

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

SABRINA DOS SANTOS MATOS

**MANEJO DA FERRUGEM DA FOLHA (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*) NA
CULTURA DA AVEIA (*Avena sativa*) COM FUNGICIDAS MICROBIOLÓGICOS E
ÁCIDO SILÍCICO**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2025

**MANEJO DA FERRUGEM DA FOLHA (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*) NA
CULTURA DA AVEIA (*Avena sativa*) COM FUNGICIDAS MICROBIOLÓGICOS E
ÁCIDO SILÍCICO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Magister Scientiae.

Orientador: Dr. Odair José Kuhn

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ

2025

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Santos Matos, Sabrina dos

Manejo da ferrugem da folha (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*) na cultura da aveia (*Avena sativa*) com fungicidas microbiológicos e ácido silícico / Sabrina dos Santos Matos; orientador Odair José Kuhn. -- Marechal Cândido Rondon, 2025.

42 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Marechal Cândido Rondon) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2025.

1. Agronomia. 2. Biológico. 3. Agricultura Orgânica. 4. Controle Alternativo. I. José Kuhn, Odair , orient. II. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.

PARANÁ



GOVERNO DO ESTADO

SABRINA DOS SANTOS MATOS

Manejo de ferrugem da folha (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*) na cultura da aveia (*Avena sativa*) com fungicidas microbiológicos e ácido silícico

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Fitossanidade e Controle Alternativo, APROVADA pela seguinte banca examinadora:


Orientador - Odair José Kuhn

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)


José Renato Stangarlin

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)


Jeferson Carlos Carvalho

Faculdade de Ensino Superior de Marechal Cândido Rondon (ISEPE RONDON)

Marechal Cândido Rondon, 28 de fevereiro de 2025

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que me sustentou ao longo desta caminhada e me concedeu forças, sabedoria e inúmeras bênçãos para chegar até este momento.

Aos meus pais, Luiz de Jesus Matos e Maria Liça dos Santos Matos, e às minhas irmãs, Fernanda dos Santos Matos, Luana dos Santos Matos e Daniela dos Santos Matos, expresso minha mais profunda gratidão pelo amor, apoio e incentivo incondicionais. Obrigada por acreditarem em mim, por compreenderem minhas ausências e por estarem sempre ao meu lado, oferecendo palavras de encorajamento e confiança para que eu continuasse esta caminhada.

Ao meu esposo, Wagner Lobato Matozo, companheiro de todas as jornadas, que esteve ao meu lado nos momentos de alegria e também diante dos desafios. Sou imensamente grata por celebrar comigo cada conquista, por menor que fosse, e por oferecer apoio incondicional nos momentos mais difíceis. Agradeço pela ajuda nos estudos, pela dedicação aos experimentos e por toda a paciência, incentivo e compreensão ao longo desta caminhada. Sua presença constante, seu amor e seu apoio foram fundamentais para que eu pudesse seguir em frente e alcançasse mais esta etapa. Meu coração transborda gratidão e amor por você.

Aos amigos que estiveram ao meu lado durante esta jornada, Taís Regina Kohler, Marta Inês Ferreira Bianchini, Letícia Milena Ferreira Bianchini, Rafaela Moreira do Carmo, Bruna Luiza de Oliveira, Kevin Paulo Nunes, Stefany Moraes Ramiro, Cleomara Granetto, Nordino Francisco Muquivatihe, Maria Fernanda Oliveira Reis Wickert e Nathália Turatto, expresso minha sincera gratidão. Cada um de vocês contribuiu de maneira especial para a realização deste trabalho, seja nas avaliações, correções, discussões, atividades experimentais ou em qualquer outra forma de apoio ao longo dessa caminhada. Agradeço pela amizade, pelos momentos compartilhados, pela parceria e pelo incentivo constante, que tornaram esta trajetória mais leve e enriquecedora.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Odair José Kuhn, expresso minha profunda gratidão por me acolher como sua orientanda, pelos valiosos ensinamentos, orientações e conselhos compartilhados ao longo desta trajetória. Agradeço, especialmente, pela confiança depositada em meu trabalho e pelo incentivo

constante nos momentos de dificuldade, quando acreditou em meu potencial e me motivou a seguir em frente.

Aos professores Dr. José Renato Stangarlin e Dr. Antônio Carlos Torres, agradeço pelos conhecimentos compartilhados e pelas valiosas contribuições que enriqueceram o desenvolvimento deste trabalho.

À equipe do CVT Agroecologia/Unioeste, Daniela da Rocha Herrmann, Patricia Favorito, Julio Augusto, Marcelo Júnior Lang, Luane Laíse Oliveira Ribeiro, Dercio Ceri Pereira, Alysson Carvalho, Eugenio Lopez e Márcio José Pereira dos Santos, e aos professores Dr. Emerson Fey, Dra. Edleusa Pereira Seidel e Dra. Vanda Pietrowski, manifesto meu sincero agradecimento pela disponibilidade, apoio e dedicação na implantação, condução e manejo dos experimentos, bem como pelo suporte técnico prestado durante toda a execução deste estudo.

Aos colegas da pós-graduação e da graduação, que contribuíram de diferentes formas para a realização deste trabalho, especialmente nas avaliações dos experimentos, deixo meu sincero agradecimento pela colaboração, companheirismo e apoio ao longo deste período.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), Campus de Marechal Cândido Rondon, e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, agradeço pela oportunidade de realizar o curso de mestrado e pelo suporte oferecido durante minha formação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), agradeço pela concessão da bolsa de estudos, fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para minha formação acadêmica, profissional e pessoal. A cada um, meu mais sincero muito obrigada.

RESUMO

MATOS, Sabrina dos Santos, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro - 2025. **Manejo da ferrugem da folha (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*) na cultura da aveia (*Avena sativa*) com fungicidas microbiológicos e ácido silícico.** Orientador: Dr. Odair José Kuhn.

A aveia-branca é uma importante cultura de inverno na região Sul do Brasil, sendo a ferrugem da folha, causada por *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*, a principal doença da cultura, com potencial para causar perdas de até 50% em cultivares suscetíveis. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de fungicidas microbiológicos e do ácido silícico no manejo da ferrugem da folha e nos componentes de rendimento da aveia-branca. Foram conduzidos dois experimentos em condições de campo utilizando a cultivar IPR Artemis. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, tendo como fator primário a presença ou ausência de ácido silícico e, como fator secundário, cinco fungicidas microbiológicos e um controle. Foram avaliadas a severidade da doença, a área abaixo da curva de progresso da doença, a altura de plantas, o diâmetro do colmo, o número de perfilhos, o número de panículas, o número de espiguetas na panícula principal, a massa de mil grãos e a produtividade. A aplicação de ácido silícico reduziu em 14% a severidade da ferrugem da folha. Os produtos Trichodermil® e Bio-imune® promoveram reduções de 20,8% e 20,3%, respectivamente, na severidade da doença em relação ao controle, enquanto a associação entre Pardella® e ácido silícico reduziu em 17,5% a área abaixo da curva de progresso da doença. A associação entre Trichodermil® e ácido silícico proporcionou incremento de 21% na massa de mil grãos, embora tenha reduzido a altura de plantas e o número de espiguetas na panícula principal. O uso de Trichodermil® também promoveu redução do diâmetro do colmo. A produtividade de grãos não foi influenciada pelos tratamentos avaliados. Conclui-se que o ácido silícico e os fungicidas microbiológicos apresentam potencial para o manejo da ferrugem da folha da aveia-branca, porém sem promover incrementos na produtividade de grãos nas condições deste estudo.

Palavras-chave: Cereal de inverno, controle alternativo, produção, severidade de doença.

ABSTRACT

MATOS, Sabrina dos Santos, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, February - 2025. **Management of crown rust (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*) in oats (*Avena sativa*) using microbiological fungicides and silicic acid.** Advisor: Dr. Odair José Kuhn.

White oat is an important winter crop in Southern Brazil, and leaf rust, caused by *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*, is its main disease, with the potential to cause yield losses of up to 50% in susceptible cultivars. This study aimed to evaluate the effect of microbiological fungicides and silicic acid on the management of leaf rust and on yield components of white oat. Two field experiments were conducted using the cultivar IPR Artemis. The experimental design was a randomized complete block design in a split-plot arrangement, with the presence or absence of silicic acid as the main factor and five microbiological fungicides plus a control as the secondary factor. The variables evaluated were disease severity, area under the disease progress curve, plant height, stem diameter, number of tillers, number of panicles, number of spikelets in the main panicle, thousand-grain weight, and grain yield. Silicic acid application reduced leaf rust severity by 14%. Trichodermil® and Bio-imune® reduced disease severity by 20.8% and 20.3%, respectively, compared with the control, while the association of Pardella® with silicic acid reduced the area under the disease progress curve by 17.5%. The association of Trichodermil® with silicic acid increased thousand-grain weight by 21%, although it reduced plant height and the number of spikelets in the main panicle. The use of Trichodermil® also reduced stem diameter. Grain yield was not affected by the evaluated treatments. It was concluded that silicic acid and microbiological fungicides have potential for the management of white oat leaf rust; however, they did not promote increases in grain yield under the conditions of this study.

Keywords: Winter cereal, alternative control, production, disease severity.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	PRODUÇÃO EM SISTEMAS ORGÂNICOS	3
2.2	AVEIA	4
2.3	DOENÇAS	6
2.4	CONTROLE BIOLÓGICO DE DOENÇAS DE PLANTAS	8
2.5	ÁCIDO SILÍCICO	9
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1	LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	11
3.2	ANÁLISE DE SOLO	11
3.3	DADOS METEOROLÓGICOS.....	11
3.4	MATERIAL VEGETAL	13
3.5	EXPERIMENTO.....	14
3.6	PULVERIZAÇÃO	15
3.7	AVALIAÇÃO DO EXPERIMENTO	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
4.1	SEVERIDADE DA FERRUGEM DA FOLHA DA AVEIA	19
4.2	PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E PRODUTIVOS.....	21
4.3	PRODUTIVIDADE	22
4.4	DISCUSSÃO.....	23
5	CONCLUSÕES.....	28
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

1 INTRODUÇÃO

A aveia é um cereal cuja área de cultivo tem aumentado significativamente, sendo umas das principais culturas implantadas no Sul do Brasil, durante o outono e inverno, em razão da necessidade de alternativas de rotação e sucessão de culturas. São várias as finalidades do cultivo da aveia, como cobertura verde/morta de solo no inverno, forragem verde, feno, silagem, e produção de grãos (PACHECO et al., 2021).

A área colhida de aveia-branca (*Avena sativa*) para grão no Brasil atingiu 488 mil hectares em 2024 com produção nacional de 1.041 mil toneladas de grãos, com rendimento médio de 2.132 kg por hectare (CONAB, 2024). O Estado do Paraná obteve produção de 167 mil toneladas, com área cultivada de 95 mil hectares e produtividade média de 1.765 kg por hectare (CONAB, 2024).

A presença de doenças em condições ambientais favoráveis e quando não manejadas adequadamente, podem reduzir o rendimento de grãos e a produtividade média da cultura para grãos. As doenças mais comuns que afetam a aveia são a ferrugem da folha (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*), ferrugem do colmo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*), helmintosporiose (*Pyrenophora avenae*), nanismo amarelo da cevada (*Barley yellow dwarf virus* – BYDV) e carvão (*Ustilago avenae*).

A ferrugem da folha é a principal doença da aveia, e seus sintomas são pústulas amarelas a marrom que surgem principalmente na superfície foliar, diminuindo a área fotossintética e aumentando a respiração. Causam danos significativos à cultura, provocando reduções de até 50% no rendimento de grãos (CHAVES; MARTINELLI, 2005), e em alguns casos, podem até levar à morte da planta. Condições climáticas com temperaturas entre 15 e 20 °C com alta umidade favorecem o surgimento da doença e maior severidade (DEUNER et al., 2021).

Diversas estratégias podem ser utilizadas para minimizar os danos causados pela ferrugem da folha na cultura da aveia, destacando-se o uso de cultivares resistentes e a aplicação de fungicidas eficientes no controle da doença. Entretanto, em sistemas de agricultura orgânica, o manejo da ferrugem da folha torna-se mais desafiador devido à limitada disponibilidade de insumos permitidos nesse sistema de produção (DEUNER et al., 2021).

Nesse contexto, o controle biológico surge como uma alternativa promissora para a agricultura orgânica, por meio da utilização de produtos à base de microrganismos como *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. Contudo, ainda são necessárias pesquisas que comprovem a eficiência desses microrganismos no manejo da ferrugem da folha na cultura da aveia.

Uma abordagem para ampliar o potencial de ação desses microrganismos consiste na utilização consorciada de diferentes microrganismos com mecanismos distintos de atuação, buscando superar as diversas adversidades bióticas e abióticas presentes no ambiente (MELLO et al., 2020). Além disso, o controle biológico pode ser integrado a outras práticas de manejo, favorecendo maior eficiência no controle de doenças. Nesse contexto, destaca-se o uso do silício, considerado um elemento benéfico às plantas, capaz de atuar na indução de resistência e contribuir para a redução da severidade de doenças.

Neste sentido, o silício vem sendo intensamente estudado quanto a indução de resistência em plantas em vários patossistemas. A resistência induzida pelo silício ocorre tanto localmente no sítio de ataque do patógeno como sistematicamente em partes não infectadas das plantas (AHAMMED; YANG, 2021). Os mecanismos de ação do silício incluem a formação de barreira física, que dificulta a penetração de patógenos, e a ativação de enzimas relacionadas à defesa da planta, fortalecendo sua resistência a infecções (CAI et al., 2008). Os mecanismos de defesa incluem o acúmulo de compostos fenólicos, fitoalexinas, lignificação da parede celular e indução de várias proteínas de defesa (RODRIGUES et al., 2011).

Todavia, a aplicação concomitante de produtos biológicos e compostos à base de silício ainda é pouco estudada, havendo escassez de informações na literatura que forneçam subsídios técnicos aos produtores quanto a utilização do silício e microrganismos de biocontrole. Dessa forma, torna-se necessária a realização de estudos que avaliem a interação entre microrganismos de biocontrole e o silício, especialmente quanto à viabilidade e à eficácia no manejo da ferrugem da folha na cultura da aveia.

Partindo da hipótese de que fungicidas microbiológicos associados ao ácido silícico podem contribuir para a redução da severidade da ferrugem da folha em aveia-branca, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de fungicidas microbiológicos e do ácido silícico no manejo da ferrugem da folha e nos componentes de rendimento da aveia-branca.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PRODUÇÃO EM SISTEMAS ORGÂNICOS

A agricultura orgânica tem se consolidado como uma alternativa sustentável aos sistemas convencionais de produção agrícola, principalmente em razão da crescente preocupação com os impactos ambientais decorrentes do uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos. Esse modelo de produção busca conciliar a obtenção de alimentos de qualidade com a conservação dos recursos naturais, priorizando práticas agrícolas que favoreçam o equilíbrio ecológico, a biodiversidade e a sustentabilidade dos agroecossistemas (BRASIL, 2003).

De acordo com a legislação brasileira, a produção orgânica caracteriza-se como um sistema que utiliza práticas culturais, biológicas e mecânicas, visando à otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis, além da eliminação do emprego de organismos geneticamente modificados e de insumos sintéticos em todas as etapas da produção (BRASIL, 2003). Nesse contexto, a produção orgânica está fortemente relacionada ao cumprimento de normas técnicas e sistemas de certificação que asseguram a qualidade dos produtos e a confiança dos consumidores (FONSECA et al., 2009).

Embora frequentemente utilizados como sinônimos, os conceitos de agricultura orgânica e agroecologia apresentam diferenças importantes. A agricultura orgânica está centrada principalmente na produção de alimentos livres de resíduos químicos e no atendimento às exigências legais de certificação. Por outro lado, a agroecologia constitui uma abordagem mais ampla, integrando aspectos ecológicos, sociais, econômicos, culturais e políticos aos sistemas agrícolas, buscando fortalecer a sustentabilidade e a valorização da agricultura familiar (WEBER; SILVA, 2021). Dessa forma, os sistemas agroecológicos buscam não apenas a sustentabilidade ambiental, mas também a valorização da agricultura familiar, da biodiversidade e do conhecimento tradicional.

Os sistemas de base ecológica têm sido impulsionados pela adoção de práticas conservacionistas, como rotação de culturas, adubação verde, compostagem e controle biológico de pragas e doenças, práticas essas que favorecem a biodiversidade e estimulam a atividade microbiológica do solo (SILVA; SILVA, 2016). Além disso, essas práticas contribuem para a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, promovendo maior ciclagem de nutrientes,

conservação da umidade e redução dos processos erosivos (WOLSCHICK et al., 2018).

Apesar dos avanços observados nos últimos anos, a produção orgânica ainda enfrenta limitações relacionadas à assistência técnica especializada, disponibilidade de insumos apropriados e consolidação de canais de comercialização para pequenos produtores rurais (VRIESMAN et al., 2012). Ainda assim, esse modelo de produção configura-se como alternativa importante para sistemas agrícolas mais sustentáveis, contribuindo para a redução da contaminação ambiental, conservação dos recursos naturais e fortalecimento da agricultura familiar (CAMPANHOLA; VALARINI, 2001).

Nesse contexto, a aveia destaca-se como importante cultura em sistemas orgânicos e agroecológicos, especialmente na região Sul do Brasil. Espécies como a aveia-preta apresentam elevada produção de fitomassa, capacidade de cobertura do solo e eficiência na ciclagem de nutrientes, contribuindo para a redução da infestação de plantas espontâneas, melhoria das características físicas do solo e aumento da atividade biológica (WOLSCHICK et al., 2018; LACONSKI; NOGUEIRA; PESSONI, 2022). Além disso, a utilização da aveia em sistemas conservacionistas auxilia na formação de palhada para o sistema plantio direto, reduzindo perdas de solo e promovendo maior estabilidade do agroecossistema (SANTOS et al., 2011).

Dessa forma, a expansão dos sistemas sustentáveis de produção aumenta a demanda por estratégias alternativas de manejo fitossanitário, especialmente para o controle de doenças em culturas de interesse econômico, como a aveia. Nesse cenário, o uso de fungicidas microbiológicos e de indutores de resistência, como o ácido silícico, representa alternativa promissora para a redução da dependência de fungicidas químicos e para o fortalecimento de práticas agrícolas ambientalmente sustentáveis.

2.2 AVEIA

A aveia está entre os cereais mais consumidos no mundo, ocupando posição de destaque em área cultivada entre os cereais de inverno. No Brasil, especialmente na região Sul, a cultura tem apresentado crescimento expressivo em área de cultivo devido à necessidade de alternativas para rotação e sucessão de culturas no período de outono e inverno. Além da produção de grãos, a aveia possui ampla versatilidade de uso, podendo ser destinada à cobertura vegetal do solo,

produção de forragem, feno, silagem e formação de palhada para o sistema plantio direto, desempenhando importante papel na sustentabilidade dos sistemas agrícolas (PACHECO et al., 2021).

No estado do Paraná, principal produtor nacional, a cultura apresentou produção de 241 mil toneladas na safra de 2023, cultivadas em 109,4 mil hectares, com produtividade média de 2.203 kg ha⁻¹. Entretanto, o excesso de umidade durante a colheita comprometeu a qualidade dos grãos produzidos (CONAB, 2024). Já na safra de 2024, observou-se redução da produção para 167,9 mil toneladas em uma área de 95,1 mil hectares, com produtividade média de 1.765 kg ha⁻¹. As elevadas temperaturas, a irregularidade das precipitações e a ocorrência de geadas durante o ciclo da cultura afetaram negativamente o desempenho da lavoura, resultando em redução de 30,3% na produção em comparação à safra anterior (CONAB, 2024).

Para o adequado estabelecimento e desenvolvimento da cultura da aveia, é necessário o planejamento prévio de diversas práticas de manejo, incluindo correção da acidez e descompactação do solo, manejo de restos culturais e definição de sistemas de rotação de culturas. Essas práticas contribuem para melhores condições físicas, químicas e biológicas do solo, favorecendo o desenvolvimento da cultura e a obtenção de maior estabilidade produtiva (ESCOSTEGUY; FONTOURA; CARVALHO, 2021).

Além das práticas de manejo, o conhecimento da fenologia da aveia é fundamental para a condução adequada da cultura, pois permite definir o momento ideal para práticas agronômicas, como adubação e aplicações fitossanitárias. Para a caracterização dos estádios fenológicos, podem ser utilizadas diferentes escalas, como Zadoks, Feekes, Haun e BBCH, sendo a escala de Zadoks uma das mais utilizadas em cereais de inverno (LUCHE et al., 2021).

A escala decimal de Zadoks, proposta por Zadoks et al. (1974), utiliza numeração de 00 a 99 para representar as fases de crescimento e desenvolvimento da planta. O ciclo da cultura é dividido em dez fases principais: germinação, crescimento de plântula, afilhamento, alongação do colmo, emborrachamento, emergência da panícula, antese, grão leitoso, enchimento de grãos e maturação. Cada fase principal é subdividida em subfases, permitindo maior detalhamento e precisão na identificação dos estádios fenológicos. Essa escala permite maior precisão na identificação dos estádios fenológicos, contribuindo para a padronização

das avaliações agronômicas e fitossanitárias e auxiliando na tomada de decisões relacionadas ao manejo da cultura (LUCHE et al., 2021).

Nesse contexto, a tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários é fundamental para o manejo da cultura da aveia, especialmente no controle de doenças. A eficiência das pulverizações depende das condições ambientais durante a aplicação, sendo recomendadas temperaturas entre 15 e 25 °C, umidade relativa do ar superior a 60% e velocidade do vento entre 2 e 8 km h⁻¹. Condições inadequadas podem comprometer a deposição das gotas sobre o alvo, aumentando perdas por evaporação e deriva. Dessa forma, a correta regulação dos equipamentos e a adequada cobertura do alvo são essenciais para garantir maior eficiência das aplicações e reduzir impactos ambientais (DEUNER et al., 2021).

2.3 DOENÇAS

A expansão das áreas cultivadas com aveia nos últimos anos tem favorecido o aumento do risco de ocorrência de epidemias de doenças foliares. Assim como outras culturas agrícolas, a cultura é suscetível a diversas doenças causadas por fungos, bactérias e vírus, as quais podem comprometer o desenvolvimento das plantas, a produtividade e a qualidade dos grãos (DEUNER et al., 2021). Entre as principais doenças da cultura, destaca-se a ferrugem da folha, causada por *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*, considerada uma das mais importantes devido à elevada agressividade e ao potencial de causar perdas significativas na produtividade. Devido à sua agressividade, o controle das doenças fúngicas está apresentando ineficácia pelo uso de resistência genética e práticas de manejo, de forma que para alcançar produtividade elevada é empregado ao sistema de cultivo a utilização indiscriminada de agrotóxicos (ALESSI et al., 2018).

A ferrugem da folha é causada por um fungo biotrófico (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*) que permanece no campo pós-colheita sobrevivendo pela infecção de plantas voluntárias. Caracteriza-se por ser uma doença policíclica, sendo favorecida em condições climáticas onde ocorre o molhamento foliar (umidade relativa de 100%) por mais de 6 horas e temperaturas moderadas que variam entre 18 a 22° C, com essas condições o fungo completa o seu ciclo em 7 a 10 dias. A identificação pode ser por meio de pequenas pústulas amarelas (urediniósporos, fase assexuada de reprodução do fungo), principalmente na superfície foliar, embora estas também possam ser vistas na bainha e panícula (DEUNER et al., 2021).

A fase assexual do fungo da ferrugem da folha envolve ciclos repetidos de infecção e esporulação. Quando em condições adequadas de temperatura e umidade relativa do ar, os urediniósporos (esporos) germinam e formam apressórios para posterior penetração na folha. Uma vesícula subestomática é formada, dando origem as hifas de infecção que se alongam e produzem células haustoriais especializadas na absorção de nutrientes (NAZARENO et al., 2018).

O aumento da severidade da ferrugem da folha compromete significativamente a produção da cultura da aveia, devido à redução da área foliar sadia, o limita a atividade fotossintética e interfere na redistribuição de fotoassimilados para os grãos, resultando em perdas produtivas e prejuízos econômicos aos agricultores. Diante disso, o manejo adequado da cultura torna-se fundamental para minimizar os danos causados pela doença e garantir maior estabilidade produtiva. Entre as principais estratégias recomendadas estão a eliminação de plantas voluntárias, o uso de cultivares com maior resistência genética e a aplicação de fungicidas químicos no controle da ferrugem da folha (NAZARENO et al., 2018).

Entretanto, a resistência genética disponível nem sempre proporciona controle eficiente da doença em condições de campo, devido à ausência de resistência total e duradoura frente à elevada pressão de inóculo. Dessa forma, o uso de fungicidas destaca-se como uma das alternativas mais rápidas e eficazes no manejo da ferrugem da folha, contribuindo para a manutenção da produtividade da cultura. Por outro lado, o uso frequente de fungicidas químicos tem aumentado os custos de produção e favorecido a seleção de patógenos resistentes aos princípios ativos utilizados. Além disso, o uso intensivo desses produtos pode causar impactos negativos à segurança alimentar e ao meio ambiente, evidenciando a necessidade de alternativas mais sustentáveis para o manejo da doença (MONTILLA-BASCÓN et al., 2016).

O uso excessivo de agrotóxicos proporcionou o surgimento de inúmeros problemas com a saúde pública e contaminação ambiental, gerando a necessidade de desenvolvimento de novas alternativas que visem a sustentabilidade da agricultura e a redução da incidência e severidade de doenças fúngicas na aveia, para que possa diminuir a aplicação de agroquímicos (SOUSA et al., 2020). Com o intuito de reduzir os impactos negativos decorrentes do uso de agrotóxicos na cultura da aveia, especialmente fungicidas químicos, e promover sistemas agrícolas

mais sustentáveis, destacam-se como alternativas o uso de microrganismos de controle biológico e de elementos abióticos indutores de resistência.

2.4 CONTROLE BIOLÓGICO DE DOENÇAS DE PLANTAS

O controle biológico é o uso de organismos vivos para controle de doenças, pragas e plantas invasoras. Em geral, o termo "controle biológico" refere-se ao uso de um organismo para controlar a densidade populacional de outro. É uma maneira eficaz de manter as populações de organismos nocivos sob controle, sem causar danos aos seres humanos ou ao meio ambiente. Diversos organismos podem ser utilizados no controle biológico de doenças, destacando-se bactérias, vírus, fungos e inimigos naturais. A partir de 2010, a utilização desses organismos intensificou-se, tornando-se uma alternativa cada vez mais adotada em substituição aos métodos convencionais de controle, como o uso de pesticidas e herbicidas (MELLO et al., 2020).

O controle biológico pode ser alcançado por diferentes estratégias, conforme descrito por Cook (1982):

- Redução da população do patógeno, que elimina seu inóculo ou reduz sua agressividade e vigor, por meio de microrganismos antagonistas.
- Proteção das superfícies vegetais com microrganismos que colonizam ferimentos, em folhas ou na rizosfera, atuando como barreira por competição, produção de substâncias antibióticas ou ação parasítica.
- Introdução de microrganismos não patogênicos na planta ou em áreas afetadas, promovendo resistência natural e dificultando a colonização pelo patógeno.

O controle biológico ocorre por interações diretas ou indiretas entre microrganismos benéficos e fitopatógenos, sendo influenciado por fatores ambientais e pela microbiota presente (HOWELL, 2003). A atuação pode envolver contato direto, pela produção de substâncias antimicrobianas ou por competição por recursos. Indiretamente, pode ocorrer por meio da indução de resistência na planta hospedeira ou favorecer a atividade antagonista no solo contra o patógeno por meio da adição de matéria orgânica (KAEWCHAI; SOYTONG; HYDE, 2009).

2.5 ÁCIDO SILÍCICO

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre e, apesar de sua ampla presença, encontra-se predominantemente em formas não disponíveis para absorção pelas plantas. Ele ocorre principalmente como óxido de silício (SiO_2), um mineral primário, além de estar presente na forma de quartzo, opala ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) e aluminossilicatos cristalinos insolúveis, caracterizando-se por sua alta resistência ao intemperismo (FAQUIN, 2005). O silício pode ser aplicado tanto via solo quanto por pulverização foliar. Entre as principais fontes comerciais desse elemento destacam-se os silicatos, como os de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) (DEMATTE et al., 2011).

Os silicatos contribuem para a melhoria da solução do solo, elevando o pH e se destacam como uma alternativa promissora no manejo de doenças em plantas (FAQUIN, 2005). No entanto, sua solubilidade é baixa, o que limita a absorção pelas plantas. Em contrapartida, produtos formulados à base de ácido silícico apresentam maior solubilidade, tornando-se uma fonte mais acessível para a absorção vegetal. O silício é absorvido pelas plantas na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) não dissociado (EPSTEIN, 1994; POZZA; POZZA; BOTELHO, 2015).

Embora o silício (Si) não seja considerado um nutriente essencial para as plantas, sua aplicação como aditivo em fertilizantes tem demonstrado diversos benefícios agrônômicos (BAKHAT et al., 2018). O Si pode conferir maior rigidez às células vegetais, aumentar a resistência ao acamamento, melhorar a tolerância a estresses hídricos e salinos, além de reduzir a toxidez por metais pesados (HUANG et al., 2021). Adicionalmente, o silício tem sido associado a uma maior resistência a patógenos fúngicos e insetos-praga, contribuindo para o aumento da produtividade em diversas culturas (POZZA; POZZA; BOTELHO, 2015).

O silício é um elemento benéfico que atua como indutor de resistência abiótico e tem sido amplamente estudado na agricultura. Após ser absorvido pela planta, é depositado abaixo da cutícula, formando uma barreira física que dificulta a penetração de fungos patogênicos e reduz a suscetibilidade das plantas às doenças (FAQUIN, 2005; BAKHAT et al., 2018). Além disso, o silício estimula a atividade de enzimas antioxidantes e relacionadas à defesa vegetal, promovendo resistência tanto no local de infecção quanto em partes não infectadas da planta (KORNDÖRFER; GRISOTO; VENDRAMIM, 2011). Diversas culturas agrícolas apresentam respostas positivas à adubação silicatada, como milho, arroz, soja e

cana-de-açúcar, sendo os melhores resultados observados em espécies acumuladoras de silício, especialmente arroz e cana-de-açúcar (TUBANA; BABU; DATNOFF, 2016).

Os elementos indutores de resistência, como o silício e o potássio, podem representar alternativas promissoras para reduzir a incidência e a severidade da ferrugem da folha na cultura da aveia, uma vez que contribuem para o aumento da resistência das plantas às infecções e à progressão de doenças fúngicas. O silício, por exemplo, atua na formação de barreiras físicas e na ativação de mecanismos bioquímicos de defesa, dificultando a penetração e o desenvolvimento dos patógenos. (AHAMMED; YANG, 2021).

O silício proporciona diversos benefícios fisiológicos às plantas, contribuindo para o aumento da resistência a estresses bióticos e abióticos, manutenção do equilíbrio osmótico celular, melhoria da assimilação fotossintética e da absorção de nutrientes, além de favorecer o incremento da produtividade e da qualidade dos produtos agrícolas (SANTOS et al., 2021).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

Os experimentos foram realizados na área do Centro Vocacional Tecnológico em Agroecologia, Mandioca e Agricultura Sustentável (CVT-Agroecologia) em Entre Rios do Oeste - PR.

Segundo a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima do tipo Cfa, subtropical úmido mesotérmico, caracterizado por verões quentes, geadas pouco frequentes e precipitação distribuída ao longo do ano, sem estação seca definida (ALVARES et al., 2013). As temperaturas médias da região são inferiores a 18°C (mesotérmico), as médias máximas acima de 22 °C, e a precipitação média de 1840 mm. Segundo Santos et al., (2018), o solo predominante é o LATOSSOLO Vermelho Eutroférico, com textura argilosa.

3.2 ANÁLISE DE SOLO

O solo para análise química foi coletado em profundidade de 0-20 cm. Os dados das análises de solo podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise de solo coletado em profundidade de 0-20 cm na área experimental na safra de inverno de 2023 e 2024 do Centro Vocacional Tecnológico em Agroecologia e Mandioca em Entre Rios do Oeste-PR.

Período	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	V%
	(SMP)	g/dm ³	mg/dm ³	-----			cmolc/dm ³	-----		
2023	6,49	20,55	37,81	0,52	5,14	1,93	0,00	3,45	7,59	69%
2024	6,48	25,35	17,97	0,34	7,15	3,62	0,00	3,47	11,11	76%

Fonte: A autora (2024).

3.3 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados de precipitação pluviométrica e das temperaturas média, mínima e máxima do ar foram obtidos por meio da Estação Meteorológica do Centro Vocacional Tecnológico (CVT) em Agroecologia, Mandioca e Agricultura Sustentável, localizada no município de Entre Rios do Oeste, Paraná, durante todo o período de condução dos experimentos. Esses dados foram utilizados para caracterizar as condições meteorológicas predominantes durante as safras de inverno de 2023 e 2024, sendo apresentados nas Figuras 1 e 2.

Durante a safra de inverno de 2023, correspondente ao período entre maio e agosto, a precipitação pluviométrica acumulada foi de 243 mm, apresentando distribuição relativamente homogênea ao longo do período experimental. Os volumes mensais registrados foram de 23 mm em maio, 77 mm em junho, 93 mm em julho e 49 mm em agosto. A temperatura média do ar durante o período foi de 18,9 °C, sendo registradas temperaturas mínima e máxima de 5,2 °C e 35,0 °C, respectivamente (Figura 1).

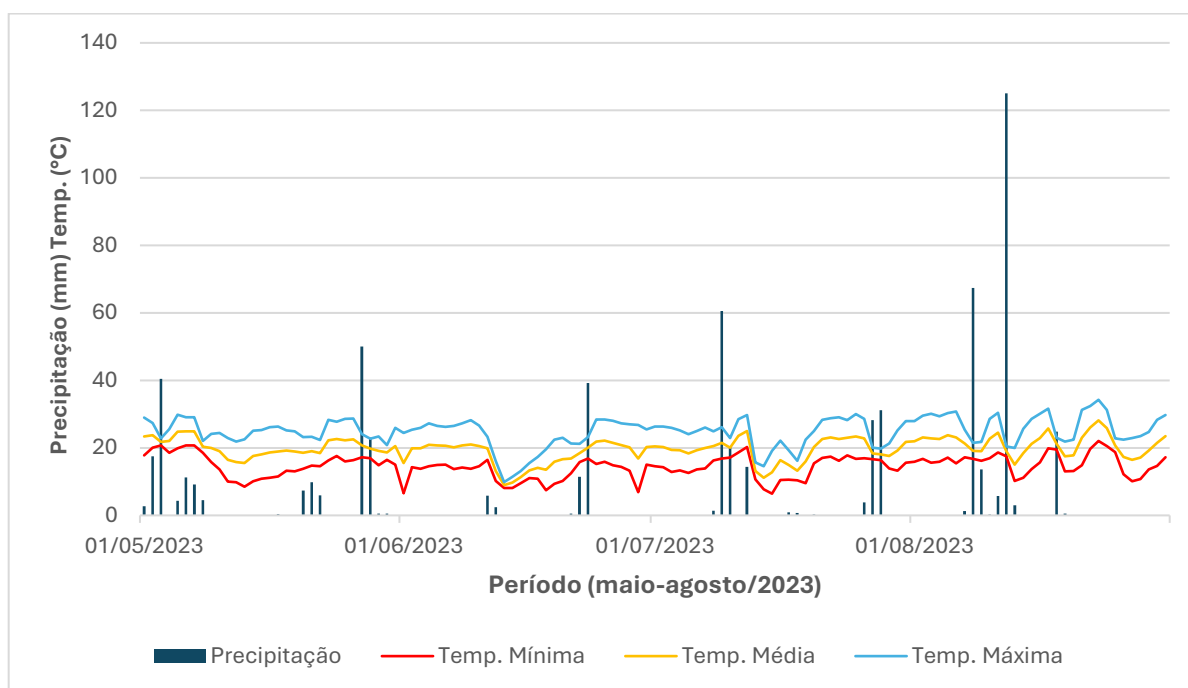


Figura 1 – Precipitação pluviométrica e temperaturas média, mínima e máxima do ar registradas durante a condução do experimento na safra de inverno de 2023 no Centro Vocacional Tecnológico em Agroecologia, Mandioca e Agricultura Sustentável (CVT), Entre Rios do Oeste, PR.

Fonte: Elaborado pela autora com base em dados da Estação Meteorológica do Centro Vocacional Tecnológico em Agroecologia, Mandioca e Agricultura Sustentável (CVT), Entre Rios do Oeste, PR (2023).

Durante a safra de inverno de 2024, correspondente ao período compreendido entre junho e outubro, a precipitação pluviométrica acumulada no período experimental foi de 236,9 mm, apresentando distribuição irregular ao longo do ciclo da cultura. Os volumes mensais registrados foram de 10,2 mm em junho, 125,4 mm em julho, 27,1 mm em agosto, 38,5 mm em setembro e 35,7 mm em

outubro. A temperatura média do ar durante o período foi de 21,4 °C, com temperaturas mínima e máxima de 3,6 °C e 37,8 °C, respectivamente (Figura 2).

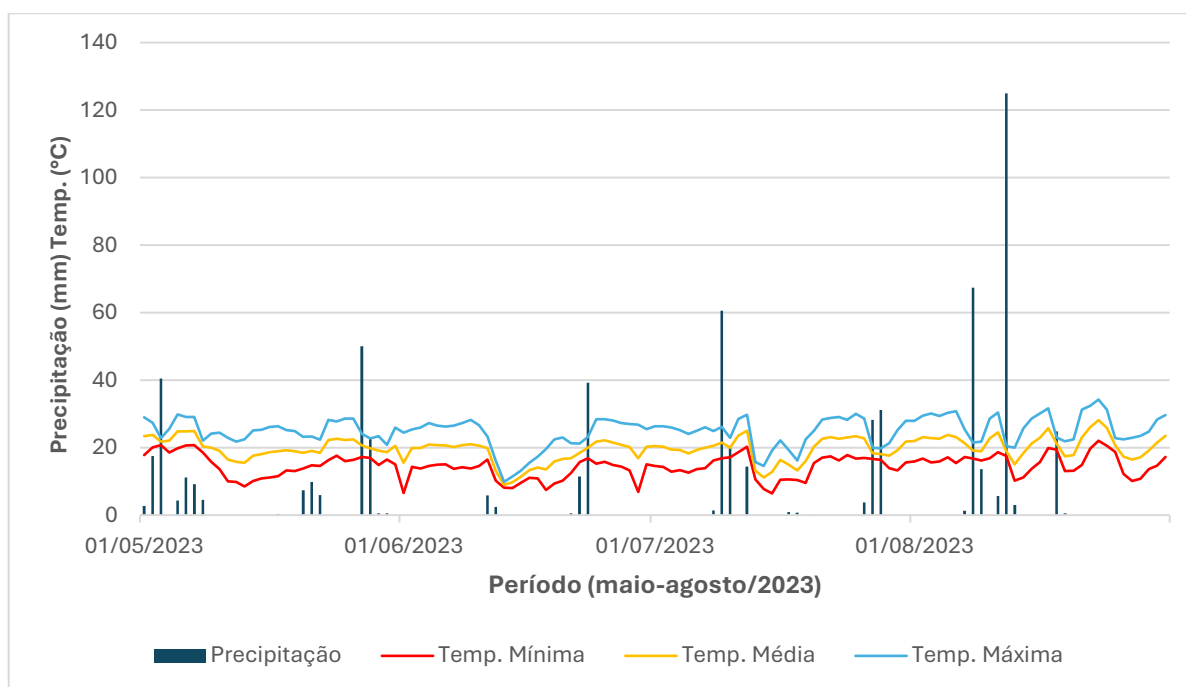


Figura 2 – Precipitação pluviométrica e temperaturas média, mínima e máxima do ar registradas durante a condução do experimento na safra de inverno de 2024 no Centro Vocacional Tecnológico em Agroecologia, Mandioca e Agricultura Sustentável (CVT), Entre Rios do Oeste, PR.

Fonte: Elaborado pela autora com base em dados da Estação Meteorológica do Centro Vocacional Tecnológico em Agroecologia, Mandioca e Agricultura Sustentável (CVT), Entre Rios do Oeste, PR (2024).

As condições meteorológicas observadas durante os períodos experimentais constituíram a base ambiental para a condução dos ensaios e para o desenvolvimento da cultura e da ferrugem da folha da aveia-branca.

3.4 MATERIAL VEGETAL

A cultivar de aveia-branca utilizada nos experimentos foi a IPR Artemis, desenvolvida pelo Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná). A cultivar apresenta ampla adaptação às regiões produtoras de aveia do Brasil, ciclo médio de aproximadamente 117 dias até a maturação fisiológica e moderada resistência à ferrugem da folha (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*) e à ferrugem do colmo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*).

3.5 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Os experimentos foram conduzidos durante as safras de inverno de 2023 e 2024, utilizando a cultura da aveia-branca. A área experimental é conduzida sob sistema de produção orgânica em plantio direto, integrando as atividades de pesquisa e extensão desenvolvidas pelo CVT-Agroecologia. Os experimentos foram conduzidos no talhão Wohlleben, em 2023, e no talhão Teko Porã, em 2024.

A semeadura foi realizada de forma mecanizada, em sistema de plantio direto, utilizando um conjunto mecanizado composto por trator New Holland TL75E e semeadora de fluxo contínuo Semeato SHM 11/13. As semeaduras ocorreram em 02 de maio de 2023 e 06 de junho de 2024, adotando-se espaçamento de 0,20 m entre linhas e densidade populacional equivalente a 300 plantas m^{-2} . Cada parcela experimental apresentou dimensões de 3 × 8 m, totalizando área de 24 m^2 . Quanto ao histórico da área experimental, a cultura antecedente à aveia-branca em 2023 foi nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), enquanto na safra de 2024 a cultura anterior foi soja (*Glycine max* L.).

A área experimental recebeu 6 t ha^{-1} de cama de aviário curtida, aplicada superficialmente aproximadamente 30 dias antes da semeadura da aveia-branca. Em função da disponibilidade de nutrientes no solo e do adequado desenvolvimento das plantas, não foi necessária a realização de adubação de cobertura. Durante o ciclo da cultura foi realizado o monitoramento periódico da ocorrência de insetos. Não houve necessidade de intervenções para o controle de pulgões, uma vez que a população permaneceu abaixo do nível de dano econômico durante todo o ciclo da cultura, sendo observada a atuação de inimigos naturais na área. Para o manejo de formigas cortadeiras, foi utilizado fumigador sempre que observados novos olheiros ativos.

Antes da semeadura, as plantas daninhas presentes na área experimental foram dessecadas utilizando uma capinadora a vapor, protótipo desenvolvido pelo CVT Agroecologia/Unioeste. As plantas infestantes que emergiram durante a condução do experimento foram controladas por meio de capina manual. A colheita foi realizada nos dias 29/08/2023 e 07/10/2024, considerando-se a área útil central de 3 m^2 de cada parcela experimental.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), em esquema de parcelas subdivididas. O fator primário foi constituído pela presença ou ausência de ácido silícico (Sifol Powder®), enquanto o fator secundário foi composto

pelos fungicidas microbiológicos: 1- Trichodermil® (*Trichoderma harzianum*); 2- Bio-Imune® (*Bacillus subtilis*); 3- Triple Shield® (*Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus* e *Bacillus amyloliquefaciens*); 4- Pardella® (*Bacillus amyloliquefaciens*, *Trichoderma asperellum* e *Trichoderma harzianum*); 5- Twixx-A® (*Bacillus amyloliquefaciens*) e controle (6- Sem aplicação), divididos em quatro blocos, totalizando 48 parcelas (Figura 3). A infecção da ferrugem da folha na aveia ocorreu de forma natural durante a condução do experimento.

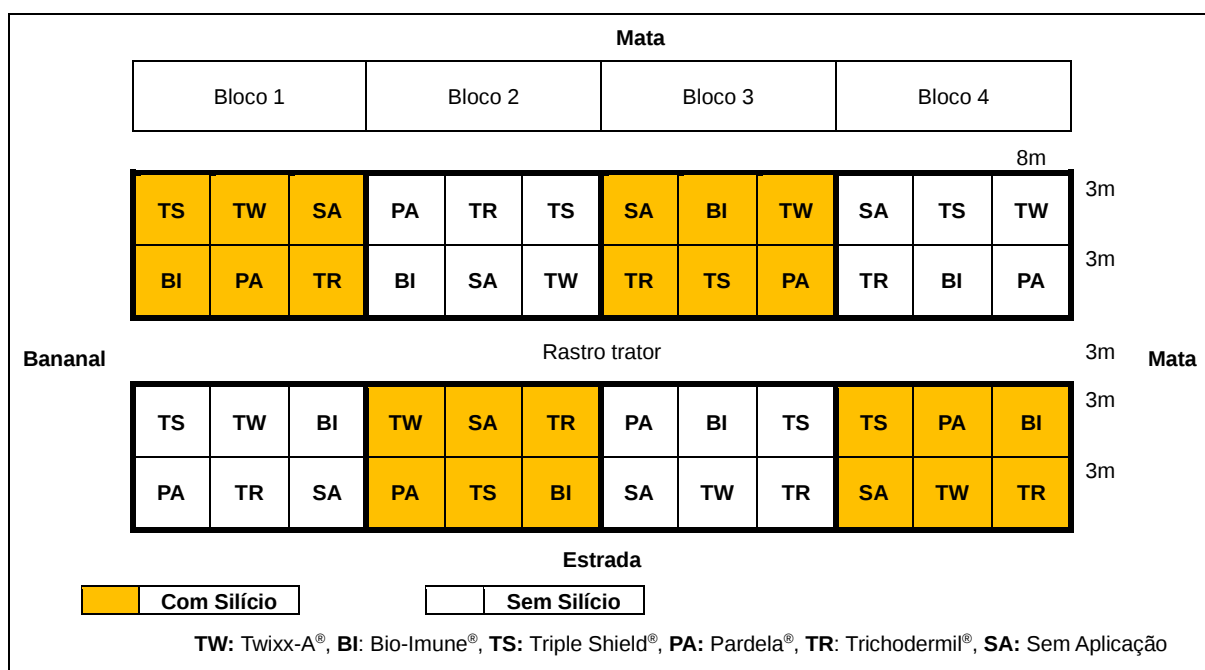


Figura 3 - Croqui da área experimental em delineamento de parcelas subdivididas, com o fator primário constituído pela presença e ausência de ácido silícico (Sifol Powder®) e o fator secundário pelos fungicidas microbiológicos: TW- Twixx-A®, BI- Bio-Imune®, TS- Triple Shield®, PA- Pardella®, TR- Trichodermil® e SA- sem aplicação. As parcelas experimentais apresentaram dimensões de 3 × 8 m, distribuídas em quatro blocos.

Fonte: Elaborado pela autora.

3.6 PULVERIZAÇÃO

O ácido silícico foi aplicado via pulverização foliar utilizando um conjunto trator-pulverizador composto por um trator New Holland TL75E e pulverizador de barras com 6 m de largura de trabalho. As pulverizações foram realizadas no período da manhã, entre 9 h e 10 h. As aplicações foram parceladas em três momentos, utilizando-se Sifol Powder® na dose de 1 kg ha⁻¹ e volume de calda de 200 L ha⁻¹. A primeira aplicação foi realizada na fase 0 - germinação, na subfase 09,

caracterizada pela emergência da folha na ponta do coleóptilo, aproximadamente cinco dias após a emergência das plântulas. A segunda aplicação ocorreu na fase 1 - crescimento da plântula, nas subfases 13–14, correspondentes à presença de três a quatro folhas expandidas. A terceira aplicação foi realizada na fase 2 - afilhamento, nas subfases 24–25, quando o colmo principal apresentava quatro a cinco afilhos, aproximadamente 14 dias após a segunda aplicação, conforme a escala fenológica proposta por Luche et al. (2021).

Os produtos microbiológicos utilizados, bem como suas respectivas composições, doses e volumes de calda, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Produtos microbiológicos utilizados nos experimentos, composição dos agentes biológicos, doses recomendadas e volume de calda empregado nas aplicações foliares.

NOME COMERCIAL	COMPOSIÇÃO	DOSE	VOLUME CALDA
Twixx-A®	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	1000 mL ha ⁻¹	200 L ha ⁻¹
Bio-Imune®	<i>Bacillus subtilis</i>	2000 mL ha ⁻¹	200 L ha ⁻¹
Triple Shield®	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus pumilus</i> e <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	900 mL ha ⁻¹	200 L ha ⁻¹
Pardela®	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , <i>Trichoderma asperellum</i> e <i>Trichoderma harzianum</i>	250 g ha ⁻¹	200 L ha ⁻¹
Trichodermil®	<i>Trichoderma harzianum</i>	1000 mL ha ⁻¹	200 L ha ⁻¹

Fonte: Elaborado pela autora.

Os produtos microbiológicos foram armazenados e preparados conforme as recomendações dos respectivos fabricantes.

Os fungicidas microbiológicos foram aplicados via pulverização foliar no final da tarde, por volta das 17 h, com intervalo de 14 dias entre as aplicações. Para as aplicações, utilizou-se pulverizador costal pressurizado com CO₂ comprimido, mantendo pressão constante de 206 kPa. A barra de pulverização foi equipada com seis pontas de jato leque duplo antideriva AD/D 110025 (Magnojet), espaçadas em 0,50 m entre si. O volume de calda foi padronizado em 200 L ha⁻¹ para todos os tratamentos, sendo as doses dos produtos estabelecidas conforme as recomendações dos respectivos fabricantes (Tabela 2).

A primeira aplicação foi realizada na fase 1 - crescimento de plântula, nas subfases 13–14, correspondentes à presença de três a quatro folhas expandidas. A segunda aplicação ocorreu na fase 2 - afilhamento, nas subfases 24–25, caracterizadas pela presença do colmo principal e quatro a cinco afilhos. A terceira aplicação foi realizada na fase 3 - alongação do colmo, nas subfases 31–32, correspondentes à detecção do primeiro e segundo nó visível, conforme a escala fenológica proposta por Luche et al. (2021).

3.7 AVALIAÇÃO DO EXPERIMENTO

Para a avaliação da severidade da ferrugem da folha, foram coletadas aleatoriamente 20 folhas em cada parcela experimental (24 m²), realizando-se análise destrutiva do material vegetal. A severidade da doença foi determinada com o auxílio da escala diagramática proposta por Piovesan (2022).

As avaliações tiveram início a partir do aparecimento dos primeiros sintomas da doença, ocorrendo no final de junho de 2023 e no início de agosto de 2024. No ano de 2023, as avaliações foram realizadas nos dias 29/06, 13/07 e 27/07. Já em 2024, as avaliações ocorreram em 09/08, 23/08, 06/09 e 20/09.

Com base nas avaliações de severidade, foi calculada a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), conforme a fórmula:

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) * (t_{i+1} - t_i)$$

onde: n= número de avaliações, y= proporção da doença e $(t_{i+1} - t_i)$ = intervalo de avaliações consecutivas (CAMPBELL; MADDEN, 1990).

Após os ensaios para o manejo da doença, sete dias antes da colheita, foram coletadas aleatoriamente cinco plantas em cada parcela experimental para avaliação das seguintes variáveis agrônômicas:

- Altura de plantas: determinada pela distância entre a base do colmo, ao nível do solo, e a extremidade do maior perfilho, utilizando fita métrica;
- Diâmetro do colmo: determinado no centro do primeiro entrenó, utilizando paquímetro digital;
- Número de perfilhos: obtido pela contagem do número de perfilhos por planta;

- Número de panículas: obtido pela contagem do número de panículas por planta;
- Número de espiguetas na panícula principal: obtido pela contagem do número de espiguetas da panícula principal de cada planta;
- Número de grãos por planta: obtido pela contagem manual do número de grãos da panícula principal de cada planta;
- Massa de mil grãos: determinada pela pesagem de mil grãos em balança analítica, com os resultados expressos em gramas;
- Produtividade de grãos: determinada pela colheita da área útil de 3 m² de cada parcela experimental, sendo os valores corrigidos para 13% de umidade e posteriormente convertidos para kg ha⁻¹.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância individual para cada ano agrícola. Posteriormente, realizou-se a análise conjunta das safras de 2023 e 2024 quando a razão entre os quadrados médios do erro residual dos dois anos foi inferior a sete, conforme critério de homogeneidade das variâncias. Quando constatado efeito significativo dos tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando o programa estatístico Sisvar versão 5.8 (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 SEVERIDADE DA FERRUGEM DA FOLHA DA AVEIA

Como tem ocorrido anualmente a ferrugem da folha da aveia-branca foi a principal doença na cultura com poder real de dano. As análises de variância conjuntas (2023/2024) para a Severidade Final (% de área foliar lesionada), mostrou significância para o fator ácido silícico (Figura 2B) e fungicidas microbiológicos (Figura 2D), assim como para a interação entre fatores. Dessa forma, aplicou-se o teste de Tukey para cada fator isoladamente. Observou-se redução de 14% da severidade final com o uso de ácido silícico (Figura 2B), bem como os produtos à base de *T. harzianum* (Trichodermil®) e *B. velezensis* (Bio-Imune®) que reduziram 20,8% e 20,3% respectivamente a severidade final da ferrugem da folha (Figura 2D). Contudo, não foi observada redução significativa da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), pelo ácido silícico ou pela aplicação de fungicidas microbiológicos (Figura 2A e C), embora o comportamento tenha sido semelhante à variável anterior.

Ao avaliar a aplicação isolada de ácido silícico em relação a cada produto biológico e ao controle, verificou-se que não houve diferenças significativas para a variável AACPD, mas os resultados foram significativos para a severidade final (Figura 2C e D). Nesse quesito o produto a base de *B. amyloliquefaciens*, *T. asperellum* e *T. harzianum* (Pardella®) demonstrou-se 17,5% mais eficiente na presença de ácido silícico do que sem uso de ácido silícico (Figura 2E).

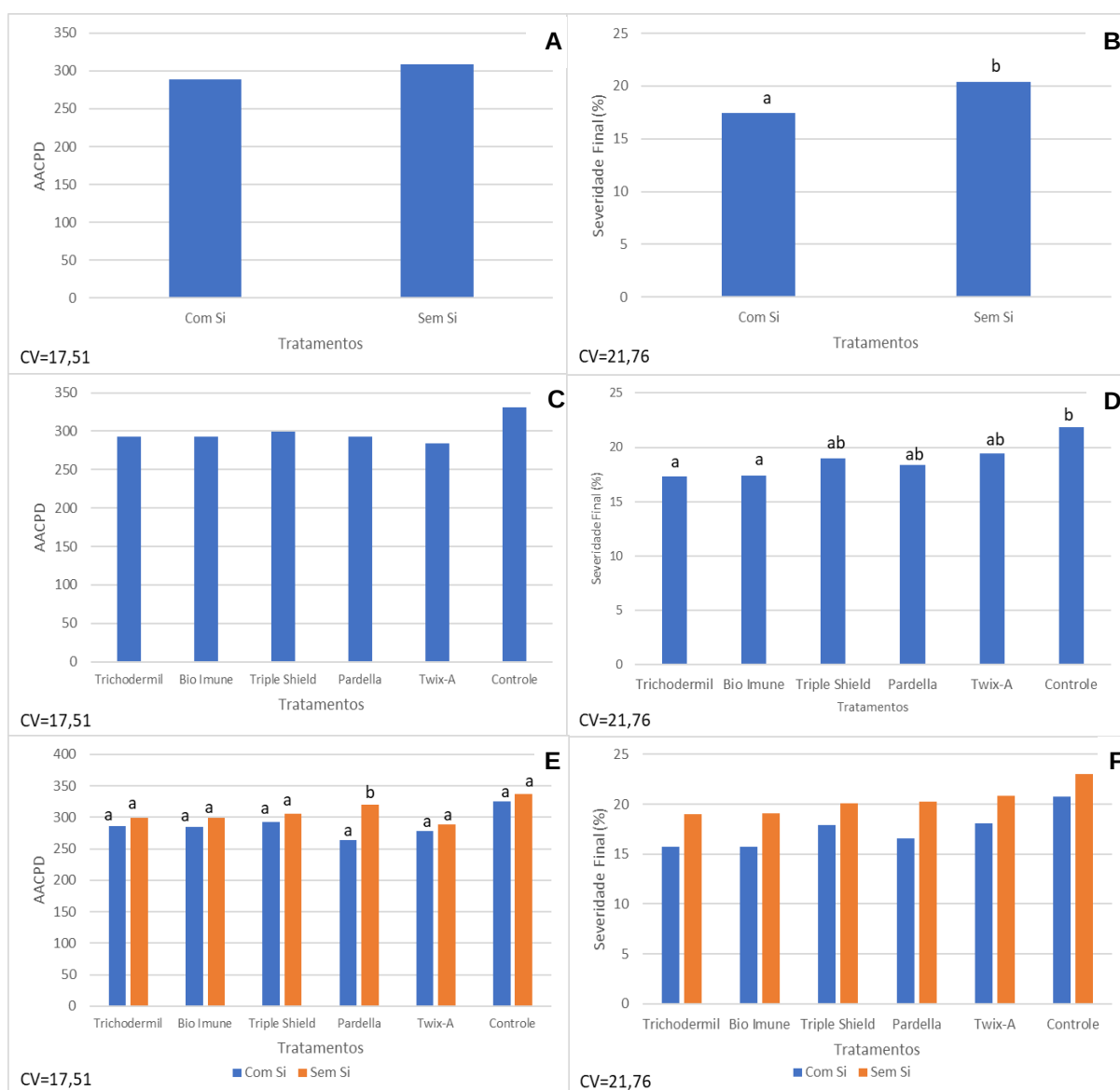


Figura 2 - Área abaixo da curva de progresso de doença (AACPD) (A, C e E) e severidade final (B, D e F) para a ferrugem da folha da aveia-branca em função da aplicação de ácido silícico (A e B) e fungicidas microbiológicos (C e D) e o desdobramento de produtos microbiológicos com e sem a aplicação de ácido silícico (E e F) análise conjunta da avaliação nos períodos de 29 de junho a 27 de julho de 2023 e de 02 de agosto a 20 de setembro de 2024 na cultura da aveia-branca em Entre Rios do Oeste-PR. Letras distintas sobre as colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E PRODUTIVOS

Em relação aos parâmetros morfológicos e produtivos avaliados nas safras de inverno de 2023 e 2024, a análise conjunta dos dados não evidenciou efeito significativo dos tratamentos com fungicidas microbiológicos e/ou ácido silícico sobre as variáveis número de perfilhos, número de perfilhos viáveis e número de grãos por planta. Entretanto, foram observadas diferenças significativas para altura de plantas e número de espiguetas na panícula principal, especialmente nos tratamentos que associaram a aplicação de ácido silícico ao fungicida microbiológico Trichodermil® (Figura 3).

O desdobramento da variável altura (Figura 3A e B) quando se observa o comportamento da aplicação de ácido silícico isolada para cada produto biológico aplicado e seu controle (Figura 3A), nota-se que a única circunstância em que se observa redução na altura pela aplicação de ácido silícico é no tratamento com Trichodermil®. No entanto, na presença ou ausência de ácido silícico não foram constatadas diferenças significativas (Figura 3B).

O número de espiguetas na panícula principal se mostrou de forma semelhante a variável altura de planta, onde a única circunstância em que se observa uma redução do número de espiguetas pela aplicação de ácido silícico se dá no tratamento Trichodermil®. Ao que parece, esse tratamento mostra-se antagônico a ação do silício nessa variável. Os demais tratamentos apresentaram número de espiguetas na panícula principal semelhantes ao controle (Figura 3E). A Figura 3F mostra os tratamentos com produtos biológicos na presença ou na ausência de ácido silícico e observa-se que na ausência desse elemento não há diferença, mais uma vez indicando que para essa variável os tratamentos biológicos não interferem, contudo, quando se observa o Trichodermil® aplicado na presença de silício, nota-se que esse produto se comportou antagônico ao silício, reduzindo essa característica produtiva.

O diâmetro do colmo não apresentou interação significativa sendo distinguidos separadamente o uso do ácido silícico ou os produtos microbiológicos (Figura 3E e F), onde, para o segundo caso apresentou significância em função dos tratamentos com fungicidas microbiológicos. Neste sentido, observou-se redução do diâmetro do colmo associado ao uso de Trichodermil® independente do uso de ácido silícico (Figura 3E). Por outro lado, não houve diferenças significativas na presença ou ausência de ácido silícico (Figura 3F).

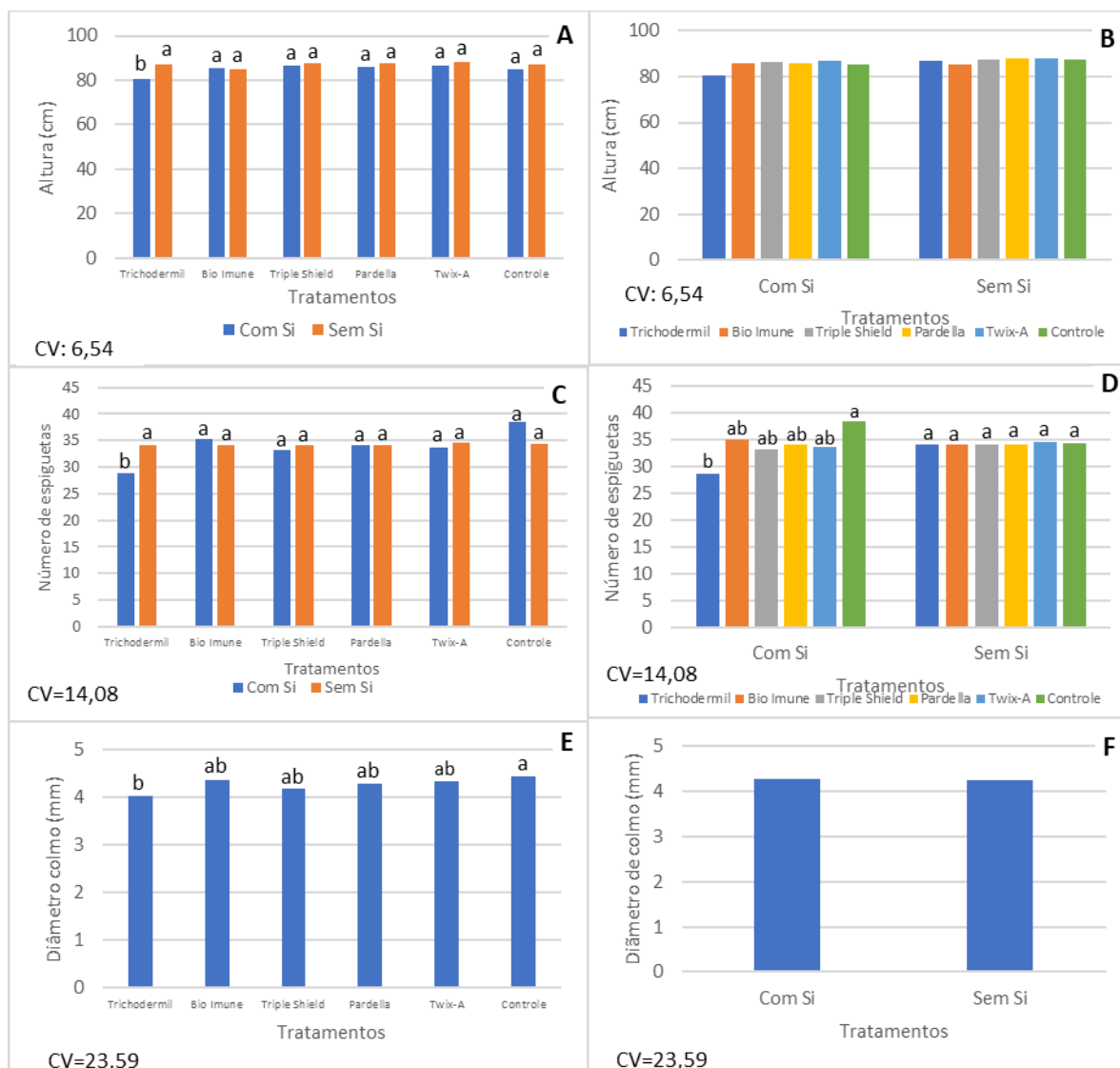


Figura 3 - Alturas de plantas (A e B), número de espiguetas na panícula principal (C e D) e diâmetro do colmo (E e F) em função da aplicação de fungicidas microbiológicos e ácido silícico na cultura da aveia-branca na análise conjunta das safras de inverno de 2023 e 2024 em Entre Rios do Oeste-PR. Letras distintas sobre as colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.3 PRODUTIVIDADE

A massa de mil grãos foi determinada apenas no ano de 2024 e apresentou interação significativa entre os fatores avaliados, sendo realizado o desdobramento da interação, apresentado na Figura 4A e B. O produto Trichodermil® associado à aplicação de ácido silícico promoveu aumento de 20,6% na massa de mil grãos em relação à sua aplicação sem silício (Figura 4A). Tendência semelhante foi observada na comparação desse tratamento com os demais na presença de ácido silícico (Figura 4B).

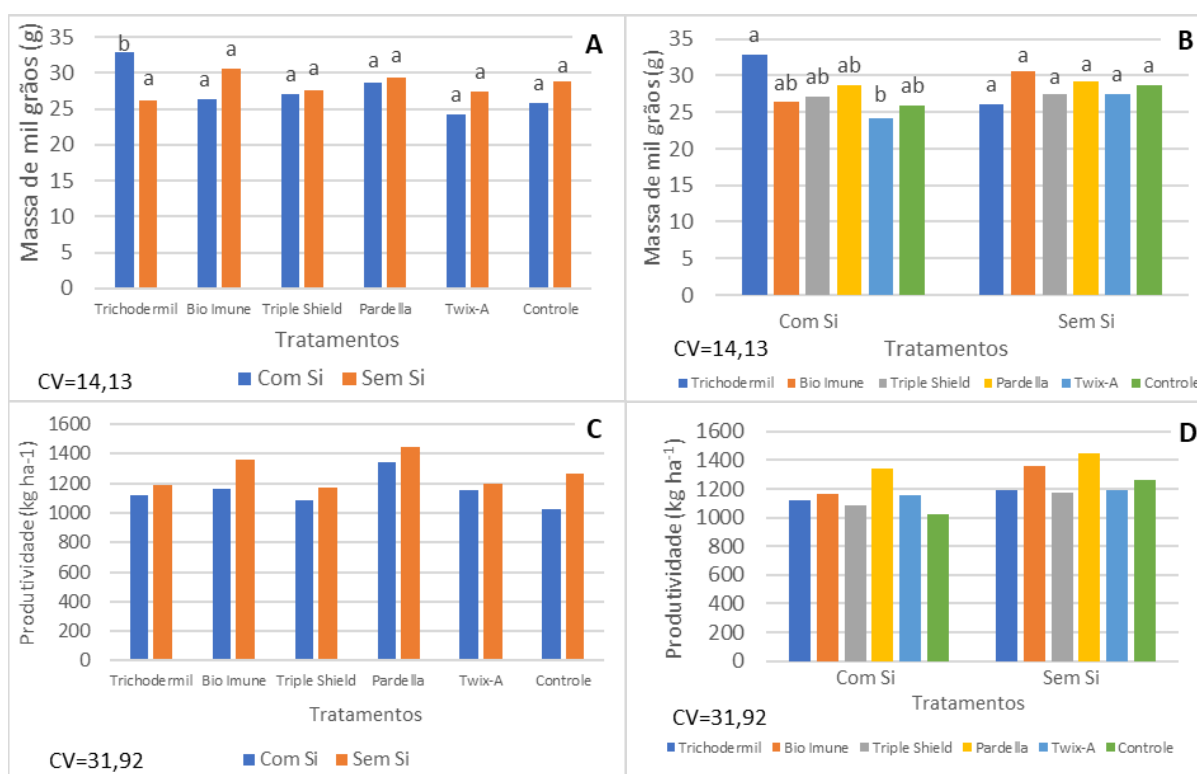


Figura 4 - Massa de mil grãos e produtividade média em função da aplicação de fungicidas microbiológicos e ácido silícico na cultura da aveia-branca na análise conjunta das safras de inverno de 2023 e 2024 em Entre Rios do Oeste-PR. Letras distintas sobre as colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No que se refere à produtividade, não foi constatada significância para os produtos biológicos nem para a aplicação de ácido silícico em ambas as safras. As médias de produtividade dos tratamentos com produtos biológicos e ácido silícico estão apresentadas nas Figuras 4C e 4D. Na safra de inverno de 2023, a produtividade média da aveia-branca foi de 1.276 kg ha⁻¹, enquanto na safra de 2024 foi de 1.143 kg ha⁻¹. Considerando a análise conjunta das duas safras, a produtividade média alcançou 1.210 kg ha⁻¹.

4.4 DISCUSSÃO

Para fins comparativos, a produtividade média da aveia-branca no estado do Paraná em 2023 foi de 2.203 kg ha⁻¹ e em 2024 foi de 1.765 kg ha⁻¹ (CONAB, 2024). A safra de 2023 foi afetada pela ocorrência de ventos e acamamento de forma desigual no dia 12 de julho de 2023, com 72 dias da semeadura e em pleno florescimento, portanto aumentando o coeficiente de variação e interferindo de forma

desproporcional nos tratamentos. Já em 2024, houve altas temperaturas e chuvas irregulares que podem ter afetado o desenvolvimento da cultura, interferindo a ação dos fungicidas microbiológicos e ácido silícico, reduzindo a produtividade.

Na avaliação da severidade final (%), observou-se redução de 14% com a aplicação de ácido silícico na cultura da aveia. Existem relatos do uso de silício em diferentes culturas agrícolas, demonstrando sua eficiência na redução da severidade de doenças. Schurt et al. (2013) observaram redução de 19% e 25% na área abaixo da curva de progresso do comprimento relativo da lesão (AACPCRL) da queima das bainhas em plantas de arroz das cultivares BR-Irga 409 e Labelle, respectivamente. Essa redução foi verificada quando as plantas foram tratadas com ácido monossilícico, em comparação àquelas cultivadas na ausência desse elemento na solução nutritiva.

Resultados semelhantes foram relatados por Medeiros e Peruch (2012) no estudo da antracnose do maracujazeiro, no qual a aplicação de silicato de alumínio reduziu em 82% a curva de progresso da doença. De forma adicional, Guazina et al. (2019) também verificaram redução significativa da severidade da ferrugem asiática da soja, mensurada pela AACPD, sendo observado maior efeito quando realizadas quatro aplicações de silicato de alumínio.

Santos et al. (2014) também observaram redução expressiva na severidade da antracnose (*Colletotrichum sublineolum*) em genótipos de sorgo cultivados em casa de vegetação. O estudo demonstrou que a aplicação de fertilizante fosfatado enriquecido com silicato de magnésio promoveu diminuição de aproximadamente 65% na severidade da doença em comparação ao tratamento controle. Esses efeitos podem ser explicados pela ação do ácido silícico no fortalecimento das paredes celulares e na indução de resistência sistêmica das plantas, contribuindo para a redução dos danos causados por doenças foliares e estresses abióticos (EPSTEIN, 2009).

Resultados semelhantes foram observados no presente estudo (Figura 2). Entretanto, embora tenha ocorrido redução da severidade da ferrugem da folha, esse efeito não se refletiu em melhorias significativas para as variáveis número de perfilhos, número de perfilhos viáveis, número de grãos por planta e produtividade.

Por outro lado, os tratamentos biológicos não apresentaram diferenças significativas para a maioria das variáveis analisadas. Esse comportamento pode estar relacionado a fatores ambientais ou à menor pressão de doenças durante a

condução do experimento, condições que podem ter limitado a expressão do potencial dos tratamentos. Lanna Filho, Ferro e Pinho (2010) destacam que a eficácia dos agentes biológicos é altamente dependente das condições climáticas e da interação entre planta, patógeno e ambiente.

A redução da área foliar, especialmente da folha bandeira, prejudica significativamente a fotossíntese e a redistribuição de fotoassimilados para os grãos. Como consequência, ocorre diminuição da qualidade e da quantidade dos grãos, resultando na formação de grãos chochos ou com baixo peso hectolitro (PH), reduzindo seu valor comercial e nutricional (WESP et al., 2008; MACOSKI et al., 2021). Esse impacto reflete diretamente nos componentes de rendimento da cultura, sendo a massa de panícula e a massa de mil grãos os parâmetros mais afetados.

O diâmetro do colmo é outra variável diretamente associada a diversas características agrônômicas da cultura da aveia. Colmos com maior espessura conferem maior resistência ao acamamento diante da ocorrência de ventos fortes e chuvas intensas, condição essencial para a manutenção da produtividade, sanidade e qualidade dos grãos (SILVEIRA, 2020).

O acamamento é considerado um dos principais fatores limitantes da produtividade da cultura, pois promove redução da qualidade e do rendimento dos grãos. Embora plantas acamadas ainda consigam realizar fotossíntese, a dificuldade na translocação dos fotoassimilados compromete o enchimento dos grãos (SOUZA et al., 2021).

Embora o tratamento com Trichodermil® associado ao ácido silícico tenha reduzido a severidade final da ferrugem da folha, também proporcionou redução do diâmetro do colmo. Esse fenômeno pode estar relacionado ao custo metabólico da indução de resistência promovida por esse agente de controle biológico, ativando mecanismos de defesa não diretamente associados ao fortalecimento do colmo (AHAMMED; YANG, 2021).

A massa de mil grãos foi avaliada somente no ano de 2024, sendo observada significância estatística apenas quando os produtos biológicos foram associados à aplicação de ácido silícico. Verificou-se ainda que esse mesmo tratamento afetou negativamente o número de espiguetas (Figura 3C e D). A aplicação conjunta do produto biológico com o silício pode ter favorecido maior acúmulo de carboidratos e proteínas nos grãos, refletindo no aumento da massa de mil grãos.

Esses resultados sugerem que o ácido silícico pode exercer efeito positivo sobre características fisiológicas da planta, como o fortalecimento das paredes celulares e a redução dos danos causados por doenças foliares, dependendo do microrganismo associado ao tratamento (SANTOS et al., 2021). Dessa forma, a interação entre fungicidas microbiológicos e ácido silícico pode influenciar diretamente o enchimento e a massa dos grãos. Contudo, na ausência de ácido silícico, não houve diferença significativa entre os tratamentos com fungicidas microbiológicos (Figura 4A), indicando que a associação com o silício pode potencializar a capacidade desses produtos em proteger a planta contra doenças foliares e favorecer o aumento do peso dos grãos.

Em relação à produtividade, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos com fungicidas microbiológicos, independentemente da aplicação ou não de ácido silícico (Figura 4C e D). Esses resultados indicam que, nas condições em que o experimento foi conduzido, os tratamentos avaliados não foram suficientes para promover incrementos produtivos expressivos na cultura da aveia-branca.

Resultados semelhantes foram observados por Guazina et al. (2019), que avaliaram a aplicação de silicato de alumínio no manejo da ferrugem asiática em cultivares de soja. Os autores verificaram que a realização de duas aplicações do produto não proporcionou aumento significativo na produtividade, apresentando desempenho equivalente ao da testemunha. Contudo, quando foram realizadas três e quatro aplicações, foram observados incrementos produtivos variando entre 13% e 16% em comparação à testemunha.

No presente estudo, embora tenham sido realizadas três aplicações de ácido silícico, não foram constatados aumentos significativos na produtividade em nenhum dos tratamentos avaliados. Esse comportamento possivelmente está relacionado às condições climáticas observadas durante a condução dos experimentos.

Na safra de 2023, a ocorrência de ventos intensos durante o período de florescimento ocasionou acamamento desuniforme das plantas, o que afetou o desenvolvimento da cultura e aumentou a variabilidade experimental entre as parcelas. Já na safra de 2024, temperaturas elevadas associadas à distribuição irregular das precipitações podem ter provocado estresse fisiológico nas plantas, comprometendo o crescimento vegetativo e o enchimento de grãos.

Além disso, tais condições ambientais podem ter reduzido a eficiência dos fungicidas microbiológicos e do ácido silícico, uma vez que a atividade e a persistência desses produtos estão diretamente relacionadas à temperatura e à umidade do ambiente.

Estudos prévios demonstram que os efeitos positivos do silício no desempenho agrônômico das culturas podem estar associados ao número de aplicações ao longo do ciclo da cultura. Moreira et al. (2010) observaram que o acúmulo de silício em níveis suficientes para promover benefícios fisiológicos às plantas ocorreu apenas a partir da terceira aplicação, refletindo em incrementos na massa seca e na produtividade de grãos de soja.

De forma complementar, Crusciol et al. (2013) verificaram que a realização de quatro aplicações de silício proporcionou incremento no número de vagens e na produtividade das culturas da soja, feijão e amendoim. Esses resultados evidenciam que a resposta das plantas ao silício pode estar diretamente relacionada à frequência de aplicação e à quantidade disponibilizada durante o desenvolvimento da cultura.

Dessa forma, a ausência de diferenças significativas observada no presente trabalho pode estar associada à frequência e à dose de ácido silícico utilizadas nos tratamentos, as quais possivelmente não foram suficientes para promover o acúmulo adequado de silício nos tecidos vegetais e, conseqüentemente, para expressar efeitos positivos sobre a produtividade da aveia-branca.

5 CONCLUSÕES

- O ácido silícico reduz a severidade da ferrugem da folha da aveia.
- Os produtos microbiológicos Trichodermil® e Bio-Imune® promovem redução da severidade da ferrugem da folha.
- O produto Pardella®, quando associado ao ácido silícico, contribui para a redução da severidade da doença.
- O produto Trichodermil® reduz o diâmetro do colmo e, quando associado ao ácido silícico, promove redução da altura de plantas e do número de espiguetas; entretanto, proporciona aumento da massa de mil grãos.
- Não foram observados incrementos na produtividade da cultura em decorrência da aplicação de ácido silícico ou dos fungicidas microbiológicos avaliados neste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALESSI, O.; DORNELLES, L. F.; MAMANN, A. T. W. de.; KRAISIG, A. R.; HENRICHSEN, L.; MAROLLI, A.; SILVA, J. A. G. da. Aplicação de modelos de regressão e de adaptabilidade e estabilidade na identificação de cultivares de aveia branca com maior resistência genética a doenças foliares. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, v. 6 n 2, p. 1-7, 2018.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AHAMMED, G. L.; YANG, Y. Mechanisms of silicon-induced fungal disease resistance in plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 165, p. 200-206, 2021.
- BAKHAT, H. F.; BIBI, N.; ZIA, Z.; ABBAS, S.; HAMMAD, H. M.; FAHAD, S.; ASHARAF, M. R.; SHAH, G. M.; RABBANI, F.; SAEED, S. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review. **Crop Protection**, [S. l.], v. 104, n. March 2017, p. 21-34, 2018.
- BRASIL. Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003. **Dispõe sobre a agricultura orgânica**.
- CAI, K.; GAO, D.; LUO, S.; ZENG, R.; YANG, J. E.; ZHUB, X. Mecanismos fisiológicos e citológicos de resistência induzida por silício no arroz contra a doença da brusone. **Physiologia Plantarum**, v. 134, p. 324–333, 2008.
- CAMPANHOLA, C.; VALARINI, P. J. A agricultura orgânica e seu potencial para o pequeno produtor. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 18, n. 3 p. 69-101, 2001.
- CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. Crop loss assessment and modeling. In: **Introduction to plant disease epidemiology**. CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. (Ed.). New York: John Wiley & Sons, p. 393-422, 1990.
- CHAVES, M. S.; MARTINELLI, J. A. Ferrugem da folha da aveia: aspectos epidemiológicos e perspectivas de controle através da resistência genética na Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira Agrociência**, v.11, p. 397-403, 2005.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Aveia branca, safra 2023-2024**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acessado em 06 de dezembro de 2024.
- COOK, R. J. Progress toward biological control of plant pathogens with special reference to take-all of wheat. **Agriculture Forest Bulletin**, v. 5, p. 22, 1982.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; CASTRO, S. A. C.; COSTA, C. H. M.; NETO, J. F. Aplicação foliar de ácido silícico estabilizado na soja, feijão e amendoim. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 404-410, 2013.

DEMATTE, J. L.; PAGGIARO, C. M.; BELTRAME, J. A.; RIBEIRO, S. S. Uso de silicatos em cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, v. 133, p. 7-12, 2011.

DEUNER, C. C.; MARTINELLI, J. A.; BOLLER, W.; SCHONS, J. Manejo de doenças. In: DANIELOWSKI, R.; CARAFFA, M.; MORAES, C. S.; LÂNGARO, N. C.; CARVALHO, I. Q. (Eds.). **Informações técnicas para a cultura de aveia**: XL Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa da Aveia Sociedade Educacional Três de Maio (SETREM), Três de Maio, RS, p. 107-117, 2021.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, V. 91, P11-17, 1994.

EPSTEIN, E. Silicon: its manifold roles in plants. **Annals of Applied Biology**, v. 155, p. 155-160, 2009.

ESCOSTEGUY, P. A. V.; FONTOURA, S. M. V.; CARVALHO, I. Q. Fertilidade do solo, calagem e adubação. In: DANIELOWSKI, R.; CARAFFA, M.; MORAES, C. S.; LÂNGARO, N. C.; CARVALHO, I. Q. (Eds.). **Informações técnicas para a cultura da aveia**: XL Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia Sociedade Educacional Três de Maio (SETREM), Três de Maio, RS, p. 29-47. 2021.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. 2005. 186 f. Curso de Pós-Graduação "Lato Sensu" (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema de análise estatística por computador. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FONSECA, M. F. A. C.; BARBOSA, S. C. A.; COLNAGO, N. F.; SILVA, G. R. R. **Agricultura orgânica: introdução às normas, regulamentos técnicos e critérios para acesso aos mercados dos produtos orgânicos no Brasil** - Niterói: Programa Rio Rural. Manual Técnico 19, 2009.

GUAZINA, R. A.; THEODORO, G. F.; MUCHALAK, S. M.; PESSOA, L. G. A. Aplicação foliar de silício na produtividade e sanidade de cultivares de soja. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.18, p.187-193, 2019.

HOWELL, C. R. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. **Plant Disease**, v. 87, n. 1, p. 4-10, Jan. 2003.

HUANG, H.; LI, M.; RIZWAN, M.; DAI, Z.; YUAN, Y.; HOSSAIN, M. M.; CAO, M.; XIONG, S.; TU, S. Synergistic effect of silicon and selenium on the alleviation of cadmium toxicity in rice plants. **Journal of Hazardous Materials**, v. 401, n. April, p. 123-393, 2021.

KAEWCHAI, S.; SOYTONG, K.; HYDE, K. D. Micofungicides and fungal biofertilizers. **Fungal Diversity**, v. 38, p. 25-50, 2009.

KORNDÖRFER, A. P.; GRISOTO, E.; VENDRAMIM, J. D. Indução de resistência de insetos à cigarrinha *Mahanarva fimbriolata* Stål (Hemiptera: Cercopidae) em cana-de-açúcar pela aplicação de silício. **Entomologia Neotropical**, v.40, n.3, p.387-392, 2011.

LACONSKI, J. M. O.; NOGUEIRA, P. H. S.; PESSONI, L. D. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e seus efeitos em atributos do solo. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, vol. 12, n. 1, e12219, 2022.

LANNA FILHO, R, FERRO, H. M, PINHO, R. S. C. Controle biológico mediado por *Bacillus subtilis*. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 4, p. 2-20, 2010.

LUCHE, H. S.; NORNBENG, R.; ROTHER, V.; OLIVEIRA, A. C. Desenvolvimento da planta. In: DANIELOWSKI, R.; CARAFFA, M.; MORAES, C. S.; LÂNGARO, N. C.; CARVALHO, I. Q. (Eds.) **Informações técnicas para a cultura de aveia**: XL Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa da Aveia Sociedade Educacional Três de Maio (SETREM), Três de Maio, p. 57-65, 2021

MACOSKI, N.; GABARDO, G.; CLOCK, D. C.; AVILA, G. M. A.; CHORNOBAY, A. K. Application of calcium and sulfur in the severity of *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 8, n. 1, p. 1-5, 2021.

MEDEIROS, A. M.; PERUCH, L. A. M. Fungicidas e argila silicatada o controle da antracnose maracujá amarelo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, p. 1803-1808, 2012.

MELLO, S. C. M.; ECKSTEIN, B.; MARQUES, E.; CARVALHO, D. D. C. Controle de doenças de plantas. In: FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. **Controle Biológico de Pragas na Agricultura**. 1. ed. Brasília-DF: Embrapa. cap. 10, p. 291-319, 2020.

MONTILLA-BASCÓN, G.; RUBIALES, D.; ALTABELLA, T.; PRATS, E. Free polyamine and polyamine regulation during prepenetration and penetration resistance events in oat against crown rust (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*). **Plant Pathology**, v. 65, p. 392-401, 2016.

MOREIRA, A. R.; FAGAN, E. B.; MARTINS, K. V.; SOUZA, C. H. E. Resposta da cultura de soja a aplicação de silício foliar. **Bioscience Journal**, v. 26, p. 413-423, 2010.

NAZARENO, E. S.; LI, F.; SMITH, M.; PARK, R. F.; KIANIAN, S. F.; FIGUERO, A. M. *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*: a threat to global oat production. **Molecular Plant Pathology**, v. 19, n. 5, p. 1047–1060, 2018.

PACHECO, M. T.; FEDERIZZI, L. C.; ALMEIDA, J. L.; RIEDE, C. R.; LÂNGARO, N. C. Importância da cultura da aveia. In: DANIELOWSKI, R.; CARAFFA, M.; MORAES, C. S.; LÂNGARO, N. C.; CARVALHO, I. Q. (Eds.). **Informações técnicas para a cultura de aveia**: XL Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa da Aveia Sociedade Educacional Três de Maio (SETREM), Três de Maio, RS, p. 12-28, 2021.

PIOVESAN, V. R. **Elaboração e validação da escala diagramática para ferrugem da folha (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*) da aveia branca (*Avena sativa* L.)**. 2022. 42 f. Monografia (Curso de Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, PR, 2022.

POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; BOTELHO, D. M. S. Silício no controle de doenças de plantas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n.3, p. 323-331, 2015.

RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, A. P.; KORNDÖRFER, G. H. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações Agronômicas**, v. 134, p. 14-20, 2011.

SANTOS, G. R.; RODRIGUES, A. C.; BONIFACIO, A.; CHAGAS JUNIOR, A. F.; TSCHOEKE, P. H. Severidade de antracnose em folhas de sorgo submetido a doses crescentes de silício. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 2, p. 403-408, 2014

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 Brasília: EMBRAPA, p. 356, 2018.

SANTOS, J. A. B.; ROSA, J. A.; BENASSI, D. A.; JUSTINO, A. Manejo da aveia preta na decomposição da biomassa e na cobertura do solo em semeadura direta de milho. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.12, n. 4, p. 211-227, 2011.

SANTOS, L. C.; SILVA, G. A. M.; ABRANCHES, M. O.; ROCHA, J. L. A.; SILVA, S. T. A.; RIBEIRO, M. D. S.; GOMES, V. R.; SEVERO, P. J. S.; BRILHANTE, C. L.; SOUSA, F. Q. The role of silicon in plants. **Agrarian and Biological Sciences**, v. 10, n. 7, e3810716247, 2021.

SCHURT, D. A.; RODRIGUES, F. A.; CARRÉ-MISSIO V.; SOARES, N. F. Silício alterando compostos derivados da pirólise de bainhas foliares de plantas de arroz infectadas por *Rhizoctonia solani*. **Bragantia**, v. 72, p. 52-60, 2013.

SILVA, A. T.; SILVA, S. T. Panorama da agricultura orgânica no Brasil. **Revista Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 23, p. 1031-1040, 2016.

SILVEIRA, D. C. **Identificação e associação de estratégias indiretas para mensurar a resistência ao acamamento em aveia-branca**. 2020. 106 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2020.

SOUSA, A. D. M.; SOUSA, A. M. P.; ALVES, H. S.; VIEIRA, T. A. Os impactos do uso de agrotóxicos no Brasil: uma análise cienciométrica. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, p. 5, 2020.

SOUZA, C. A.; LÂNGARO, N. C.; SILVA, J. A. G.; ARRUDA, K. M. A.; POLETTO, K. O. Regulador de crescimento. In: DANIELOWSKI, R.; CARAFFA, M.; MORAES, C. S.; LÂNGARO, N. C.; CARVALHO, I. Q. (Eds.) **Informações técnicas para a cultura da aveia**: XL Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa da Aveia. SETREM, Três de Maio, p. 66-89, 2021.

TUBANA, B. S.; BABU, T.; DATNOFF, L. E. A Review of silicon in soils and plants and its role in US agriculture: history and future perspectives. **Soil Science**, v. 181, (9-10): 393-411, 2016.

VRIESMAN, A. K.; OKUYAMA, K. K.; ROCHA, C. H.; NETO, P. H. W. Assistência Técnica e Extensão Rural para a Certificação de Produtos Orgânicos da Agricultura Familiar. **Revista Conexão**, v. 8, n. 1, p. 138-149, 2012.

WEBER, J.; SILVA, T. N. A produção orgânica no Brasil sob a ótica do desenvolvimento sustentável. **Desenvolvimento em Questão**, Editora Unijuí, v. 19, n. 54, p. 164-184, 2021.

WESP, C. L.; MARTINELLI, J. A.; CHAVES, M. S.; GRAICHEN, F. A. S.; FEDERIZZI, L. C. Herança da resistência quantitativa à ferrugem da folha em linhagens recombinantes de aveia branca. **Tropical Plant Pathology**, v. 33, p.138-147, 2008.

WOLSCHICK, N. H.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; SANTOS, K. F.; MUZEKA, L. M. Plantas de cobertura do solo e seus efeitos nas propriedades físicas e produtividade de soja e milho. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 17, n. 3, p. 272-281, 2018.

ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, v. 14, p. 415-421, 1974.