2).

454 Atividade da SOD aumentou nas folhas das plantas a partir das 48 hai (Tabela S2; Fig.
455 2a-d). De modo geral, a atividade da SOD foi maior nas plantas da AnaG01 em relação a BRS
456 Cauê, das plantas +Si em comparação as -Si e nas plantas SF em comparação as plantas
457 tratadas com fungicida (Tabela S2). Na ausência de fungicida, a maior atividade da SOD foi
458 observada nas plantas da cv AnaG01, independente do corretivo do solo, com maior atividade
459 das 48 até as 96 hai, quando comparado com as plantas cv BRS Cauê (Fig. 2a, d). Na BRS

460 Cauê -Si, aumento na atividade da SOD também ocorreu a partir das 48 hai até o final do
461 período de avaliação (Fig. 2a). Nas plantas tratadas com fungicida 7 DAI, maior atividade da
462 SOD ocorreu nas plantas da +Si, independente da cultivar (Fig. 2b, p), no entanto, nas plantas
463 -Si um aumento na atividade da enzima ocorreu entre as 48 e 96 hai (Fig. 2b). Nas plantas
464 tratadas 15 DAI ocorreu maior AACPAE nas plantas +Si (Fig. 2d), com maior atividade entre
465 as 48 e 96 hai (Fig. 2c). Entretanto, nas plantas -Si também ocorreu incremento na atividade
466 da SOD entre as 48 e 96 hai, com maiores valores observados na AnaG01.

467 A atividade da CAT decresceu nas primeiras 48 hai, entretanto aumentou às 96 hai e voltou a
468 decrescer após esse período (Tabela S2). A atividade de CAT foi maior nas plantas de BRS
469 Cauê, em comparação a AnaG01, e nas plantas -Si em comparação as plantas +Si (Tabela S2).

470 Em relação a aplicação de fungicida, a aplicação 7 DAI resultou em menor atividade da CAT,
471 enquanto nas plantas tratadas aos 15 DAI a atividade aumentou (Tabela S2). Na ausência do
472 tratamento com fungicida, a maior atividade da CAT foi observada nas plantas -Si,
473 independente da cultivar (Fig. 2e, h). Nas plantas da AnaG01 ocorreu redução na atividade da
474 CAT às 48 hai e incremento às 72 hai, independente do tratamento com Si (Fig. 2e).
475 Incremento às 72 hai com posterior redução abrupta também foi verificado para a BRS Cauê,
476 especialmente plantas +Si (Fig. 2e). Nas plantas tratadas com fungicida, um pico na atividade
477 da CAT foi verificado às 72 hai, especialmente nas plantas -Si de ambas cultivares, e nas
478 plantas +Si da BRS Cauê (Fig. 2f, g). Os menores valores de atividade da CAT foram
479 verificados nas plantas tratadas aos 7 DAI, especialmente da AnaG01 +Si (Fig. 2 h),
480 entretanto aos 15 DAI a atividade aumentou em todos os tratamentos, exceto na AnaG01 +Si
481 que apresentou menor alteração (Fig. 2g, h). Nas plantas tratadas com fungicida 7 DAI, maior
482 atividade da CAT ocorreu nas plantas -Si da AnaG01 e em plantas da BRS Cauê (Fig. 2f, h).

483 **Tabela 1.** Análise da variância da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), taxa de expansão da lesão (*r*) e severidade final da
 484 mancha marrom em folhas de plantas de cevada.

Fonte de variação	Df	AACPD	<i>r</i>	Sev
		Quadrado Médio ¹	Quadrado Médio ¹	Quadrado Médio ¹
Cultivar (cv)	1	2423.2 **	1.198 **	221.4 **
Corretivo de solo (cs)	1	6805.6 **	0.621 **	363.5 **
Fungicida (fung)	2	17520.1 **	0.160 **	817.7 **
cv × cs	1	14.0 ns	0.201 **	122.5 **
cv × fung	2	1400.5 **	0.014 **	23.3 *
cs × fung	2	23.1 ns	0.001 ns	55.7 **
cv × cs × fung	2	119.4 **	0.017 **	29.8 **

¹ Níveis de probabilidade: ns= não significativo, *=0.05 e **=0.01. cv: cultivares (AnaG01 e BRS Cauê); cs: corretivo de solo (silicato de cálcio ou calcário extrafino); fung: fungicida (sem aplicação, com aplicação aos 7 ou 15 dias antes da inoculação).

485 **Tabela 2.** Análise da variância da atividade das enzimas ascorbato peroxidase (APX), catalase (CAT), peroxidase (POX) e superóxido dismutase
 486 (SOD) em plantas inoculadas com *Bipolaris sorokiniana*.

Fonte de variação	Df	APX	CAT	POX	SOD
		Quadrado Médio ¹	Quadrado Médio ¹	Quadrado Médio ¹	Quadrado Médio ¹
Cultivar (cv)	1	0.0457 **	33.4526 **	0.4161 **	1944.5393 **
Corretivo de solo (cs)	1	0.0006 ns	114.6499 **	4.5954 **	3673.4912 **
Fungicida (fung)	2	0.0350 **	78.2045 **	1.5436 **	1208.8265 **
Horas após inoculação (hai)	5	0.1755 **	434.0614 **	3.4230 **	8355.7542 **
cv × cs	1	0.0200 **	113.1408 **	0.4959 **	739.3200 **
cv × fung	2	0.0939 **	65.4101 **	0.0253 **	1218.3248 **
cv × hai	5	0.0253 **	39.4927 **	0.4418 **	861.3674 **
cs × fung	2	0.0834 **	8.7901 **	0.7559 **	438.6015 **
cs × hai	5	0.1334 **	70.5164 **	0.6753 **	975.8318 **
fung × hai	10	0.0752 **	35.5891 **	0.4713 **	379.4521 **
cv × cs × fung	2	0.0219 **	7.8596 **	1.1600 **	31.5105 **
cv × cs × hai	5	0.0376 **	14.7033 **	0.3845 **	220.7624 **
cs × fung × hai	10	0.0794 **	8.5167 **	0.4010 **	342.4030 **
cv × fung × hai	10	0.0462 **	16.8537 **	0.1483 **	293.7507 **
cv × cs × fung × hai	10	0.0315 **	17.2444 **	0.2173 **	377.9228 **

¹ Níveis de probabilidade: ns= não significativo, *=0,05 e **=0,01. cv: cultivares (AnaG01 e BRS Cauê); cs: corretivo de solo (silicato de cálcio ou calcário extrafino); fung: fungicida (sem aplicação, com aplicação aos 7 ou 15 dias antes da inoculação); dai: dias após a inoculação (plantas saudas, 3 ou 10 dias após a inoculação).

487

488 **Tabela 3.** Análise da variância área abaixo da curva de progresso da atividade enzimática (AACPEA) das enzimas ascorbato peroxidase (APX),
 489 catalase (CAT), peroxidase (POX) e superóxido dismutase (SOD) em folhas de cevada inoculadas com *Bipolaris sorokiniana*.

Fonte de variação	Df	AACPAE (APX)	AACPAE (CAT)	AACPAE (POX)	AACPAE (SOD)
		Quadrado Médio ¹	Quadrado Médio ¹	Quadrado Médio ¹	Quadrado Médio ¹
Cultivar (cv)	1	100.981 **	103643.217 **	1904.996 **	6171538.15 **
Corretivo de solo (cs)	1	24.884 **	361366.989 **	13058.185 **	11782684.86 **
Fungicida (fung)	2	128.867 **	204069.173 **	4792.550 **	2510545.02 **
cv × cs	1	40.317 **	201229.576 **	1779.005 **	1381578.31 **
cv × fung	2	289.799 **	119298.561 **	44.957 **	3781501.59 **
cs × fung	2	213.963 **	24873.718 **	1721.297 **	1672476.64 **
cv × cs × fung	2	84.700 **	15834.679 **	3037.541 **	191183.96 **

490

491

¹ Níveis de probabilidade: ns= não significativo, *=0,05 e **=0,01. cv: cultivares (AnaG01 e BRS Cauê); cs: corretivo de solo (silicato de cálcio ou calcário extrafino); fung: fungicida (sem aplicação, com aplicação aos 7 ou 15 dias antes da inoculação).

492 A atividade da CAT decresceu nas primeiras 48 hai, entretanto aumentou às 96 hai e
493 voltou a decrescer após esse período (Tabela S2). A atividade de CAT foi maior nas plantas
494 de BRS Cauê, em comparação a AnaG01, e nas plantas -Si em comparação as plantas +Si
495 (Tabela S2). Em relação a aplicação de fungicida, a aplicação 7 DAI resultou em menor
496 atividade da CAT, enquanto nas plantas tratadas aos 15 DAI a atividade aumentou (Tabela
497 S2). Na ausência do tratamento com fungicida, a maior atividade da CAT foi observada nas
498 plantas -Si, independente da cultivar (Fig. 2e, h). Nas plantas da AnaG01 ocorreu redução na
499 atividade da CAT às 48 hai e incremento às 72 hai, independente do tratamento com Si (Fig.
500 2e). Incremento às 72 hai com posterior redução abrupta também foi verificado para a BRS
501 Cauê, especialmente plantas +Si (Fig. 2e). Nas plantas tratadas com fungicida, um pico na
502 atividade da CAT foi verificado às 72 hai, especialmente nas plantas -Si de ambas cultivares,
503 e nas plantas +Si da BRS Cauê (Fig. 2f, g). Os menores valores de atividade da CAT foram
504 verificados nas plantas tratadas aos 7 DAI, especialmente da AnaG01 +Si (Fig. 2 h),
505 entretanto aos 15 DAI a atividade aumentou em todos os tratamentos, exceto na AnaG01 +Si
506 que apresentou menor alteração (Fig. 2g, h). Nas plantas tratadas com fungicida 7 DAI, maior
507 atividade da CAT ocorreu nas plantas -Si da AnaG01e em plantas da BRS Cauê (Fig. 2f, h).
508 Tendência semelhante foi observado para a CAT nas plantas tratadas com fungicida 15 DAI,
509 no entanto, o aumento na atividade de CAT foi mais pronunciado (Fig. 2g, h).

510 Atividade da POX aumentou nas folhas das plantas após a inoculação do patógeno
511 (Tabela S2; Fig. 2i-l). De modo geral, a atividade da POX foi maior nas plantas da AnaG01
512 em relação a BRS Cauê, das plantas -Si em comparação as +Si, e nas plantas SF em
513 comparação as plantas tratadas aos 7 ou 15 DAI (Tabela S2). Na ausência de fungicida, a
514 atividade da POX aumentou nas plantas -Si a partir das 48 hai mantendo-se até as 120 hai
515 (Fig. 2i, l). Incremento na atividade da POX também foi observada nas plantas +Si da
516 AnaG01, com um pico máximo as 96hai (Fig. 2i, l). Plantas -Si da AnaG01, tratadas 7 ou 15

517 DAI, mantiverem atividade maior da CAT às 48 e 72 hai, resultando em maior AACPAE
518 (Fig. 2j-l). Um pico de atividade da POX às 72 hai também foi observado na BRS Cauê -Si
519 tratadas com fungicida 7 ou 15 DAI. Nas plantas +Si, independente da cultivar e do momento
520 da aplicação do fungicida, foi observado tendência de aumento na atividade da POX, em
521 relação as plantas saudias, a partir das 48 hai até o final do período avaliado (Fig. 2j-l).

522 De modo geral, a atividade da APX aumentou nas folhas das plantas após a inoculação
523 do patógeno (Tabela S2; Fig. 2m-p). A APX foi maior nas plantas da AnaG01 em
524 comparação a BRS Cauê, e aos 15 DAI em comparação aos 7 DAI e SF (Tabela S2). Na
525 ausência do tratamento com fungicida (SF), a maior atividade da APX foi observada nas
526 plantas cv AnaG01, independente do corretivo de solo, quando comparado com as plantas cv
527 BRS Cauê (Tabela S2; Fig. 2m, p). Entretanto, um pico de atividade da APX nas folhas das
528 plantas da BRS Cauê +Si ocorreu as 24 hai, com valor semelhante ao observado nas plantas
529 cv AnaG01 -Si (Fig. 2m). Nas plantas tratadas com fungicida 7 dias antes da inoculação
530 (DAI), aumento na atividade da APX ocorreu nas plantas da BRS Cauê +Si, as 120 hai, e nas
531 plantas da AnaG01 às 24 e 72 hai, em plantas +Si, e às 48 e 72 hai para -Si (Fig. 2n, p). O
532 oposto foi observado para a APX nas plantas tratadas com fungicida 15 DAI (Fig. 2o, p),
533 onde na cv BRS Cauê -Si ocorreu um pico pronunciado às 72 hai e, semelhantemente, ocorreu
534 nas plantas cv AnaG01 -Si (Fig. 2o, p). Entretanto, nas plantas -Si da BRS Cauê ocorreu
535 maior atividade da APX, enquanto para a AnaG01, o aumento foi mais discreto, em
536 comparação as plantas +Si (Fig. 2o, p).

537 *3.3 Compostos fenólicos solúveis totais (CFST), derivados lignina-ácido tioglicólico* 538 *(DLATG) e extravasamento de eletrólitos (EE)*

539 A concentração dos compostos fenólicos solúveis totais (CFST), de derivados do ácido
540 lignina-tioglicólico (DLATG), o extravasamento de eletrólitos (EE), a área abaixo da curva de
541 progresso de derivados do ácido lignina-tioglicólico (AACPDLATG), a área abaixo da curva

542 de progresso de compostos fenólicos solúveis totais (AACPCFST), e a área abaixo da curva
543 de progresso de extravasamento de eletrólitos (AACPEE) foram influenciados por todos os
544 fatores, bem como suas interações analisadas estatisticamente ($P \leq 0.05$) (Tabela 4 e 5).

545 Para CFST, a inoculação reduziu o acúmulo em 8, 12 e 12% as 24, 72 e 120 hai
546 respectivamente, quando comparadas com as plantas sadias (Tabela S3; Fig. 3a-d). Os
547 decréscimos nas concentrações de CFST foram mais acentuados nas plantas -Si da BRS Cauê
548 SF e 7 DAI, resultado nos menores valores da AACPCFST (Fig. 3d), e da AnaG01 aos 15
549 DAI (Fig. 3a-c). Entre cultivares, a AnaG01 apresentou concentração 6% maior nos CFST,
550 quando comparado com a BRS Cauê (Tabela S3). O fornecimento de Si proporcionou
551 aumento médio de 10% na concentração de CFST, quando comparado com as plantas -Si
552 (Tabela S3), independentemente da cultivar e da aplicação de fungicida (Fig 3d). A
553 concentração de CFST foi menor em 4 e 3% nas plantas tratadas com fungicida aos 7 e 15
554 DAI, respectivamente, quando comparado com as plantas sem fungicida (SF) (Tabela S3; Fig.
555 3a-d).

556 De modo geral, a inoculação das plantas incrementou a concentração de DLATG, em
557 14 e 13% às 24 e 72 hai, respectivamente, quando comparado com as plantas sadias (Tabela
558 S3; Fig. 3e-g). Na análise das cultivares, a AnaG01 incrementou 9% na concentração de
559 DLATG, quando comparado com a BRS Cauê (Tabela S3; Fig. 3e-h). As plantas +Si
560 apresentaram maior concentração de DLATG, com acréscimo de 9% quando comparado com
561 as plantas -Si (Tabela S3; Fig. 3e-h). O acréscimo na concentração de DLATG nas plantas
562 +Si ocorreu principalmente nos horários de 24 e 72 hai, em comparação as plantas -Si, exceto
563 para a AnaG01 aos 7 DAI que apresentou maior concentração às 72 hai (Fig. 3e-h).

564 **Tabela 4.** Análise da variância dos compostos fenólicos solúveis totais (CFST), derivados lignina-ácido tioglicólico (DLATG) e extravasamento
 565 de eletrólitos (EE) em folhas de cevada (*Hordeum vulgare*) inoculadas com *Bipolaris sorokiniana*.

		CFST	DLATG	EE
	Df	Quadrado Médio ¹	Quadrado Médio ¹	Quadrado Médio ¹
567	Fonte de variação			
568	Cultivar (cv)	1 49.5 **	116064.9 **	170.0 **
	Corretivo de solo (cs)	1 140.0 **	104845.1 **	1974.0 **
569	Fungicida (fung)	2 7.6 **	16779.3 **	160.3 **
	Horas após inoculação (hai)	3 51.4 **	128041.8 **	1145.5 **
	cv × cs	1 7.6 **	3718.3 **	186.2 **
	cv × fung	2 14.6 **	980.1 **	6.5 *
	cv × hai	3 3.3 **	44932.6 **	274.2 **
	cs × fung	2 2.7 **	15689.6 **	57.8 **
	cs × hai	3 37.3 **	47199.3 **	911.3 **
	fung × hai	6 20.2 **	11018.7 **	119.1 **
	cv × cs × fung	2 8.0 **	15628.3 **	30.1**
	cv × cs × hai	3 5.3 **	5639.8 **	49.4 **
	cs × fung × hai	6 7.9 **	10946.3 **	184.0 **
	cv × fung × hai	6 8.5 **	10359.2 **	66.4 **
	cv × cs × fung × hai	6 3.8 **	9624.0 **	40.8 **

¹ Níveis de probabilidade: ns= não significativo, *=0,05 e **=0,01. cv: cultivares (AnaG01 e BRS Cauê); cs: corretivo de solo (silicato de cálcio ou calcário extrafino); fung: fungicida (sem aplicação, com aplicação aos 7 ou 15 dias antes da inoculação); hai: amostragem em plantas sadias e às 24, 72 e 120 horas após a inoculação.

570 **Tabela 5.** Análise da variância área abaixo da curva de progresso da atividade enzimática (AACPEA) de folhas de cevada (*Hordeum vulgare*)
 571 inoculadas com *Bipolaris sorokiniana*.

Fonte de variação	Df	AACPDLATG	AACPCFST	AACPEE
		Quadrado Médio ¹	Quadrado Médio ¹	Quadrado Médio ¹
Cultivar (cv)	1	208537.8 **	593559152.6 **	273657.8 **
Corretivo de solo (cs)	1	408852.0 **	714955452.4 **	12862581.9 **
Fungicida (fung)	2	120560.6 **	116750237.5 **	969282.8 **
cv × cs	1	2071.1 **	7218436.3 **	1558705.3 **
cv × fung	2	10570.4 **	6965942.2 **	579681.7 **
cs × fung	2	8905.6 **	101565268.9 **	1068859.9 **
cv × cs × fung	2	15140.3 **	108290068.2 **	475030.6 **

572 ¹ Níveis de probabilidade: ns= não significativo, *=0,05 e **=0,01. cv: cultivares (AnaG01 e BRS Cauê); cs: corretivo de solo (silicato de cálcio ou calcário extrafino); fung:
 573 fungicida (sem aplicação, com aplicação aos 7 ou 15 dias antes da inoculação).

574 Nas plantas tratadas com fungicida a concentração de DLATG foi menor do que a das plantas
575 sem fungicida (SF) (Tabela S3), entretanto o efeito das interações foi influenciado pela
576 cultivar e pelo corretivo de solo (Fig. 3e-h).

577 Para EE, a inoculação aumentou o extravasamento em 34, 163 e 100% às 24, 72 e 120
578 hai, respectivamente, quando comparado com as plantas sadias (Tabela S3; Fig. 3i-l). Entre
579 cultivares, a BRS Cauê apresentou maior EE (Tabela S3), especialmente quando as plantas
580 não foram supridas com Si (Fig. 3i-l). Os maiores valores de EE ocorreram nas plantas -Si,
581 10% maior que a +Si (Tabela S3), independentemente da aplicação ou não de fungicida (Fig.
582 3i-l). Plantas tratadas com fungicida apresentaram maior EE, em média de 4 a 5%, em reação
583 das plantas SF (tabela S3), especialmente nas plantas -Si (Fig. 3i-l).

584 *3.4 Concentração foliar de Si*

585 Os fatores cultivar e corretivo de solo foram significativos ($P \leq 0.05$) para a
586 concentração foliar de Si (Fig. 4). A cv BRS Cauê apresentou acréscimo de 22% quando
587 comparada com AnaG01 (Fig. 4). As plantas +Si apresentaram acréscimo de 30% quando
588 comparadas com as -Si (Fig. 4).

589 4. Discussão

590 As respostas bioquímicas de defesa de plantas contra patógenos podem ser
591 alteradas por diversos fatores como o estado nutricional da planta, fatores ambientais e
592 as diferentes medidas de manejo, como a aplicação de fungicida (Debona et al., 2017;
593 2018; Rodrigues et al., 2017). Já é comprovado que o Si apresenta um importante papel
594 na potencialização das respostas bioquímicas de defesa do hospedeiro (Dorneles et. al.,
595 2017; 2018; Debona et al., 2017; Coskun et al., 2019; Victoria Arellano, et al., 2021),
596 entretanto, o seu efeito, juntamente com a aplicação antecipada de fungicida, em folhas
597 de cevada durante a infecção e colonização por *B. sorokiniana* ainda eram
598 desconhecidas.

599 Nas folhas das plantas de cevada supridas Si e tratadas com fungicida, o dano
600 causado por *B. sorokiniana* foi menor, conforme indicado pela menor AACPD e
601 severidade final. A redução dessas variáveis é associada a redução na taxa de progresso
602 da lesão (r), sugerindo que as alterações bioquímicas causadas pela maior concentração
603 de Si nos tecidos foliares reduziram a velocidade de colonização pelo fungo. Em trigo, o
604 fornecimento de Si, reduziu a intensidade da mancha marrom, causada por *B.*
605 *sorokiniana*, devido alterar vários componentes de resistência, resultado explicado pela
606 menor colonização das células da folha do hospedeiro pelo patógeno (Domiciano et al.,
607 2010; 2013). Nestes estudos, a redução da intensidade da doença causada por *B.*
608 *sorokiniana* foi parcialmente explicado por variações bioquímicas nas plantas +Si,
609 como alteração da enzima do sistema antioxidante POX, da enzima chitinase, aumento
610 na concentração de DLATG e CFST (Domiciano et al., 2010). No presente estudo, a
611 alteração na atividade de enzimas do sistema antioxidante, na concentração de CFST e
612 DLATG também foram alterados em resposta a presença do patógeno, indicando que

613 estão relacionados a mecanismos de defesa contra o patógeno ou como mecanismo para
614 contenção do seu dano.

615 Durante o período de estresse causado pelo ataque do patógeno sobre o tecido
616 foliar, a planta responde com a produção e acúmulo de EROs, em resposta ao dano a
617 estrutura celular, de organelas e suas funções. Desta forma, o sistema antioxidante age
618 para manter e/ou equilibrar a homeostase celular, através da ação de enzimas
619 antioxidantes, como tática para atenuar e minimizar a destruição gerada pela ação de
620 EROs (Verma et al., 2020; Ahammed e Yang, 2021).

621 No primeiro instante, a ativação da enzima SOD foi desencadeada após a
622 inoculação do patógeno, onde a atividade aumentou conforme o tempo após a chegada
623 do fungo sob a superfície foliar até o aparecimento dos sintomas da doença (entre 24 e
624 96 hai). A SOD é uma importante enzima antioxidante responsável na defesa das
625 plantas eliminando o ânion superóxido, o qual causa efeito danosos a nível celular (Gill
626 e Tuteja, 2010).

627 Plantas supridas com Si incrementaram a atividade da SOD e reduziram
628 significativamente a atividade das enzimas antioxidantes CAT e POX nas plantas
629 inoculadas. Essas alterações enzimáticas indicam um favorecimento ao acúmulo de
630 H₂O₂ no tecido vegetal, o qual pode estar atuando como mecanismo de defesa,
631 especialmente durante a fase biotrófica de *B. sorokiniana*. Entretanto, na fase
632 necrotrófica de colonização, quando a presença de H₂O₂ é favorável ao patógeno, a
633 planta +Si estimulou a sua remoção conforme indicado pelo pico da atividade da CAT
634 as 72 hai e a redução da sua produção, pela da atividade da SOD, a partir das 96 hai.
635 Outros estudos demonstraram que em plantas de cevada inoculadas com *B. sorokiniana*,
636 a atividade da POX foi maior em genótipos suscetíveis, quando comparadas com

637 genótipos resistentes, o que pode indicar a atuação da enzima contra os danos
638 oxidativos causados pela ação das toxinas do fungo (Kaur et al., 2021). Em trigo,
639 também foi relatado o acréscimo na expressão de POX em plantas inoculadas com *B.*
640 *sorokiniana* a qual apresentou correlação com o aumento de lesões foliares (Naz et al.,
641 2018).

642 A enzima POX atua removendo EROs e, também, participa na formação de
643 lignina, um importante mecanismo de defesa vegetal contra patógenos (Dorneles et al.,
644 2017; Kaur et. al., 2021). Enquanto nas plantas -Si a atividade da POX aumentou desde
645 as 48 hai, nas plantas +Si o aumento na sua atividade foi gradual até atingir o máximo
646 entre 72 e 96 hai, coincidindo com as maiores concentrações de DLATG, especialmente
647 na AnaG01. O incremento na concentração de DLATG foi associado ao aumento da
648 resistência contra fungos do gênero *Bipolaris* em arroz e trigo (Domiciano et. al. 2010;
649 Dallagnol et al., 2011; Eisa et al., 2013). Outra resposta de defesa que também foi mais
650 intensa nas plantas supridas com Si foi o acúmulo de CFST. Os fenóis são importantes
651 para reforço da parede celular e a formação de lignina, impedindo o desenvolvimento do
652 patógeno através da polimerização celular, bem como pelo seu efeito deletério sobre o
653 patógeno (Dorneles et al., 2018; Ahammed e Yang, 2021). O menor desenvolvimento
654 da doença em plantas supridas com Si pode estar associado a produção de compostos
655 antimicrobianos, como os compostos fenólicos e a deposição de lignina nas plantas após
656 a penetração do patógeno (Fortunato et al., 2014; Wang et al., 2017). Neste sentido, o
657 estudo mostrou que os metabólitos secundários atuaram negativamente sobre a infecção
658 e a colonização do patógeno, promovendo, assim, a atenuação dos danos em plantas
659 supridas com Si, principalmente sobre as da cultivar AnaG01.

660 A maior resistência nas plantas +Si também resultou em menor dano celular,
661 especialmente em membranas, conforme indicado pelo EE. O fungo *B. sorokiniana* é

662 responsável pela produção de uma fitotoxina, o prehelminthosporol, capaz de agir sobre
663 as atividades da membrana plasmática, bombeamento de prótons pela H⁺-ATPase, nos
664 canais de Ca²⁺-ATPase, promovendo maiores danos no tecido atacado (Kumar et. al.,
665 2002). Assim, nas plantas sem o fornecimento de Si o EE foi mais pronunciado,
666 evidenciando maior extravasamento do conteúdo citoplasmático celular. Olbe et al.,
667 (1995) relata que o extravasamento de Ca²⁺ do citoplasma, pode influenciar a ativação
668 de enzimas antioxidantes do hospedeiro. Esse efeito pode explicar, parcialmente, a
669 alteração na atividade enzimática observado nas plantas -Si, as quais devem ter agido
670 como mecanismo de redução no dano celular ao invés da ação como mecanismos de
671 defesa. Outro fator que deve ser considerado na análise da redução da intensidade da
672 mancha marrom em cevada pelo Si, além da potencialização dos mecanismos de defesa,
673 é a hipótese da obstrução apoplástica dos fatores de patogenicidade do patógeno pelo
674 acúmulo de Si nos tecidos conforme descrito por Coskun et al (2019). Assim, a
675 obstrução ou menor difusão no tecido das toxinas do patógeno reduzem a área afetada
676 pelo fungo possibilitando, em tempo hábil, uma melhor resposta de defesa e a redução
677 da intensidade da doença.

678 Na análise das cultivares, embora numericamente a concentração de Si tenha
679 sido superior na BRS Cauê, o incremento na concentração foliar pelo fornecimento de
680 Si no solo foi maior na AnaG01. Assim, de modo geral, a cv AnaG01 destacou-se pela
681 menor intensidade da doença, através de menores valores de AACPD, *r* e severidade,
682 pelas respostas de acúmulo de metabolitos secundários (CFST e DLATG) e enzimas
683 como APX, POX e SOD.

684 A aplicação antecipada do fungicida interferiu negativamente na infecção e
685 colonização de *B. sorokiniana*, proporcionando menores danos no tecido foliar e,
686 quando associado a fertilização silicatada, o incremento do controle da mancha marrom

687 foi maior. Nas respostas de defesa, de modo geral, a aplicação de fungicida
688 isoladamente conferiu baixa influência dentre as variáveis analisadas (enzimas POX e
689 SOD; DLATG e CFST), no entanto, notou-se o seu efeito benéfico sob o EE, indicando
690 a importância das aplicações preventivas sobre as plantas de cevada. Assim, os
691 resultados indicam que a utilização de Si via solo, conjuntamente com a escolha de
692 cultivares com maior resistência parcial e aplicações antecipadas de fungicida, podem
693 conferir maior redução da mancha marrom da cevada.

694 Os tratamentos que tinham aliado a aplicação de fungicida e a adubação
695 silicatada mostraram maior eficiência de controle de *B. sorokiniana*, tal fato pode ser
696 observado pelo menor progresso da doença sobre as variáveis de resistência, onde,
697 quando conciliado com a aplicação aos 15 DAI, e principalmente aos 7 DAI,
698 incrementou o efeito de controle do patógeno sobre a superfície foliar.

699 Em conclusão, os resultados deste estudo demonstraram o efeito do Si sobre as
700 plantas de cevada, aliado com a aplicação de fungicida, promoveu a ativação dos
701 mecanismos bioquímicos relacionado a defesa das plantas de cevada, possibilitando a
702 redução da mancha marrom.

703

Agradecimentos

704 T. M. Holz recebeu bolsa da Capes (Código de Financiamento 001). Prof. L. J.
705 Dallagnol e K. R. Dorneles são apoiados por bolsas do CNPq (Processos 308149/2018-
706 1 e 155829/2018-1). Esta pesquisa teve apoio da FAPERGS (19/2551-0001652-2
707 PQG/19). Agradecemos ao Laboratório de Fertilizantes – LAFER (UFU) pela
708 realização das análises de Si no solo e foliar.

Referências

- 709
- 710 L. Agostinetto, R.T. Casa, A. Bogo, L. Alves, J.D.A.L. Vieira, M.D. Fingstag, J.M.D.
711 Rosa, Viability of seed-borne fungi *Alternaria alternata*, *Bipolaris sorokiniana* and
712 *Drechslera teres* in barley seeds in the south of Brazil, Summa Phytopathologica. 46
713 (2020) 26-30.
- 714 L. Agostinetto, R.T. Casa, A. Bogo, C. Sachs, C.A. Souza, E.M. Reis, I.C. da Cunha,
715 Barley spot blotch intensity, damage, and control response to foliar fungicide
716 application in southern Brazil, Crop Protection. 67 (2015) 7-12.
- 717 H. Akesson, E. Carlemalm, E. Everitt, T. Gunnarsson, Immunocytochemical
718 localization of phytotoxins in *Bipolaris sorokiniana*. Fungal Genetics Biology. 20
719 (1996) 205-216.
- 720 G. J. Ahammed, Y. Yang, Mechanisms of silicon-induced fungal disease resistance in
721 plants. Plant Physiology and Biochemistry. 165 (2021) 200-206.
- 722 A.C. Alfenas, R.G. Mafia, Métodos em Fitopatologia. Viçosa. MG: Editora UFV.
723 (2007) 1-382.
- 724 S. F. Altschul, W. Gish, W. Miller, E. W. Myers, D. J. Lipman, Basic local alignment
725 search tool, Journal of molecular biology. 215 (1990) 403-410.
- 726 N. Antoniazzi, C. Deschamps, *Bipolaris sorokiniana* control and grain yield in barley
727 after application of elicitors and fungicide, Acta Scientiarum. Agronomy. 29 (2007)
728 695-700.
- 729 L.A.S. Azevedo, Manual de quantificação de doenças de plantas, Novartis Biociências-
730 Setor. (1997) 1-114.

- 731 J.T. Barba, E.M. Reis, C.A. Forcelini, Efeito do substrato na morfologia de conídios de
732 *Bipolaris sorokiniana* e da densidade de inóculo na intensidade da mancha marrom em
733 cevada, Fitopatologia brasileira. 29 (2004) 1-6.
- 734 M.S. Barber, J.P.A. Ride, Quantitative assay for induced lignification in wounded wheat
735 leaves and its use to survey potential elicitors of the response, Physiological and
736 Molecular Plant Pathology. 32 (1988) 185-197.
- 737 B. Bashyal, R. Chand, L. Prasad, A. Joshi, Partial resistance components for the
738 management of spot blotch pathogen *Bipolaris sorokiniana* of barley (*Hordeum vulgare*
739 L.), Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica. 46 (2011) 49-57.
- 740 R. Bélanger, R. Deshmukh, F. Belzile, C. Labbé, A. Perumal, S.M. Edwards, Plant with
741 increased silicon uptake, Patent Application Publication. (2020) 1-209.
- 742 M.M. Bradford, A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram
743 quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding, Analytical
744 biochemistry. 72 (1976) 248-254.
- 745 A. Castellani, Viability of some pathogenic fungi in distilled water. Journal of Tropical
746 Medicine and Hygiene, 42 (1939) 225-226.
- 747 B. Chance, A.C. Maehly, Assay of catalases and peroxidases, Methods in Enzymology.
748 2 (1955) 764-775.
- 749 D. Coskun, R. Deshmukh, H. Sonah, J.G. Menzies, O. Reynolds, J.F. Ma, R.R.
750 Bélanger, The controversies of silicon's role in plant biology, New Phytologist. 221
751 (2019) 67-85.

- 752 M.F.A. Cruz, M.O. Pinto, E.G. Barros, F.A. Rodrigues, Differential gene expression in
753 soybean infected by *Phakopsora pachyrhizi* in response to acibenzolar-S-methyl,
754 jasmonic acid and silicon, *Journal of Phytopathology*. 168 (2020) 571-580.
- 755 L.J. Dallagnol, F.A. Rodrigues, M.V.B. Mielli, J.F. Ma, L.E. Datnoff, Defective active
756 silicon uptake affects some components of rice resistance to brown spot,
757 *Phytopathology*. 99 (2009) 116-121.
- 758 L.J. Dallagnol, F.A. Rodrigues, F.M. DaMatta, M.V. Mielli, S.C. Pereira, Deficiency in
759 silicon uptake affects cytological, physiological, and biochemical events in the rice-
760 *Bipolaris oryzae* interaction, *Phytopathology*. 101 (2011) 92-104.
- 761 D. Debona, F.A. Rodrigues, L.E. Datnoff, Silicon's role in abiotic and biotic plant
762 stresses, *Annual Review of Phytopathology*. 55 (2017) 85-107.
- 763 D. Debona, A.A. Fortunato, L. Araújo, A.L.C. Rodrigues, F.A. Rodrigues, Rice defense
764 responses to *Bipolaris oryzae* mediated by a strobilurin fungicide, *Tropical Plant*
765 *Pathology*. 43 (2018) 389-401.
- 766 L.J. Dallagnol, A.E.R. Ramos, K.R. Dorneles, Silicon Use in the Integrated Disease
767 Management of Wheat: Current Knowledge, Current Trends in Wheat Research. (2020)
768 1-21.
- 769 G.P. Domiciano, F.A. Rodrigues, F.X.R. Vale, M.S. Xavier Filha, W.R. Moreira,
770 C.C.L. Andrade, S.C. Pereira, Wheat resistance to spot blotch potentiated by silicon,
771 *Journal of Phytopathology*. 158 (2010) 334-343.
- 772 G.P. Domiciano, F.A. Rodrigues, A. Guerra, F.X. Vale, Infection process of *Bipolaris*
773 *sorokiniana* on wheat leaves is affected by silicon, *Tropical Plant Pathology*. 38 (2013)
774 258-263.

- 775 J.A. Dominguez, F.J. Sautua, M.A. Carmona, Sensitivity of *Bipolaris sorokiniana* to
776 strobilurin, triazole, and carboxamide premixes, Archives of Phytopathology and Plant
777 Protection. (2021) 1-14.
- 778 K.R. Dorneles, L.J. Dallagnol, P.C. Pazdiora, F.A. Rodrigues, S. Deuner, Silicon
779 potentiates biochemical defense responses of wheat against tan spot, Physiological and
780 Molecular Plant Pathology. 97 (2017) 69-78.
- 781 K.R. Dorneles, P.C. Pazdiora, J.F. Hoffmann, F.C. Chaves, L.G. Monte, F.A.
782 Rodrigues, L.J. Dallagnol, Wheat leaf resistance to *Pyrenophora tritici-repentis* induced
783 by silicon activation of phenylpropanoid metabolism, Plant Pathology. 67 (2018) 1713-
784 1724.
- 785 M. Eisa, R. Chand, A.K. Joshi, Biochemical and histochemical parameters associated
786 with slow blighting of spot blotch (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem.) in wheat
787 (*Triticum* spp.), Zemdirbyste-Agriculture. 100 (2013) 191-198.
- 788 J.T. Ferrari, E. Possamai, Incidência de *Bipolaris sorokiniana* nas sementes e
789 transmissão para plantas de cevada, Revista de Ciências Agrárias. 38 (2015) 320-339.
- 790 A.A. Fortunato, W.L. da Silva, F.A. Rodrigues, Phenylpropanoid pathway is potentiated
791 by silicon in the roots of banana plants during the infection process of *Fusarium*
792 *oxysporum* f. sp. *cubens*, Phytopathology. 104 (2014) 597-603.
- 793 O.P. Gangwar, S.C. Bhardwaj, G.P. Singh, P. Prasad, S. Kumar, Barley disease and
794 their management: An Indian perspective, Wheat and Barley Research. 10 (2018) 138-
795 150.

- 796 C.N. Giannopolitis, S.K. Ries, Superoxide dismutases: II. Purification and quantitative
797 relationship with water-soluble protein in seedlings, *Plant physiology*. 59 (1977) 315-
798 318.
- 799 S.S. Gill, N. Tuteja, Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress
800 tolerance in crop plants, *Plant physiology and biochemistry*. 48 (2010) 909-930.
- 801 P.K. Gupta, R. Chand, N.K. Vasistha, S.P. Pandey, U. Kumar, V.K. Mishra, A.K. Joshi,
802 Spot blotch disease of wheat: the current status of research on genetics and breeding,
803 *Plant pathology*. 67 (2018) 508-531.
- 804 S. Kaur, R.D. Bhardwaj, J. Kaur, S. Kaur, Induction of Defense-Related Enzymes and
805 Pathogenesis-Related Proteins Imparts Resistance to Barley Genotypes Against Spot
806 Blotch Disease, *Journal of Plant Growth Regulation*. (2021) 1-15.
- 807 S.G. Kim, K.W. Kim, E.W. Park, D. Choi, Silicon-induced cell wall fortification of rice
808 leaves: a possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast,
809 *Phytopathology*. 92 (2002) 1095-1103.
- 810 G.H. Korndorfer, H.S. Pereira, O.A. Nolla, Análise de silício: solo, planta e fertilizante,
811 Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Boletim Técnico 2.
812 (2004) 34.
- 813 J. Kumar, R. Hüchelhoven, U. Beckhove, S. Nagarajan, K.H. Kogel, A compromised
814 Mlo pathway affects the response of barley to the necrotrophic fungus *Bipolaris*
815 *sorokiniana* (teleomorph: *Cochliobolus sativus*), *Phytopathology*. 91 (2001) 127-133.
- 816 J. Kumar, P. Schäfer, R. Hüchelhoven, G. Langen, H. Baltruschat, E. Stein, S.
817 Nagarajan, K.H. Kogel, *Bipolaris sorokiniana*, a cereal pathogen of global concern:

- 818 Cytological and molecular approaches towards better control, *Molecular Plant*
819 *Pathology*. 3 (2002) 185-195.
- 820 M. Kumar, R. Chand, R.S. Dubey, S. Kavita, Effect of Tricyclazole on morphology,
821 virulence and enzymatic alterations in pathogenic fungi *Bipolaris sorokiniana* for
822 management of spot blotch disease in barley, *World Journal of Microbiology and*
823 *Biotechnology*. 31 (2015) 23-35.
- 824 D.E. Mathre, *Compendium of Barley Diseases*, American Phytopathological Society.
825 St. Paul, MN. (1997) 1-78.
- 826 M.C. McDonald, D. Ahren, S. Simpfendorfer, A. Milgate, P.S. Solomon, The discovery
827 of the virulence gene ToxA in the wheat and barley pathogen *Bipolaris sorokiniana*,
828 *Molecular Plant Pathology*. 19 (2018) 432-439.
- 829 E. Minella, Indicações técnicas da cultura da cevada cervejeira nas safras 2015 e 2016,
830 *Embrapa Trigo*. 8 (2015) 1-106.
- 831 E. Minella, Indicações técnicas da cultura da cevada cervejeira nas safras 2019 e 2020
832 *Embrapa Trigo*. 10 (2019) 1-106.
- 833 H. Nakajima, Y. Toratsu, Y. Fujii, M. Ichinoe, T. Hamasaki, Biosynthesis of
834 sorokinianin, a phytotoxin of *Bipolaris sorokiniana*: Evidence of mixed origin from the
835 sesquiterpene and TCA pathways, *Tetrahedron letters*. 39 (1998) 1013-1016.
- 836 R. Naz, A. Nosheen, H. Yasmin, A. Bano, R. Keyani, Botanical-chemical formulations
837 enhanced yield and protection against *Bipolaris sorokiniana* in wheat by inducing the
838 expression of pathogenesis-related proteins, *PLoS ONE*. 13 (2018) 1-22.
- 839 F. Novakazi, O. Afanasenko, N. Lashina, G.J. Platz, R. Snowdon, I. Loskutov, F.
840 Ordon, Genome-wide association studies in a barley (*Hordeum vulgare*) diversity set

- 841 reveal a limited number of loci for resistance to spot blotch (*Bipolaris sorokiniana*),
842 Plant Breeding. 139 (2020) 521-535.
- 843 M. Olbe, M. Sommarin, M. Gustafsson, T. Lundborg, Effect of the fungal pathogen
844 *Bipolaris sorokiniana* toxin prehelminthosporol on barley root plasma membrane
845 vesicles, Plant Pathology. 44 (1995) 625-635.
- 846 P.C. Pazdiora, K.R. Dorneles, T.N. Morello, P. Nicholson, L.J. Dallagnol, Silicon soil
847 amendment as a complement to manage tan spot and fusarium head blight in wheat,
848 Agronomy for Sustainable Development. 41(2021) 1-13.
- 849 E.M. Reis, R.T. Casa, Doenças da cevada: helmintosporioses (mancha em rede, mancha
850 marrom e mancha estriada), Bayer. (2001) 1-46.
- 851 R.S. Resende, F.A. Rodrigues, R.V. Costa, D.D. Silva, Silicon and fungicide effects on
852 anthracnose in moderately resistant and susceptible sorghum lines, Journal of
853 Phytopathology. 161 (2013) 11-17.
- 854 F.A. Rodrigues, R.S. Resende, L.J. Dallagnol, L.E. Datnoff, Silicon potentiates host
855 defense mechanisms against infection by plant pathogens, Silicon and plant diseases.
856 (2015a) 109-138.
- 857 F.A. Rodrigues, L.J. Dallagnol, H.S.S. Duarte, L.E. Datnoff, Silicon control of foliar
858 diseases in monocots and dicots, Silicon and plant diseases. (2015b) 67-108.
- 859 N. Sakr, Silicon reduces Fusarium Head Blight Development in Barley. The Open
860 Agriculture Journal. 15 (2021) 54-65.
- 861 G. Shaner, R.E. Finney, The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-
862 mildewing resistance in Knox wheat, Phytopathology. 67 (1977) 1051-1056.

- 863 P. Sharma, P. Arora, V. Verma, K. Khanna, P. Saini, R. Bhardwaj, Role and regulation
864 of ROS and antioxidants as signaling molecules in response to abiotic stresses, Plant
865 signaling molecules. 8 (2019) 141-156.
- 866 U.B. Singh, S. Singh, B. Malviya, N. Karthikeyan, M. Imran, R. Chaurasia, M. Alam, P.
867 Singh, B.K. Sarma, J.P. Rai, T. Damodaran, J.K. Tripathi, S. Kumar, A.K. Sharma,
868 Integration of anti-penetrant tricyclazole, signaling molecule salicylic acid and root
869 associated *Pseudomonas fluorescens* enhances suppression of *Bipolaris sorokiniana* in
870 bread wheat (*Triticum aestivum* L.), Journal Plant Pathology. 101 (2019) 943-954.
- 871 L. Tamas, I. Mistrik, V. Zelinova, Heavy metal-induced reactive oxygen species and
872 cell death in barley root tip, Environmental and Experimental Botany. 140 (2017) 34-
873 40.
- 874 M.A. Torres, ROS in biotic interactions, Physiologia plantarum. 138 (2010) 414-429.
- 875 K.K. Verma, X.H. Liu, K.C. Wu, R.K. Singh, Q.Q. Song, M.K. Malviya, Y.R. Li, The
876 impact of silicon on photosynthetic and biochemical responses of sugarcane under
877 different soil moisture levels, Silicon. 12 (2020) 1355-1367.
- 878 A.D. Victoria Arellano, G.M.D. Silva, E. Guatimosim, K.D.R. Dorneles, L.G. Moreira,
879 L.J. Dallagnol, Seeds coated with *Trichoderma atroviride* and soil amended with silicon
880 improve the resistance of *Lolium multiflorum* against *Pyricularia oryzae*, Biological
881 Control. 154 (2021) 1-14.
- 882 M. Wang, L. Gao, S. Dong, Y. Sun, Q. Shen, S. Guo. Role of silicon on plant-pathogen
883 interactions, Frontiers in Plant Science. 8 (2017) 701.

- 884 J. Wiese, H. Wiese, J. Schwartz, S. Schubert, Osmotic stress and silicon act additively
885 in enhancing pathogen resistance in barley against barley powdery mildew, Journal of
886 Plant Nutrition and Soil Science. 168 (2005) 269-274.
- 887 N. Yamaji, Y. Chiba, N. Mitani-Ueno, J.F. Ma, Functional Characterization of a Silicon
888 Transporter Gene Implicated in Silicon Distribution in Barley, Plant Physiology. 160
889 (2012) 1491-1497.
- 890 J.C. Zadoks, T.T. Chang, C.F. Konzak, A decimal code for the growth stages of cereals.
891 Weed research. 14 (1974) 415-421.

892 **5. Anexos:**

893 **Tabela S1.** Área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD), taxa de expansão
 894 da lesão (*r*) e severidade final (Sev) da mancha marrom, em plantas sadias ou
 895 aos 3 e 10 dias após a inoculação com *B. sorokiniana* em folhas de cevada.

	AACPD	<i>r</i>	Sev (%)
Cultivar			
AnaG01	49,4 b	0,353 b	8,5 b
BRS Cauê	63,6 a	0,669 a	12,8 a
Corretivo de solo			
-Si	68,4 a	0,624 a	13,4 a
+Si	44,6 b	0,397 b	7,9 b
Fungicida			
SF	92,2 a	0,621 a	18,6 a
7 DAI	26,9 c	0,425 c	4,8 c
15 DAI	50,4 b	0,486 b	8,6 b
CV%	6,1	4,0	2,2

896 Cultivares (AnaG01 e BRS Cauê); Corretivo de solo (+Si: silicato de cálcio; -Si: calcário extrafino),
 897 Fungicida (SF: sem fungicida; 7 ou 15 DAI: aplicação preventiva aos 7 ou 15 dias antes da inoculação do
 898 fungicida epoxiconazol + fluxapirroxade + piraclostrobina).

899 **Tabela S2.** Atividade das enzimas ascorbato peroxidase (APX), catalase (CAT),
 900 peroxidase (POX) e superóxido dismutase (SOD) em plantas sadias ou em
 901 diferentes tempos após a inoculação de *Bipolaris sorokiniana* nas folhas de
 902 cevada (*Hordeum vulgare*).

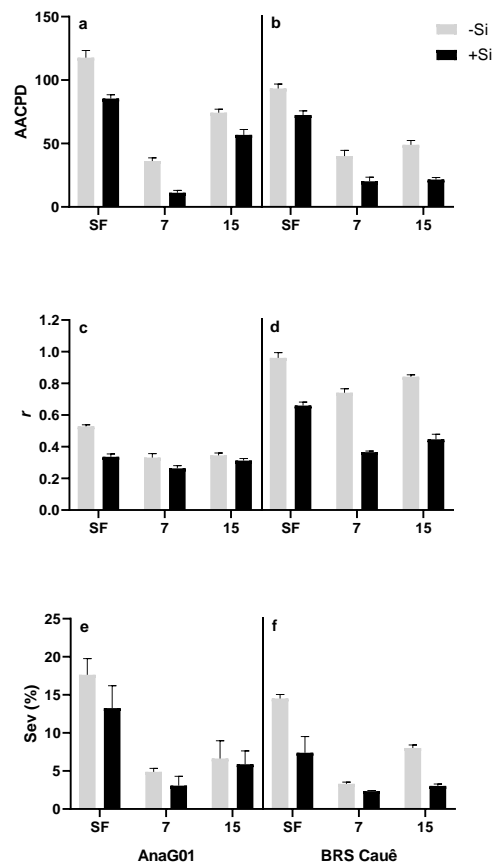
	APX	CAT	POX	SOD
Horas após a inoculação (hai)				
Sadia	0,29 d	8,64 c	0,44 f	31,79 e
24	0,33 b	9,45 b	0,59 e	32,48 e
48	0,31 cd	6,94 d	0,94 c	51,96 c
72	0,46 a	13,13 a	1,16 a	63,86 a
96	0,31 cd	6,22 e	0,98 b	56,35 b
120	0,32 bc	4,51 f	0,88 d	41,06 d
Cultivar				
AnaG01	0,35 a	7,81 b	0,87 a	48,85 a
BRS Cauê	0,32 b	8,49 a	0,79 b	43,65 b
Corretivo de solo				
-Si	0,33 a	8,78 a	0,96 a	42,68 b
+Si	0,34 a	7,52 b	0,71 b	49,82 a
Fungicida				
SF	0,33 b	8,36 b	0,97 a	50,35 a
7 DAI	0,32 c	7,16 c	0,73 c	44,21 b
15 DAI	0,36 a	8,93 a	0,80 b	44,19 b
CV%	7,1	3,7	3,0	5,5

903 Cultivares (AnaG01 e BRS Cauê); Corretivo de solo (+Si: silicato de cálcio; -Si: calcário extrafino),
 904 Fungicida (SF: sem fungicida; 7 ou 15 DAI: aplicação preventiva aos 7 ou 15 dias antes da inoculação do
 905 fungicida epoxiconazol + fluxapiraxade + piraclostrobina)

906 **Tabela S3.** Derivados lignina-ácido tioglicólico (DLATG), compostos fenólicos
 907 solúveis totais (CFST) e extravasamento de eletrólitos (EE) em folhas de
 908 cevada (*Hordeum vulgare*) inoculadas com *Bipolaris sorokiniana*.

	DLATG	CFST	EE
Horas após a inoculação (hai)			
Sadia	524,4 c	18,4 a	0,44 d
24	598,1 a	17,0 b	0,59 c
72	593,8 b	16,2 c	1,16 a
120	493,9 d	16,2 c	0,88 b
Cultivar			
AnaG01	577,4 a	17,5 a	60,4 b
BRS Cauê	528,2 b	16,4 b	62,2 a
Corretivo de solo			
-Si	529,2 b	16,1 b	64,5 a
+Si	575,9 a	17,8 a	58,1 b
Fungicida			
SF	567,8 a	17,3 a	59,5 b
7 DAI	535,6 c	16,6 c	62,5 a
15 DAI	554,2 b	16,9 b	61,9 a
CV%	1,1	1,7	2,1

909 Cultivares (AnaG01 e BRS Cauê); Corretivo de solo (+Si: silicato de cálcio; -Si: calcário extrafino),
 910 Fungicida (SF: sem fungicida; 7 ou 15 DAI: aplicação preventiva aos 7 ou 15 dias antes da inoculação do
 911 fungicida epoxiconazol + fluxapiróxade + piraclostrobina).



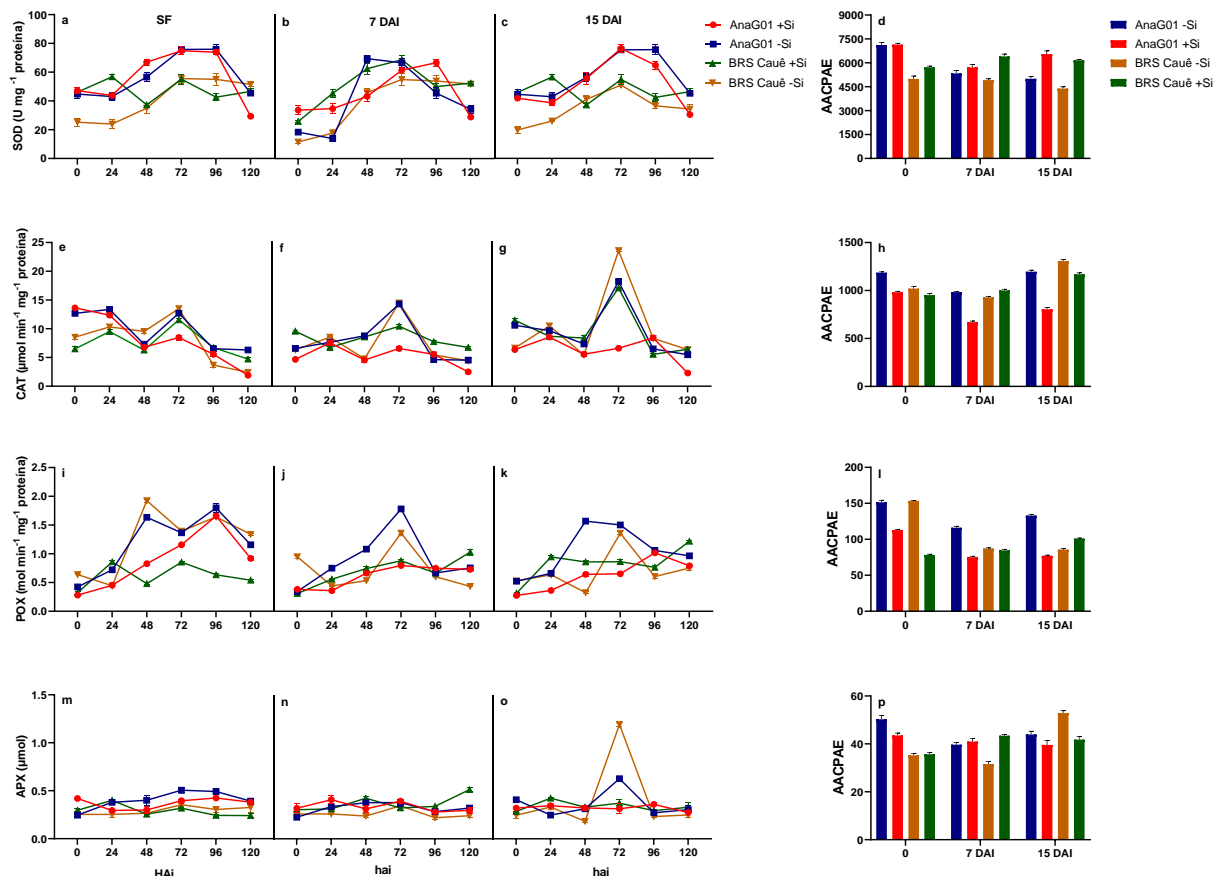
912

913 **Fig. 1.** Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), taxa de expansão da914 lesão (r) e severidade final (Sev) da mancha marrom em folhas de plantas de cevada915 (*Hordeum vulgare*) das cultivares AnaG01 e BRS Cauê, cultivadas em solo suprido com

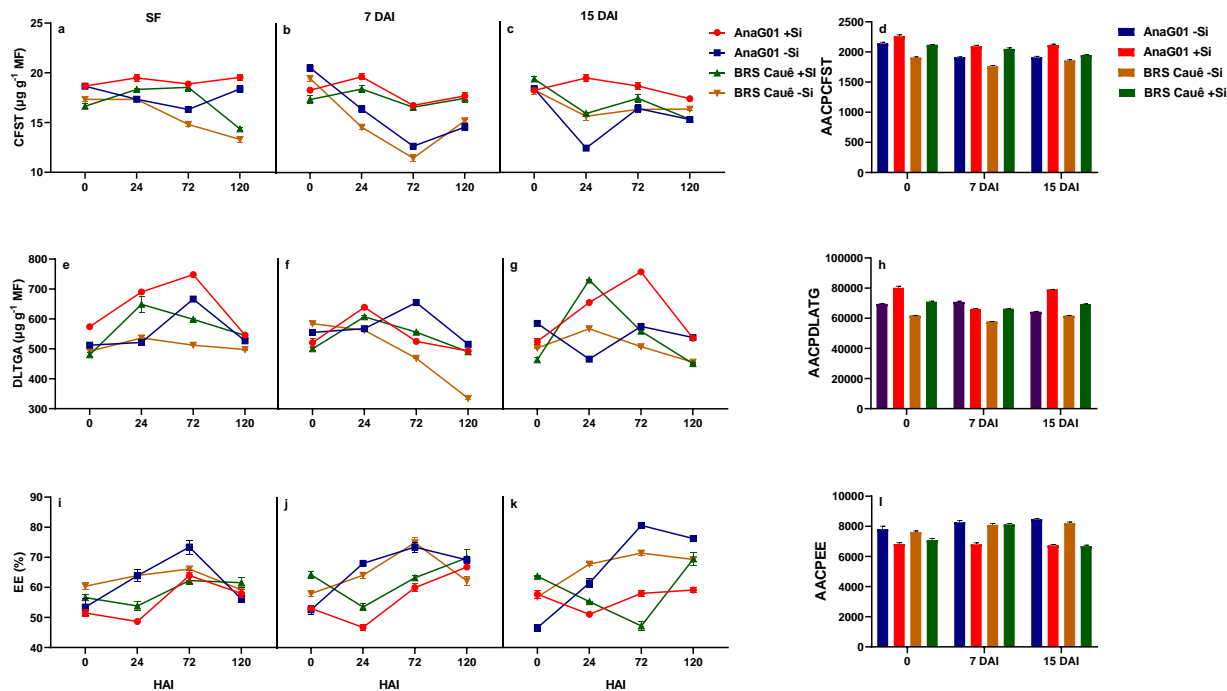
916 calcário extrafino (-Si) ou suprido com silicato de cálcio (+Si), não tratadas (SF) ou

917 tratadas com fungicida preventivo (7 ou 15) dias antes da inoculação das plantas com

918 *Bipolaris sorokiniana*.



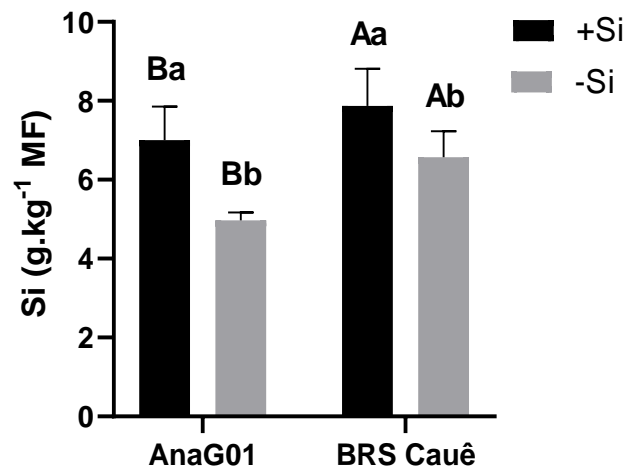
919
 920 **Fig. 2.** Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) (a, b, c), catalase (CAT) (e,
 921 f, g), peroxidase (POX) (i, j, k) e ascorbato peroxidase (APX) (m, n, o) em folhas de
 922 plantas de cevada (*Hordeum vulgare*) das cultivares AnaG01 e BRS Cauê, cultivadas
 923 em solo suprido com calcário extrafino (-Si) ou suprido com silicato de cálcio (+Si), não
 924 tratadas (SF) ou tratadas com fungicida preventivo aos 7 (7 DAI) ou 15 (15 DAI) dias
 925 antes da inoculação. As amostragens foram coletadas em diferentes momentos, 0 (não
 926 inoculado), 24, 48, 72, 96 e 120, horas após inoculação (hai) das folhas com *Bipolaris*
 927 *sorokiniana*. Área abaixo da curva de progresso da atividade enzimática (AACPAE) (d,
 928 h, l, p) para cada tratamento. Cada ponto em uma linha de tendência representa a média
 929 de quatro replicações. As linhas verticais em cada ponto representam o desvio padrão da
 930 média.



931
932

933 **Fig. 3.** Compostos fenólicos solúveis totais (CFST) (a, b, c), concentração dos
 934 derivados lignina-ácido tioglicólico (DLATG) (e, f, g), e extravasamento de eletrólitos
 935 (EE) (i, j, k) em folhas de cevada (*Hordeum vulgare*) das cv AnaG01 e cv BRS Cauê,
 936 cultivadas em solo não suprido com silício (-Si) ou solo suprido com silício (+Si), não
 937 tratadas (SF) ou tratadas com fungicida preventivo aos 7 (7 DAI) ou 15 (15 DAI) dias
 938 antes da inoculação. As amostragens foram coletadas em diferentes momentos, 0 (não
 939 inoculado), 24, 72 e 120, horas após inoculação (hai) das folhas com *Bipolaris*
 940 *sorokiniana*. Área abaixo da curva de progresso da atividade enzimática (AACPAE) (d,
 941 h, l) para cada tratamento. Cada ponto em uma linha de tendência representa a média de
 942 quatro repetições. As linhas verticais em cada ponto representam o desvio padrão da
 943 média.

944



945

946 **Fig. 4.** Concentração de silício (Si) em folhas de plantas de cevada das cultivares

947 AnaG01 e BRS Cauê, cultivadas em solo corrigido com silicato de cálcio (+Si) ou

948 calcário extrafino (-Si). Letras maiúsculas referem a cultivar e letras minúsculas a +Si e

949 -Si.

950 **3. Artigo 2 – Efeito da fertilização silicatada e aplicação de fungicida nas**
951 **respostas fotossintéticas em folhas de cevada desafiadas por *Bipolaris***
952 ***sorokiniana***

953 *Artigo redigido nas normas da revista “*Physiological and Molecular Plant*
954 *Pathology*” (versão em português).

955 **Efeito da fertilização silicatada e aplicação de fungicida nas respostas**
956 **foto-sintéticas em folhas de cevada desafiadas por *Bipolaris sorokiniana***

957 Tailine M, Holz^a, Keilor R, Dorneles^a, Anderson E, Brunetto^a, Jai B, M, Massaut
958 Segundo^b, Heliur A, A, Delevatti^c, Gustavo M, Souza^c, Leandro J, Dallagnol^{a*}

959

960 ^a Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel,
961 Departamento de Fitossanidade, 96010-900, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

962 ^b Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel,
963 Departamento de Fitotecnia, 96010-900, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

964 ^c Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, Departamento de
965 Biologia/Fisiologia Vegetal, 13083-862, Campinas, São Paulo, Brasil.

966 ^d Universidade Federal de Pelotas, Instituto de Biologia, Departamento de Fisiologia
967 Vegetal, 96010-900, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

968 *E-mail:leandro.dallagnol@ufpel.edu.br

969 **Resumo**

970 A mancha marrom, causada por *Bipolaris sorokiniana*, é uma das principais doenças da
971 cevada, requerendo para seu manejo o uso de fungicidas, devido a utilização de
972 cultivares suscetíveis. Entretanto, o uso do silício (Si) tem demonstrado resultados
973 promissores na redução de danos causados por patógenos em diversos cereais, como na
974 cevada. Assim, neste estudo foi avaliado o efeito da suplementação de Si no solo,
975 combinada com a aplicação preventiva de fungicida (7 ou 15 dias antes da inoculação),
976 em duas cultivares (AnaG01 e BRS Cauê), na intensidade da mancha marrom, trocas
977 gasosas, e na concentração de pigmentos fotossintéticos quando infectados por *B.*
978 *sorokiniana*. As plantas foram cultivadas em casa de vegetação, com solo previamente
979 corrigido com silicato de cálcio (+Si) ou calcário extrafino (-Si) e aos 70 dias após a
980 semeadura, as plantas foram pulverizadas com fungicida (15 ou 7 dias antes da
981 inoculação). Plantas sem fungicida serviram de controle. A severidade e a taxa de
982 progresso da doença foram determinadas. As trocas gasosas e as concentrações de
983 pigmentos foram determinadas antes da inoculação (plantas sadias) e aos 3 e 10 dias
984 após a inoculação (*dai*). A mancha marrom reduziu a assimilação líquida de CO₂ (*A*), e
985 aos 10 *dai* reduziu também a condutância estomática (*g_s*), concentração interna de CO₂
986 (*C_i*) e taxa transpiratória (*E*). A concentração de clorofila total (CT) e clorofila *a* (Cla)
987 aumentou e as clorofila *b* (Clb) e carotenoides (Carot) reduziu nas plantas inoculadas.
988 Plantas +Si apresentam incremento na concentração foliar de Si, o que foi associado a
989 redução na intensidade da doença em até 15%, e incremento nas variáveis de trocas
990 gasosas (*A*, *g_s*, *C_i* e *E*) e na concentração dos pigmentos (CT, Cla, Clb e Carot).
991 Fungicida reduziu a intensidade da doença e incrementou as variáveis de trocas gasosas
992 (*A* e *g_s*) e a concentração de pigmentos. A associação de Si e fungicida conferiu maior
993 redução na intensidade da doença e a manutenção de um melhor estado fisiológico da
994 planta quando desafiada com *B. sorokiniana*.

995

996 **Keywords:** Mancha marrom; adubação silicatada; fungicida preventivo; pigmentos

997 fotossintéticos;fotossíntese

998 **1. Introdução**

999 O fungo *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem., agente causal da mancha
1000 marrom, é um dos patógenos mais frequentes na cultura da cevada, sendo encontrado
1001 em diferentes regiões produtoras de cereais de inverno no mundo, destacando-se em
1002 relevância nos continentes Americano, Asiático e Europeu (Singh et al., 2016; Gupta et.
1003 al., 2018). *Bipolaris sorokiniana* afeta todos os órgãos da planta. Infecções nas partes
1004 subterrâneas, como raízes seminais e secundárias, bem como no mesocótilo e na coroa,
1005 resulta em podridões que afetam a absorção de água e nutrientes. Infecções dos órgãos
1006 verdes, como as folhas, colmos, bainhas, glumas e aristas, interferem na área
1007 fotossintética e no aproveitamento de fotoassimilados, levando a formação de grãos
1008 chochos e enrugados, que podem apresentar manchas de coloração marrom escuras
1009 próximas ao embrião (Agostinetto et al., 2015).

1010 Patógenos interferem negativamente em diversos processos fisiológicos da
1011 planta, causando mudanças na transpiração, respiração, fotossíntese, permeabilidade de
1012 membranas, síntese de proteínas, potencial hídrico, absorção, translocação de água e
1013 nutrientes, e degradação de membranas celulares e pigmentos fotossintéticos (Rodrigues
1014 et al., 2017). Diversos estudos relatam que doenças foliares reduzem substancialmente o
1015 processo fotossintético da planta devido às limitações estomáticas e não estomáticas,
1016 oriundas da infecção e colonização dos tecidos da planta pelo patógeno (Dallagnol et al.
1017 2011; Rios et. al. 2014; Debona et al., 2017). Os danos causados por patógenos foliares
1018 são decorrentes das reduções do tecido fotossinteticamente ativo, através do
1019 desenvolvimento de áreas com clorose e necrose, o qual é agravado com a evolução da
1020 doença, levando a redução dos fotoassimilados produzidos (Schreiber et. al. 2004), da
1021 diminuição das trocas gasosas na folha, e da redução da atividade fotoquímica
1022 relacionada ao fotossistema II (PSII) (Berger et al. 2007).

1023 Devido à ausência de cultivares comerciais de cevada com resistência genética
1024 satisfatória a *B. sorokiniana* (Minella, 2015; Agostinetto et al., 2020), as estratégias para
1025 o manejo da mancha marrom nas áreas de cultivo são fundamentadas na redução do
1026 inóculo inicial, através de práticas como rotação de culturas, sementes saudáveis
1027 e tratamento de sementes com fungicidas (Antoniazzi e Deschamps, 2007). Entretanto,
1028 essas medidas não evitam a ocorrência de epidemias, e a fim de atenuar os danos
1029 causados pela doença, a aplicação de fungicida na parte aérea da planta têm sido uma
1030 importante medida de manejo da mancha marrom. Os fungicidas aplicados têm o
1031 objetivo de postergar e/ou reduzir o progresso da epidemia da mancha marrom durante
1032 o ciclo da cevada, visando a manutenção do potencial produtivo da planta e o máximo
1033 retorno econômico (Agostinetto et al., 2015). A aplicação de fungicida pode interferir
1034 na atividade de enzimas antioxidantes e promover alterações no balanço fotossintético
1035 nas plantas, contribuindo para elevação da taxa fotossintética e transpiratória, redução
1036 no nível de respiração, melhor eficiência do uso da água, atraso da senescência foliar,
1037 incremento da biomassa vegetal e de produtividade (Carrijo, 2014).

1038 Outra alternativa que tem demonstrado efeito positivo na redução de doenças de
1039 plantas é o uso da fertilização silicatada, como fonte de silício (Si) solúvel, podendo ser
1040 uma possibilidade complementar no manejo da doença (Rodrigues et al., 2015; Debona
1041 et al., 2017). O efeito benéfico do Si já foi reportado em vários cereais de inverno, como
1042 trigo (Dallagnol et al., 2020; Pazdiora et al., 2021), aveia (Victoria Arellano, et al.,
1043 2021) e cevada (Wiese et al., 2005). Na cultura da cevada, o Si reduziu a severidade do
1044 oídio (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*) (Wiese et al., 2005; Wang et al., 2017) e da
1045 giberela (*Fusarium* spp) (Sakr, 2021).

1046 Assim, a redução da intensidade de doenças pelo fornecimento de Si poderá
1047 implicar em melhor performance do metabolismo primário da planta. Estudos

1048 demonstram que o uso do Si pode influenciar na fotossíntese líquida por, indiretamente,
1049 preservar o conteúdo de clorofila e potencializar as reações fotoquímicas associadas ao
1050 PSII (Fortunato et al. 2012, Rios et al. 2014; Rodrigues et al. 2015). A redução dos
1051 danos oriundos da ação do patógeno pelo Si previne a abrupta redução de variáveis
1052 relacionadas a trocas gasosas da planta como a assimilação líquida de CO₂ (*A*), a
1053 condutância estomática (*g_s*) e a taxa transpiratória (*E*) (Rios et al., 2014).

1054 Nesse sentido, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da associação da
1055 fertilização silicatada no solo, como fonte de Si solúvel, com a aplicação foliar de
1056 fungicida nos parâmetros fotossintéticos de plantas de cevada desafiadas
1057 por *B. sorokiniana*. Para tal, as trocas gasosas e a concentração dos pigmentos
1058 fotossintéticos foram quantificadas em cultivares suscetíveis à mancha marrom,
1059 supridas ou não com fertilização silicatada, e sem ou com aplicação de fungicida aos 7 e
1060 15 dias antes da inoculação.

1061 2. Material e métodos

1062 2.1. Material vegetal e cultivo

1063 As cultivares de cevada AnaG 01 (Fapra-Agrária®) e BRS Cauê (Embrapa ®),
1064 ambas suscetíveis a mancha marrom, foram utilizadas nos experimentos. Estas
1065 cultivares foram selecionadas devido a semelhança na duração do ciclo, período de
1066 florescimento e amplo uso no mercado. As sementes foram semeadas em vasos
1067 plásticos (capacidade de 10 L) contendo 8 kg de solo. Em cada vaso foi cultivado 6
1068 plantas. Durante todo o experimento, as plantas foram mantidas em casa de vegetação
1069 pertencente ao Departamento de Fitossanidade, da Faculdade de Agronomia “Eliseu
1070 Maciel” da Universidade Federal de Pelotas (RS). As temperaturas médias diárias
1071 variaram entre 4 e 26°C, e a umidade relativa entre 40 e 85%.

1072 2.2. Características do solo, fertilização e aplicação dos corretivos de solo

1073 As características físico-químicas do solo utilizado no estudo foram as seguintes:
1074 54 g kg⁻¹ silte; 251 g kg⁻¹ argila; classe textural médio argiloso; pH em água 5.8; 12 mg
1075 dm⁻³ P; 6 mg dm⁻³ S; 5.8 mg dm⁻³ K; 3.1 cmolc dm⁻³ Ca; 1,7 cmolc dm⁻³ Mg, 0,6 cmolc
1076 dm⁻³ Al; 4,4 cmolc dm⁻³ H + Al; 53% saturação por bases; 1,99% matéria orgânica;
1077 Índice SMP 6. O solo utilizado foi peneirado e a correção da fertilidade química
1078 realizada conforme as indicações para a cultura da cevada (Minella, 2019). A aplicação
1079 de nitrogênio, na forma de ureia, foi de 0,24 mg kg⁻¹, onde 0,08 mg kg⁻¹ foi aplicado na
1080 semeadura, 0,08 mg kg⁻¹ no início do afilhamento e o restante no início do alongamento.
1081 As doses de P e K foram 0,07 mg kg⁻¹ P₂O₅ e 0,03 mg kg⁻¹ K₂O, respectivamente,
1082 aplicadas na semeadura.

1083 A fonte de Si foi o silicato de cálcio (Agrosilício Plus®, Agronelli Insumos
1084 Agrícolas, Uberaba, Brasil), composto por 10,5% de Si, 25% de Ca e 6% de Mg,
1085 aplicado na dose equivalente a 13,2 toneladas ha⁻¹. Para isolar o efeito do Si, nos

1086 tratamentos controle foi adicionado calcário extrafino (Dagoberto Barcelos, Caçapava
1087 do Sul, Brasil), composto por 25% de Ca e 15% de Mg, na dose de 11 toneladas ha⁻¹. As
1088 concentrações adicionadas de Ca e Mg entre os tratamentos foram ajustadas utilizando,
1089 separadamente, carbonatos de Ca e Mg. Os corretivos foram misturados ao solo de cada
1090 tratamento e incubados por 30 dias em sacos plásticos com a umidade próxima de 80%
1091 da capacidade de retenção de água do solo para que ocorresse a solubilização dos
1092 elementos minerais. Amostras coletadas após o período de incubação indicou
1093 concentração de Si disponível (extração em CaCl₂ 0.01 M) no solo de 23,7 mg kg⁻¹ para
1094 solo com silicato de cálcio, e 14,7 mg kg⁻¹ solo com calcário extrafino.

1095 *2.3 Delineamento experimental*

1096 O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado, em
1097 esquema fatorial. Os fatores consistiram em cultivares (AnaG01 e BRS Cauê),
1098 corretivos no solo (silicato de cálcio ou calcário extrafino), aplicação fungicida (7 e 15
1099 dias antes da inoculação (DAI), ou sem aplicação) e tempo após a inoculação (plantas
1100 sadias, 3 e 10 dias), com quatro repetições. No total foram utilizados 48 vasos com seis
1101 plantas por vaso. O experimento foi realizado duas vezes.

1102 *2.4. Aplicação do fungicida*

1103 A aplicação do fungicida foi realizada aos setenta (70) dias da sementeira,
1104 durante o estágio fenológico 52 (segundo a escala de Zadoks, 1974). O fungicida
1105 epoxiconazol (50 g L) + fluxapiraxade (50 g L) + piraclostrobina (81 g L) (BASF®) na
1106 dose de 1,0 L ha⁻¹ foi aplicado de forma preventiva, aos sete (7) ou quinze (15) dias
1107 antes da inoculação da planta, a fim de avaliar seu efeito residual associado ao uso de
1108 silicato de cálcio, ou calcário extrafino, no momento da inoculação de *B. sorokiniana*.
1109 As aplicações foram efetuadas pela manhã, com temperatura de entre 17-22 °C, 70-80%
1110 UR, e velocidade do vento de 2-5 km h⁻¹. A aplicação foi realizada com um

1111 pulverizador costal pressurizado por CO₂, equipado com barra de 3 bicos, com pontas
1112 de jato plano em leque, série 110.02, espaçadas em 50 cm e calibradas para um volume
1113 de calda de 150 L ha⁻¹.

1114 2.5. *Obtenção do isolado e teste de patogenicidade*

1115 Amstras de sementes da cultivar BRS Cauê foram coletadas no Centro
1116 Agropecuário da Palma, da Universidade Federal de Pelotas, no município de Capão do
1117 Leão, RS. As sementes foram encaminhadas ao Laboratório de Interação Planta-
1118 Patógeno (LIPP), no departamento de Fitossanidade, da Universidade Federal de
1119 Pelotas. As sementes foram previamente desinfestadas em hipoclorito a 1% e água
1120 destilada. Realizou-se o método de papel filtro (Blotter test) conforme Neergard (1979),
1121 onde foram dispostas 25 sementes sobre papel mata borrão umedecido com solução
1122 restritora 8 MPa em caixas de plástico (Gerbox). Após a montagem, como caixas foram
1123 mantidas em BOD a temperatura de 20°C sob fotoperíodo de 12h. Aos sete dias de
1124 incubação, foram observadas as estruturas fúngicas sobre a superfície de sementes com
1125 o auxílio de lupa e isolado um esporo de *B. sorokiniana* afim de obter uma colônia
1126 monospórica em meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA) conforme Alfenas e Mafia
1127 (2007).

1128 A cepa de *B. sorokiniana* foi cultivada em BDA 7 dias a 26 °C, com fotoperíodo
1129 de 12 horas. Posteriormente, foi inoculado em plantas saudáveis plantas com 60 dias de
1130 idade (estádio de perfilhamento) da cultivar BRS Cauê através da suspensão por meio
1131 da pulverização da suspensão de esporos, ajustada para 1x10⁴ conídios por mL (Barba et
1132 al., 2004). e encaminhado a ambiente protegido de 22 a 29 °C, e relativo umidade de
1133 90%. As plantas foram analisadas quanto aos sintomas apresentados a cada 12 horas. As
1134 plantas controle foram borrifadas apenas com água.

1135 2.6. *Extração, amplificação e sequenciamento de DNA*

1136 O DNA genômico foi extraído de micélio cultivado em placas de PDA por 10
1137 dias a 26 ° C, usando um kit de isolamento de DNA (Norgen, Ontário, Canadá)
1138 seguindo as instruções do fabricante. Duas regiões foram direcionadas para
1139 amplificação e sequenciamento por PCR e incluíram a gliceraldeído 3-fosfato
1140 desidrogenase (GAPDH) e 5,8S nrDNA com as regiões espaçadoras transcritas internas
1141 (ITS) e 28S DNA ribossômico (LSU). As amplificações de pcr, purificação de produtos
1142 de pcr, sequenciamento e edição de sequencias foward e reverse foi feita conforme ao
1143 descrito por Victoria Arellano et al., 2021. As sequências de consenso de cada locus
1144 foram comparadas em pesquisas de explosão com dados depositados no NCBI para
1145 determinar a identificação preliminar do isolado (Altschul et al. 1990).

1146 2.7. *Inoculação das plantas de cevada e armazenagem do isolado*

1147 O isolado do fungo foi repicado para placa de Petri contendo meio BDA, e foi
1148 encaminhado para câmara de incubação por sete dias a temperatura 25°C ± 3°C e
1149 fotoperíodo de 12h. No sétimo dia, os conídios produzidos foram coletados, com o
1150 auxílio da alça de Drigalski, em água destilada contendo 0,01% de Tween 20%, e a
1151 concentração ajustada para 1 x 10⁴ conídios mL⁻¹ (Barba et al., 2004).

1152 A inoculação das plantas de cevada foi por meio da pulverização foliar da
1153 suspensão de esporos de *B. sorokiniana*, aos 85 dias após a emergência das plântulas
1154 (estádio 64 conforme escala fenológica de Zadoks, 1974) por meio da utilização de um
1155 borrifador manual (TECBLAS® 45 mL). Toda a superfície foliar de todas as plantas
1156 foram completamente cobertas pela pulverização, contudo sem provocar escorrimento
1157 superficial. Imediatamente após a inoculação, as plantas foram transferidas para uma
1158 câmara de nevoeiro com temperatura de 25 ± 3°C, onde permaneceram por 48h.

1159

1160 O isolado fúngico de *B. sorokiniana* (LIPP BITA01) utilizado nos estudos foi
1161 armazenado na Coleção de Fungos do Laboratório de Fungos Fitopatogênicos da
1162 Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. A
1163 preservação do fungo foi em água destilada esterilizada e mantido em temperatura de
1164 10°C (Castelani, 1939).

1165 2.8. Avaliação da doença

1166 A quantificação da doença, realizada em duas plantas por repetição, foi por meio
1167 da determinação da taxa de expansão de lesão (r) e da severidade da doença. A taxa r
1168 foi estimada com base nas mensurações de cinco lesões em uma folha de cada planta de
1169 cada repetição. As mensurações foram realizadas a cada 24 h após o aparecimento dos
1170 primeiros sintomas, totalizando dez avaliações. A severidade da mancha marrom foi
1171 estimada com base na proporção da área da folha atacada pela doença em relação a área
1172 total da folha de acordo com a escala diagramática descrita por Azevedo (1997). A
1173 partir dos dados da severidade foi calculada a área abaixo da curva de progresso da
1174 doença (AACPD) conforme fórmula proposta por Shaner & Finney (1977).

1175 2.7. Determinação das trocas gasosas

1176 As avaliações dos parâmetros fotossintéticos foram realizadas antes da
1177 inoculação do patógeno (plantas sadias) e aos três (3), a fim de verificar o efeito inicial
1178 da doença, e dez (10) dias após a inoculação das plantas com *B. sorokiniana*, após a
1179 colonização do tecido foliar pela doença. As medições foram realizadas no terço médio
1180 da folha bandeira-1 de uma planta por repetição, utilizando-se de um analisador de
1181 gases por infravermelho (IRGA), marca LI-COR, modelo LI – 6400 (LI-COR, Lincoln,
1182 NE, USA), no período das 9 às 13 horas. Os parâmetros fotossintéticos determinados
1183 foram: condutância estomática (g_s – mol m⁻¹ s⁻¹), taxa transpiratória (E – mol H₂O m⁻² s⁻¹)
1184 ¹), concentração interna de CO₂ (C_i – μmol mol⁻¹), e assimilação líquida de CO₂ (A -

1185 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). As medições foram realizadas sob CO_2 a 400 ppm, irradiância de 1.000
1186 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e temperatura de 28 °C.

1187 2.8. *Determinação da concentração dos pigmentos fotossintéticos*

1188 Antes da inoculação, aos três (3) e dez (10) dias após a inoculação, as folhas
1189 bandeira e bandeira-1 de duas plantas de cevada, por repetição, foram coletadas e
1190 armazenadas em ultra freezer a -70°C, até a realização da quantificação de clorofila *a*, *b*,
1191 total e carotenoides. A extração e a quantificação das clorofilas e carotenoides foram
1192 realizadas, segundo a metodologia utilizada por Dallagnol et al. (2011), com algumas
1193 modificações. Os resultados foram expressos em mg g^{-1} matéria fresca (MF).

1194 2.9. *Concentração foliar de Si*

1195 Ao final dos experimentos, para assegurar que as variações nas variáveis
1196 avaliadas foram devidas a diferenças nas concentrações de Si, amostras foliares foram
1197 coletadas, lavadas com água destilada e secas em estufa a 70° C, durante 72 horas. Em
1198 seguida as folhas foram moídas, em um moinho de facas até obter um pó fino, e,
1199 posteriormente, determinada a concentração foliar de Si em 0,1 g de matéria seca,
1200 conforme metodologia descrita por Korndorfer et al. (2004).

1201 2.10. *Análise dos dados*

1202 Para verificar a homogeneidade dos dados, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk,
1203 para todas as variáveis avaliadas nos experimentos. Os dados foram submetidos à
1204 análise de variância (ANOVA) e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de
1205 Tukey no software SAS (SAS Institute, 1989, Cary, NC).

1206 3. Resultados

1207 3.1. Componentes de resistência

1208 Os fatores cultivar, corretivo de solo, e aplicação de fungicida foram
1209 significativos ($P \leq 0.05$) para todos os componentes de resistência (Tabela 1). Na cv
1210 AnaG 01 a AACPD, r e Sev foram 9, 35, e 14%, menores quando comparadas a cv BRS
1211 Cauê (Tabela S1; Fig. 1a-f). Nas plantas supridas com Si ocorreram reduções de 15 e 21
1212 % na AACPD e r , respectivamente (Tabela S1). O maior efeito do Si na redução das
1213 variáveis relacionadas a doença foi observado nas plantas tratadas com fungicida 15
1214 DAI (Fig. 1a-f). A aplicação de fungicida 7 ou 15 DAI, reduziu a AACPD em 83 e
1215 57%, a r em 44 e 23%, e a SF em 83 e 53%, em comparação as plantas não tratadas com
1216 fungicida (Tabela S1; Fig. 1a-f).

1217 3.2. Trocas gasosas

1218 Os fatores cultivar, corretivo do solo, aplicação de fungicida, e dias após a
1219 inoculação (dai), bem como várias de suas interações, foram significativos ($P \leq 0.05$)
1220 para as variáveis de trocas gasosas (assimilação líquida de CO₂ (A), concentração
1221 interna de CO₂ (C_i), condutância estomática (g_s), e taxa respiratória (E)), porém o fator
1222 fungicida isoladamente não afetou de forma significativa os valores de E (Tabela 2).

1223 A inoculação das plantas reduziu significativamente os valores de A em 27 e
1224 10%, aos 3 e 10 *dai*, em comparação as plantas sadias (Tabela S2; Fig. 2a-c). A g_s , C_i , e
1225 E foram reduzidas em 60, 18 e 35% aos 10 *dai* (Tabela S2; Fig. 2f, i e l), enquanto que a
1226 aos 3 *dai* ocorreu aumento de 5% na C_i , em comparação as plantas sadias (Tabela S2;
1227 Fig. 2h).

1228 Entre as cultivares, as variáveis A e E foram 17 e 6% maiores na BRS Cauê,
1229 enquanto g_s e C_i foram 12 e 5% menores, em comparação à cultivar AnaG01 (Tabela
1230 S2). BRS Cauê apresentou valor de A , discretamente superiores a AnaG01 em

1231 **Tabela 1.** Análise da variância da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), taxa de expansão da lesão (*r*) e a severidade final
 1232 (Sev) da mancha marrom em folhas de plantas das cultivares (cv) AnaG01 e BRS Cauê, cultivadas em solo corrigido (corretivo de
 1233 solo) com silicato de cálcio ou calcário extrafino, e não tratadas ou tratadas com fungicida (fung) 7 ou 15 dias antes da inoculação com
 1234 *Bipolaris sorokiniana*.

Fonte de variação	Df	AACPD	<i>r</i>	Sev
		Quadrado médio ¹	Quadrado médio ¹	Quadrado médio ¹
Cultivar (cv)	1	676.8 *	0.13859 **	71.5 **
Corretivo de solo (cs)	1	2115.4 **	0.044286 **	17.0 ns
Fungicida (fung)	2	67418.4 **	0.080131 **	2371.5 **
cv × cs	1	438.3 ns	0.003494 *	1.6 ns
cv × fung	2	41.7 ns	0.025241 **	70.8 **
cs × fung	2	854.71 **	0.013234 **	5.5 ns
cv × cs × fung	2	323.4 ns	0.010054 **	0.3 ns

¹ Níveis de probabilidade: ns= não significativo, *=0.05 e **=0.01. cv: cultivares (AnaG01 e BRS Cauê); cv: corretivo de solo (silicato de cálcio ou calcário extrafino); fung: fungicida (sem aplicação, com aplicação aos 7 ou 15 dias antes da inoculação).

1235 **Tabela 2.** Análise da variância sobre as trocas gasosas, taxa fotossintética ($A - \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática de vapores de água ($g_s -$
 1236 $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 ($C_i - \mu\text{mol mol}^{-1}$) e taxa transpiratória ($E - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em folhas de cevada (*Hordeum*
 1237 *vulgare*) inoculadas com *Bipolaris sorokiniana*.

1238

Fonte de variação	Df	A	g_s	C_i	E
		Quadrado médio ¹	Quadrado médio ¹	Quadrado médio ¹	Quadrado médio ¹
Cultivar (cv)	1	79.7 **	0.041**	4995.9 **	1.180 *
Corretivo de solo (cs)	1	265.3 **	1.054**	15292.5 **	40.937 **
Fungicida (fung)	2	23.9 **	0.007**	808.4 *	0.248 ns
Dias após inoculação (dai)	2	64.2 **	0.304**	60071.7 **	26.756 **
cv × cs	1	56.8 **	0.010**	3340.3 **	0.081 ns
cs × fung	2	2.4 ns	0.014**	453.8 ns	0.386 ns
cv × dai	2	12.1 **	0.031**	3407.7 **	0.217 ns
cs × fung	2	1.3 ns	0.001 ns	227.2 ns	2.370 **
cs × dai	2	21.7 **	0.105 **	4357.1 **	9.736 **
fung × dai	4	10.2 **	0.029**	2635.4 **	1.396 **
cv × cs × fung	2	3.9 ns	0.004*	5137.8 **	0.075 ns
cv × cs × dai	2	5.6 *	0.020**	2080.1 **	5.320 **
cs × fung × dai	4	7.4 **	0.004**	478.9 ns	2.105 **
cv × fung × dai	4	5.2 *	0.013**	1331.1 **	0.440 ns
cv × cs × fung × dai	4	5.2 *	0.003*	2025.1 **	0.269 ns

¹ Níveis de probabilidade: ns= não significativo, *=0,05 e **=0,01. cv: cultivares (AnaG01 e BRS Cauê); cs: corretivo de solo (silicato de cálcio ou calcário extrafino); fung: fungicida (sem aplicação, com aplicação aos 7 ou 15 dias antes da inoculação), dai: dias após a inoculação (plantas sadias, aos 3 e 10 dai).

1239 plantas saudias (Fig. 2a), no entanto a diferença aumentou aos 3 *dai* (Fig. 2b) e aos 10
1240 *dai* (Fig. 2c), especialmente nas plantas supridas com silício.

1241 Plantas supridas com Si apresentaram valores, para todas as variáveis de trocas
1242 gasosas, maiores que às plantas -Si, sendo 33, 121, 8 e 40%, respectivamente para *A*, *Ci*,
1243 *g_s* e *E* (Tabela S2). O fornecimento de silício incrementou a *A* em plantas saudias (Fig.
1244 2a), e manteve os valores maiores nas plantas inoculadas aos 3 *dai* (Fig. 2b) e aos 10 *dai*
1245 (Fig. 2c), especialmente para as da BRS Cauê tratadas com fungicida. No caso da *g_s*, os
1246 valores foram maiores nas plantas supridas com silício, em plantas saudias (Fig. 2d) e
1247 inoculadas (Fig. 2e e f). Nas plantas saudias e aos 3 *dai*, a *g_s* foi superior nas plantas da
1248 AnaG01 supridas com Si, em comparação a BRS Cauê, no entanto aos 10 *dai* os valores
1249 da *g_s* foram maiores na BRS Cauê, especialmente nas plantas tratadas com fungicida aos
1250 7 DAI. O fornecimento de silício também conferiu maior *Ci* e *E* nas plantas saudias, com
1251 maior efeito na AnaG01 (Fig. 2g e j). Já nas plantas inoculadas, aos 3 *dai*, o
1252 fornecimento de silício favoreceu a manutenção da *Ci* e *E* maiores, entretanto, o efeito
1253 foi variável com a cultivar e a aplicação de fungicida (Fig. 2h e k).

1254 A aplicação de fungicida não alterou significativamente os valores de *Ci* e *E*, no
1255 entanto, induziu um aumento em *A* de 16 e 10%, respectivamente aos 7 e 15 DAI, e a *g_s*
1256 maior 14% aos 7 DAI (Tabela S2). Nas plantas saudias, o efeito da aplicação do
1257 fungicida foi mais evidente nas plantas não supridas com silício para *A* e *g_s* (Fig. 2a e
1258 d). No entanto, para as plantas inoculadas, o efeito da aplicação do fungicida foi maior
1259 nas plantas supridas com silício da BRS Cauê aos 3 *dai* para *A* (Fig. 2b) e aos 10 *dai*
1260 para *g_s* (Fig. 2f), e na AnaG01 aos 10 *dai* para *A* (Fig. 2c).

1261 3.3. Pigmentos fotossintéticos

1262 Os fatores cultivar, corretivo de solo, aplicação de fungicida e dias após a
1263 inoculação, bem como suas interações, foram significativos ($P \leq 0.05$) para as

1264 concentrações dos pigmentos fotossintéticos, exceto a interação cultivar × corretivo de
1265 solo para clorofila total (CT) e clorofila *a* (Cla) (Tabela 3).

1266 Plantas inoculadas apresentaram incremento na concentração da CT em 9 e 5%
1267 (Tabela S3; Fig. 3a-c) e Carot em 11,0 e 11,2% (Tabela S3; Fig. 3j-l) aos 3 e 10 *dai*. A
1268 Cla aumentou em 8,6% aos 10 *dai* (Tabela S3; Fig. 3f) e a clorofila *b* (Clb) em 28% aos
1269 3 *dai* (Tabela S3; Fig. 3h), em comparação as plantas sadias.

1270 Na comparação das cultivares, a AnaG01 apresentou concentração maiores em
1271 8, 3, 31, e 5% para CT, Cla, Clb, e Carot, respectivamente, em comparação a BRS Cauê
1272 (Tabela S3).

1273 Plantas supridas com Si apresentaram concentrações maiores em 15, 10, 22, e
1274 17% para CT, Cla, Clb e Carot, respectivamente, do que às plantas não supridas com o
1275 elemento (Tabela S3). O fornecimento de silício incrementou a CT nas plantas sadias
1276 (Fig. 3a), principalmente nas SF e nas tratadas 15 DAI, e, nas plantas inoculadas aos 3
1277 *dai* (Fig. 3b), e aos 10 *dai* (Fig. 3c), especialmente da AnaG01, em comparação as
1278 plantas -Si. Plantas sadias supridas com Si apresentaram maior concentração de Cla
1279 (Fig.3d), Clb (Fig. 3g), e Carot (Fig. 3j), em comparação as plantas -Si, quando SF ou
1280 15 DAI, entretanto nas plantas tratadas 7 DAI, a concentração destes pigmentos foi
1281 maior nas plantas -Si. Nas plantas inoculadas, de modo geral, as concentrações de Cla
1282 (Fig. 3e, f) e Clb (Fig 3h, i) foram maiores nas plantas supridas com Si, independente da
1283 cultivar ou tratamento com fungicida. Para a concentração de Carot, maior concentração
1284 ocorreu nas plantas supridas com Si da AnaG01 aos 3 *dai* (Fig. 3k), e da cultivar BRS
1285 Cauê aos 10 *dai* (Fig. 3l), independentemente da aplicação de fungicida.

1286 **Tabela 3.** Análise da variância sobre os pigmentos fotossintéticos, clorofila total (CT - mg kg⁻¹ MF), clorofila *a* (Cla - mg kg⁻¹ MF), clorofila *b*
 1287 (Cib - mg kg⁻¹ MF) e de carotenoides (Carot - mg kg⁻¹ MF) em plantas de cevada (*Hordeum vulgare*) inoculadas com *Bipolaris*
 1288 *sorokiniana*.

1289

Fonte de variação	Df	CT	Cla	Cib	Carot
		Quadrado médio ¹	Quadrado médio ¹	Quadrado médio ¹	Quadrado médio ¹
Cultivar (cv)	1	49494.0**	4309.2 **	64328.3 **	331.5 **
Corretivo (cs)	1	148993.5**	31822.5 **	34151.7 **	2959.6 **
Fungicida (fung)	2	2793.4**	13449.4 **	2432.7 **	28.7 *
Dias após inoculação (dai)	2	23738.6**	10802.0 **	54096.0 **	674.7 **
cv × cs	1	101.6 ns	242.1 ns	648.7 **	105.5 **
cs × fung	2	7985.7 **	6136.2 **	2448.6 **	127.6 **
cv × dai	2	9784.6 **	3343.8 **	5067.6 **	312.6 **
cs × fung	2	2714.0 **	4739.0 **	206.5 **	1006.1 **
cs × dai	2	12888.7 **	4808.6 **	253.8 **	155.5 **
fung × dai	4	22308.4 **	5558.6 **	1259.3 **	290.6 **
cv × cs × fung	2	3535.9 **	5738.6 **	4698.3 **	53.2 **
cv × cs × dai	2	1225.4 **	1194.6 **	4137.7 **	786.5 **
cs × fung × dai	4	5098.1 **	2919.8 **	394.1 **	626.7 **
cv × fung × dai	4	2204.0 **	4288.6 **	2141.6 **	571.3 **
cv × cs × fung × dai	4	3289.0 **	960.5 **	882.9 **	113.5 **

¹ Níveis de probabilidade: ns= não significativo, *=0.05 e **=0.01. cv: cultivares (AnaG01 e BRS Cauê); cs: corretivo de solo (silicato de cálcio ou calcário extrafino); fung: fungicida (sem aplicação, com aplicação aos 7 ou 15 dias antes da inoculação), dai: dias após a inoculação (plantas saudas, aos 3 e 10 dai).

1290 Plantas tratadas com fungicida apresentaram maior concentração de CT, aos 15
1291 DAI, Cla e Clb aos 7 e 15 DAI, em comparação as plantas não tratadas (Tabela S3). A
1292 aplicação de fungicida nas plantas sadias reduziu a concentração de CT da AnaG01
1293 supridas com Si (Fig. 3a), e aumentou as concentrações de Cla, Clb e Carot da BRS
1294 Cauê -Si (Fig. 3d, g, e j). Nas plantas tratadas com fungicida e inoculadas, de modo
1295 geral, a concentração de CT e Clb foram menores nas plantas -Si das AnaG01 aos 3 *dai*
1296 (Fig. 3b e g), e a CT foi maior nas plantas -Si da BRS Cauê aos 10 *dai* (Fig. 3c), em
1297 comparação as plantas sem fungicida. Nas plantas supridas com Si, o tratamento com
1298 fungicida resultou em maior concentração de Cla aos 3 *dai* para BRS Cauê (Fig. 3e) e
1299 aos 10 *dai* para AnaG01 (Fig. 3f).

1300 3.4. Concentração de Si na folha

1301 Apenas para o fator corretivo foi significativo para a concentração de Si na
1302 folha, onde as plantas supridas com Si (+Si) apresentaram acréscimo de 18,8% quando
1303 comparadas com as plantas não supridas (-Si) (Fig. 4).

1304 **4. Discussão**

1305 *Bipolaris sorokiniana* causa danos significativos na produtividade de trigo e
1306 cevada em todo o mundo (Dominguez et al., 2021). Este estudo apresenta as primeiras
1307 evidências fisiológicas associadas ao suprimento de silício em plantas de cevada
1308 desafiadas por *B. sorokiniana* na presença de aplicação antecipada de fungicida.
1309 Estudos anteriores demonstraram o efeito positivo do Si na redução do dano de
1310 patógenos sobre a fotossíntese de plantas (Fortunato et al. 2012; Resende et al. 2012;
1311 Rios et al., 2014), no entanto, os efeitos do Si em folhas de cevada durante à infecção e
1312 colonização por *B. sorokiniana*, especificamente em relação à fotossíntese, ainda eram
1313 desconhecidos.

1314 As plantas de cevada supridas com Si e tratadas com aplicação preventiva de
1315 fungicida apresentaram menor dano causado por *Bipolaris sorokiniana*, conforme
1316 indicado pela menor AACPD e r . A menor AACPD e r indicam que o avanço da doença
1317 nos tecidos da planta foi mais lento, fato que possibilitou a planta manter área foliar
1318 sadia por maior período de tempo.

1319 Embora a infecção de *B. sorokiniana* nas folhas de cevada tenha comprometido
1320 as trocas gasosas, a aplicação de Si contribuiu para mitigar esse efeito. Por exemplo, aos
1321 3 *dai*, A teve redução pronunciada em todos os tratamentos, no entanto, a redução nas
1322 plantas supridas com Si foi menor, especialmente da BRS Cauê tratadas com fungicida.
1323 A redução nos valores de A aos 3 *dai* provavelmente foi resultado de limitações não
1324 estomáticas, uma vez que houve aumento nos valores de C_i enquanto que a g_s não foi
1325 alterada, sendo esse efeito mais intenso nas plantas +Si. Isto indica que, em um primeiro
1326 instante (aos 3 *dai*), a disponibilidade foliar de CO_2 para a fotossíntese era elevada,
1327 sugerindo o suprimento de CO_2 não foi o fator principal relacionado a redução de A .
1328 Assim, a redução em A pode ter sido decorrente de uma menor eficiência de enzimas

1329 responsáveis pela fixação fotossintética de CO₂, como a Rubisco (Rios et al., 2014).
1330 Adicionalmente, nas plantas +Si, esse resultado pode estar relacionado com a
1331 potencialização dos mecanismos de defesa da planta utilizando metabólitos
1332 intermediários da fotossíntese e o transporte de elétrons para a produção de compostos
1333 de defesa e reforço estrutural conforme relatado para *Fusarium oxysporum* f. sp.
1334 *Cubense*-banana e *C. miyabeanus*-arroz (Fortunato et al. 2012; Van Bockhaven et al.,
1335 2015; Ahammed e Yang, 2021).

1336 O comportamento hemibiotrófico de *B. sorokiniana*, especialmente na fase
1337 inicial da patogênese, pode induzir a planta a produzir compostos de defesa semelhantes
1338 aos requeridos para defesa contra um patógeno biotrófico, nos quais a produção de
1339 acúmulo de espécies reativas de oxigênio é um importante mecanismos de defesa.
1340 Assim, conforme demonstrado em rosa-*Podosphaera pannosa* (Shetty et al., 2012) e
1341 trigo-*Pyrenophora tritici* (Dorneles et al., 2017; 2018), o Si pode potencializar a
1342 produção de compostos de defesa como H₂O₂, as quais podem ser produzidas
1343 juntamente a membrana plasmática, na mitocôndria, e no cloroplasto (Torres, 2010;
1344 Kumudini et al., 2018). Assim, sugere-se que a redução em *A* observado aos 3 *dai*,
1345 especialmente nas plantas +Si, com posterior aumento aos 10 *dai* quando a severidade
1346 da doença estava maior, sugere que a redução aos 3 *dai* foi devido a alocação pela
1347 planta de intermediários da fotossíntese para produção de compostos de defesa contra a
1348 fase biotrófica do patógeno, enquanto que o aumento em *A* aos 10 *dai* indica uma
1349 redução na utilização de intermediários da fotossíntese para defesa, e adaptação de
1350 mecanismos bioquímicos de defesa contra a fase necrotrófica do patógeno.

1351 A diminuição em *g_s* é outro parâmetro importante que está relacionado ao
1352 comprometimento da atividade fotossintética em plantas afetadas por patógenos,
1353 reduzindo o influxo de CO₂ (Rios et al., 2014). Os valores de *g_s* foram drasticamente

1354 reduzidos após a inoculação de *B. sorokiniana*, especialmente em plantas -Si, e aos 10
1355 *dai*, resultado que pode explicar a redução em *E* aos 10 *dai* causada pelo fechamento
1356 estomático. Entretanto, outros fatores que possibilitam a redução em *E* são relacionados
1357 aos sintomas de murcha e ressecamento nas folhas (Rios et al., 2014), oriundos da
1358 intensa e rápida colonização de *B. sorokiniana* no tecido foliar.

1359 A infecção por *B. sorokiniana* interferiu negativamente na concentração de
1360 pigmentos, principalmente nas plantas -Si. Esse resultado pode estar associado a
1361 atividade de enzimas líticas ou a liberação de toxinas não seletivas do patógeno durante
1362 o processo de colonização do tecido vegetal. *Bipolaris sorokiniana*, durante o estágio
1363 necrotrófico, induz o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (Kumar et. al., 2002),
1364 fato que pode ocasionar diminuição na concentração dos pigmentos fotossintéticos em
1365 consequência da degradação ou a restrição da síntese de clorofilas (Rios et al., 2014).
1366 Entretanto, nas plantas +Si, o progresso mais lento da doença possibilitou manter maior
1367 concentração de pigmentos devido ao menor dano causado pelo patógeno nos tecidos
1368 foliares. A preservação dos pigmentos fotossintéticos em plantas supridas com Si sob
1369 condições de estresse, devido ao melhor controle do estresse oxidativo, resultando em
1370 maior desempenho fotossintético já foi reportado em outras espécies vegetais (Dallagnol
1371 et al., 2013; Verma et al., 2020).

1372 As cultivares utilizadas no estudo foram escolhidas pela similaridade do ciclo
1373 produtivo e por apresentarem suscetibilidade a *B. sorokiniana*, no entanto, de modo
1374 geral, a cv AnaG01 destacou-se pela menor intensidade da doença e manutenção dos
1375 pigmentos fotossintéticos, principalmente quando associada a adubação silicatada e
1376 aplicação antecipada de fungicida. Em estudo anterior a cv AnaG01 apresentou redução
1377 na incidência de mancha marrom na semente, especialmente quando cultivada na
1378 presença de Si solúvel no solo e com aplicação de fungicida (Holz et al., 2020).

1379 Os dados deste estudo também demonstram que a aplicação do fungicida
1380 contribuiu para os maiores valores de A e g_s , além de maior incremento nos pigmentos
1381 fotossintéticos, principalmente nas plantas +Si. Assim, evidencia-se que a associação da
1382 fertilização silicatada da planta com a pulverização de fungicida incrementam o manejo
1383 da mancha marrom da cevada resultando na preservação dos pigmentos fotossintéticos e
1384 a manutenção de maior eficiência das trocas gasosas. Tomando esses dados em
1385 conjunto, sugere-se que o uso do Si no solo combinado com aplicações foliares de
1386 forma preventiva e a utilização de cultivares com maior resistência parcial contribuem
1387 para manter a doença em baixa intensidade, de modo que não seja comprometido a
1388 produtividade da cultura. Além disso, como perspectiva futura, poderia ser estudada a
1389 possibilidade de redução da concentração do fungicida associado a adubação silicatada,
1390 o que traria não apenas redução de custo da produção, mas também menor impacto
1391 ambiental.

1392 Em conclusão, os resultados deste estudo demonstraram que o Si, aliado com a
1393 aplicação de fungicida, sobre as plantas de cevada proporcionou a manutenção dos
1394 parâmetros fisiológicos, como melhor desempenho das trocas gasosas e maiores
1395 concentrações de pigmentos fotossintéticos, sob o estresse biótico causado por *B.*
1396 *sorokiniana*.

1397 **Agradecimentos**

1398 T. M. Holz recebeu bolsa da Capes (Código de Financiamento 001). Prof. L. J.
1399 Dallagnol e K. R. Dorneles são apoiados por bolsas do CNPq (Processos 308149/2018-
1400 1 e 155829/2018-1). Esta pesquisa teve apoio da FAPERGS (19/2551-0001652-2
1401 PQG/19). Agradecemos ao Laboratório de Fertilizantes – LAFER (UFU) pela
1402 realização das análises de Si no solo e foliar.

1403

Referências

- 1404 L. Agostinetto, R.T. Casa, A. Bogo, C. Sachs, C.A. Souza, E.M. Reis, I.C. da Cunha,
1405 Barley spot blotch intensity, damage, and control response to foliar fungicide
1406 application in southern Brazil, *Crop Protection*. 67 (2015) 7-12.
- 1407 L. Agostinetto, R.T. Casa, A. Bogo, L. Alves Neto, J.A.L. Vieira Junior, M.D. Fingstag,
1408 J.M. da Rosa, Viability of seed-borne fungi *Alternaria alternata*, *Bipolaris sorokiniana*
1409 and *Drechslera teres* in barley seeds in the south of Brazil, *Summa Phytopathologica*.
1410 46 (2020) 26-30.
- 1411 G. J. Ahammed, Y. Yang, Mechanisms of silicon-induced fungal disease resistance in
1412 plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 165 (2021) 200-206.
- 1413 A.C. Alfenas, R.G. Mafia, *Métodos em Fitopatologia*, Editora UFV. 382 (2007) 53-90.
- 1414 S. F. Altschul, W. Gish, W. Miller, E. W. Myers, D. J. Lipman, Basic local alignment
1415 search tool, *Journal of molecular biology*. 215 (1990) 403-410.
- 1416 N. Antoniazzi, C. Deschamps, *Bipolaris sorokiniana* control and grain yield in barley
1417 after application of elicitors and fungicide. *Acta Scientiarum Agronomy*. 29 (2007) 695-
1418 700.
- 1419 L.A.S. Azevedo, *Manual de quantificação de doenças de plantas*, São Paulo: Novartis.
1420 (1997) 114.
- 1421 B. Bashyal, R. Chand, L. Prasad, A. Joshi, Partial resistance components for the
1422 management of spot blotch pathogen *Bipolaris sorokiniana* of barley (*Hordeum vulgare*
1423 L.), *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*. 46 (2011) 49-57.

- 1424 J.T. Barba, E.M. Reis, C.A. Forcelini, Efeito do substrato na morfologia de conídios de
1425 *Bipolaris sorokiniana* e da densidade de inóculo na intensidade da mancha marrom em
1426 cevada, Fitopatologia brasileira. 29 (2004) 1-6.
- 1427 S. Berger, A.K. Sinha, T. Roitsch, Plant physiology meets phytopathology: plant
1428 primary metabolism and plant-pathogen inter-actions, Journal of experimental botany.
1429 58 (2007) 4019-4026.
- 1430 D.R. Carrijo, Efeitos fisiológicos provocados pelo fungicida Fluxapirroxade, isolado e
1431 em mistura com a Piraclostrobina, na cultura de soja, Dissertação (Mestrado em
1432 Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo,
1433 Piracicaba. (2014).
- 1434 A. Castellani, Viabilidade de alguns fungos patogênicos em água destilada. Journal of
1435 Tropical Medicine and Hygiene. 42 (1939) 225-226.
- 1436 D. Coskun, R. Deshmukh, H. Sonah, J.G. Menzies, O. Reynolds, J.F. Ma, R.R.
1437 Bélanger, The controversies of silicon's role in plant biology, New Phytologist. 221
1438 (2019) 67-85.
- 1439 V. D'Addazio, J.V.G. Silva, A.S. Jardim, L.L. Longue, R.A.A. Santos, A.A. Fernandes,
1440 M.B. Silva, D.M. Silva, T.A. Santos, E.R. Schmildt, L.H. Pfenning, A.R. Falqueto,
1441 Silicon improves the photosynthetic performance of black pepper plants inoculated with
1442 *Fusarium solani* f. sp. *piperis*. Photosynthetica. 58 (2020) 692-701.
- 1443 L.J. Dallagnol, F.A. Rodrigues, S.C.V. Martins, P.C. Cavatte, F.M. DaMatta,
1444 Alterations on rice leaf physiology during infection by *Bipolaris oryzae*, Australasian
1445 Plant Pathology. 40 (2011) 360-365.

- 1446 L.J. Dallagnol, F.A. Rodrigues, A.R.M. Chaves, F.X.R. Vale, F.M. DaMatta,
1447 Photosynthesis and sugar concentration are impaired by the defective active silicon
1448 uptake in rice plants infected with *Bipolaris oryzae*, *Plant Pathology*. 62 (2013) 120-
1449 129.
- 1450 L.J. Dallagnol, A.E.R. Ramos, K.R. Dorneles, Silicon Use in the Integrated Disease
1451 Management of Wheat: Current Knowledge, Current Trends in Wheat Research. (2020)
1452 1-21.
- 1453 L.E. Datnoff, W.H. Elmer, W. H., D.M. Huber, Mineral Nutrition and Plant Disease,
1454 The American Phytopathological Society. (2007) 1-278.
- 1455 D. Debona, F.A. Rodrigues, L.E. Datnoff, Silicon's role in abiotic and biotic plant
1456 stresses, *Annual Review of Phytopathology*. 55 (2017) 85-107.
- 1457 G.P. Domiciano, I.S. Cacique, C.C. Freitas, M.C.C. Filippi, F.M. DaMatta, F.X.R. Do
1458 Vale, F.A. Rodrigues, Alterations in gas exchange and oxidative metabolism in rice
1459 leaves infected by *Pyricularia oryzae* are attenuated by silicon, *Phytopathology*. 105
1460 (2015) 738-747.
- 1461 J.A. Dominguez, F.J. Sautua, M.A. Carmona, Sensitivity of *Bipolaris sorokiniana* to
1462 strobilurin, triazole, and carboxamide premixes, *Archives of Phytopathology and Plant*
1463 *Protection*. (2021) 1-14.
- 1464 K.R. Dorneles, L.J. Dallagnol, P.C. Pazdiora, F.A. Rodrigues, S. Deuner, Silicon
1465 potentiates biochemical defense responses of wheat against tan spot, *Physiological and*
1466 *Molecular Plant Pathology*. 97 (2017) 69-78.
- 1467 K.R. Dorneles, P.C. Pazdiora, J.F. Hoffmann, F.C. Chaves, L.G. Monte, F.A.
1468 Rodrigues, L.J. Dallagnol, Wheat leaf resistance to *Pyrenophora tritici-repentis* induced

- 1469 by silicon activation of phenylpropanoid metabolism, *Plant Pathology*. 67 (2018) 1713-
1470 1724.
- 1471 F. Fauteux, W. Rémus-Borel, J.G. Menzies, R.R. Bélanger, Silicon and plant disease
1472 resistance against pathogenic fungi, *FEMS microbiology letters*. 249 (2005) 1-6.
- 1473 A.A. Fortunato, F.A. Rodrigues, K.J.T. Nascimento, Physiological and biochemical
1474 aspects of the resistance of banana plants to *Fusarium* wilt potentiated by silicon,
1475 *Phytopathology*. 102 (2012) 957-966.
- 1476 O.P. Gangwar, S.C. Bhardwaj, G.P. Singh, P. Prasad, S. Kumar, Barley disease and
1477 their management: An Indian perspective, *Wheat and Barley Research*. 10 (2018) 138-
1478 150.
- 1479 P.K. Gupta, R. Chand, N.K. Vasistha, S.P. Pandey, U. Kumar, V.K. Mishra, A.K. Joshi,
1480 Spot blotch disease of wheat: the current status of research on genetics and breeding,
1481 *Plant pathology*. 67 (2018) 508-531.
- 1482 T.M. Holz, A.E. Brunetto, K.R. Dorneles, L.G. Moreira, W.M.V. Cruz, L.J. Dallagnol,
1483 Incidência de mancha marrom em sementes de cevada é suprimida com silício e
1484 fungicida, XXII Encontro de Pós-Graduação, Anais do XXII Encontro de Pós-
1485 Graduação. (2020) 1-4.
- 1486 G.H. Korndorfer, H.S. Pereira, O.A. Nolla, Análise de silício: solo, planta e fertilizante,
1487 Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, *Boletim Técnico* 2.
1488 (2004) 34.
- 1489 Kumudini, B. S., Jayamohan, N. S., Patil, S. V., & Govardhana, M. (2018). Primary
1490 plant metabolism during plant–pathogen interactions and its role in defense. *Plant*
1491 *Metabolites and Regulation Under Environmental Stress*, 215-229.

- 1492 A.O. Lavinsky, K.C. Detmann, J.V. Reis, R.T. Ávila, M.L. Sanglard, L.F. Pereira, F.M.
1493 DaMatta, Silicon improves rice grain yield and photosynthesis specifically when
1494 supplied during the reproductive growth stage, *Journal of Plant Physiology*. 206 (2016)
1495 125-132.
- 1496 E. Minella, Indicações técnicas da cultura da cevada cervejeira nas safras 2015 e 2016,
1497 Embrapa Trigo. 8 (2015) 1-106.
- 1498 E. Minella, Indicações técnicas da cultura da cevada cervejeira nas safras 2019 e 2020
1499 Embrapa Trigo. 10 (2019) 1-106.
- 1500 P.C. Pazdiora, K.R. Dorneles, T.N. Morello, P. Nicholson, L.J. Dallagnol, Silicon soil
1501 amendment as a complement to manage tan spot and fusarium head blight in wheat,
1502 *Agronomy for Sustainable Development*. 41(2021) 1-13.
- 1503 E.M. Reis, R.T. Casa, Patologia de sementes de cereais de inverno. Embrapa Trigo.
1504 (1998) 88.
- 1505 R.S. Resende, F.A. Rodrigues, P.C. Cavatte, S.C.V. Martins, W.R. Moreira, A.R.M.
1506 Chaves, F.M. DaMatta, Leaf gas exchange and oxidative stress in sorghum plants
1507 supplied with silicon and infected by *Colletotrichum sublineolum*, *Phytopathology*. 102
1508 (2012) 892-898.
- 1509 J.A. Rios, F.A. Rodrigues, D. Debona, L.C. Silva, Photosynthetic gas exchange in
1510 leaves of wheat plants supplied with silicon and infected with *Pyricularia oryzae*, *Acta*
1511 *Physiologiae Plantarum*. 36 (2014) 371-379.
- 1512 F.A. Rodrigues, L.J. Dallagnol, H.S.S. Duarte, L.E. Datnoff, Silicon Control of Foliar
1513 Diseases in Monocots and Dicots, *Silicon and Plant Diseases*, Switzerland:
1514 Springer. (2015) 67-108.

- 1515 F.A. Rodrigues, J.A. Rios, D. Debona, C.E. Aucique-Pérez, *Pyricularia oryzae*-wheat
1516 interaction: physiological changes and disease management using mineral nutrition and
1517 fungicides. *Tropical Plant Pathology*, 42 (2017) 223-229.
- 1518 N. Sakr, Silicon reduces Fusarium Head Blight Development in Barley. *The Open*
1519 *Agriculture Journal*. 15 (2021) 54-65.
- 1520 U. Schreiber, Pulse-Amplitude-Modulation (PAM) fluorometry and saturation pulse
1521 method, *Chlorophyll a fluorescence: a signature of photosynthesis*, Springer,
1522 Dordrecht. 19 (2004) 1-42.
- 1523 G. Shaner, R.E. Finney, The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-
1524 mildewing resistance in Knox wheat, *Phytopathology*. 67 (1977) 1051-1056.
- 1525 P. Sharma, P. Arora, V. Verma, K. Khanna, P. Saini, R. Bhardwaj, Role and regulation
1526 of ROS and antioxidants as signaling molecules in response to abiotic stresses, *Plant*
1527 *signaling molecules*. 8 (2019) 141-156.
- 1528 R. Shetty, B. Jensen, B.P. Shetty, M. Hansen, C.W. Hansen, K.R. Starkey, H.J.L.
1529 Jørgensen, Silicon induced resistance against powdery mildew of roses caused by
1530 *Podosphaera pannosa*, *Plant pathology*. 61 (2012) 120-131.
- 1531 K. Singh, Cross infectivity and comparative genomics of *Bipolaris sorokiniana* and
1532 *Bipolaris oryzae* for characterization of pathogenicity related genes in wheat and rice,
1533 Doctoral dissertation, Division of Plant Pathology Icar-Indian Agricultural Research
1534 Institute, New Delhi-. (2016).
- 1535 J. Van Bockhaven, K. Steppe, I. Bauweraerts, S. Kikuchi, T. Asano, M. Höfte, D. De
1536 Vleeschauwer, Primary metabolism plays a central role in moulding silicon-inducible
1537 brown spot resistance in rice, *Molecular Plant Pathology*. 16 (2015) 811-824.

- 1538 M.A. Torres, ROS in biotic interactions, *Physiologia plantarum*. 138 (2010) 414-429.
- 1539 K.K. Verma, X.H. Liu, K.C. Wu, R.K. Singh, Q.Q. Song, M.K. Malviya, Y.R. Li, The
1540 impact of silicon on photosynthetic and biochemical responses of sugarcane under
1541 different soil moisture levels, *Silicon*. 12 (2020) 1355-1367.
- 1542 A.D. Victoria Arellano, G.M.D. Silva, E. Guatimosim, K.D.R. Dorneles, L.G. Moreira,
1543 L.J. Dallagnol, Seeds coated with *Trichoderma atroviride* and soil amended with silicon
1544 improve the resistance of *Lolium multiflorum* against *Pyricularia oryzae*, *Biological*
1545 *Control*. 154 (2021) 1-14.
- 1546 M. Wang, L. Gao, S. Dong, Y. Sun, Q. Shen, S. Guo. Role of silicon on plant-pathogen
1547 interactions, *Frontiers in Plant Science*. 8 (2017) 701.
- 1548 J. Wiese, H. Wiese, J. Schwartz, S. Schubert, Osmotic stress and silicon act additively
1549 in enhancing pathogen resistance in barley against barley powdery mildew, *Journal of*
1550 *Plant Nutrition and Soil Science*. 168 (2005) 269-274.
- 1551 J.C. Zadoks, T.T. Chang, C.F. Konzak, A decimal code for the growth stages of cereals.
1552 *Weed research*. 14 (1974) 415-421.

1553 **Tabela S1.** Área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD), taxa de expansão
 1554 da lesão (r) e severidade final (Sev) da mancha marrom, em plantas sadias ou
 1555 aos 3 e 10 dias após a inoculação com *B. sorokiniana* em folhas de cevada.

	AACPD	r	Sev
Cultivar			
AnaG 01	78,0 b	0,198 b	14,6 b
BRS Cauê	85,5 a	0,304 a	17,1 a
Corretivo de solo			
-Si	88,4 a	0,282 a	16,495 a
+Si	75,2 b	0,221 b	15,3 a
Fungicida			
SF	153,2 a	0,324 a	29,1 a
7 DAI	26,3 c	0,182 c	5,2 c
15 DAI	65,9 b	0,248 b	13,2 b
CV%	15,6	10,1	18,1

1556 Cultivares (AnaG01 e BRS Cauê); Corretivo de solo (+Si: silicato de cálcio; -Si: calcário extrafino),
 1557 Fungicida (SF: sem fungicida; 7 ou 15 DAI: aplicação preventiva aos 7 ou 15 dias antes da inoculação do
 1558 fungicida epoxiconazol + fluxapirroxade + piraclostrobina)

1559 **Tabela S2.** Taxa fotossintética (A), condutância estomática de vapores de água (g_s),
 1560 concentração interna de CO₂ (C_i) e taxa transpiratória (E) em folhas de plantas
 1561 de cevada sadias ou aos 3 e 10 dias após a inoculação (dai) com *Bipolaris*
 1562 *sorokiniana*.

	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	g_s ($\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$)	C_i ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Dias após a inoculação (dai)				
Sadia	10,77 a	0,28 a	291,6 b	3,57 a
3 dai	8,45 c	0,27 a	305,7 a	3,66 a
10 dai	9,65 b	0,13 b	238,6 c	2,32 b
Cultivar				
AnaG 01	8,88 b	0,24 a	284,5 a	3,09 b
BRS Cauê	10,37 a	0,21 b	272,8 b	3,28 a
Corretivo de solo				
-Si	8,27 b	0,14 b	268,3 b	2,65 b
+Si	10,98 a	0,31 a	289,0 a	3,79 a
Fungicida				
SF	8,87 b	0,21 b	281,2 a	3,24 a
7 DAI	9,74 a	0,24 a	280,8 a	3,10 a
15 DAI	10,27 a	0,22 b	273,9 a	3,21 a
CV%	13,0	13,3	5,5	13,9

1563 Cultivares (AnaG01 e BRS Cauê); Corretivo de solo (+Si: silicato de cálcio; -Si: calcário extrafino),
 1564 Fungicida (SF: sem fungicida; 7 ou 15 DAI: aplicação preventiva aos 7 ou 15 dias antes da inoculação do
 1565 fungicida epoxiconazol + fluxapiraxade + piraclostrobina)

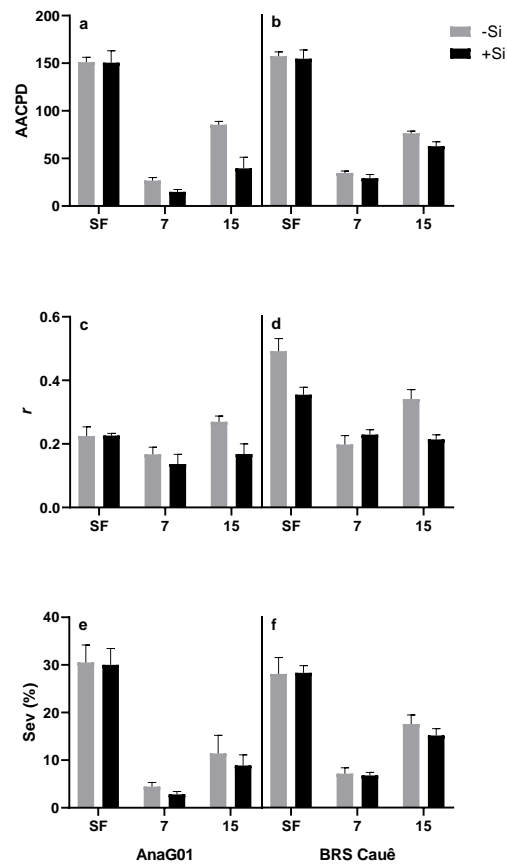
1566 **Tabela S3.** Concentração de clorofila total (CT), *a* (Cla), *b* (Clb) e carotenoides (Carot)
 1567 em plantas sadias ou aos 3 e 10 dias após a inoculação (dai) com *Bipolaris*
 1568 *sorokiniana* em folhas de cevada.

1569

	CT (mg kg ⁻¹ MF)	Cla (mg kg ⁻¹ MF)	Clb (mg kg ⁻¹ MF)	Carot (mg kg ⁻¹ MF)
Dias após a inoculação (dai)				
Sadia	433,75 c	277,74 b	138,81 b	51,77 b
3 dai	478,08 a	278,55 b	193,51 a	58,19 a
10 dai	459,04 b	304,12 a	132,44 c	58,34 a
Cultivar				
AnaG 01	475,50 a	292,27 a	176,06 a	57,62 a
BRS Cauê	438,42 b	281,33 b	133,79 b	54,58 b
Corretivo de solo				
-Si	424,79 b	271,94 b	139,52 b	51,57 b
+Si	489,12 a	301,67 a	170,32 a	60,63 a
Fungicida				
SF	450,00 b	270,67 c	149,47 c	55,60 a
7 DAI	455,76 b	285,65 b	162,98 a	56,99 a
15 DAI	465,11 a	304,09 a	152,32 b	55,70 a
CV%	3,0	3,1	2,0	5,2

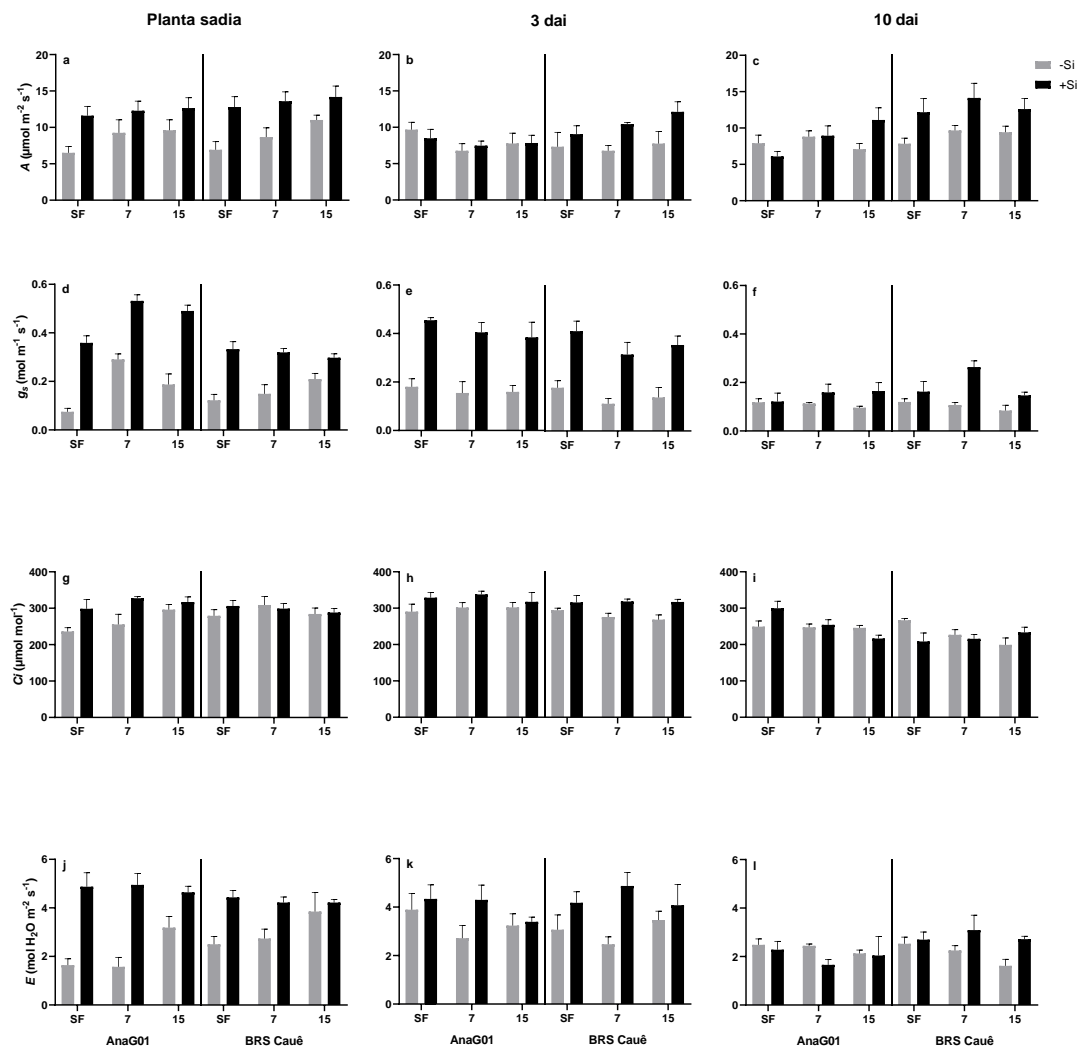
1570 Cultivares (AnaG01 e BRS Cauê); Corretivo de solo (+Si: silicato de cálcio; -Si: calcário extrafino),
 1571 Fungicida (SF: sem fungicida; 7 ou 15 DAI: aplicação preventiva aos 7 ou 15 dias antes da inoculação do
 1572 fungicida epoxiconazol + fluxapiroxade + piraclostrobina)

1573



1574

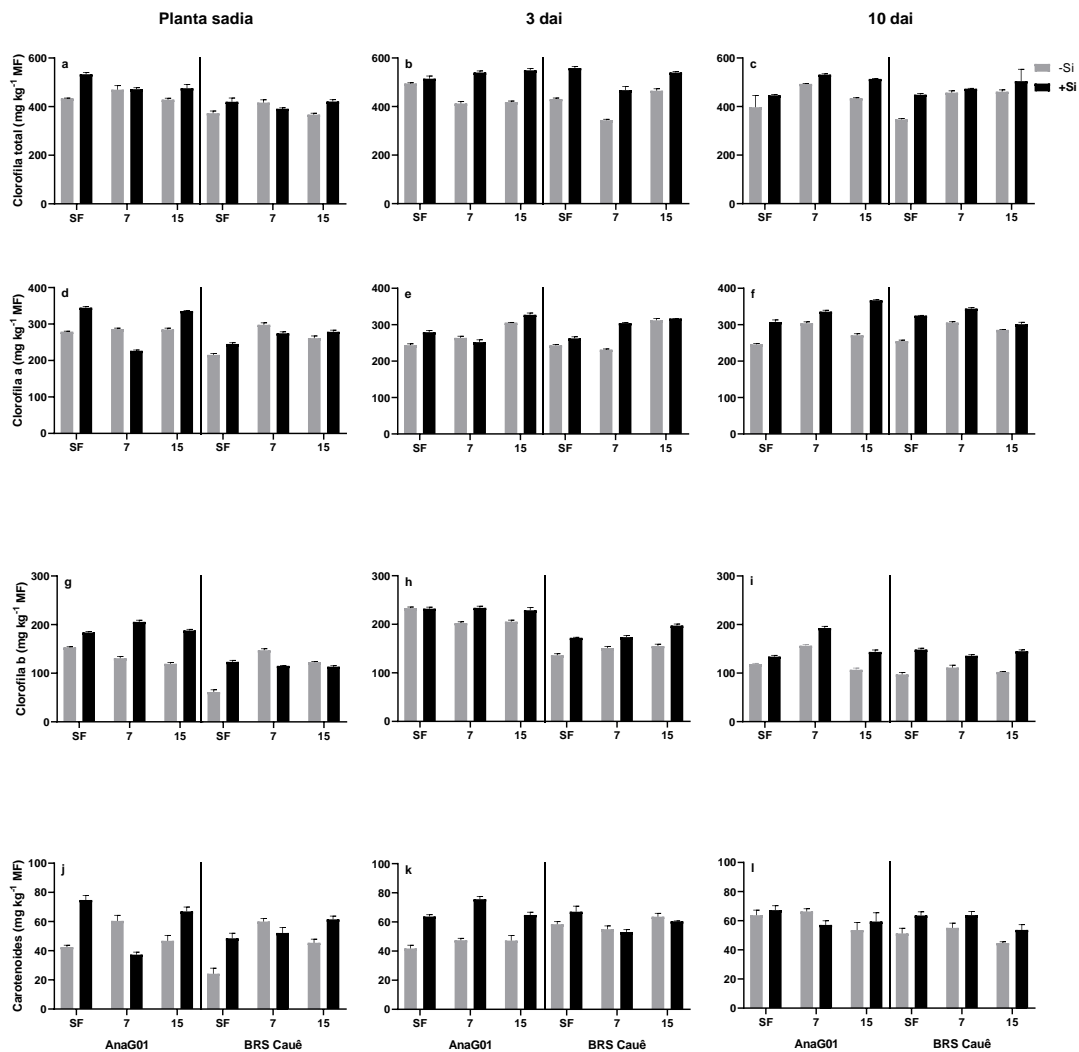
1575 **Fig. 1.** Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), tamanho de lesão (r) e
 1576 a severidade final (Sev) da mancha marrom (*Bipolaris sorokiniana*) em folhas das
 1577 plantas de cevada das cultivares AnaG01 e BRS Cauê, cultivadas em solo corrigido com
 1578 calcário extrafino (-Si) ou silicato de cálcio (+Si), sem aplicação de fungicida (SF) ou
 1579 tratadas com fungicida preventivo aos 7 ou 15 (7 ou 15) dias antes da inoculação (DAI).



1580

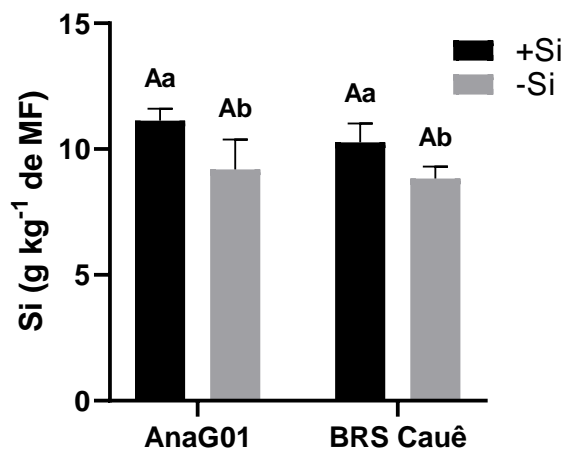
1581 **Fig. 2.** Taxa fotossintética (A), condutância estomática de vapores de água (g_s),
 1582 concentração interna de CO_2 (C_i) e taxa transpiratória (E) em folhas plantas saudias, ou
 1583 aos 3 e 10 dias após a inoculação (dai) com *Bipolaris sorokiniana*, das cultivares
 1584 AnaG01 e BRS Cauê, cultivadas em solo corrigido com calcário extrafino (-Si) ou
 1585 silicato de cálcio (+Si) tratadas com fungicida preventivamente aos 7 ou 15 (7 ou 15)
 1586 dias antes da inoculação ou sem fungicida (SF).

1587



1588

1589 **Fig. 3.** Concentração de clorofila total (CT), clorofila *a* (Cla), clorofila *b* (Clb) e de
 1590 carotenoides (Carot) em plantas sadias, ou aos 3 e 10 dias após a inoculação (dai) com
 1591 *Bipolaris sorokiniana*, das cultivares AnaG01 e BRS Cauê, cultivadas em solo corrigido
 1592 com calcário extrafino (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) tratado com fungicida preventivo
 1593 aos 7 ou 15 (7 ou 15) dias antes da inoculação (DAI) ou sem fungicida (SF).



1594

1595 **Fig. 4.** Concentração foliar de silício (Si) em plantas das cultivares AnaG01 e BRS
1596 Cauê, cultivadas em solo corrigido com silicato de cálcio (+Si) ou calcário extrafino (-
1597 Si). Letras maiúsculas referem a cultivar e letras minúsculas a +Si e -Si.

1598 **4. Considerações Finais:**

1599 O fornecimento de silício para plantas de cevada cultivadas em solos
1600 com baixa disponibilidade do elemento aumenta as defesas bioquímicas e a
1601 sua resistência contra à mancha marrom.

1602 O uso do silício altera a atividade de enzimas relacionadas ao
1603 mecanismo de defesa, como a SOD, além de promover o acúmulo de
1604 compostos fenólicos solúveis totais e a concentração de derivados do ácido
1605 lignina-tioglicólico, e a redução do extravazamento de eletrólitos.

1606 As respostas fisiológicas e a concentração de pigmentos fotossintéticos
1607 são preservadas em plantas supridas com silício quando desafiadas por *B.*
1608 *sorokiniana*.

1609 A associação de silício e a aplicação de fungicida antes da inoculação
1610 com *B. sorokiniana* confere redução na intensidade da doença.

Referências

- AGOSTINETTO, L.; CASA, R.T.; BOGO, A.; SACHS, C.; SOUZA, C.A.; REIS, E.M.; DA CUNHA, I.C. Barley spot blotch intensity, damage, and control response to foliar fungicide application in southern Brazil. **Crop Protection**. v. 67. p. 7-12. 2015.
- AGOSTINETTO, L.; CASA, R. T.; BOGO, A.; ALVES, L.; VIEIRA, J. D. A. L.; FINGSTAG, M. D.; ROSA, J. M. D. Viability of seed-borne fungi *Alternaria alternata*, *Bipolaris sorokiniana* and *Drechslera teres* in barley seeds in the south of Brazil. **Summa Phytopathologica**. v. 46. p. 26-30. 2020.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Abastecimento. Portaria nº 691, de 22 de novembro de 1996. Aprova a Norma de Identidade e Qualidade da Cevada, para comercialização interna. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, p. 24751, 25 nov. 1996. Seção 1.
- BOCKHAVEN, J. V.; VLEESSCHAUWER, D.; HÖFTE, M. Towards establishing broad-spectrum disease resistance in plants: silicon leads the way. **Journal of Experimental Botany Advance**. v. 18. 2013.
- ANTONIAZZI, N.; DESCHAMPS, C. Controle de *Bipolaris sorokiniana* e rendimento de grãos em cevada após aplicação de elicitores e fungicida. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 29. n. 5. p. 695-700. 2007.
- CARPENTIERI-PIPOLO, V.; MINELLA, E. Cevada alimento funcional - Alternativa para a diversificação e agregação de valor na cadeia produtiva de cereais. **Embrapa Trigo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**. p. 1-22. 2021.
- CAIERÃO, E.; SPEROTTO, A. L. Barley cultivar MN 698, high malting quality for the state of Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**. v.36. n.1. p. 279-281. 2006.
- CRUZ, M. F. A. et al. Microscopical aspects of the interaction bean-*Colletotrichum lindemuthianum* mediated by silicon. **Bragantia**. v. 73. n. 3. p. 284-291. 2014.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Oitavo levantamento, abril 2019 – safra 2018/2019: Brasília: **Companhia Nacional de Abastecimento**. p.139. 2019.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Nono levantamento, abril 2020 – safra 2019/2020: Brasília: **Companhia Nacional de Abastecimento**. p.140. 2020.
- DEBONA, D.; RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. Silicon's role in abiotic and biotic plant stresses. **Annual Review of Phytopathology**. v. 55, n. 4, p. 85-107, 2017.

FAO. **FAO Statistical Programme of Work 2020–2021**. Rome: FAO, 2020. DOI 10.4060/ca9734en. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca9734en/CA9734EN.pdf>. Acesso em: 3 dez. 2021.

FERRARI, J. F.; POSSAMAI, E. Incidência de *Bipolaris sorokiniana* nas sementes e transmissão para plantas de cevada. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38. n. 3. p. 320-329. 2015.

KAUSS, H.; SEEHAUS, K.; FRANKE, R.; GILBERT, S.; DIETRICH, R.A.; KROGER, N. Silica deposition by a strongly cationic proline-rich protein from systemically resistant cucumber plants. **The Plant Journal**. v. 33. p. 87–95. 2003.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**. v. 65. p. 37-40. 2008.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/ministra-tereza-cristina-instala-camara-da-cerveja>. Acesso em: 20 ago. 2020

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mercado-ervejeiro-cresce-no-brasil-e-aumenta-interesse-pela-producao-de-lupulo-e-cevada>. Acesso em: 3 dez. 2021

MINELLA, E. Cultivo da cevada, Sistemas de produção. **Embrapa trigo**. 6ª edição. 2015.

MINELLA, E.; CIULLA, C.; OPPELT, D.; WOBETO, C.; NOVATZKI, M. Safra brasileira de cevada: resultados 2006. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CEVADA, 26., 2007, Passo Fundo. Anais... Passo Fundo: **Embrapa Trigo**. p. 102-105. 2007.

MORI, C.; MINELLA, E. Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da cevada. Passo Fundo: **Embrapa Trigo**. 2012. 28 p. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 139). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do139.htm>. Acesso em: 28 mai 2019.

F. NOVAKAZI, F.; AFANASENKO, O.; LASHINA, N.; PLATZ, G. J.; SNOWDON, R.; LOSKUTOV, I.; ORDON, F. Genome-wide association studies in a barley (*Hordeum vulgare*) diversity set reveal a limited number of loci for resistance to spot blotch (*Bipolaris sorokiniana*). **Plant Breeding**. v. 139. n. 3. p. 521-535. 2020.

REIS, E. M.; CASA, R. T. Doenças da cevada: helmintosporioses (mancha em rede, mancha marrom e mancha estriada). São Paulo: **Bayer**. p. 46. 2001.

REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CEVADA. Indicações técnicas para a produção de cevada cervejeira nas safras 2017 e 2018. **Embrapa Trigo**: Passo Fundo, RS. p. 114. 2017.

RODRIGUES, F. A.; DALLAGNOL, L.J.; DUARTE, H.S.S.; DATNOFF, L. E. Silicon Control of Foliar Diseases in Monocots and Dicots. Silicon and Plant Disease. London: **Elsevier**. p. 67-109. 2015.

SAKR, N. Silicon reduces *Fusarium* Head Blight Development in Barley. **The Open Agriculture Journal**. v. 15. n. 1. p. 54-65, 2021.

SHETTY, R.; JENSEN, B.; SHETTY, N. P.; HANSEN, M.; HANSEN, C. W.; STARKEY, K. R.; JØRGENSEN, H. J. L. Silicon induced resistance against powdery mildew of roses caused by *Podosphaera pannosa*. **Plant Pathology**. v. 61. n. 1. p. 120-131. 2012.

TURQUETTI, A. A. Testes in vitro de antagonismo entre *Trichoderma* sp. e *Bipolaris sorokiniana* da cevada. In: REUNIÃO ANUAL DE PESQUISA DE CEVADA. Guarapuava. Anais e ata... Passo Fundo: **Embrapa Trigo**. v. 21 p. 457-463. 2001.

WANG, M.; GAO, L.; DONG, S.; SUN, Y.; SHEN, Q.; GUO, S. Role of silicon on plant–pathogen interactions. **Frontiers in Plant Science**. v. 8. p. 701. 2017.

WIESE, J; WIESE, H.; SCHWARTZ, J.; SCHUBERT, S. Osmotic stress and silicon actadditively in enhancing pathogen resistance in barley against barley powdery mildew. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**. v. 168. p. 269–274. 2005.